



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**RedUNAM METROPOLITANA: DISEÑO, PRUEBAS Y
PRELICITACIÓN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTA:

Axel Iván González Bojorges

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. AZAEL FERNÁNDEZ ALCÁNTARA



MÉXICO, D. F.

Marzo 2012

RedUNAM METROPOLITANA: DISEÑO, PRUEBAS Y PRELICITACIÓN

Presenta:

Axel Iván González Bojorges

Director de tesis:

Ing. AZAEL FERNÁNDEZ ALCÁNTARA

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

Departamento de Telecomunicaciones



Somos más eficientes que antes, la tecnología está acelerando la evolución humana, nos está acercando a las grandes ideas; aprendemos a través de tutoriales, artículos, juegos educativos, vídeos HD, aplicaciones interactivas, simuladores, blogs, webcasts, redes sociales, entre otros.

Nos hemos convertido en autodidactas, todos somos alumnos, todos somos maestros. Cuando no sabemos, lo descargamos; cuando sabemos, lo subimos. Estamos rediseñando la historia del mundo: estamos cambiando el rumbo de la humanidad. Mi abuelo me contaba que antes, conseguir información era privilegio de pocos, hoy, es derecho de todos.

*Al conectarnos a la red, nuestra vida cambia...
cuando todos nos conectamos... nuestro mundo cambia.*

*Axel Iván GB,
Marzo 2012*

Agradecimientos

A Dios, en todas sus representaciones.

A mis padres, Yolanda Bojorges y Joel González, por su apoyo incondicional y cariño brindados durante todo este tiempo de mi formación académica, claramente sin su ayuda y esfuerzo, esto no hubiera sido posible.

A mi director de tesis, el Ing. Azael Fernández Alcántara, por haberme permitido participar en el proyecto, así como por su profesionalismo y brío aportados al trabajo.

A la Maestra Consuelo De Ita Morales, por su calidez humana e invaluable amistad.

A Elena, mi novia, por su alegría y sustento anímico durante la elaboración de mi tesis.

A la Ing. Miriam Calvillo, por su experiencia profesional compartida durante la realización de mis prácticas profesionales en Red Uno.

Al Ing. Fermín Flores, por su experiencia profesional compartida durante la realización de mi servicio social en la CUAED, Mirador Universitario.

Al Ing. Jesús Reyes, M.I. Juventino Cuellar, Dr. Víctor Garduño y al Dr. Javier Gómez -mis sinodales-, por su participación y amabilidad en la revisión de mi tesis.

A todos mis familiares, amigos y profesores que han aportado algo directa o indirectamente en mi formación humana y profesional.

Simplemente, ¡Gracias!

Dedicatoria



A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi alma mater;
y por ende, todo lo que implica: centros culturales, estadio universitario, biblioteca central, torre de rectoría, campus central (las islas), CELE, servicios médicos, alberca universitaria, Facultad de Ingeniería, Escuela Nacional Preparatoria No. 3, RIU, pumabus, reservas ecológicas, docentes, actividades recreativas, entre otros (as), que hicieron de mi permanencia en la máxima casa de estudios, un lugar idóneo para mi desarrollo íntegro.

Índice General

Objetivo	1
Alcances	1
Resultados esperados	1
Capítulo 1 Introducción	2
1.1 Antecedentes	2
1.1.1 Delta Metropolitana de Cómputo de Alto Rendimiento (DeMeCAR)	3
1.1.2 Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (LANCAD)	4
1.1.3 Tramo de última milla en Ciudad Universitaria	5
1.2 Redes Académicas	8
1.2.1 Ejemplos internacionales de redes académicas	9
1.3 Teoría de la Fibra Óptica	10
1.4 Referencias	20
Capítulo 2 Técnicas de Compartición de Canal	22
2.1 Multiplexaje por División de Frecuencia (FDM)	22
2.2 Multiplexaje por División de Tiempo (TDM)	22
2.3 Multiplexaje por División de Longitud de Onda (WDM)	23
2.3.1 Multiplexación por División Aproximada de Longitud de Onda (CWDM)	24
2.3.2 Multiplexación por División Densa de Longitud de Onda (DWDM)	26
2.4 Multiplexaje Óptico de Inserción/Extracción (OADM)	29
2.5 Multiplexaje Óptico de Inserción/Extracción Reconfigurable (ROADM)	30
2.6 Referencias	32
Capítulo 3 Tecnologías y Redes de Transporte	33
3.1 Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN)	34
3.2 Jerarquía digital plesiócrona (PDH)	35
3.3 Jerarquía Digital Síncrona (SONET/SDH)	36
3.4 Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)	39
3.5 Modo de Transferencia Asíncrona (ATM)	41
3.6 Redes Ópticas de Transporte (OTN)	45
3.7 Conmutación Multiprotocolo por Etiquetas (MPLS)	50
3.7.1 Conmutación Generalizada Multiprotocolo por Etiquetas (GMPLS)	55
3.8 Redes Ópticas por Conmutación Automática (ASON)	58
3.8.1 Redes Ópticas por Conmutación de Longitud de Onda (WSON)	64
3.9 Norma IEEE 802.3 Ethernet	65
3.9.1 Norma IEEE 802.3ba (Ethernet 40/100Gbps)	66
3.9.2 Metro Ethernet	70
3.9.3 Carrier Ethernet	75
3.9.4 Foro Metro Ethernet (MEF)	75
3.10 Estudio Comparativo de las Tecnologías de Transporte	78
3.11 Redes de Próxima Generación (NGN)	81
3.12 Referencias	82
Capítulo 4 Tecnologías y Redes de Fibra Óptica de Última Milla	86
4.1 Redes Híbridas Fibra Óptica-Coaxial (HFC)	87
4.1.1 Especificación de Interfaz de Datos sobre Servicios de Cable (DOCSIS)	88
4.2 Redes Ópticas Pasivas (PON)	90
4.2.1 Redes Ópticas Pasivas ATM (APON)	90
4.2.2 Redes Ópticas Pasivas de Difusión (BPON)	91
4.2.3 Redes Ópticas Pasivas con capacidad de Gigabit (GPON)	91
4.2.4 Redes Ópticas Pasivas con capacidad Ethernet (EPON)	94
4.2.5 Redes Ópticas Pasivas XG (XG-PON)	98
4.2.6 Redes Ópticas Pasivas con capacidad WDM (WDM-PON)	100
4.3 Redes de Fibra Óptica Hasta el "X" (FTTx)	102
4.3.1 Fibra Hasta La Acera (FTTC)	102
4.3.2 Fibra Hasta El Edificio (FTTB)	103
4.3.3 Fibra Hasta El Hogar (FTTH)	103
4.4 ¿Qué es la banda ancha?	104

4.5 Estudio Comparativo de las Tecnologías de Última Milla.....	106
4.7 Referencias	108
Capítulo 5 Propuesta para la RedUNAM Metropolitana de Fibra Óptica (RUM).....	112
5.1 Definición de la propuesta	114
5.1.1 Ubicación y definición de la interconexión de las dependencias de la UNAM	117
5.1.2 Resumen estadístico.....	119
5.1.2.1 Escuelas Nacionales Preparatorias (ENPs)	119
5.1.2.2 Colegios de Ciencias y Humanidades (CCHs).....	119
5.1.2.3 Facultades de Estudios Superiores (FESs)	119
5.1.2.4 Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGCTICs)	120
5.1.2.5 Edificios administrativos y otros.....	120
5.1.2.6 Tabla de ascendente de distancias de las ENPs, CCHs y FESs.....	121
5.1.2.7 Tabla posicional de distancias.....	122
5.1.3 Opciones de diseño iniciales en la Última Milla para la RedUNAM Metropolitana....	124
5.1.4 Opciones de diseño con la tecnología PON en la Última Milla para la RedUNAM Metropolitana.....	126
5.1.5 Opciones de diseño finales para la RedUNAM Metropolitana.....	128
5.1.5.1 Opción 1: WDM con par FO BB-Delta (Con equipo Cisco)	128
5.1.5.2 Opción 2: WDM otro par FO, otro Mux/Demux BB-Delta (Con equipo Cisco) ...	128
5.1.5.3 Opción 3: Sin WDM con otro par FO BB-Delta (Con equipo Cisco).....	129
5.1.5.4 Opción 4: WDM con par FO BB-Delta (X Fabricante)	129
5.1.5.5 Opción 5: WDM otro par FO, otro Mux/Demux BB-Delta (X fabricante).....	130
5.1.5.6 Opción 6: Sin WDM con otro par FO BB-Delta (X Fabricante).....	130
5.1.5.7 Opción 7: Sin WDM con otro par FO BB-Delta (Equipo RedUNAM)	131
5.2 Metas y Alcances	132
5.3 Fases de la red.....	132
5.3.1 Fase 1.....	132
5.3.1.1 Topologías Lógicas y Físicas	133
5.3.1.2 Tabla de distancias aproximadas (Fase 1).....	137
5.3.1.3 Opciones de diseño para la RedUNAM Metropolitana en su Fase 1	138
5.4 Topología Normal de la RedUNAM Metropolitana	140
5.5 Topología Potencial de la RedUNAM Metropolitana.....	141
5.6 Distribución de las dependencias de la UNAM en el Distrito Federal.....	142
5.7 Ventajas y desventajas de la propuesta	143
5.8 Pre-bases técnicas de la licitación	143
5.9 Referencias	144
Capítulo 6 Propuesta de Maqueta de Pruebas y Resultados esperados	145
PROTOCOLO GENERAL DE PRUEBAS DE WDM	145
Capítulo 7 Conclusiones	173
Anexo A Telecomunicaciones en Estadísticas Mundiales.....	176
Estadísticas de Telecomunicaciones en México	179
Anexo B Distancias por línea de vista y terrestres de las Dependencias de la UNAM a las estaciones del metro (STC).....	180
Resumen de distancias	199
Glosario.....	202
Notas Finales	213

Índice de Figuras

Capítulo 1

Figura 1.1 Topología Red CUDI [5].....	3
Figura 1.2 Topología Delta Metropolitana de Cómputo de Alto Rendimiento (DeMeCAR)	3
Figura 1.3 Topología del Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (LANCAD) [7]	4
Figura 1.4 Levantamiento (tritubos utilizados).....	5
Figura 1.5 Construcción de la canalización	5
Figura 1.6 Colocación de Tubería.....	6
Figura 1.7 Registros.....	6
Figura 1.8 Reposición de Banquetas y Jardines.....	6
Figura 1.9 Acabado y Trayectoria Final	7
Figura 1.10 Acometida a Instalaciones STC.....	7
Figura 1.11 Inmersión de fibra Óptica.....	7
Figura 1.12 Fusión de Fibra Óptica en Rack	7
Figura 1.13 Topología Red CLARA [11]	8
Figura 1.14 Redes Académicas Internacionales [12].....	9
Figura 1.15 Comparación del tamaño de los Hilos de Fibra con respecto a un lapicero y una goma	10
Figura 1.16 Partes de una Fibra Óptica [13]	10
Figura 1.17 Dimensiones del revestimiento y núcleo de una fibra monomodo [14]	10
Figura 1.18 Dimensiones del revestimiento y núcleo de una fibra multimodo [14]	12
Figura 1.19 Fibra multimodo de índice escalonado [13]	12
Figura 1.20 Fibra multimodo de índice gradual [13]	12
Figura 1.21 Ley de Snell.....	13
Figura 1.22 Ángulo crítico.....	13
Figura 1.23 Ángulo de aceptación y crítico	14
Figura 1.24 Atenuación en una fibra óptica α vs λ [3].....	15
Figura 1.25 Cable de Estructura Holgada [18]	16
Figura 1.26 Cable de estructura ajustada [18].....	16
Figura 1.27 Cable de Fibra Óptica blindado [18]	17
Figura 1.28 Empalmes y conexiones de Fibra Óptica [19].....	18
Figura 1.29 Conectores de Fibra Óptica	19

Capítulo 2

Figura 2.1 Concepto de FDM [2].....	22
Figura 2.2 Concepto de TDM [2]	22
Figura 2.3 TDM Síncrono y Asíncrono [4].....	23
Figura 2.4 Concepto WDM [6].....	23
Figura 2.5 Rejilla de longitudes de onda utilizada por CWDM [7]	24
Figura 2.6 Norma G.652.C ZWPF [9]	24
Figura 2.7 Recomendación UIT-T G.695 [9].....	25
Figura 2.8 Recomendación UIT-T G.695 [9].....	25
Figura 2.9 Canales Ópticos DWDM [13]	27
Figura 2.10 Recomendación UIT-T G.959.1 [13].....	27
Figura 2.11 Recomendaciones UIT-T G.698.1 y G.698.2 [13]	27
Figura 2.12 DWDM [11]	28
Figura 2.13 CWDM [11]	28
Figura 2.14 Concepto OADM.....	29
Figura 2.15 Estructura OADM [11].....	29
Figura 2.16 Concepto OADM.....	29
Figura 2.17 Variaciones de OADM [14]	30
Figura 2.18 Concepto OXC	30
Figura 2.19 Estructura OXC [11].....	30
Figura 2.20 Switching, Wavelength Switching y Wavelength Conversation	31

Capítulo 3

Figura 3.1 Modelo de redes [1].....	33
Figura 3.2 Red Telefónica Pública Conmutada PSTN y Conmutación de Circuitos [2]	34

Figura 3.3 TDM y E0 aplicado en una red PSTN [2]	34
Figura 3.4 Tributaria E1 en PDH [2]	35
Figura 3.5 Creación de tributarias en PDH [2]	35
Figura 3.6 Velocidades binarias jerárquicas en las redes digitales PDH [4].....	35
Figura 3.7 Estructura de la trama STM-1 en SDH [6]	37
Figura 3.8 Creación de una tributaria STM-1 en SDH [7].....	37
Figura 3.9 Interfaz de Servicio Básico BRI e Interfaz de Servicio Primario PRI de ISDN [10]	39
Figura 3.10 Modelo de referencia de protocolos de la ISDN [11].....	40
Figura 3.11 Estructura de la célula en la Unit Network Interface o Network Node Interface [12].....	41
Figura 3.12 Relación entre canal virtual, trayecto virtual y trayecto de transmisión [12]	42
Figura 3.13 Representación de la conmutación de VC y VP [12]	42
Figura 3.14 Representación de la conmutación de VP [12].....	42
Figura 3.15 Relación jerárquica de capa a capa [12]	43
Figura 3.16 Ejemplos de capas de transmisión y señales de interfaz [14]	44
Figura 3.17 Estructura OTN [15].....	45
Figura 3.18 Puntos de terminación de capas OTN [15]	45
Figura 3.19 Encapsulamiento de la señal cliente, Parte I [15]	46
Figura 3.20 Encapsulamiento de la señal cliente, Parte II [15].....	46
Figura 3.21 Unidad de Carga Óptica OPU-k general [16].....	46
Figura 3.22 Unidad de Carga Óptica OPU-k detallada [16]	47
Figura 3.23 Unidad Óptica de Datos ODU-k general [16]	47
Figura 3.24 Unidad Óptica de Datos ODU-k detallada [16].....	47
Figura 3.25 Encabezado de alineación de trama OTU-k/ODU-k general [16]	47
Figura 3.26 Encabezado de alineación de trama OTU-k/ODU-k completa [16]	48
Figura 3.27 Encabezado OTU-k general [16].....	48
Figura 3.28 Encabezado OTU-k completa [9]	48
Figura 3.29 Agrupación de señales cliente en OTN [16].....	49
Figura 3.30 Concepto MPLS [18].....	50
Figura 3.31 LER y LSR [17] [19].....	50
Figura 3.32 LSP (Ruta de conmutación de etiquetas) [17] [19].....	51
Figura 3.33 Estructura del encabezado MPLS [17] [19].....	51
Figura 3.34 Encapsulación de MPLS [17] [19]	52
Figura 3.35 Encapsulación ATM, PPP, IEEE 802 y Frame Relay [17] [19]	52
Figura 3.36 LSR upstream y LSR downstream [17] [19]	53
Figura 3.37 Asignación Downstream [17] [19]	53
Figura 3.38 Downstream Bajo Demanda [17] [19].....	53
Figura 3.39 Downstream No Solicitado [17] [19]	53
Figura 3.40 Asignación Upstream [17] [20].....	53
Figura 3.41 Plano de control y de datos [17] [19].....	54
Figura 3.42 Jerarquía de LSPs [21].....	56
Figura 3.43 Pila de Protocolos de GMPLS [21]	56
Figura 3.44 Etiqueta generalizada de GMPLS [22]	56
Figura 3.45 Arquitectura lógica de una red ASON [24]	58
Figura 3.46 Puntos de Referencia de UNI [24].....	59
Figura 3.47 Visión general de los bloques de las ASON [24]	60
Figura 3.48 Planos de ASON [24]	61
Figura 3.49 Interacciones del plano de Gestión/Transporte con recursos de transporte [23].....	61
Figura 3.50 Servicio de conexión PC de ASON [24]	63
Figura 3.51 Servicio de conexión SPC de ASON [24]	63
Figura 3.52 Servicio de conexión SC de ASON [24]	63
Figura 3.53 Recomendaciones UIT de ASON [24]	64
Figura 3.54 Formato del nombre de Normas Ethernet [27]	66
Figura 3.55 Línea de tiempo de la norma IEEE 802.ba [29]	66
Figura 3.56 Multiplexación FDM DP-QPSK [30].....	67
Figura 3.57 Multiplexación OPFDM-RZ-DQPSK [30].....	67
Figura 3.58 PDM-QPSK con detección Coherente [30].....	67
Figura 3.59 Resumen Técnicas Modulación – Espectro - Capacidad 40G [30]	68
Figura 3.60 Técnica de modulación vs bit por símbolo vs velocidad de transmisión 40G [30].....	68

Figura 3.61 Técnica de modulación vs eficiencia espectral vs capacidad del canal de 100G [30].....	69
Figura 3.62 40GBASE - KR4, CR4, SR4, LR4 y 100GBASE - CR10, SR10, LR4, ER4 [31].....	69
Figura 3.63 Metro Ethernet Network (MEN) [32].....	70
Figura 3.64 User Network Interface (UNI) [33].....	71
Figura 3.65 Conexión Virtual Ethernet Punto a Punto (E-Line) [33].....	71
Figura 3.66 Conexión Virtual Ethernet Multipunto a Multipunto (E-LAN) [33].....	71
Figura 3.67 E-Line (Conexión Virtual Ethernet Punto a Punto [33].....	72
Figura 3.68 E-LAN (Conexión Virtual Ethernet Multipunto a Multipunto) [33].....	72
Figura 3.69 Ejemplo de un Ethernet Private TREE [33].....	73
Figura 3.70 Ejemplo de un Ethernet Virtual Private Tree [33].....	73
Figura 3.71 E-Access Service [34].....	74
Figura 3.72 Servicio OAM [35].....	74
Figura 3.73 Implementación Intercambio de Carrier Ethernet (Carrier Ethernet Exchanged) [35].....	74
Figura 3.74 Implementación Proveedores de Servicios Carrier Ethernet (Carrier Ethernet Service Provider) [35].....	74
Figura 3.75 Concepto de Carrier Ethernet [35].....	75
Figura 3.76 Participantes Metro Ethernet.....	76
Figura 3.77 Acceso de Carrier Ethernet a tecnologías de última milla.....	77
Figura 3.78 Evolución de las redes NGN.....	81

Capítulo 4

Figura 4.1 Tecnologías de acceso o de última milla [2].....	86
Figura 4.2 Arquitectura típica de una red CATV coaxial tradicional [3].....	87
Figura 4.3 Arquitectura HFC (Híbrida Fibra-Coax) [3].....	87
Figura 4.4 Redes Ópticas Pasivas PON [7].....	90
Figura 4.5 Escenario de un sistema genérico para GPON [11].....	91
Figura 4.6 Escenario OLT Puro para GPON [11].....	91
Figura 4.7 Escenario Grooming OLT para GPON [11].....	92
Figura 4.8 Escenario VDSL/POTS ONU para GPON [11].....	92
Figura 4.9 Escenario Modem para GPON [11].....	92
Figura 4.10 Escenario ONT Integrado para GPON [11].....	93
Figura 4.11 Escenario Gateway Residencial ONT para GPON [11].....	93
Figura 4.12 Configuración común de GPON [12].....	93
Figura 4.13 Aplicación de video en GPON [13].....	94
Figura 4.14 Ejemplo de una topología punto a punto de EPON [15].....	95
Figura 4.15 Ejemplo de una topología Punto a Multipunto de EPON [15].....	95
Figura 4.16 Dirección downstream de EPON [16].....	96
Figura 4.17 Dirección upstream de EPON [16].....	96
Figura 4.18 EFM para tecnologías punto a multipunto [17].....	97
Figura 4.19 Escenario de un sistema genérico para XG-PON [20].....	98
Figura 4.20 Escenario OLT Puro para XG-PON [20].....	99
Figura 4.21 Escenario Grooming OLT para XG-PON [20].....	99
Figura 4.22 Escenario VDSL/POTS ONU para XG-PON [20].....	99
Figura 4.23 Escenario Modem XG-PON para XG-PON [20].....	100
Figura 4.24 Escenario ONU Integrado para XG-PON [20].....	100
Figura 4.25 Gateway Residencial ONU para XG-PON [20].....	100
Figura 4.26 Arquitectura WDM-PON [22].....	101
Figura 4.27 Diferentes configuraciones de FTTx [26].....	102
Figura 4.28 Fibra Hasta La Acera (FTTC) [26].....	103
Figura 4.29 Fibra Hasta El Edificio (FTTB) [26].....	103
Figura 4.30 Fibra Hasta el Hogar (FTTH) [26].....	103
Figura 4.31 Abonos con banda ancha fija (alámbricas), por velocidad, países seleccionados, 2010 [27].....	104

Capítulo 5

Figura 5.1 Dependencias de la UNAM distribuidas a lo largo del Distrito Federal y zona conurbada [2].....	112
Figura 5.2 Red Metropolitana DELTA y líneas del metro.....	115

Figura 5.3 Ubicación de las Escuelas Nacionales Preparatorias (ENPs) (marcadores amarillos).....	115
Figura 5.4 Ubicación de los Colegios de Ciencias y Humanidades (CCHs) (marcadores verdes).....	115
Figura 5.5 Ubicación de las Facultades de Estudios Superiores (FESs) (marcadores azules) .	115
Figura 5.6 Ubicación de sedes de DGCTIC (círculos verdes) y edificios administrativos, entre otros (círculos amarillos).	116
Figura 5.7 Vista general de la ubicación de las 56 dependencias de la UNAM.....	116
Figura 5.8 Conexión inicialmente contemplada para el acceso a la última milla de la RedUNAM Metro vía WiMAX	124
Figura 5.9 Conexión inicialmente contemplada para el acceso a la última milla de la RedUNAM Metro vía HiperLAN	124
Figura 5.10 Conexión inicialmente contemplada para el acceso a la última milla de la RedUNAM Metro vía xDSL.....	125
Figura 5.11 Conexión inicialmente contemplada para el acceso a la última milla de la RedUNAM Metro vía PLC	125
Figura 5.12 Configuración simple de la tecnología PON en una dependencia de la UNAM ..	126
Figura 5.13 Configuración simple de la tecnología PON en dos dependencias de la UNAM .	126
Figura 5.14 Configuración simple de la tecnología PON en tres (o más) dependencias de la UNAM	127
Figura 5.15 Configuración con vídeo de la tecnología PON en dos dependencias de la UNAM	127
Figura 5.16 WDM con par FO BB-Delta (Cisco).....	128
Figura 5.17 WDM otro par FO, otro Mux/Demux BB-Delta (Cisco).....	128
Figura 5.18 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (Cisco)	129
Figura 5.19 WDM con par FO BB-Delta (X Fabricante)	129
Figura 5.20 WDM otro par FO, otro Mux/Demux BB-Delta (X fabricante)	130
Figura 5.21 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (X Fabricante).....	130
Figura 5.22 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (Equipo RedUNAM)	131
Figura 5.23 Topología lógica de la fase 1 de la RedUNAM Metropolitana	132
Figura 5.24 Topología física ENP 2 (Distancia total = 1.4km).....	133
Figura 5.25 Topología lógica ENP 2 (Distancia total = 1.33km)	133
Figura 5.26 Topología física ENP 7 (Distancia total = 1.09km).....	134
Figura 5.27 Topología lógica ENP 7 (Distancia total = 0.73km)	134
Figura 5.28 Topología física ENP 9 (Distancia total = 190m).....	135
Figura 5.29 Topología lógica ENP 9 (Distancia total = 0.19km)	135
Figura 5.30 Topología física CCH Vallejo (Distancia total = 950m)	136
Figura 5.31 Topología lógica CCH Vallejo (Distancia total = 852.06m)	136
Figura 5.32 Mapa de empalmes posibles (3 Trayectorias-Estaciones Red DELTA)	137
Figura 5.33 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (ENP2).....	138
Figura 5.34 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (ENP7).....	138
Figura 5.35 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (ENP9).....	139
Figura 5.36 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (CCH Vallejo)	139
Figura 5. 37 Topología Normal de la RedUNAM Metropolitana.....	140
Figura 5.38 Topología Potencial de la RedUNAM Metropolitana	141
Figura 5.39 Distribución de las dependencias de la UNAM.....	142
Figura 5.40 Distribución de las dependencias de la UNAM en el DF (3D).....	142

Índice de Tablas

Capítulo 1

Tabla 1.1 Listado de redes académicas Internacionales [12]	9
Tabla 1.2 Atributos UIT-T G.652.A [15].....	11
Tabla 1.3 Atributos UIT-T G.652.B [15].....	11
Tabla 1.4 Atributos UIT-T G.652.C [15].....	11
Tabla 1.5 Atributos UIT-T G.652.D [15].....	11
Tabla 1.6 Atributos UIT-T G.651.1 [16]	12
Tabla 1.7 Bandas Ópticas	15

Capítulo 2

Tabla 2.1 Longitudes de onda, recomendación G.694.2 [10]	25
Tabla 2.2 Malla de frecuencias para un separado de 100Ghz [12]	26

Capítulo 3

Tabla 3.1 Comparativa entre SONET y SDH	36
Tabla 3.2 Equivalencias de las tasas de transmisión SDH/SONET [6]	36
Tabla 3.3 Jerarquía de la red de transporte ATM [12]	41
Tabla 3.4 Etiquetas reservadas en MPLS [17] [19]	51
Tabla 3.5 Tabla de normas Ethernet [27].....	65
Tabla 3.6 Especificaciones MEF	76

Capítulo 4

Tabla 4.1 Modulación DOCSIS [4]	88
Tabla 4.2 Configuración de velocidades APON [9]	90
Tabla 4.3 Capa física de la norma IEEE 802.3ah [17].....	98

Capítulo 5

Tabla 5.1 Direcciones física de las Escuelas Nacionales Preparatorias y Colegios de Ciencias y Humanidades.....	117
Tabla 5.2 Direcciones físicas de las Facultades de Estudios Superiores (FES) y Direcciones Generales Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGCTIC).....	118
Tabla 5.3 Direcciones físicas de las dependencias generales, tales como Museos, Direcciones Generales, Edificios Históricos, Coordinaciones, entre otras	118
Tabla 5.4 Distancia y línea de vista corta de ENPs.....	119
Tabla 5.5 Distancia y línea de vista corta de ENPs (Orden ascendente).....	119
Tabla 5.6 Distancia y línea de vista corta de CCHs	119
Tabla 5.7 Distancia y línea de vista corta de CCHs (Orden ascendente)	119
Tabla 5.8 Distancia y línea de vista corta de las FESs.....	119
Tabla 5.9 Distancia y línea de vista corta de las FESs (Orden ascendente)	119
Tabla 5.10 Distancia y línea de vista corta de las DGCTICs	120
Tabla 5.11 Distancia y línea de vista corta de las DGCTICs (Orden ascendente)	120
Tabla 5.12 Distancia y línea de vista corta de las Dependencias	121
Tabla 5.13 Distancia y línea de vista corta de las Dependencias (Orden ascendente)	121
Tabla 5.14 Ranking de distancias ascendentes de las ENPs, CCHs y FES.....	121
Tabla 5.15 Ranking general de las 56 dependencias de la UNAM en base a su distancia. 123	
Tabla 5.16 Distancias aproximadas de las ENP 9, 7, 2 y el CCH Vallejo a las estaciones del STC (por calle y por ductos del metro)	137
Tabla 5.17 Resumen de distancias de las ENP 9, 7, 2 y el CCH Vallejo a las estaciones del STC	137
Tabla 5.18 Distribución de las dependencias de la UNAM	142

Objetivo

El objetivo principal de la tesis consistió en documentar, proponer y desarrollar, principalmente, la primer fase de diseño de la expansión y evolución de la red del actual Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (LANCAD), antes conocido como Delta Metropolitana de Cómputo de Alto Rendimiento (DeMeCAR), donde participa la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); así mismo, establecer una propuesta de protocolo de pruebas que se realizará como parte del diseño y proceso de licitación de lo que será la RedUNAM Metropolitana que interconectará -con fibra óptica propia- dependencias de la UNAM tales como: CCHs, ENPs, FESs y edificios administrativos, entre otros, localizados en la zona metropolitana de la ciudad de México y parte del Estado de México.

Alcances

Mostrar un estudio de las más recientes tecnologías de transporte y de última milla a nivel internacional así como también, presentar una propuesta lo más detallada posible de las fases a seguir en el diseño de la RedUNAM Metropolitana incluyendo diagramas, topologías de red, estudios y un protocolo de pruebas preliminar, así como todo lo necesario para el cumplimiento de al menos la primera fase del proyecto que incluyen:

- Crear un *Backbone* de fibra óptica central o principal, al que podría llamarse “RedUNAM Metropolitana”.
- Utilizar la combinación de tecnologías de última milla sobre la fibra óptica instalada –y/o por instalar- para la optimización de los recursos de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Diseñar distintos escenarios con los que se podrá trabajar en las fases del proyecto.
- Crear una infraestructura abierta para la transmisión de cualquier tipo de servicio y protocolos de comunicación.
- Utilizar fibra óptica que reduzca costos de renta y mantenimiento de los enlaces dedicados actuales, que permita también aumentar los anchos de banda de la red, en base principalmente a la demanda, con mayor facilidad sin depender de terceros, conforme crezca el número de usuarios, servicios y/o aplicaciones.

Resultados esperados

- Aportar un estudio de las tecnologías de transporte más viables a utilizar.
- Aportar un estudio de las tecnologías de última milla también más viables.
- Mencionar las ventajas de una red metropolitana de fibra óptica propia.
- Presentar una propuesta de diseño de los posibles escenarios de la primera fase de la RedUNAM Metropolitana.
- Presentar un primer caso de estudio de la interconexión de algunas escuelas de nivel medio superior de la UNAM.
- Contribuir con el desarrollo de redes de fibra óptica entre las universidades de México.

Capítulo 1

Introducción

Actualmente las redes académicas se pueden desplegar en forma metropolitana, más recientemente, o en área extensa, redes MAN o WAN, por sus siglas en inglés, respectivamente; estas últimas son conocidas a mayor rango como Redes Nacionales de Investigación y Educación (RNIE) permitiendo a académicos, científicos e investigadores, colaborar y compartir información y recursos a través de una serie de redes interconectadas. Éstas, son utilizadas para transferir datos, soportar los experimentos y aplicaciones que son cruciales para la investigación académica y la educación.

Crear una red metropolitana con fines académicos en México, permitirá a los investigadores que están geográficamente dispersos, comunicarse unos con otros a través de distancias relativamente grandes. Sin estas redes, muchos proyectos de investigación que están o estarán en la frontera del conocimiento, simplemente no existirían.

Durante los últimos años, la rápida evolución de las tecnologías de telecomunicación y, particularmente, de las de comunicación de datos ha permitido el crecimiento de la investigación y en particular, de la proliferación de las redes académicas nacionales y/o de área extensa. Ya que, en estas redes existe la vanguardia de los desarrollos tecnológicos y son ideales para la experimentación con nuevos servicios antes que estén disponibles para el mercado. Este tipo de redes son la plataforma ideal para pruebas experimentales de nuevos servicios, usos, aplicaciones y tecnologías avanzadas de red. Desde las videoconferencias de alta calidad, combinadas con herramientas que generan espacios virtuales comunes de trabajo, hasta la formación de *grids* computacionales que conforman institutos de investigación virtuales. El límite está dado sólo por inteligencia humana; la única meta: acrecentar el conocimiento.

1.1 Antecedentes

A partir de la iniciativa de las universidades más grandes de México, interesadas en trabajar en proyectos de investigación conjunta (tanto a nivel nacional como internacional), surge la necesidad de integrar y dar coherencia a los esfuerzos que venían realizando cada una de ellas, a través de un organismo que tuviera personalidad jurídica semejante a la de organismos internacionales dedicados a coordinar los trabajos de redes académicas a nivel internacional.

Siguiendo el desarrollo mundial de redes de datos de mayor capacidad y velocidad, para utilizarlas en aplicaciones de alta tecnología, se toma la iniciativa de desarrollar una red de alta velocidad y unirse a la red de EUA, con el fin de dotar a la comunidad científica y universitaria de México de una red de telecomunicaciones que le permita crear una nueva generación de investigadores, dotándolos de mejores herramientas que les permitiera desarrollar aplicaciones científicas y educativas de alta tecnología a nivel mundial [2].

Es así como el 8 de abril de 1999 se instituyó la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI). Apoyándose en este compromiso, Teléfonos de México y Axtel que habían aportado sin costo a la red CUDI 8,000 kilómetros de red dorsal de alta capacidad. A cambio de esta donación se ha establecido que la red tiene que cursar exclusivamente tráfico de carácter educativo o de investigación. En la actualidad la red de CUDI cuenta con una infraestructura de más de 8,000 kilómetros de enlaces de alta capacidad que operan a una velocidad de 155 megabits por segundo. Esta red dorsal abarca gran parte del territorio nacional. Como se muestra en la figura 1.1, se cuenta además con tres enlaces de mayor velocidad que permiten la interconexión con las principales redes académicas de Estados Unidos y del resto del mundo. A través de estos enlaces es posible tener acceso a más de 70 redes similares de Europa, Asia, Oceanía y América Latina que interconectan a más de 10,000 universidades y centros de investigación [3].

En la figura 1.1 podemos apreciar la interconexión de la red CUDI a la red RI3 (Red de Telecomunicaciones para Impulsar la Investigación en las Instituciones Académicas), de reciente creación, que tiene como objetivo implementar una red de comunicaciones avanzada de investigación e innovación que permita a aquellas universidades públicas o privadas del país establecer contacto con otras universidades e institutos de investigación a nivel internacional y a redes académicas también internacionales.

Además apreciaremos la red NIBA (Red Nacional para el Impulso de la Banda Ancha), la cual es un proyecto de la CFE (Comisión Federal de Electricidad) y la STC (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) que busca proporcionar conectividad de banda ancha a centros educativos, centros de salud, oficinas de gobierno, universidades, entidades de la federación y municipios del país. Esta red contará con 33 estatales conectadas, en diferentes ciudades, dentro de las cuales están –no aparecen en el diagrama–: Puebla, Colima, Guerrero, Durango, Morelos, entre otras.

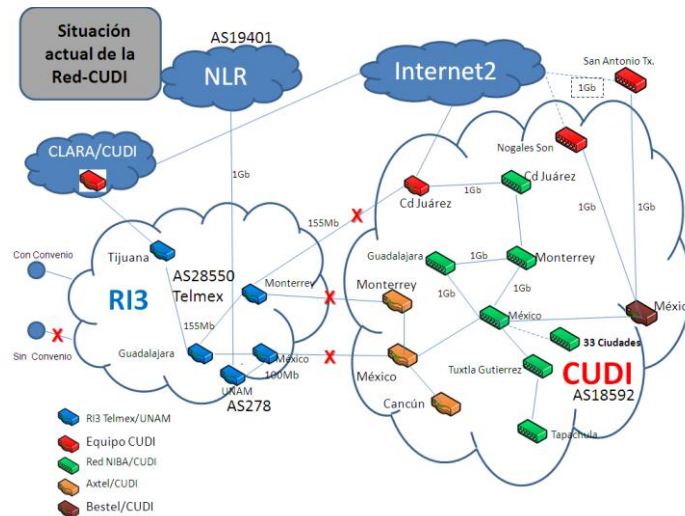


Figura 1.1 Topología Red CUDI [5]

1.1.1 Delta Metropolitana de Cómputo de Alto Rendimiento (DeMeCAR)

La Delta Metropolitana de Cómputo de Alto Rendimiento (DeMeCAR), por sus siglas en español, surge como un proyecto entre las tres instituciones de educación pública más grandes del país: la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Tiene como principal objetivo la creación de un laboratorio de cómputo de alto rendimiento que permita abordar y resolver de una manera más sencilla los problemas científicos más demandantes. Actualmente se encuentra en funcionamiento sobre una red de fibra óptica propia empleando tecnología WDM y Metro Ethernet. En la figura 1.2 se muestra la topología.

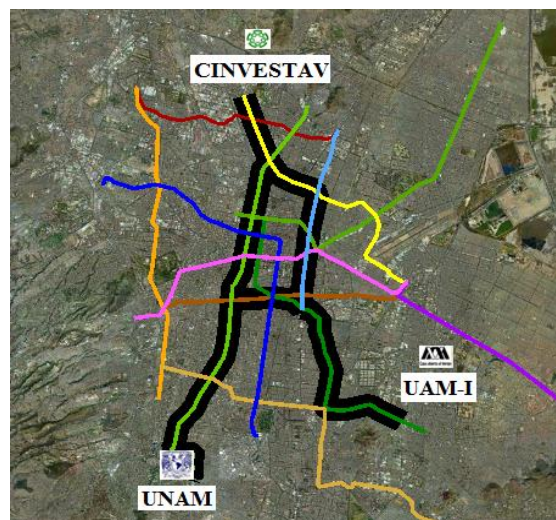


Figura 1.2 Topología Delta Metropolitana de Cómputo de Alto Rendimiento (DeMeCAR)

De esta manera, las tres instituciones mexicanas pueden compartir recursos de sus centros de Cómputo de Alto Rendimiento, con el objetivo de que científicos, principalmente del área metropolitana, tengan acceso a estas herramientas para desarrollar proyectos de investigación científica [3].

1.1.2 Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (LANCAD)

Con la finalidad de apoyar la investigación y el desarrollo tecnológico del país, en los campos que requieren del cómputo de alto desempeño numérico, las tres universidades acordaron firmar un convenio de colaboración para crear el Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (LANCAD). Estas tres instituciones académicas que generan el 55.6% de las publicaciones científicas producidas en México¹, están interconectadas mediante una red de fibra óptica denominada Delta Metropolitana, construida a través de la infraestructura del Sistema de Transporte Colectivo STC (Metro) y con apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Como se muestra en la figura 1.3.

Uno de los objetivos del LANCAD es integrar muchas más instituciones académicas mexicanas, a fin de realizar proyectos conjuntos y contribuir así a que se desarrollen y fortalezcan. Otro aspecto importante del LANCAD es que su Delta Metropolitana permitirá tráfico de datos con un ancho de banda sin precedente en el entorno académico nacional [6], [8].

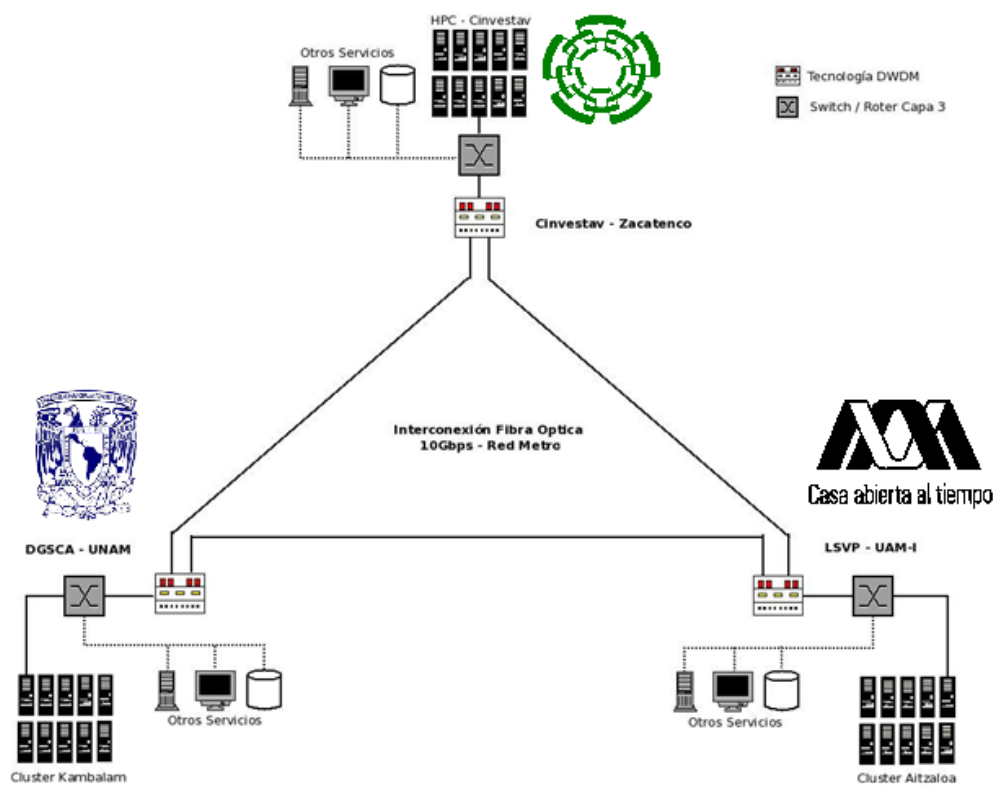


Figura 1.3 Topología del Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (LANCAD) [7]

Algunos de los principales beneficios previstos por la creación del LANCAD son [3]:

- Difusión del uso de cómputo de alto desempeño como una herramienta de investigación científica a disposición de la comunidad académica nacional.
- Estudiantes y personal académico de diversas instituciones educativas tienen acceso a herramientas de hardware y software científico de vanguardia.
- Promoción y facilidad de colaboración entre instituciones académicas, a fin de realizar en forma conjunta proyectos que impulsen el desarrollo y fortalecimiento.
- Formación de recursos humanos especializados en cómputo de alto desempeño, de manera que puedan participar en la solución de problemas científicos y prácticos de alta complejidad y de impacto regional y nacional.
- Exposición de estudiantes de licenciatura y posgrado, en informática y áreas afines, a nuevos paradigmas de cómputo.

¹ Según el grupo de investigación SCIMAGO <http://www.scimago.es>

1.1.3 Tramo de última milla en Ciudad Universitaria

La colocación de la fibra óptica en el tramo de la última milla en Ciudad universitaria se llevó en general, con los siguientes actividades [9]:

- Levantamiento (Ver figura 1.4)
- Obra Civil para tendido de Fibra Óptica
 - Construcción de la Canalización (Ver figura 1.5)
 - Colocación de Tubería (Ver figura 1.6)
 - Registros (Ver figura 1.7)
 - Reposición de Banquetas y Jardines (Ver figura 1.8)
 - Acabado y Trayectoria Final (Ver figura 1.9)
 - Acometida a Instalaciones STC (Ver figura 1.10)
- Inmersión de fibra Óptica (Ver figura 1.11)
- Fusión de Fibra Óptica (Ver figura 1.12)



Figura 1.4 Levantamiento (tritubos utilizados)



Figura 1.5 Construcción de la canalización



Figura 1.6 Colocación de Tubería



Figura 1.7 Registros



Figura 1.8 Reposición de Banquetas y Jardines



Figura 1.9 Acabado y Trayectoria Final



Figura 1.10 Acometida a Instalaciones STC



Figura 1.11 Inmersión de fibra Óptica

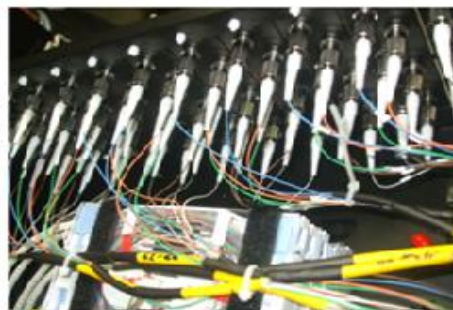
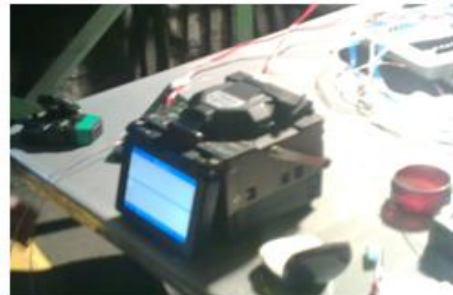


Figura 1.12 Fusión de Fibra Óptica en Rack

1.2 Redes Académicas

En el mundo, las redes académicas de área extensa, se definen como la aplicación de todas aquellas herramientas que se construyen y utilizan sobre la red para el desarrollo de la ciencia, la educación y la investigación. En estricto rigor, en estas infraestructuras tecnológicas todas las herramientas y servicios son productos de aplicaciones que han sido desarrolladas por expertos. Algunas de estas aplicaciones marcan una gran diferencia en el cómo se llevan a cabo los procesos de enseñanza-aprendizaje e investigación. Las aplicaciones desarrolladas requieren para su funcionamiento de las redes académicas, lo que implica que ellas no correrán ni funcionarán sobre el Internet comercial.

Desde los inicios de las redes académicas se han desarrollado muchas otras aplicaciones, varias de ellas ya han sido traspasadas a la Internet comercial para su uso expandido. El correo electrónico, las videoconferencias, la telefonía IP, son sólo algunos de los ejemplos de aplicaciones que ya son masivas en el escenario comercial de Internet.

Actualmente en Latinoamérica se cuenta con la Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas (CLARA), que persigue, primordialmente, integrar una red regional de telecomunicaciones de la más avanzada tecnología para interconectar a las Redes Académicas Nacionales de la región [10]. Ver su topología en la figura 1.13.

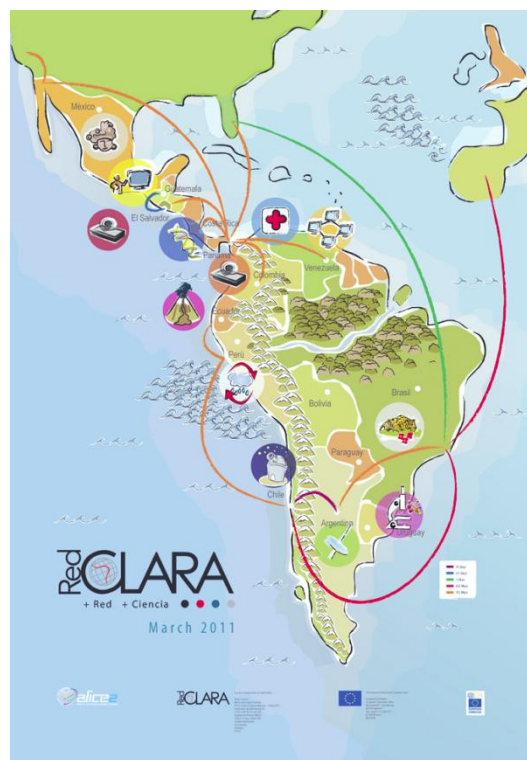


Figura 1.13 Topología Red CLARA [11]

En las redes académicas se está desarrollando una enorme cantidad de aplicaciones para las distintas áreas de la ciencia y del conocimiento.

Cuatro son los atributos principales de estas aplicaciones [10]:

- Ambientes de colaboración participativos, en los que realmente se puede interactuar con otros sin importar las distancias y las barreras geográficas.
- Provisión de acceso común a recursos remotos y distribuidos, tales como telescopios, microscopios, entre otros instrumentales científicos de alto valor.
- Utilización de la red como base para construir redes globales de servicios de conexiones computacionales y de procesamiento de datos; esto posibilita la existencia de las *grids* o Mallas.
- Despliegue de información en ambientes de realidad virtual, lo que supone pasar de gráficos estáticos a flujo de imágenes en tiempo real y a animaciones tridimensionales. Esto permite el desarrollo de aquellas aplicaciones basadas en el uso del video, lo que cubre un amplísimo espectro que va desde la videoconferencia pasando por el video en demanda hasta llegar al control en forma remota de instrumental científico.

1.2.1 Ejemplos internacionales de redes académicas

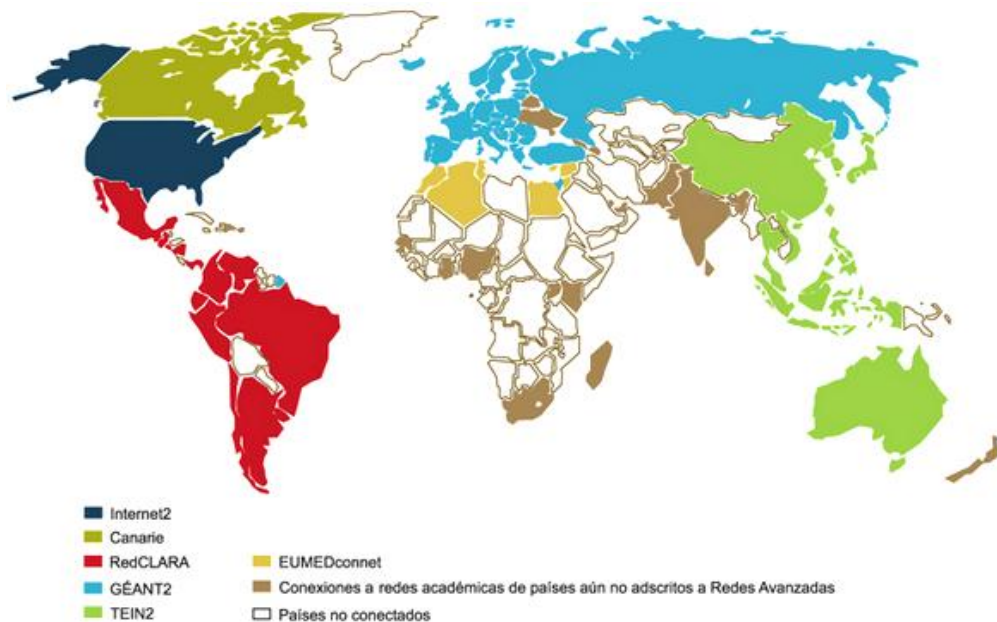


Figura 1.14 Redes Académicas Internacionales [12]

<p>Europa</p> <ul style="list-style-type: none"> • GÉANT2 , red paneuropea • EUMEDCONNECT • South-Eastern European Research & Education Network - SEEREN2 • TERENA • Alemania, DFN • Austria, AConet • Bélgica, BELNET • Bulgaria, ISTF • Checoslovaquia, CESNET • Chipre, CYNET • Croacia, CARNet • Eslovaquia, SANET • Eslovenia, ARNES • España, RedIRIS • Estonia, EENET • Francia, RENATER • Grecia, GRNET • Hungría, NIIF • Irlanda, HEAnet • Israel, IUCC • Italia, GARR • Latvia, LATNET • Lituania, LITNET • Luxemburgo, RESTENA • Malta, University of Malta • Países Bajos, SURFnet • Países Nórdicos, NORDUnet • Polonia, PSNC • Portugal, FCCN • Reino Unido, UKERNA/JANET • Rumania, RoEduNet • Rusia, JSCC • Suiza, SWITCH • Turquía, ULAKBIM 	<p>América del Norte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Canadá, CANARIE • Mapa de conexiones de CA*net4 • Estados Unidos, Internet2 • Página informativa de ABILENE, troncal de Internet2 <p>América Latina</p> <ul style="list-style-type: none"> • CLARA • Argentina, INNOVA RED • Brasil, RNP • Colombia, RENATA • Costa Rica, CR2Net • Chile, REUNA • Ecuador, CEDIA • El Salvador, RAICES • Guatemala, RAGIE • México, CUDI • Nicaragua, RENIA • Panamá, RedCyT • Paraguay, Arandu • Perú, RAAP • Uruguay, RAU • Venezuela, REACCI 	<p>Cuenca Asia Pacífico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trans-Eurasia Information Network-TEIN2 • Asia-Pacífico, APAN • Australia, AAIREP • China, CERNET • CSTNET • NSFCNET • Corea, ANF • KOREN • KREONET2 • Filipinas, PREGINET • Hong Kong, JUCC • India, CDAC • EUNET • Japón, JAIRC • JGN • Malasia, MYREN • MDeC • Nueva Zelanda, NGI-NZ • Singapur, SingAREN • Tailandia, NECTEC • UNINET • ThaiSARN • Taiwán, TANet <p>África</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kenya, KENET • Malawi, MAREN • Mozambique, MoRENnet • Sudáfrica, TENET • Uganda, RENU
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 1.1 Listado de redes académicas Internacionales [12]

1.3 Teoría de la Fibra Óptica

La fibra óptica se utiliza como medio de transmisión debido a la confiabilidad en el transporte de datos, inmunidad a interferencias electromagnéticas y gran ancho de banda que satisface la demanda de capacidad. Este medio consiste en un conductor cilíndrico, delgado, cuyo grosor puede asemejarse al de un cabello humano, capaz de conducir luz por su interior. Ver figura 1.15.

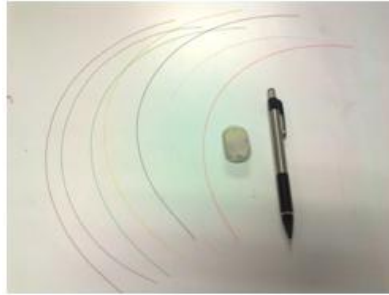


Figura 1.15 Comparación del tamaño de los Hilos de Fibra con respecto a un lapicero y una goma

Los hilos de fibra óptica son formados principalmente por el núcleo, el revestimiento y forro. Ver figura 1.16

- El forro: Es una protección plástica contra la humedad y el esfuerzo mecánico.
- Revestimiento: Sección de vidrio o plástico que recubre al núcleo y su función es contener el haz de luz dentro del núcleo. Puede ser de índice gradual o escalonado.
- Núcleo: Sección de vidrio o plástico que se encarga de contener y transportar la luz.

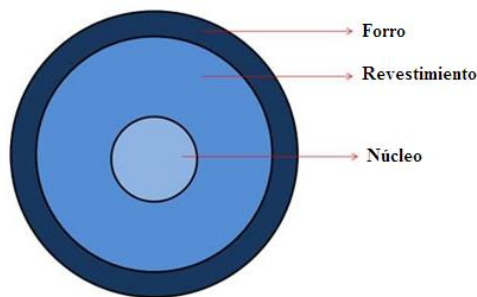


Figura 1.16 Partes de una Fibra Óptica [13]

Existen dos tipos principales de fibra: Multimodo² y Monomodo³

Fibra Monomodo

Este tipo de fibra es denominada monomodo SM (Single Mode) establecida en la recomendación UIT-T G.652. Se trata de la FO más popular en redes de telecomunicaciones actuales. El núcleo tiene una dimensión aproximada de 8-10 μm de diámetro mientras que el diámetro del revestimiento es aproximadamente de 125 μm . En la figura 1.17 vemos como el índice de refracción del revestimiento es mayor al del núcleo, condición necesaria para confinar los rayos de luz.

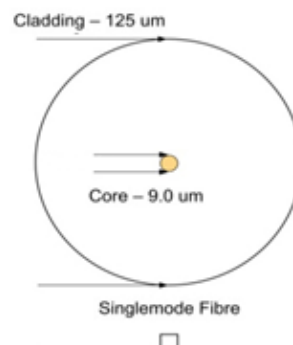


Figura 1. 17 Dimensiones del revestimiento y núcleo de una fibra monomodo [14]

² Recomendación UIT-T G.652

³ Recomendación UIT-T G.651.1, ya que la UIT-T G.651 quedó obsoleta desde el 16 de agosto del 2008

Se cuenta con 4 versiones de la fibra monomodo según la recomendación UIT-T G.652 que son: G.652.A, G.652.B, G.652.C y G.652.D. A continuación se muestra los detalles de cada tipo de fibra:

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1550 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	λ_{omin}	1300 nm
	λ_{omax}	1324 nm
	S_{omax}	0.092 ps/nm ² × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum at 1310 nm	0.5 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.4 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Tabla 1.2 Atributos UIT-T G.652.A [15]

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	λ_{omin}	1300 nm
	λ_{omax}	1324 nm
	S_{omax}	0.092 ps/nm ² × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum at 1310 nm	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.35 dB/km
	Maximum at 1625 nm	0.4 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Tabla 1.3 Atributos UIT-T G.652.B [15]

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	λ_{omin}	1300 nm
	λ_{omax}	1324 nm
	S_{omax}	0.092 ps/nm ² × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum from 1310 nm to 1625 nm	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Tabla 1.4 Atributos UIT-T G.652.C [15]

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	λ_{omin}	1300 nm
	λ_{omax}	1324 nm
	S_{omax}	0.092 ps/nm ² × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum from 1310 nm to 1625 nm	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Tabla 1.5 Atributos UIT-T G.652.D [15]

Fibra multimodo

Este tipo de fibra se divide bajo dos esquemas creados por la ANSI (American National Standards Institute) y UIT

- **FO 62,5/125 µm.**- Fibra óptica multimodo MM (MultiMode) con perfil de índice de refracción gradual (Graded Index). Este tipo de FO es una normalización norteamericana ANSI.
- **FO 50/125 µm.**- Fibra óptica multimodo MM con perfil de índice parabólico es normalizada por UIT-T G.651.1. Usadas en la actualidad en redes de datos de corta longitud (hasta 2 km).

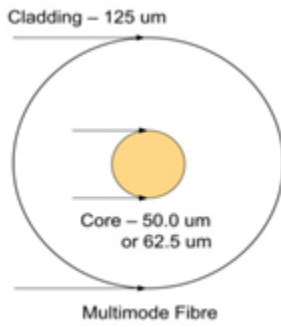


Figura 1.18 Dimensiones del revestimiento y núcleo de una fibra multimodo [14]

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Cladding diameter	Nominal	125 µm
	Tolerance	±2 µm
Core diameter	Nominal	50 µm
	Tolerance	±3 µm
Core-cladding concentricity error	Maximum	3 µm
Core non-circularity	Maximum	6%
Cladding non-circularity	Maximum	2%
Numerical aperture	Nominal	0.20
	Tolerance	±0.015
Macrobend loss	Radius	15 mm
	Number of turns	2
	Maximum at 850 nm	1 dB
	Maximum at 1300 nm	1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Modal bandwidth-length product for overfilled launch	Minimum at 850 nm	500 MHz · km
	Minimum at 1300 nm	500 MHz · km
Chromatic dispersion coefficient	λ_{0min}	1295 nm
	λ_{0max}	1340 nm
	S_{0max} for $1295 \leq \lambda_0 \leq 1310$ nm	≤ 0.105 $ps/nm^2 \cdot km$
	S_{0max} for $1310 \leq \lambda_0 \leq 1340$ nm	$\leq 375 \times (1590 - \lambda_0) \times 10^{-6} ps/nm^2 \cdot km$
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum at 850 nm	3.5 dB/km
	Maximum at 1300 nm	1.0 dB/km

Tabla 1.6 Atributos UIT-T G.651.1 [16]

Índice escalonado

La fibra de índice escalonado posee un núcleo más grueso que la fibra monomodo, aproximadamente de 200µm, por tal motivo el cambio en el índice de refracción del núcleo y el revestimiento es abrupto. Al mismo tiempo, por su mayor grosor esta fibra admite varios modos de propagación pero tiene la desventaja de presentar fenómenos de diseminación, pudiendo haber confusiones en el receptor entre un uno lógico y un cero lógico [13].

Índice gradual

Para corregir el problema de diseminación, los fabricantes hacen una fibra con índice de refracción que varía continuamente conforme aumenta el radio. En la figura 1.20 se ejemplifica [13].

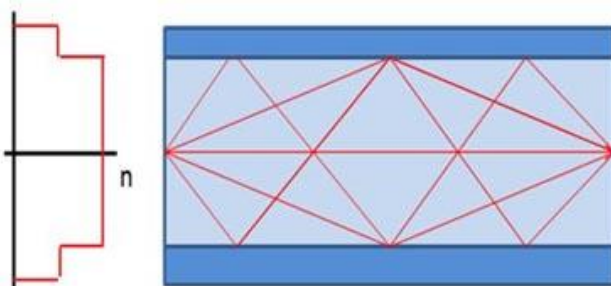


Figura 1.19 Fibra multimodo de índice escalonado [13]

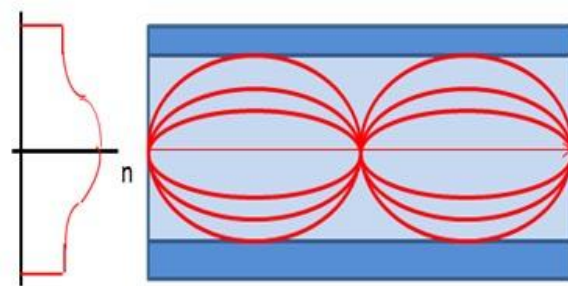


Figura 1.20 Fibra multimodo de índice gradual [13]

Conceptos de la propagación

La fibra óptica es una guía de onda que opera a frecuencias ópticas, por tal motivo es posible tratar el tema desde el estudio de las guías de onda. Pero una manera más sencilla de análisis es tratarlo desde la óptica geométrica [17].

a) Velocidad de la luz en un medio: La velocidad de la luz en un medio está dada por:

$$V_m = \frac{c}{n_m}$$

- V_m : Velocidad de la luz en el medio
- c : Velocidad de la luz en el vacío
- n_m : Índice de refracción en el medio

b) Ley de Snell: La ley de Snell relaciona los ángulos de incidencias y refracción de un haz de luz con los índices de refracción de los materiales. Ver figura 1.21.

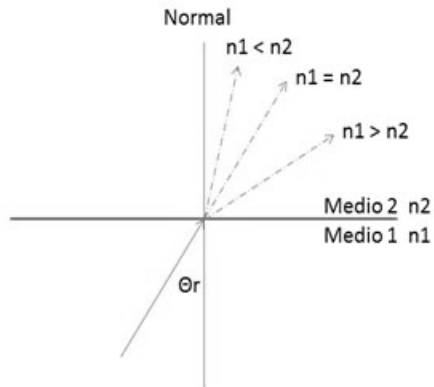


Figura 1.21 Ley de Snell

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

- n_1 : Índice de refracción del medio uno
- n_2 : Índice de refracción del medio dos
- θ_1 : Ángulo de incidencia
- θ_2 : Ángulo de refracción

c) Ángulo crítico: El ángulo crítico se define como el ángulo mínimo incidente que hace que todo el haz permanezca en el medio uno. Observar la figura 1.22.

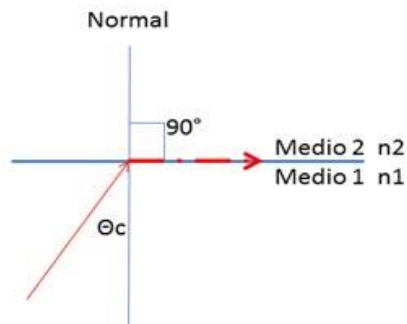


Figura 1.22 Ángulo crítico

$$\theta_2 = 90^\circ$$

$$\sin \theta_2 = 1$$

$$\theta_1 = \theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

d) Número de modos: De la teoría de guías de onda se puede deducir que el número de modos N , de una fibra está dada por:

$$N = \frac{V^2}{2}$$

$$V = \frac{\pi d}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Rendimiento de una fibra

Para definir el rendimiento de una fibra es necesario medir 2 conceptos [17]: a) apertura numérica y b) atenuación.

a) Apertura numérica

La apertura numérica es una medida de la capacidad del núcleo de aceptar los rayos de luz que la fuente emite. Se define como el ángulo de aceptación, el cual es el mayor ángulo con el cual el núcleo es capaz de aceptar los rayos desde afuera de la fibra. Ver figura 1.23.

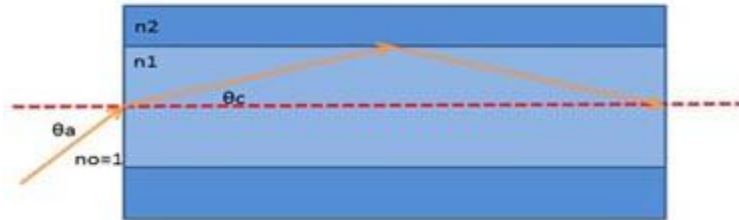


Figura 1.23 Ángulo de aceptación y crítico

Este ángulo se define como:

$$\sin \theta_a = n_1 \sin \theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \sin \theta_a = n_1 \sin \theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

y a esta relación se define como la apertura numérica AN [17].

$$AN = \sin \theta_a$$

b) Atenuación

Se dice que la variación de la potencia con respecto a la dirección de propagación, es proporcional a la potencia.

$$\frac{dP}{dz} = -\alpha P$$

Después de resolver la ecuación podemos darnos cuenta que la potencia a una distancia determinada sobre el eje de propagación, con respecto al origen, está dada por:

$$P(l) = P(0)e^{-\alpha l}$$

Alfa tiene unidades de dB/Km y l tiene unidades de Km. Para expresar la atenuación en dB, se hace la siguiente operación:

$$\alpha l = 10 \log_{10} \left(\frac{P(0)}{P(l)} \right)$$

La comparación de la atenuación de una fibra con respecto a la de un conductor de cobre es [17]:

$$\frac{P(0)}{P(l)} \sim \begin{cases} 10^{-100} & \text{Cobre} \\ 10^{-2} & \text{Fibra} \end{cases}$$

Como se puede ver la relación entre la potencia de entrada y la salida es mucho más cercana a uno en la fibra que en el cable, es decir, el cable tiene muchas más pérdidas.

La atenuación por lo tanto acontece con la disminución de potencia luminosa por cada unidad de distancia. Su medición se realiza en (dB/km) y no solamente se debe a la distancia, sino también a causa de fenómenos de dispersión y de absorción como lo muestra la figura 1.24.

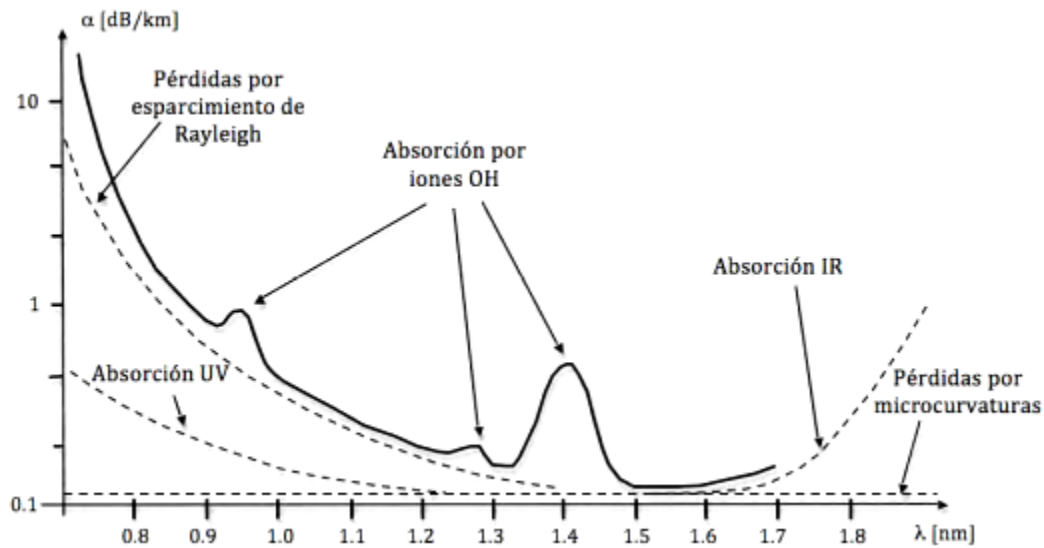


Figura 1.24 Atenuación en una fibra óptica α vs λ [3]

Dispersión

Es el fenómeno de separación de ondas de distinta frecuencia al atravesar un medio, dando lugar a la distorsión de la señal lo que limita el ancho de banda de la fibra. La dispersión se debe a que la velocidad de una onda depende de su frecuencia.

Los efectos no lineales si bien a principios de la creación de la fibra óptica no eran un factor que afectara el rendimiento de estos sistemas de comunicación, conforme han ido pasando los años el número de canales ha ido aumentando hasta llegar a tener 16, 40, 160 ó hasta 320, ampliando la potencia óptica que corre en el núcleo. Dentro de los principales efectos no lineales que se presentan en una fibra óptica son: Dispersión de Rayleigh, Dispersión de Mie, Dispersión de Raman estimulado y Mezclado de cuatro ondas.

Bandas Ópticas

Las bandas ópticas son el rango de frecuencias ópticas en las cuales se puede trabajar con los dispositivos de comunicaciones, como se presenta en la tabla 1.7.

Banda	Descripción	Intervalo [nm]
Banda O	Original	1260 a 1360
Banda E	Ampliada	1360 a 1460
Banda S	Onda Corta	1460 a 1530
Banda C	Convencional	1530 a 1565
Banda L	Onda Larga	1565 a 1625
Banda U	Onda ultralarga	1625 a 1675

Tabla 1.7 Bandas Ópticas

Tipos de cable de Fibra Óptica

Existen dos tipos de Cable de fibra óptica disponible en construcciones básicas [18]:

- Cable de estructura holgada y
- Cable de estructura ajustada.

Cable de estructura holgada

Consta de varios tubos de fibra rodeando un miembro central de refuerzo, y rodeado de una cubierta protectora. El rasgo distintivo de este tipo de cable son los tubos de fibra, donde cada uno, de dos a tres milímetros de diámetro, lleva varias fibras ópticas que descansan holgadamente en él. Los tubos pueden ser huecos o, más comúnmente estar

llenos de un gel resistente al agua que impide que ésta entre en la fibra de tal manera que el tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que se ejerzan sobre el cable. Ver figura 1.25.

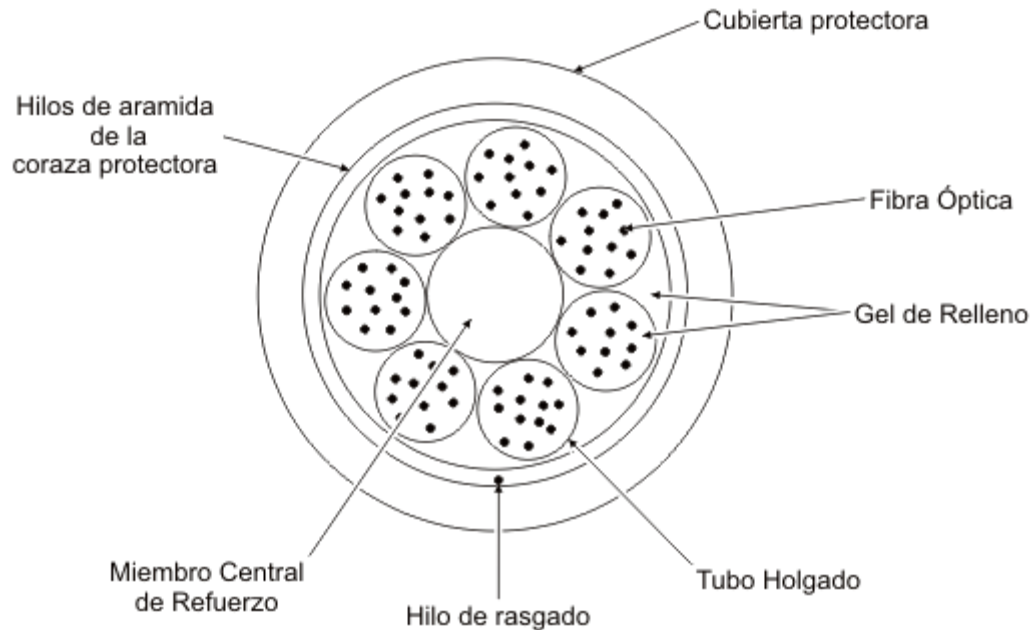


Figura 1.25 Cable de Estructura Holgada [18]

Los cables de estructura holgada se usan en la mayoría de las instalaciones exteriores, incluyendo aplicaciones aéreas, en tubos o conductos y en instalaciones directamente enterradas. Sin embargo, el cable de estructura holgada no es muy adecuado para instalaciones en recorridos muy verticales, porque existe la posibilidad de que el gel interno fluya o que las fibras se muevan.

Cable de estructura ajustada

Contiene varias fibras con protección secundaria que rodean un miembro central de tracción, y todo ello cubierto de una protección exterior. La protección secundaria de la fibra consiste en una cubierta plástica de 900µm de diámetro que rodea al recubrimiento de 250µm de la fibra óptica. Ver figura 1.26.

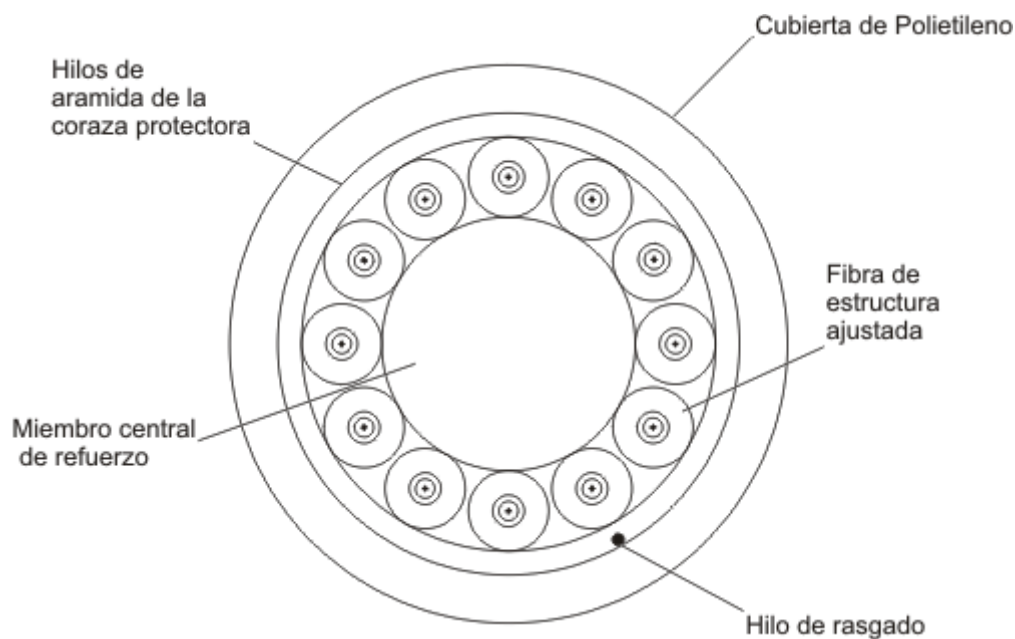


Figura 1.26 Cable de estructura ajustada [18]

La protección secundaria proporciona a cada fibra individual una protección adicional frente al entorno así como un soporte físico. Esto permite a la fibra ser conectada directamente (conector instalado en el cable de la fibra), sin la protección que ofrece una bandeja de empalmes. Para algunas instalaciones esto puede reducir el costo de la

instalación y disminuir el número de empalmes en un tendido de fibra. Debido al diseño ajustado del cable es más sensible a las cargas de estiramiento o tracción y puede ver incrementadas las pérdidas por microcurvaturas.

Por otra parte, un cable de estructura ajustada es más flexible y tiene un radio de curvatura más pequeño que el que tienen los cables de estructura holgada. En primer lugar, es un cable que se ha diseñado para instalaciones en el interior de los edificios. También se puede instalar en tendidos verticales más elevados que los cables de estructura holgada, debido al soporte individual de que dispone cada fibra.

Cable blindado

Tienen una coraza protectora o armadura de acero debajo de la cubierta de polietileno. Esto proporciona al cable una resistencia excelente al aplastamiento y propiedades de protección frente a roedores. Se usa frecuentemente en aplicaciones de enterramiento directo o para instalaciones en entornos de industrias pesadas. El cable se encuentra disponible generalmente en estructura holgada aunque también hay cables de estructura ajustada.

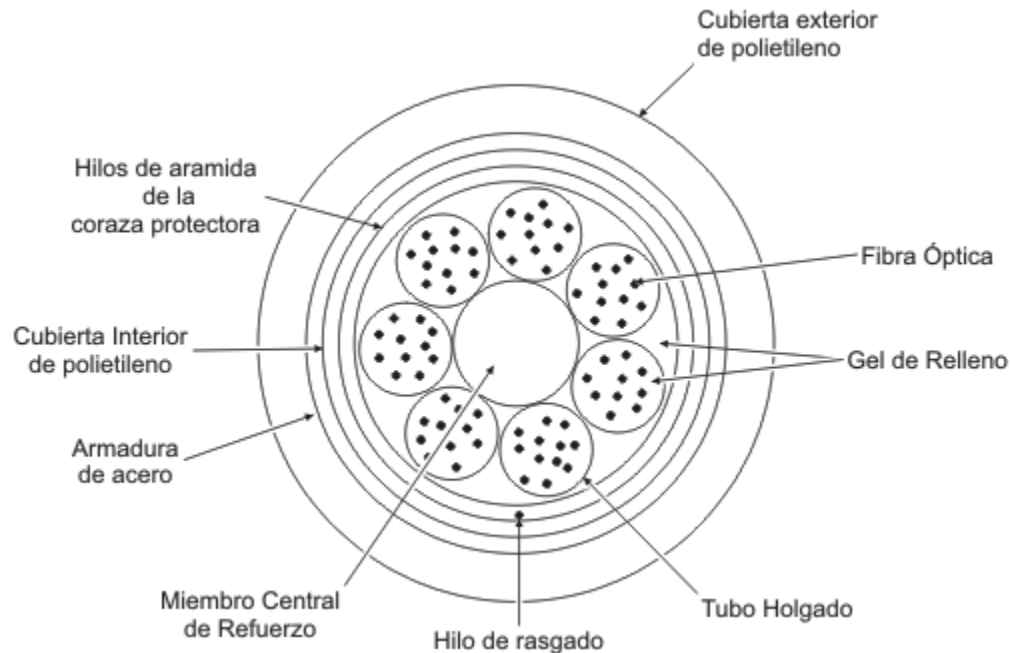


Figura 1.27 Cable de Fibra Óptica blindado [18]

Existen también otros cables de fibra óptica para las siguientes aplicaciones especiales [18]:

Cable aéreo autosoportado

Es un cable de estructura holgada diseñado para ser utilizado en estructuras aéreas. No requiere un fijador como soporte. Para asegurar el cable directamente a la estructura del poste se utilizan abrazaderas especiales. El cable se sitúa bajo tensión mecánica a lo largo del tendido.

Cable submarino

Es un cable de estructura holgada diseñado para permanecer sumergido en el agua. Actualmente muchos continentes están conectados por cables submarinos de fibra óptica transoceánicos.

Cable compuesto tierra-óptico (OPGW)

Es un cable de tierra que tiene fibras ópticas insertadas dentro de un tubo en el núcleo central del cable. Las fibras ópticas están completamente protegidas y rodeadas por pesados cables a tierra. Es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión.

Cables híbridos

Es un cable que contiene tanto fibras ópticas como pares de cobre.

Cable en abanico

Es un cable de estructura ajustada con un número pequeño de fibras y diseñado para una conexión directa y fácil (no se requiere un panel de conexiones).

Empalmes y conexiones de Fibra Óptica

Para la instalación de sistemas de fibra óptica es necesario utilizar técnicas y dispositivos de interconexión como empalmes y conectores. Por una parte, los conectores son dispositivos mecánicos utilizados para recoger la mayor cantidad de luz realizando la conexión del emisor y receptor óptico.

En caso de que los núcleos no se empalmen perfecta y uniformemente, una parte de la luz que sale de un núcleo no incide en el otro núcleo y se pierde. Por tanto las pérdidas que se introducen por esta causa pueden constituir un factor muy importante en el diseño de sistemas de transmisión, particularmente en enlaces de telecomunicaciones de gran distancia [19].

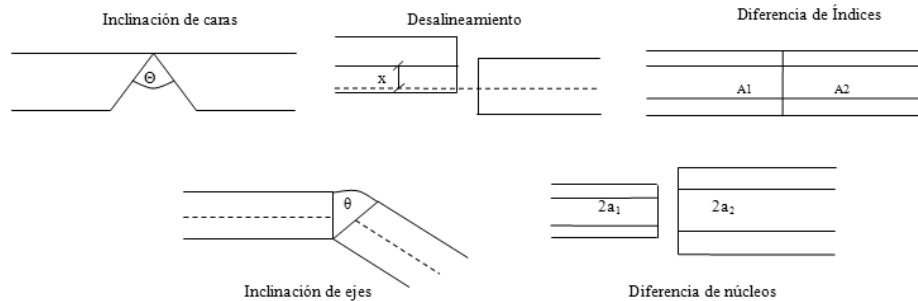


Figura 1.28 Empalmes y conexiones de Fibra Óptica [19]

Por otra parte los empalmes son las uniones fijas para lograr continuidad en la fibra.

En las fibras monomodo los problemas de empalme se encuentran principalmente en su pequeño diámetro del núcleo $D_n = 10\mu\text{m}$, esto exige contar con equipos y mecanismos de alineamiento de las fibras con una mayor precisión.

Las pérdidas de acoplamiento se presentan en las uniones de: Emisor óptico a fibra, conexiones de fibra a fibra y conexiones de fibra a foto detector.

Las pérdidas de unión son causadas frecuentemente por una mala alineación lateral, mala alineación de separación, mala alineación angular, acabados de superficie imperfectos y diferencias ya sea entre núcleos o diferencia de índices, como los indicados en la figura 1.28.

Técnicas de empalme

Existen fundamentalmente 2 técnicas diferentes de empalme que se emplean para unir permanentemente entre sí fibras ópticas. La primera es el empalme por fusión que actualmente se utiliza en gran escala, y la segunda el empalme mecánico [19].

a) Empalme por fusión

Se realiza fundiendo el núcleo, siguiendo las etapas de:

- Preparación y corte de los extremos
- Alineamiento de las fibras
- Soldadura por fusión
- Protección del empalme

b) Empalme mecánico

Este tipo de empalme se usa en el lugar de la instalación donde el desmontaje es frecuente y es importante que las caras del núcleo de la fibra óptica coincidan exactamente. Consta de un elemento de auto alineamiento y sujeción de las fibras y de un adhesivo adaptador de índice que fija los extremos de las fibras permanentemente.

Después de realizado el empalme de la fibra óptica se debe proteger con:

- manguitos metálicos
- manguitos termoretráctiles
- manguitos plásticos

En todos los casos para el sellado del manguito se utiliza adhesivo o resina de secado rápido.

Tipos de conectores

Los conectores más comunes usados en la fibra óptica para redes de área local son los conectores ST, LC, FC Y SC, como se muestran en la figura 1.29.

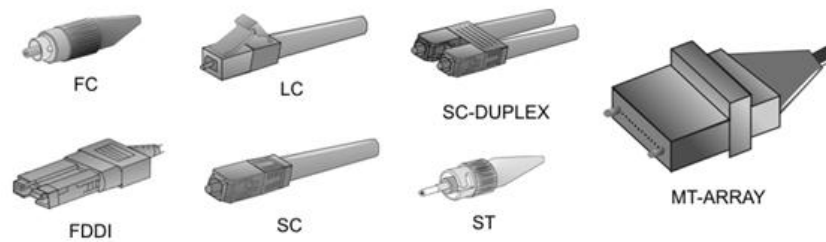


Figura 1.29 Conectores de Fibra Óptica

El conector SC (Set and Connect) utiliza un mecanismo de push-pull de enganche que proporciona una rápida inserción/remoción y garantizar una buena conexión; así mismo, el conector ST (Set and Twist) es un conector similar al SC, pero requiere un giro del conector para su inserción, de modo similar a los conectores coaxiales.

Recomendaciones de la UIT-T

Las características de las fibras fueron establecidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones en las siguientes recomendaciones:

- G.652 Características de las fibras y cables ópticos monomodo
- G.653 Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada
- G.654 Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado
- G.655 Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula
- G.656 Características de las fibras y cables con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha
- G.657 Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso

Contando con las siguientes subcategorías en cada una de ellas:

G.652.A	G.653.A	G.654.A	G.655.A	G.656	G.657.A
G.652.B	G.653.B	G.654.B	G.655.B		G.657.B
G.652.C		G.654.C	G.655.C		
G.652.D					

Desventajas de la Fibra Óptica

- **Costos:** La inversión solo es necesaria cuando la cantidad de datos a transmitir es grande.
- **Consumo:** Debido al material no conductor con el que la fibra está fabricada, es necesario electrificar tanto el emisor como el receptor, siendo esto un problema cuando no se dispone de fuentes de electricidad cercanas.
- **Corrosión:** El sílice con el que está hecho el vidrio, reacciona fácilmente con el hidrógeno que se encuentra en el agua, presentándose un deterioro en las cualidades de la fibra.

Ventajas de la Fibra Óptica

- La fibra óptica nace como una excelente solución a muchos de los problemas que se tenían con las tecnologías basadas en cobre. Las desventajas que la fibra óptica soluciona son:
 - **Ancho de banda:** Una guía óptica tiene mayor capacidad para transportar información que un cable de cobre, además permite transmitir los bits en serie bajando la complejidad y los costos de los equipos. Las frecuencias a las cuales se trabaja en la fibra varían desde los 100MHz hasta 100THz.
 - **Atenuación:** La fibra óptica tiene la capacidad de transmitir información hasta los 200km sin necesidad de sistemas repetidores.
 - **Susceptibilidad a perturbaciones:** Gracias a que la fibra se construye con vidrio o con plástico (materiales no conductores), ésta no es ni emisora ni receptora de interferencia electromagnética.
- **Seguridad:** Cuando una fibra es interrumpida por cualquier motivo (daño o intento de robo de información), las comunicaciones se interrumpen inevitablemente, causando así una alerta que puede ser detectada por el administrador, quien debe ordenar la identificación y la reparación del problema.
- **Costos:** Como cualquier tecnología que adquiere un mercado considerable los costos comienzan a bajar. La fibra no es ajena a este proceso y se ha visto favorecida por el aumento de la demanda.
- **Peso y tamaño:** Si se comparan el peso y el tamaño de dos conductores, uno de fibra óptica y otro de cobre, necesarios para enviar una cantidad de información dada, el cable de fibra tiene muy poco peso comparado con el de cobre.

Capítulo 2

Técnicas de Compartición de Canal

Al escuchar múltiples fuentes de información (sonidos, señas, imágenes, secuencias, entre otras), es casi imposible recibir la información íntegra, perdiendo gran cantidad de datos. En las telecomunicaciones no sucede lo mismo, para esto existen las técnicas de compartición de canal o multiplexación de la información. La multiplexación se utiliza para transmitir varias fuentes de información como voz, datos y vídeo sobre un mismo canal. Existen diversas técnicas de multiplexación, entre las importantes bajo nuestro tema de estudio, están: Multiplexación por División de Frecuencia FDM, Multiplexación por División de Tiempo TDM y Multiplexación por División de Longitud de Onda WDM.

2.1 Multiplexaje por División de Frecuencia (FDM)

La Multiplexación por División de Frecuencia FDM, por sus siglas en inglés (Frequency Division Multiplexing), es una técnica de multiplexación de tipo analógico que se desarrolló a principios de los años 60's alcanzando su plenitud en la telefonía y la radio. Consiste en dividir el ancho de banda de la línea de transmisión entre un cierto número de canales de menor ancho de banda; las señales procedentes de distintas fuentes se modulan y convierten en ondas portadoras dentro del rango de frecuencias asignado [1].

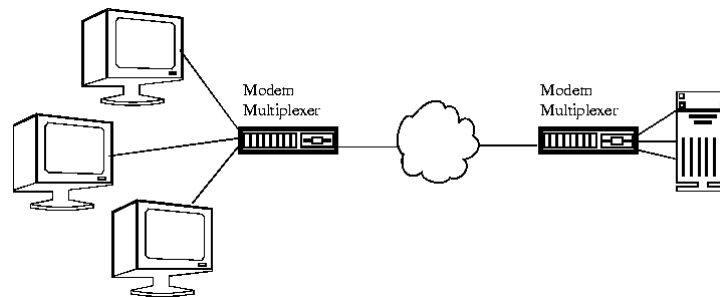


Figura 2.1 Concepto de FDM [2]

En la figura 2.1, cada equipo representa una frecuencia con información por enviar, donde las señales se modulan al centro de su frecuencia de la portadora para representar el canal. Para evitar interacción entre cada fuente, los canales se separan mediante bandas de guarda o de seguridad, que constituyen espacios del espectro no utilizados.

2.2 Multiplexaje por División de Tiempo (TDM)

La Multiplexación por División de Tiempo TDM, por sus siglas en inglés (Time Division Multiplexing), es una técnica de multiplexación digital capaz de intercalar cronológicamente muestras provenientes de varias fuentes. Es así como múltiples transmisores pueden ocupar un único canal de transmisión compartiendo y entrelazándose las posiciones. Las muestras tomadas de cada canal se van organizando ordenadamente configurando la trama que se transmitirá por el medio de transmisión único. Se utiliza mucho en las redes telefónicas, donde los canales de voz se muestrean, cuantifican y codifican [1]. Ver figura 2.2.

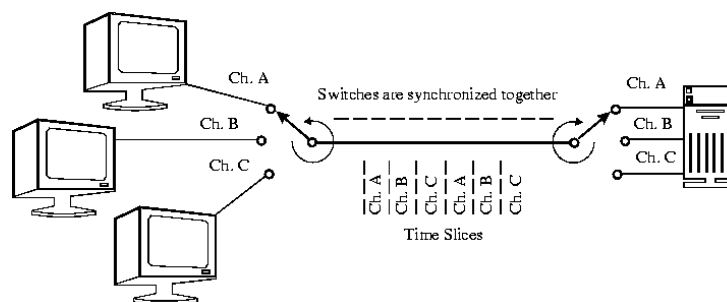


Figura 2.2 Concepto de TDM [2]

Existen dos variantes a esta multiplexación [3]:

- TDM síncrono
- TDM asíncrono

En el primero se puede llegar a desperdiciar el canal, ya que si una fuente de información no transmite nada, el canal estará sin enviar nada, por lo que se quedará vacío en ese intervalo de tiempo asignado a ese transmisor. En contraste con TDM asíncrono, existen menos ranuras que dispositivos de tal manera que se evita el desperdicio de bits.

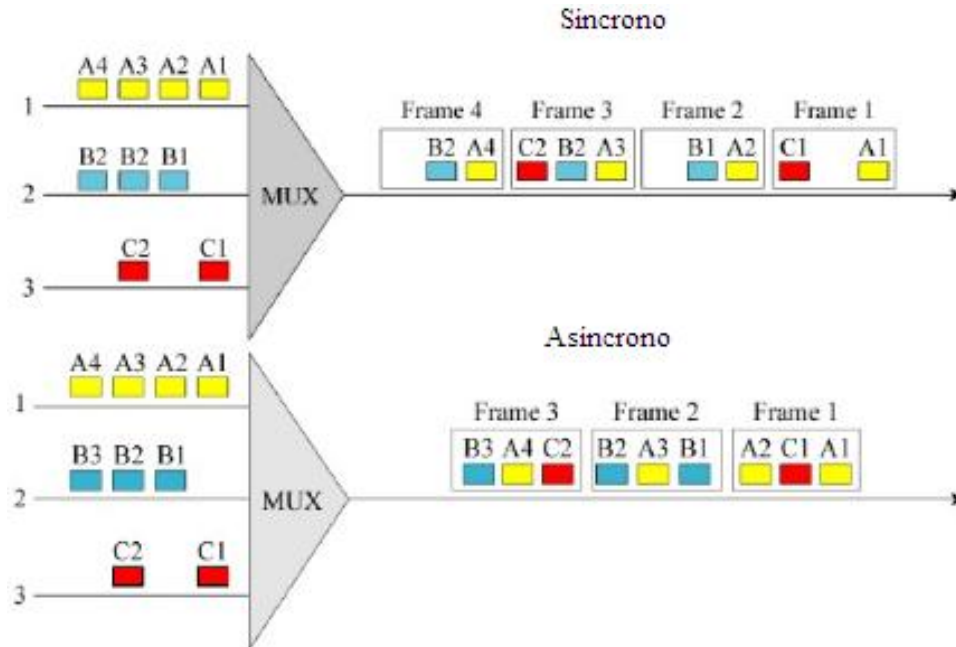


Figura 2.3 TDM Síncrono y Asíncrono [4]

2.3 Multiplexaje por División de Longitud de Onda (WDM)

La Multiplexación por División de Longitud de Onda WDM, por sus siglas en inglés (Wavelength Division Multiplexing), permite combinar múltiples portadoras ópticas en una misma fibra. Estas portadoras se encuentran en diferentes longitudes de onda portando información independiente. Debido a que contiene una gran capacidad de transporte de datos, esta técnica cada vez más ha participado significativamente en los entornos metropolitanos, la introducción de servicios y aplicaciones con gran consumo de ancho de banda son una de las causas de la revolución de la banda ancha en estos entornos. WDM puede ser de dos tipos: CWDM y DWDM [5]. Ver figura 2.4.

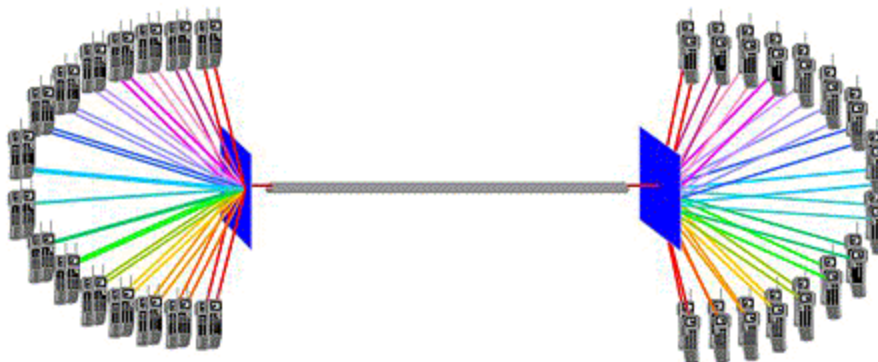


Figura 2.4 Concepto WDM [6]

2.3.1 Multiplexación por División Aproximada de Longitud de Onda (CWDM)

Los sistemas de Multiplexación por División Aproximada de Longitud de onda CWDM, por sus siglas en inglés (Coarse Wavelength Division Multiplexing), utilizan habitualmente 8 longitudes de onda cubriendo la banda C, L y S. Para más de 8 longitudes de onda este tipo de sistemas se ven afectados por la alta atenuación originada por el *pico de agua*. Ver figura 2.5.

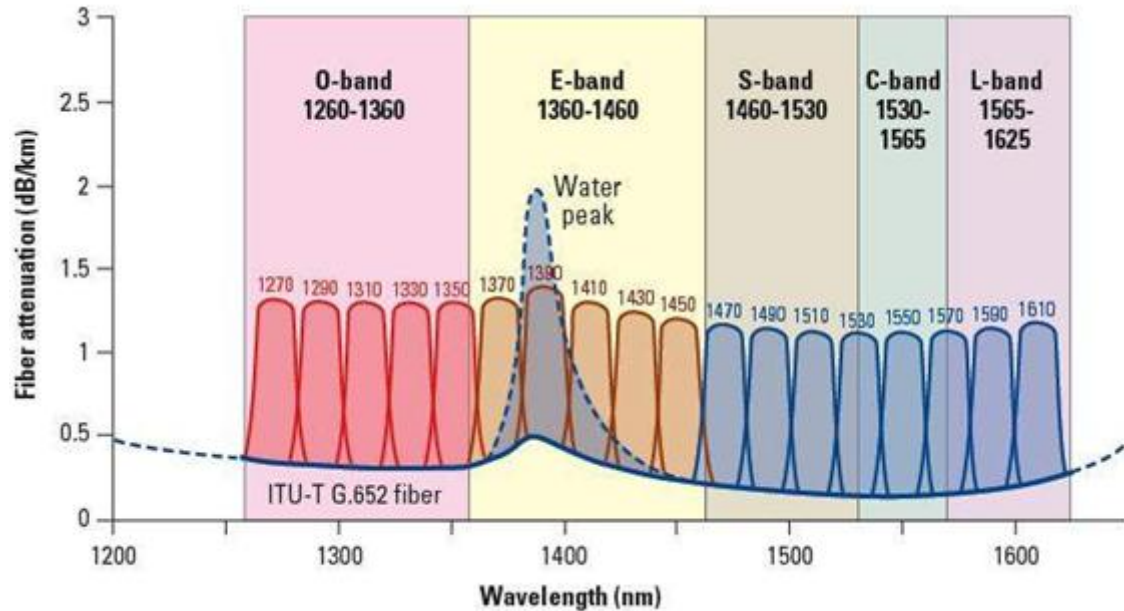


Figura 2.5 Rejilla de longitudes de onda utilizada por CWDM [7]

Por lo que, para contar con 16 canales en CWDM se deben utilizar las fibras ópticas conocidas como ZWPF (Zero Water Peak Fiber) o G.652.C, que eliminan este *pico de agua* [3].

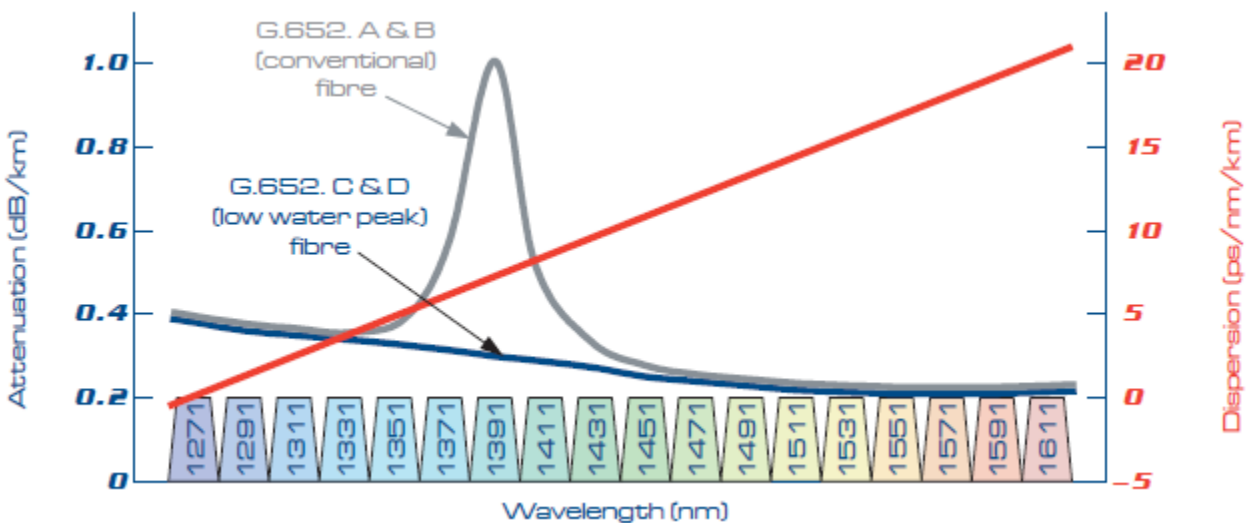


Figura 2.6 Norma G.652.C ZWPF [9]

Las longitudes de onda utilizables por los sistemas CWDM fueron normalizadas en la recomendación UIT-T G.694.2 en el año 2002. Esta recomendación se basa en una rejilla o separación de longitudes de onda de 20nm en el rango de 1.270 a 1.610nm, pudiendo así transportar hasta 18 longitudes de onda en una única fibra óptica monomodo. En la figura 2.6 se mostraban las longitudes de ondas centrales nominales así como los efectos de utilizar diferentes tipos de fibra óptica de la recomendación G.652 [10]:

Longitudes de ondas centrales nominales para un espacio de 20[nm]	
1271	1451
1291	1471
1311	1491
1331	1511
1351	1531
1371	1551
1391	1571
1411	1591
1431	1611

Tabla 2.1 Longitudes de onda, recomendación G.694.2 [10]

CWDM cuenta con las siguientes características [9]:

- 20 nm separación de canales (G.694.2)
- 90 kilómetros de alcance para 2 canales bidireccionales de 1,25Gbps en una sola fibra
- 55 kilómetros con 8 longitudes de onda de 2.5Gbps
- 42 kilómetros con 6 canales bidireccionales de 1,25Gbps en una sola fibra (convencional)
- 42 kilómetros con 16 longitudes de onda de 2.5Gbps en la fibra de bajo pico de agua
- 4, 8, 12 y 16 solicitudes de longitud de onda
- Aplicaciones de hasta 2,5Gbps por longitud de onda
- G.652.C + D de fibra de bajo pico de agua
- La interoperabilidad de múltiples proveedores:

Un proveedor A se puede conectar a un proveedor B a través de la recomendación UIT-T G.695. Ver figura 2.7.

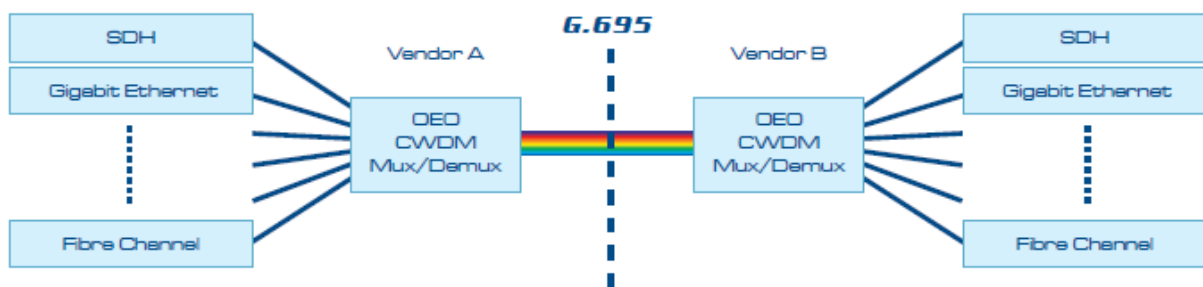


Figura 2.7 Recomendación UIT-T G.695 [9]

- Interoperabilidad de múltiples proveedores:

Un transmisor A se puede conectar a través de proveedor B y enlazarse a un transmisor C con la recomendación UIT-T G.695. Ver figura 2.8.

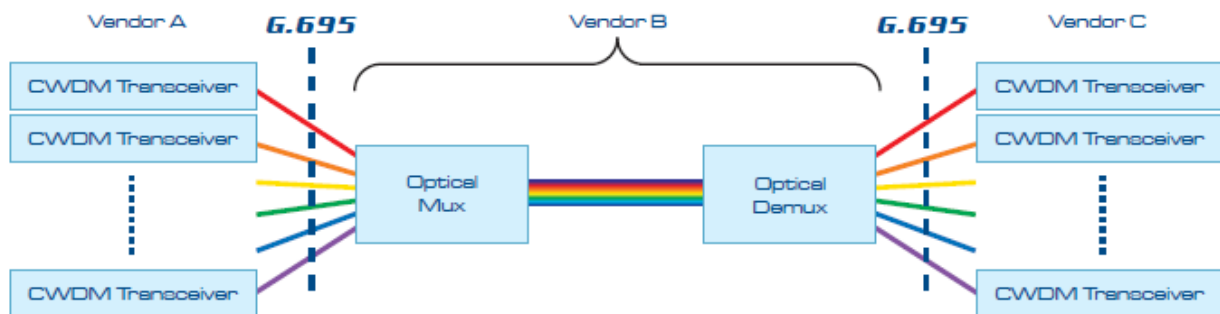


Figura 2.8 Recomendación UIT-T G.695 [9]

La tecnología CWDM es económicamente más competitiva dentro de la familia de WDM. Se beneficia del menor costo de componentes ópticos asociados a una tecnología menos compleja, aunque limitada en cuanto a capacidad y distancia, se adapta perfectamente a las necesidades de las redes empresariales y metropolitanas de corta distancia.

2.3.2 Multiplexación por División Densa de Longitud de Onda (DWDM)

La Multiplexación por División Densa de Longitud de Onda DWDM, por sus siglas en inglés (Dense Wavelength Division Multiplexing), se caracteriza por un espaciado de canal menor que el de la tecnología CWDM. Cabe mencionar que en general, existen dos características importantes en los sistemas WDM [11]:

- Sistemas SWDM (WDM simple), en los cuales las longitudes de onda de las portadoras se encuentran distanciadas ampliamente (por ejemplo, utilizando una portadora a 1550nm y otra a 1310nm).
- Sistemas DWDM (WDM denso): el espaciado entre las longitudes de onda de los canales es muy reducido, dando lugar a una gran densidad de canales. De estos sistemas se consigue la máxima eficiencia en el uso de la fibra. Cuando no se indica explícitamente la categoría, la denominación WDM suele hacer referencia a este segundo grupo de sistemas.

La frecuencia de referencia es 193,1THz (1552,524nm), y las restantes se hallan separadas unas de otras 100, 50, 25 y 12.5GHz (0.8, 0.4, 0.2 y 0.1nm) Las mallas han sido especificadas en términos de frecuencias [12]. Ver tabla 2.2.

Frecuencia [THz]	Wavelength [nm]	Frecuencia [THz]	Wavelength [nm]	Frecuencia [THz]	Wavelength [nm]
196.1	1528.77	164.6	1540.56	193.1	1552.52
196	1529.55	194.5	1541.35	193	1553.33
195.9	1530.33	194.4	1542.14	192.9	1554.13
195.8	1531.12	194.3	1542.94	195.8	1554.94
195.7	1531.9	194.2	1543.73	192.7	1555.75
195.6	1532.68	194.1	1544.53	192.6	1556.56
195.5	1533.47	194	1545.32	195.5	1557.36
195.4	1534.25	193.9	1546.12	192.4	1558.17
195.3	1535.04	193.8	1546.92	192.3	1558.98
195.2	1535.82	193.7	1547.72	192.2	1559.79
195.1	1536.61	193.6	1548.51	192.1	1560.61
195	1537.4	193.5	1549.32	192	1561.42
194.9	1538.19	192.4	1550.12	191.9	1562.23
194.8	1538.98	193.3	1550.92	191.8	1563.05
194.7	1539.77	193.2	1551.72	191.7	1563.86

Tabla 2.2 Malla de frecuencias para un separado de 100GHz [12]

$$Wavelength = \frac{c[\frac{m}{s}]}{f[Hz]}$$

$$Wavelength = \frac{299792258 \frac{m}{s}}{193.1THz}$$

$$Wavelength = 1522.524381[nm]$$

Esto equivale a 40, 80, 160 y 320 canales de transmisión en la banda óptica C [13]. Ver figura 2.9.

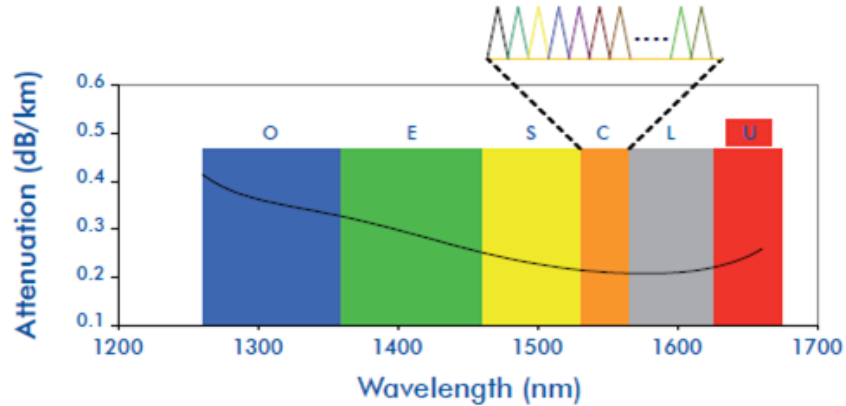


Figura 2.9 Canales Ópticos DWDM [13]

Las características generales de DWDM son [13]:

- 100GHz, 50GHz, 25GHz y 12.5GHz de separación entre canales (G.694.1)
- Hasta 40 canales ópticos de 10Gbits en 100GHz espaciados por sistema DWDM, en la banda C
- Soporta las fibras ópticas de las recomendaciones G.652, G.653, G.655
- Interfaces Multicanal establecidas en la recomendación G.959.1 Interoperabilidad de múltiples proveedores: Un proveedor A se puede conectar a un Proveedor B. Ver figura 2.10.

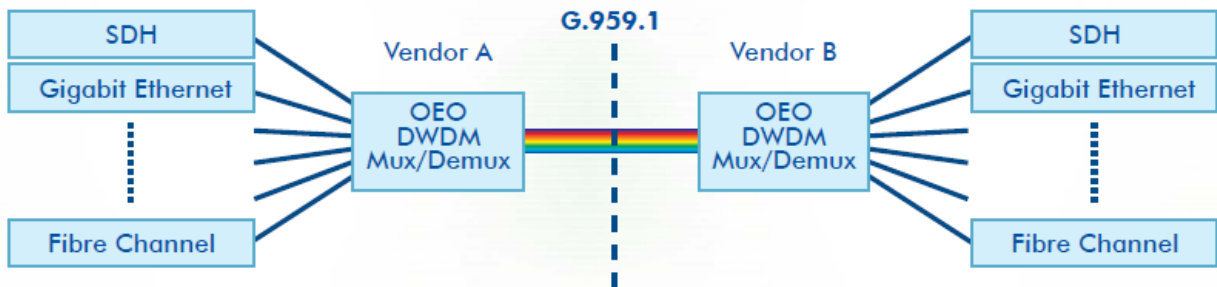


Figura 2.10 Recomendación UIT-T G.959.1 [13]

- Interfaces de un solo canal en las recomendaciones G.698.1 y G.698.2. Interoperabilidad de múltiples proveedores: Un transmisor A se puede conectar a través de Proveedor B para conectarse con el receptor C y viceversa. Ver figura 2.11.

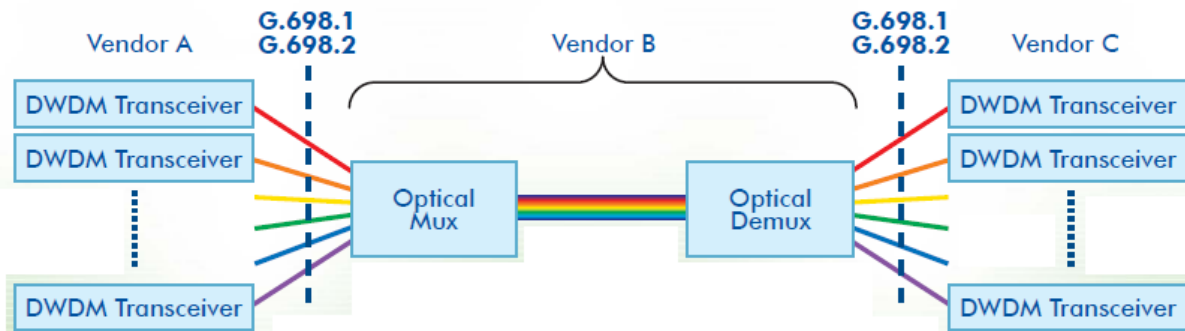


Figura 2.11 Recomendaciones UIT-T G.698.1 y G.698.2 [13]

Cabe mencionar que los transmisores utilizados en las aplicaciones DWDM requieren un mecanismo de control que les permita cumplir con los requisitos de estabilidad de frecuencia de las aplicaciones, contrario a lo que ocurre con los transmisores CWDM.

Desventajas DWDM

- **Costos.-** Costo inicial elevado de implementación sin embargo al aumentar la capacidad de transmisión los costos disminuyen significativamente.

Ventajas DWDM

Ofrece una capacidad de transmisión prácticamente ilimitada. Además esta tecnología cuenta con ventajas como:

- **Transparencia.-** Debido a que DWDM es una arquitectura de capa física, puede soportar transparencia en el formato de señal, tales como ATM, SONET/SDH, ESCON, TDM, IP, con interfaces abiertas sobre una capa física común. Por lo mismo, puede soportar distintas tasas de bits.
- **Escalabilidad.-** DWDM puede disminuir la abundancia de fibra oscura en redes metropolitanas y empresariales, para rápidamente satisfacer la demanda de capacidad en enlaces punto a punto y en tramos de anillos ya existentes.
- **Iniciación dinámica.-** Rápida, simple y abastecimiento dinámico en las conexiones de redes, dada la habilidad de proveedores para otorgar servicios de alto ancho de banda en días, antes que en meses.

Comparativa general entre CWDM y DWDM

La multiplexación por división aproximada de longitud de onda utiliza longitudes espaciadas 20nm. La UIT especifica 18 longitudes de onda desde 1271nm a 1611nm. Los transmisores, multiplexores y demultiplexores operan en las longitudes de onda respectiva, pero no necesitan ser altamente controlados, lo cual se traduce en equipos de bajo costo comparados con DWDM. Ver figura 2.12.

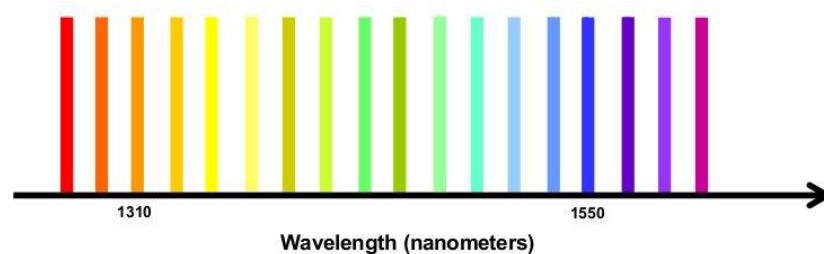


Figura 2. 12 DWDM [11]

En DWDM las longitudes de onda están espaciadas muy cercanas una a las otras y utilizan el rango desde 1530nm a 1565nm. Según referencia de la UIT el espacio entre longitudes de onda debe ser de 1nm, sin embargo en la práctica se utiliza 0,8nm lo cual permite 40 longitudes de onda en la banda C. Los transmisores, multiplexores y demultiplexores a diferencia de los casos anteriores tienen un alto control de temperatura. Por otro lado, una gran ventaja de los sistemas DWDM es que la región donde operan es adecuada para la utilización de los amplificadores dopados de erbio EDFA, por sus siglas en inglés (Erbium Doped Fiber Amplifier), los cuales permitan que las ondas amplificadas superen a las pérdidas por dispersión y/o las pérdidas pasivas Ver figura 2.13.

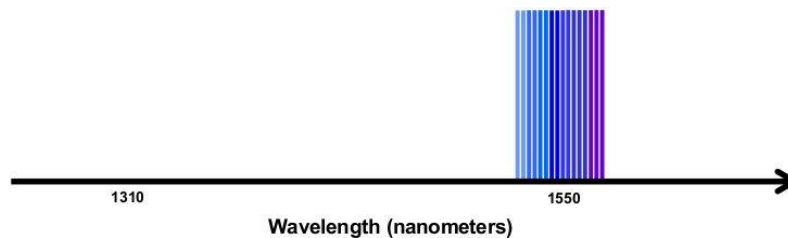


Figura 2.13 CWDM [11]

Al contar con sistemas capaces de transmitir datos en diferentes canales de información, surge la necesidad de conmutar a través de equipos con capacidades ópticas. Esos equipos son:

- OADM (Multiplexaje Óptico de Inserción/Extracción)
- ROADM (Multiplexaje Óptico de Inserción/Extracción Reconfigurable)

2.4 Multiplexaje Óptico de Inserción/Extracción (OADM)

El Multiplexaje Óptico de Inserción/Extracción OADM, por sus siglas en inglés (Optical Add/Drop Multiplexer), extrae información de un canal óptico determinado e inserta nueva información reutilizando dicho canal. No altera al resto de canales multiplexados y sin ningún tipo de conversión electroóptica. Ver figuras 2.14 y 2.15.

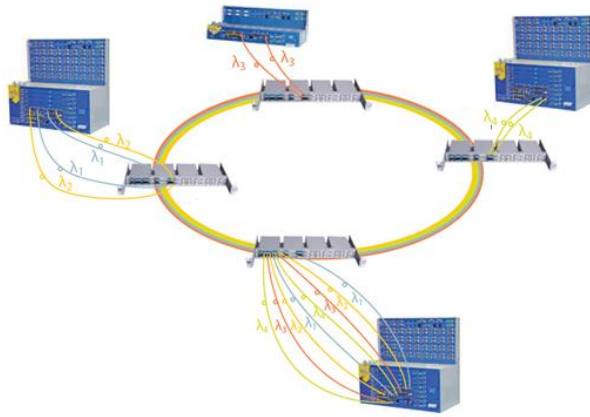


Figura 2.14 Concepto OADM

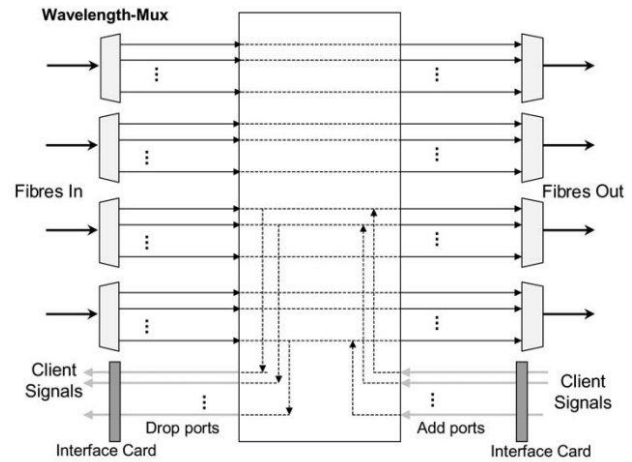


Figura 2.15 Estructura OADM [11]

La señal demultiplexada puede propagarse directamente a través del canal sin que cambie la longitud de onda. Los puertos add/drop representan los puntos que entran y salen de la red WDM. Para ocuparse de ciertos clientes, las correspondientes tarjetas de interfaz son empleadas en los puertos add/drop. Estas interfaces de cliente representan la esencia de funcionamiento de transmisión a OADM.

Esencialmente, se usa la tecnología OADM para acceder a parte del ancho de banda rentablemente en el dominio óptico con una cantidad mínima de electrónica. Hay varias generaciones de OADM. En el OADM más simple, las longitudes de onda pueden ser insertadas o extraídas por pre-selección, estos dispositivos son llamados fijos. Ver figura 2.16.

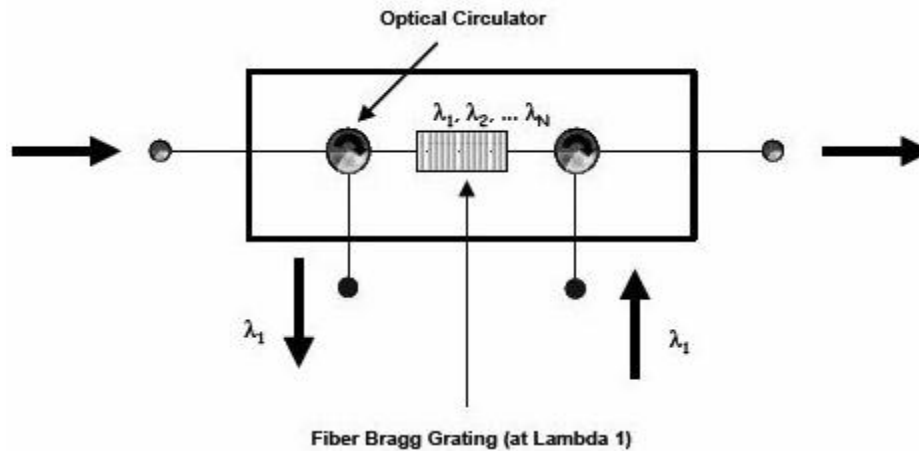


Figura 2.16 Concepto OADM

Los OADMs fijos son simples, de protocolo independiente y de bajo costo en el dispositivo. No es necesario un director de red para inserción o extracción de longitudes de onda. Porque se predeterminan las longitudes de onda dentro de cada dispositivo, significando que antes del despliegue de la red se exige especificar qué longitudes de onda serán extraídas y donde. Una vez diseñado, el sistema es permanentemente estático a menos que el operador de la red realice una actualización fuera de servicio.

La generación emergente de OADMs, está actualmente bajo el desarrollo y ensayos de campo, es el OADM configurable en el que cualquier longitud de onda dada puede extraerse y puede insertarse a cualquier sitio dado. Estos nuevo OADMs permitirán que el software remoto aprovisione ópticamente una inserción o extracción. El sistema puede diseñarse para que sea escalable y graduable a OADM de canales de cuentas más altas.

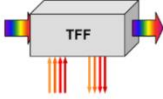
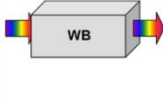
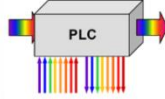
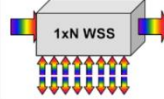
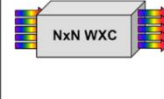
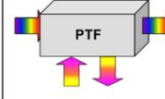
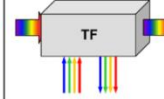
FOADM	BOADM	ROADM		TOADM		
Thin Film Filter (TFF) Based OADM	Wavelength Blocker Based OADM	Planar Lightwave Circuit (PLC) ROADM	Wavelength Selective Switch (WSS)	Wavelength Crossconnect (WXC)	Passband Tunable TOADM	Wavelength Tunable TOADM
						
<ul style="list-style-type: none"> • 2 multi-λ ports (1 In, 1 Out) + 2N single-λ ports (N Add, N Drop) • Pre-defined channels / bands dropped / added at a static node 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 multi-λ ports (1 In, 1 Out) • Blocks or attenuates λ's • No built-in Add or Drop or power monitoring • Used in 'Broadcast & Select' architecture 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 multi-λ ports (1 In, 1 Out) + 2N single-λ ports (N Add, N Drop) • One 1x2 switch per λ • Switches λ's from In / Add to Out / Drop • Built-in power monitors 	<ul style="list-style-type: none"> • N+1 multi-λ ports (1 In, 1 Out, N-1 Add or Drop or mesh or expansion) • Switches λ's from In / Mesh In / Add to Out / Mesh Out / Drop • No built-in power monitors 	<ul style="list-style-type: none"> • 2N multi-λ ports (N-1 In or Mesh In or expansion, 1 Add, N-1 Out or Mesh Out or expansion, 1 Drop) • Switches λ's from In / Mesh In / Add to Out / Mesh Out / Drop 	<ul style="list-style-type: none"> • 4 multi-λ ports (1 In, 1 Out, 1 Add, 1 Drop) • Add / Drop ports: add / drop up to N adjacent λ's in pre-defined band 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 multi-λ ports (1 In, 1 Out), 2N single-λ ports (N Add, N Drop) • Add/Drop ports: add / drop any λ on any port

Figura 2.17 Variaciones de OADM [14]

2.5 Multiplexaje Óptico de Inserción/Extracción Reconfigurable (ROADM)

El Multiplexaje Óptico de Inserción/Extracción Reconfigurable ROADM, por sus siglas en inglés (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer), se muestra como ejemplo en los multiplexadores ópticos configurables, tales como los OXC (Optical Cross Connect)⁴ que consiste en un conmutador matricial de fibras ópticas de dimensión $M \times N$, donde M es el número de fibras de entrada que conmutan a/desde N fibras de salida, todo ello en base a un proceso completamente óptico, es decir, sin ningún tipo de conversión electro-óptica u opto-electrónica. Ver figuras 2.18 y 2.19.

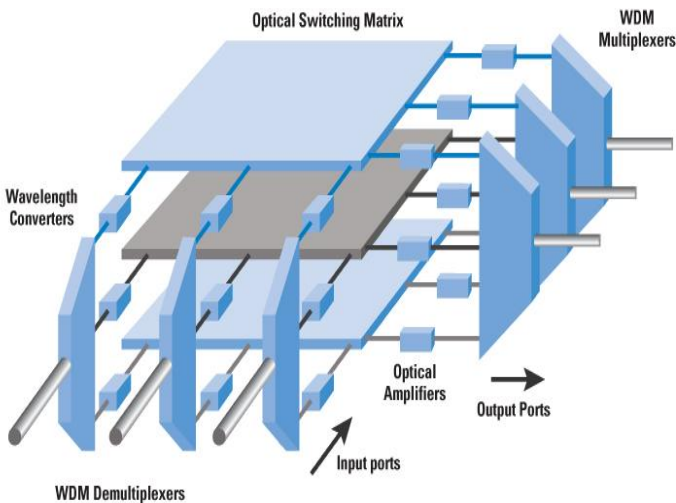


Figura 2.18 Concepto OXC

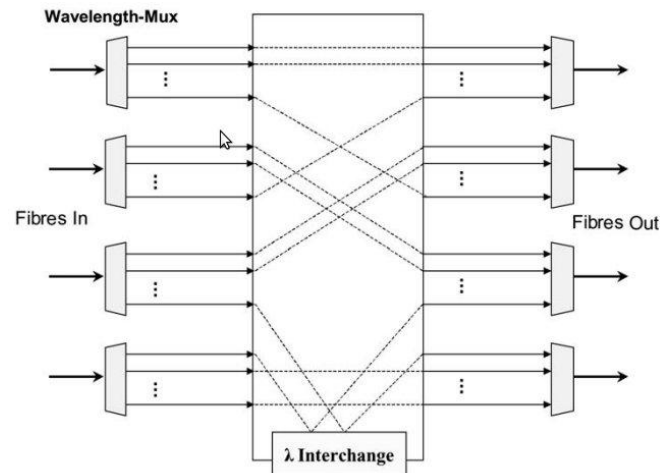


Figura 2.19 Estructura OXC [11]

La función del OXC consiste básicamente en conmutar longitudes de onda a gran velocidad de una fibra a otra en base a las necesidades de tráfico. Actualmente la podemos ver desarrollándose en tecnologías como ASON⁵. La restauración con un OXC conlleva sólo minutos, o incluso segundos, frente a las horas que puede durar el mismo proceso con medios convencionales.

⁴ Equiparable a Wavelength Crossconnect WXC

⁵ Ver capítulo 3

Las propiedades del OXC son:

- "Fiber switching": Capacidad para enrutar todas las longitudes de onda que provienen de una fibra hacia otra fibra de salida diferente. Ver figura 2.20.
- "Wavelength switching": Capacidad de controlar la entrada y la salida de longitudes de onda específicas de una fibra de entrada hacia otra de salida. Ver figura 2.20.
- "Wavelength conversion": Capacidad para recoger longitudes de onda y convertirlas en otras con distinta frecuencia óptica antes de mandarlas hacia el puerto de salida. Ver figura 2.20.

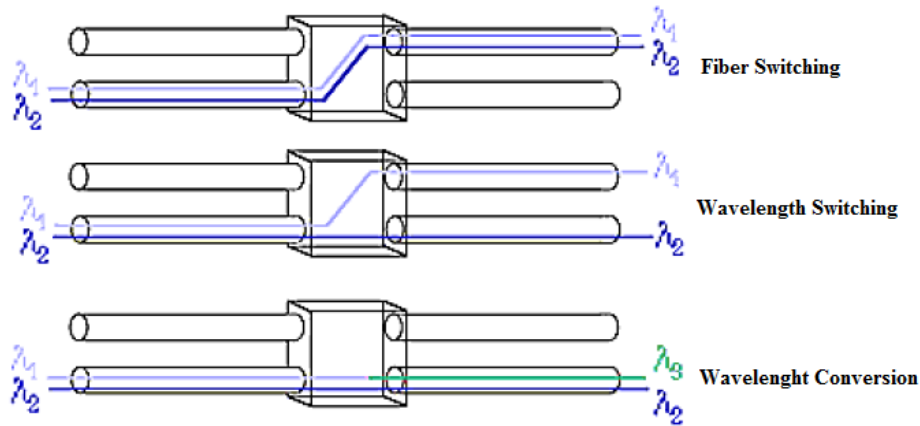


Figura 2.20 Switching, Wavelength Switching y Wavelength Conversion

Los OADMs configurable son fáciles de aprovisionar y cuentan con la reconfiguración que se puede reparar. Las desventajas son mínimas: Aproximadamente 17 dB de pérdida hace necesario el uso de ganancia y amplificación; las longitudes de onda son arregladas a que soporte WDM y no se perfecciona para el tráfico dinámico. Esto es muy caro y lo hace impropio para las aplicaciones metropolitanas, pero crea una mejora significativa a los sistemas de WDM de larga distancia permitiendo un poco de flexibilidad a los puntos de regeneración intermedios.

Capítulo 3

Tecnologías y Redes de Transporte

Existe un diseño de redes, que quizá sea el más difundido, debido a su simpleza y a varias características importantes ya que garantiza: redundancia, escalabilidad, seguridad y mantenimiento. La idea es muy sencilla y consiste en dividir una red en diferentes redes o capas como las siguientes. Ver figura 3.1.

- **Capa de Acceso:** Se tiene a los dispositivos finales conectados a los switches, hubs, access points, bridges. También es la encargada de controlar los dispositivos que pueden conectarse a la red y cuáles no.
- **Capa de Transporte:** En esta capa se interconectan los dispositivos de la capa de acceso y provee funcionalidades de ruteo entre las diferentes subredes de la LAN, dividiendo los dominios de broadcast, usualmente por medio de VLANs. Es posible encontrar aquí ruteadores y switches de capa 3. También se realizan controles de seguridad por medio de reglas de filtrado. Es importante notar que los equipos de esta capa deben tener una buena capacidad de procesamiento.
- **Capa de Núcleo (Core):** La capa de Núcleo provee la interconexión de los dispositivos de la capa de distribución y conectan las redes LAN a redes externas, como por ejemplo Internet. Es aquí donde se encuentran los ruteadores de borde. Para un buen rendimiento de la red, los equipos de la capa de núcleo deben proveer altas tasas de transferencia con latencias muy bajas. Su función debe limitarse sólo al reenvío de paquetes, minimizando el procesamiento. Ver figura 3.1.

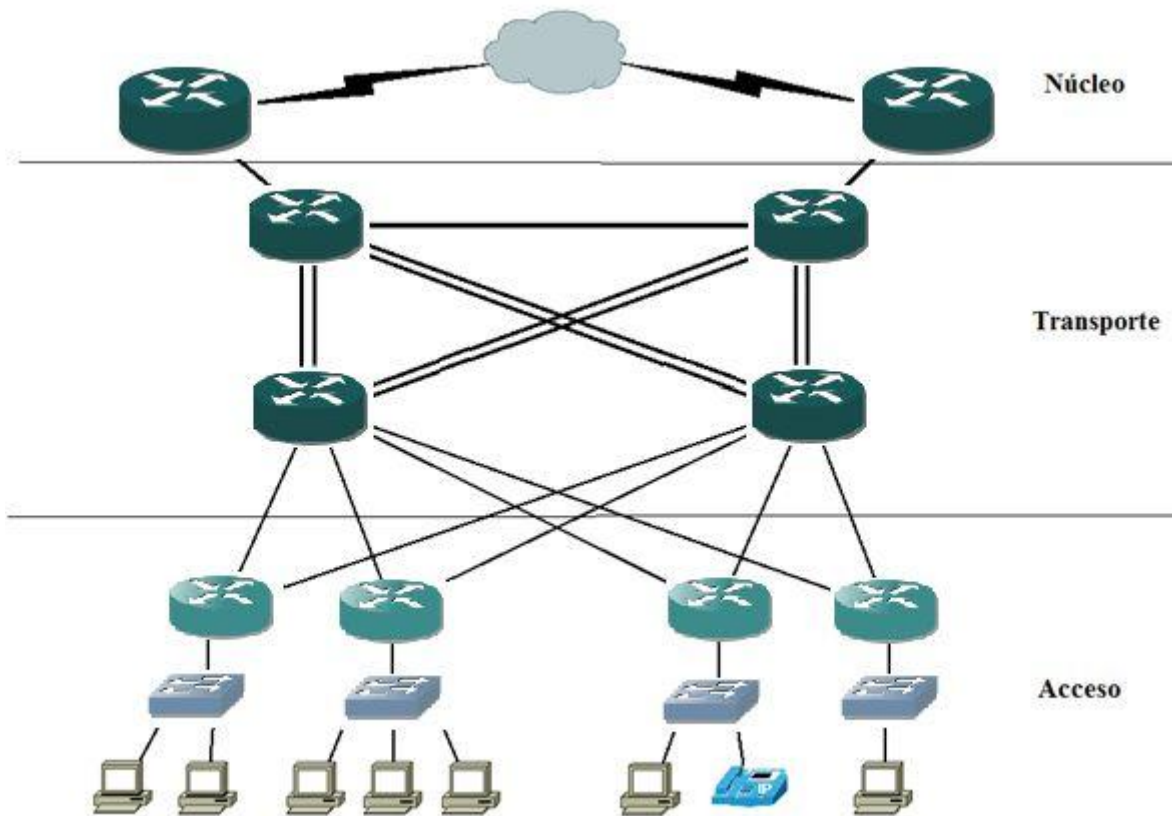


Figura 3.1 Modelo de redes [1]

Por tanto, éste modelo se ocupa como referencia para tratar dos aspectos muy importantes en el diseño de una red, los cuales son la red de acceso y la red de transporte. En este capítulo se mencionan las principales y no tan principales tecnologías de transporte.

3.1 Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN)

La primera Red de Área Extensa WAN, por sus siglas en inglés (Wide Area Network), fue realizada por la conmutación de circuitos a través de una red telefónica, la cual lleva por nombre Red Telefónica Pública Conmutada PSTN, por sus siglas en inglés (Public Switched Telephone Network). Consistía exclusivamente en la transmisión/recepción de señales de voz en forma de canales telefónicos digitales. Ver figura 3.2:

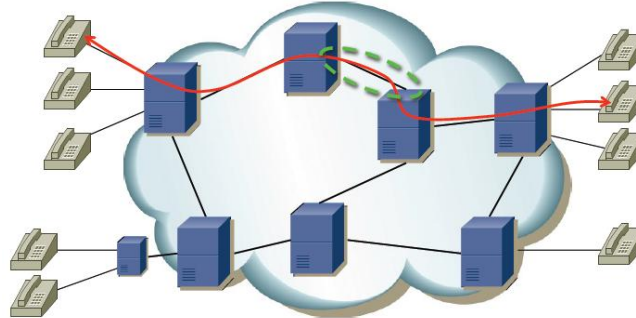


Figura 3.2 Red Telefónica Pública Conmutada PSTN y Conmutación de Circuitos [2]

De esta manera la señal de voz se transmitía como un flujo binario a través de TDM con una señal tributaria E0 (DS0), la cual se forma con una técnica de modulación por impulsos codificados, cuyos parámetros de digitalización son la frecuencia de muestreo y el número de bits. Puesto que la voz tiene una frecuencia de 36000Hz (4000Hz), aplicando el teorema de muestreo de Nyquist-Shannon para garantizar la recuperación total sin errores de la transmisión nos queda una frecuencia de muestreo de 8000Hz. El número de bits son 8. De ahí que la señal tributaria E0 sea de 64kbps, es decir, 8 bits x 8000Hz. Ver figura 3.3:

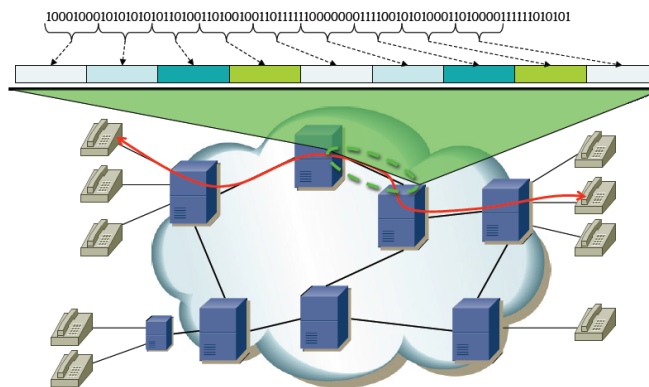


Figura 3.3 TDM y E0 aplicado en una red PSTN [2]

Desventajas

- Cada vez que el usuario desee conectarse a Internet, el módem accederá por vía telefónica ocupando la línea, creando la necesidad de contar con una segunda línea para realizar llamadas telefónicas.
- Es necesario recordar que este tipo de conexión resulta lenta porque el módem tiene que convertir las señales digitales del ordenador en señales analógicas para que el módem pueda enviarlas a través de la línea telefónica, por lo que esto carga completamente una página web estándar lleva mucho tiempo.

Ventajas

- Se puede conectar en cualquier lugar donde exista una línea telefónica, ayudando a las personas que aún no cuentan con acceso de banda ancha a conectarse al Internet.
- Existen proveedores de Internet-by-call (Internet por llamada), así que no sería necesario tener un contrato con un proveedor de servicios de Internet.

3.2 Jerarquía digital plesiócrona (PDH)

Debido a la evolución de los sistemas digitales surge la Jerarquía Digital Plesiócrona PDH, por sus siglas en inglés (Plesiochronous Digital Hierarchy), como tecnología capaz de transmitir múltiples canales telefónicos digitales al mismo tiempo. Por lo que la transmisión multicanal se consigue agregando canales digitales o tributarios en grupos. Por ejemplo, la velocidad de 2048Kbps se forma juntando 32 unidades básicas de PDH (E0 ó DS0) [3]. Ver figura 3.4:

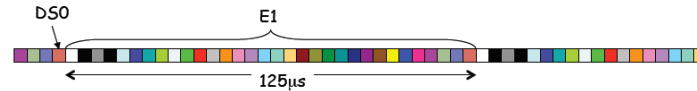


Figura 3.4 Tributaria E1 en PDH [2]

Juntando tributarias de orden menor, se crean tributarias de orden mayor, consiguiendo mayor velocidad. Ver figura 3.5:

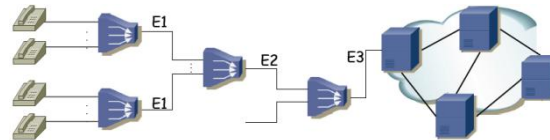


Figura 3.5 Creación de tributarias en PDH [2]

Las velocidades de las tributarias están establecidas en la recomendación UIT-T G.702 “Velocidades Binarias de la Jerarquía Digital” con el fin de establecer una base para los niveles más altos de la jerarquía digital y efectuar la interconexión internacional de los componentes de redes digitales a velocidades binarias jerárquicas. Ver figura 3.6.

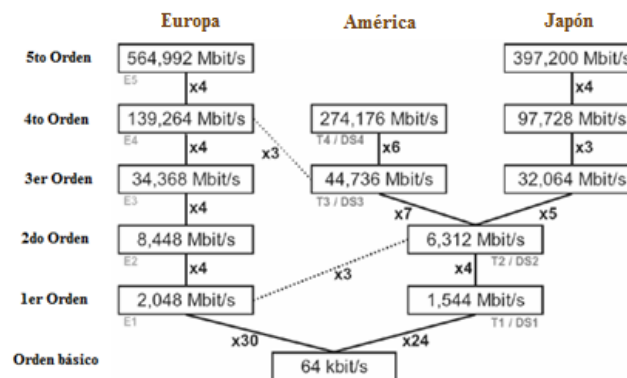


Figura 3.6 Velocidades binarias jerárquicas en las redes digitales PDH [4]

Al ser una tecnología casi síncrona (plesiócrona) puede sufrir desplazamientos de fase: Jitter (fluctuación de fase) y Wander (fluctuación lenta de fase) limitando las velocidades. Definiendo algunos términos.

- Jitter.- Variaciones de corta duración y no acumulativas de los instantes significativos de una señal digital con relación a las posiciones que teóricamente debieran ocupar en el tiempo.
- Wander.- Variaciones de larga duración y no acumulativas de los instantes significativos de una señal digital con relación a las posiciones que teóricamente debieran ocupar en el tiempo.

Desventajas

- No ha podido ser una fuerte implementación en las redes telefónicas.
- Conscientes de sus limitaciones, los fabricantes promovieron a finales de los 80, un nuevo formato de transmisión que si bien en principio fue concebido para el transporte de tráfico de voz, proporciona en su diseño soluciones a los inconvenientes de PDH.
- No puede satisfacer los requerimientos de la alta capacidad de transmisión.
- Sólo utiliza códigos regionales en lugar de utilizar las normas internacionales.
- Cuenta con difícil interconexión universal debido a que se tienen tres diferentes arquitecturas internacionales.
- El uso de códigos está en función de los fabricantes y la localización de las señales es de baja velocidad.

Ventajas

- El multiplexor no se tiene que sincronizar en el lado de los tributarios a la señal de entrada.
- La adaptación del reloj es mediante el relleno positivo bit por bit y que para cada etapa de multiplexación se define una trama de transmisión propia.

3.3 Jerarquía Digital Síncrona (SONET/SDH)

La Jerarquía Digital Síncrona SDH, por sus siglas en inglés (Synchronous Digital Hierarchy), se va introduciendo al mundo digital para suplantar a PDH. El desarrollo de esta tecnología se inició en un principio en Estados Unidos por la ANSI con la norma de Redes Ópticas Síncronas SONET, por sus siglas en inglés (Synchronous Optical NETwork), seguido posteriormente por el SDH desarrollado por la UIT que se ha implantado en Europa y Japón [5]. Posteriormente ambas normas se compatibilizaron. En la tabla 3.1 se presenta una comparativa entre SONET y SDH.



	<p style="text-align: center;">SONET</p> <ul style="list-style-type: none"> • Synchronous Optical NETwork • Norma ANSI • Señal Eléctrica, STS (Synchronous Transport Signal) • STS-1 = 51.84Mbps • Señal Óptica, OC-1 (Optical Carrier) • Terminología: STS Section, STS Line, STS Path y Virtual Tributary
	<p style="text-align: center;">SDH</p> <ul style="list-style-type: none"> • Synchronous Digital Hierarchy • Norma UIT (finales de los 80s, G.707) • SONET caso particular • En SDH la señal mínima es la de 155.52Mbps (STM-1) • STM (Synchronous Transport Module), óptico o eléctrico • Terminología: Regenerator Section, Multiplex Section, Higher Order Path y Virtual Container

Tabla 3.1 Comparativa entre SONET y SDH

SDH se basa en la existencia de una referencia temporal común (reloj primario), que multiplexa diferentes señales dentro de una jerarquía flexible, gestiona su transmisión de forma eficiente a través de fibra óptica con mecanismos internos de protección.

Las velocidades equivalentes de dichas normas se muestran en la tabla en la tabla 3.2. Donde:

- STM: Synchronous Transport Module (UIT-T)
- STS: Synchronous Transport Signal (ANSI)
- OC: Optical Carrier (ANSI)

SONET		SDH Equivalencia	Tasa de bits [Mbps]
Nivel Óptico	Nivel Eléctrico		
OC-1	STS-1	STM-0	51.84
OC-3	STS-3	STM-1	155.52
OC-12	STS-12	STM-4	622.08
OC-48	STS-48	STM-16	2488.32
OC-192	STS-192	STM-64	9953.28
OC-768	STS-768	STM-256	39812.12

Tabla 3.2 Equivalencias de las tasas de transmisión SDH/SONET [6]

Estructura de la Trama SDH

La trama STM-1 es el formato de transmisión básico para SDH. La trama tiene un ancho de pulso de 125 microsegundos, por lo tanto, existen 8000 tramas por segundo, es por eso que la tasa de transmisión básica de SDH es 155,52 Mbps (STM-1). La combinación de estas tramas, al igual que en PDH, da como resultado tramas de orden mayor [6]:

- $STM-1 = (270 \text{columnas} * 9 \text{filas} * 8 \text{bits}) * 8000 = 155 \text{ Mbps}$
- $STM-4 = (270 \text{columnas} * 9 \text{filas} * 8 \text{bits}) * 8000 * 4 = 622 \text{ Mbps}$
- $STM-16 = (270 \text{columnas} * 9 \text{filas} * 8 \text{bits}) * 8000 * 16 = 2.5 \text{ Gbps}$
- $STM-64 = (270 \text{columnas} * 9 \text{filas} * 8 \text{bits}) * 8000 * 64 = 9.95 \text{ Gbps (10 Gbps)}$
- $STM-256 = (270 \text{columnas} * 9 \text{filas} * 8 \text{bits}) * 8000 * 256 = 39.95 \text{ Gbps (40 Gbps)}$

La trama STM-1 está estructurada como 270 columnas (bytes) por 9 filas en las que las 9 primeras columnas de la estructura corresponden al área del encabezado de sección o section overhead (incluye también el puntero de unidad administrativa), y las restantes 261 columnas son el área de carga útil “payload”.

SDH elimina la necesidad de un número de niveles menores de multiplexación definido en PDH. Los tributarios de 2Mbps son multiplexados a nivel de STM-1 en un solo paso. De todos modos, para mantener la compatibilidad con equipos no síncronos, las recomendaciones SDH definen métodos de subdivisión del área de payload de la trama STM-1 de varias formas, de modo que puedan portar diversas combinaciones de señales tributarias, tanto síncronas como asíncronas. Usando este método, los sistemas de transmisión síncrona pueden acomodar señales generadas por equipamiento de varios niveles de PDH.

En síntesis, una trama STM-1 se divide en tres áreas principales [6]:

- Área de carga útil (Payload, 2349 bytes), de las 261 columnas.
- Área del puntero de unidad administrativa (AUP, 9 bytes), de las 9 columnas.
- Área del encabezado de sección (SOH, 72 bytes), de las 9 columnas.

A continuación, en la figura 3.7, se indica la estructura general de la trama STM-1 de SDH:

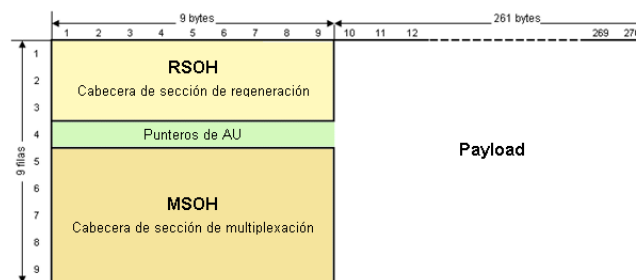


Figura 3.7 Estructura de la trama STM-1 en SDH [6]

El área del encabezado de sección SOH por sus siglas en inglés (Section Over Head) está constituida por 9x9 bytes de los cuales muchos no están definidos. Los bytes correspondientes a las filas 1 a 3 se utilizan para aplicaciones entre repetidores en el encabezado de sección de regeneración RSOH por sus siglas en inglés (Regenerator Section Over Head) mientras que los bytes de las filas 5 a 9 se aplican entre terminales de multiplexación en el área de sección de multiplexación MSOH por sus siglas en inglés (Multiplex Section OverHead). Sobrando la fila 4 que está definida para los punteros AU. Ver figura 3.8.

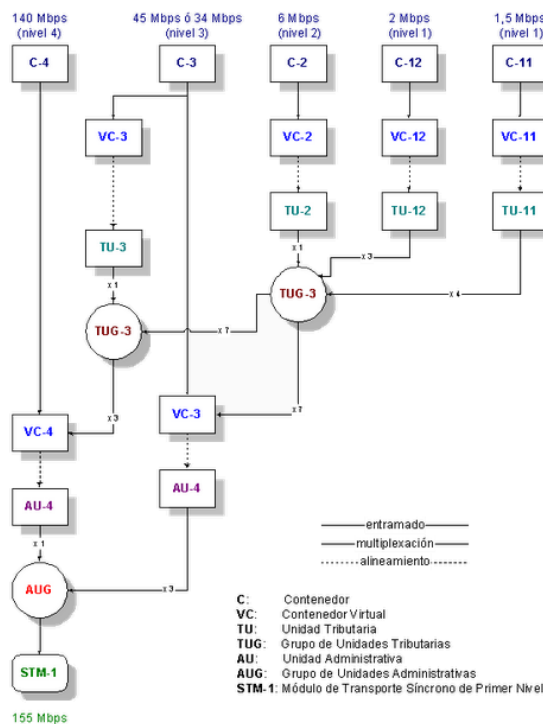


Figura 3.8 Creación de una tributaria STM-1 en SDH [7]

En la figura 3.7 podemos observar el procedimiento para elaborar una tributaria STM-1. En la parte superior notamos los contenedores C-n (Container), los cuales son la unidad básica de empaquetamiento para los canales tributarios. Son 5, a continuación se muestran: Se tiene un contenedor especial para cada señal tributaria de PDH (UIT-T G.703):

- C-4 para señales de 140 Mbps
- C-3 para 45 y 34 Mbps
- C-2 para 6 Mbps
- C-12 para 2 Mbps
- C-11 para 1,5 Mbps

Existe una segunda versión de los contenedores, llamados contenedores virtuales VC-n por sus siglas en inglés (Virtual Container) formados de un contenedor y de un encabezado de trayecto POH por sus siglas en inglés (Path OverHead). Este encabezado tiene como misión monitorear la calidad e indicar el tipo de contenedor; por lo tanto, el formato y tamaño del POH depende del tipo de contenedor. El VC es la entidad de carga útil que viaja sin cambios a lo largo de la red, siendo creada y desmantelada en los distintos puntos de acceso o terminación del servicio de transporte.

Se realizan procesos de multiplexación por entrelazado de byte de un conjunto de TUs, obteniendo una estructura denominada Grupo de Unidades Tributarias TUG-n por sus siglas en inglés (Tributary Units Group). Este proceso es completamente síncrono.

Siguiendo en la figura 3.8 encontramos la necesidad de añadir un puntero indicando el comienzo del VC dentro de la trama. La unidad formada por el puntero y el VC se denomina Unidad Administrativa AU-n (Administrative Unit), o bien Unidad Tributaria TU-n (Tributary Unit).

En la parte final observamos los grupos de unidades administrativas AUG por sus siglas en inglés (Administrative Unit Group), son un conjunto de unidades administrativas. Finalmente, se debe dotar a la estructura obtenida de información adicional que permita su transporte por el medio físico, es decir, del SOH. El grupo de unidades administrativas junto a la SOH forman el STM-N.

Desventajas

- Cuenta con la estructura de trama de las centrales hecha por entrelazamiento de octetos a 64kbps es síncrona, por tanto el empleo de la justificación para adoptar temporización se vuelve innecesario.
- El entrelazamiento de bits hace que canales a 64kbps pertenecientes a un tramo de tráfico sólo se puedan bifurcar hasta que se demultiplexan a nivel primario.
- Los canales de n 64kbps que no se puedan incluir bajo la multiplexación primaria no se pueden tramitar de ninguna otra forma por la red.
- La información de mantenimiento no está asociada a vías completas de tráfico, sino a enlaces individuales, por lo cual el procedimiento de mantenimiento para una vía completa es complicado.
- Necesita sincronismo entre los nodos de la red, requiere que todos los servicios trabajen bajo una misma referencia de temporización.
- Se pierde eficiencia ya que el número de bytes destinados al encabezado de sección es demasiado grande.

Ventajas

- La sincronización es bajo un mismo reloj para todos los componentes de la red.
- La transmisión de las jerarquías digitales son mediante PDH y SDH.
- La multiplexación de canales síncronos y asincrónicos con lo que se conoce la posición de cada tributaria (2Mbps), permite efectuar operaciones conocidas como *add-drop*.
- Las arquitecturas tipo anillo que las hace gracias al enrutamiento en ambos sentidos.
- Facilidad de operación, mantenimiento, administración y gestión de red.

3.4 Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)

Una Red Digital de Servicios Integrados ISDN, por sus siglas en inglés (Integrated Services Digital Network), es un complejo sistema de procesamiento de llamadas que permite el transporte de voz y de datos (textos, gráficas, videoconferencia, etc.) todo transmitido desde una única interfaz de red digital. Los canales de transmisión son: canal B, D y H [8,9]:

- **Canal B.**- Transmite información a 64Kbps, se emplea para transportar cualquier tipo de información de los usuarios, bien sean datos de voz o datos informáticos. No transporta información de control de la RDSI.
- **Canal D.**- Canales de señalización, se utilizan principalmente para enviar información de control de la RDSI, como es el caso de los datos necesarios para establecer una llamada o para colgar. Pueden transportar datos cuando no se utilizan para control. Estos canales trabajan a 16Kbps ó 64kbps según el tipo de servicio contratado.
- **Canal H:**
Combinando varios canales B se obtienen canales tipo H, que también son canales para transportar sólo datos de usuario, pero a velocidades mucho mayores. Por ello se emplean para información como audio de alta calidad o vídeo. Existen diversos tipos de canales H:
 - Canales H0, que trabajan a 384Kbps (6 canales B)
 - Canales H10, que trabajan a 1472Kbps (23 canales B)
 - Canales H11, que trabajan a 1536Kbps (24 canales B)
 - Canales H12, que trabajan a 1920Kbps (30 canales B)

Los tipos de interfaces están definidos en dos, los cuales son BRI y PRI [10]:

- **BRI (Basic Rate Interface o Interfaz de Servicio Básico):** Acceso Básico que también se conoce como T0: Consiste en dos canales B a 64kbps y un canal D a 16kbps. Haciendo un total de 144kbps. Este servicio está pensado para satisfacer las necesidades de la mayoría de los usuarios individuales. Ver figura 3.9.
- **PRI (Primary Rate Interface o Interfaz de Servicio Primario):** Acceso Primario que también se conoce como T2: Este tipo de servicio, está pensado para usuarios con necesidades de capacidad mayores. Normalmente está formado para EUA por 23 canales B, además de un canal D a 64kbps: T1=1.5Mbps. Mientras que para EUROPA un servicio primario está formado por 30 canales B además de 1 canal D a 64kbps: E1=2Mbps. Ver figura 3.9.

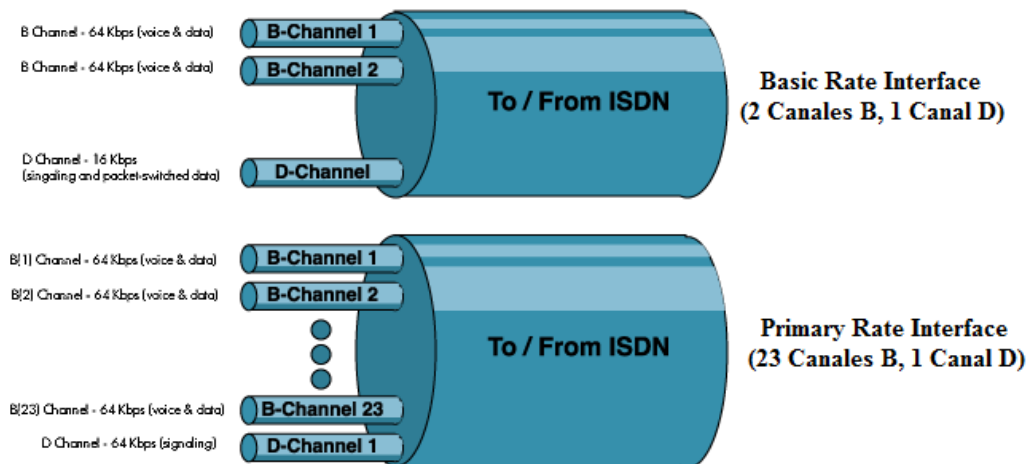


Figura 3.9 Interfaz de Servicio Básico BRI e Interfaz de Servicio Primario PRI de ISDN [10]

Modelo de referencia

El modelo de referencia de protocolos de la ISDN se muestra en la figura 3.10. Donde aparece un plano de usuario, un plano de control y un plano de gestión.

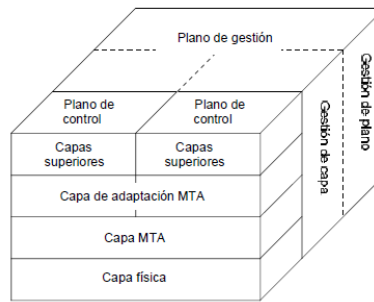


Figura 3.10 Modelo de referencia de protocolos de la ISDN [11]

Plano de usuario

El plano de usuario, con su estructura estratificada, efectúa la transferencia del flujo de información de usuario, junto con los correspondientes controles (por ejemplo, control de flujo y corrección de errores).

Plano de control

Este plano tiene una estructura estratificada y realiza las funciones de control de llamada y de control de conexión; se encarga de la señalización necesaria para establecer, suspender y liberar llamadas y conexiones. La distinción entre plano de control local y global en el entorno de banda ancha, si es que existe, requiere ulterior estudio.

Plano de gestión

El plano de gestión proporciona dos tipos de funciones, a saber, las funciones de gestión de capa y las funciones de gestión de plano.

Desventajas

- Periodos prologados para la descarga de datos.
- Hay que tomar en cuenta que el volumen de la descarga de datos son enviados a través de Internet y que este a su vez aumenta constantemente (páginas web con mayor contenido e información).

Ventajas

- ISDN es más rápida que una conexión vía módem analógico porque las señales transmitidas están ya en forma digital.
- Es posible usar simultáneamente el teléfono, fax e Internet.
- Se pueden conectar simultáneamente hasta 8 dispositivos, como teléfonos, faxes, etc.

3.5 Modo de Transferencia Asíncrona (ATM)

El Modo de Transferencia Asíncrona ATM, por sus siglas en inglés (Asynchronous Transfer Mode), multiplexa y conmuta celdas o pequeños paquetes de longitud fija, combinando los beneficios de la conmutación de circuitos con los de una conmutación de paquetes. Proporciona un ancho de banda escalable, que va desde los 2Mbps a los 10Gbps.

El funcionamiento de ATM se basa en el empleo de celdas de tamaño fijo de 53 bytes que resulta entre requisitos de las aplicaciones de voz y las aplicaciones de datos (ver figura 3.11). A diferencia de SDH, la transmisión de tramas no es de naturaleza continua, sino que las celdas se transmiten sólo cuando hay información que enviar.

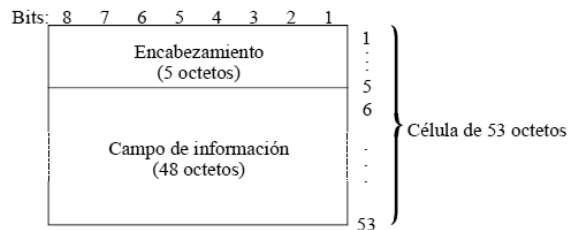


Figura 3.11 Estructura de la célula en la Unit Network Interface o Network Node Interface [12]

De los 53 bytes, 5 se reservan para el encabezado (destino del paquete, etc.) y 48 bytes se reservan para la carga que transporta la celda.

Es de suma importancia reconocer que las redes ATM se estructuran en dos capas: la capa ATM y la capa física. Tal y como lo dice la recomendación de la UIT-T I. Aspectos Generales de Red de la Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (RDSI-BA). Ver tabla 3.3.

	Capa superior	
Red de transporte ATM	Capa ATM	Nivel de canal virtual
		Nivel de trayecto virtual
	Capa física	Nivel de trayecto de transmisión
		Nivel de sección digital
		Nivel de sección del regenerador

Tabla 3.3 Jerarquía de la red de transporte ATM [12]

Las funciones de transporte de la capa ATM se dividen en dos niveles: el nivel de canal virtual y el nivel de trayecto virtual.

Las funciones de transporte de la capa física se dividen en tres niveles: el nivel de trayecto de transmisión, el nivel de sección digital y el nivel de sección del regenerador.

Nivel de Canal Virtual (VC)

El Canal Virtual VC, por sus siglas en inglés (Virtual Channel), es un término genérico utilizado para describir una capacidad de comunicación unidireccional para el transporte de células ATM [12].

Cada vez que un VC se conmuta en la red se asigna un valor específico de un Identificador de Canal Virtual VCI, por sus siglas en inglés (Virtual Channel Identifier), el cual, identifica un enlace de VC particular para una determinada Conexión de Trayecto Virtual VPC, por sus siglas en inglés (Virtual Path Connection). El enlace VC se origina o termina mediante la asignación o supresión del valor de VCI.

Nivel de Trayecto Virtual (VP)

El nivel de Trayecto Virtual VP, por sus siglas en inglés (Virtual Path), es un término genérico utilizado para un haz de enlaces de canales virtuales; todos los enlaces de VC de un haz tienen los mismos extremos [12].

El VPI identifica un grupo de enlaces de VC, en un punto de referencia dado, que comparten la misma VPC. Se asigna un valor específico de VPI cada vez que se conmuta un VP en la red. Un enlace de VP es una capacidad unidireccional para el transporte de células ATM entre dos entidades ATM consecutivas en las que se traduce el valor del VPI. Un enlace de VP se origina o termina mediante la asignación o supresión del valor de VPI.

Las funciones de enrutamiento de trayectos virtuales se realizan en un conmutador/transconector de VP1. Este enrutamiento implica la traducción de los valores de los VPI de los enlaces de VP entrantes en valores de VPI de los enlaces de VP salientes.

Los enlaces de trayecto virtual se concatenan para formar una conexión de trayecto virtual (VPC). Una VPC se extiende entre dos extremos de VPC o, en caso de configuraciones punto a multipunto, entre más de dos extremos de VPC. Un punto terminal de VPC es el punto en el que se originan, traducen o terminan los VCI.

Al nivel de VP, las VPC tienen el objetivo de realizar la transferencia de información de usuario a usuario, de usuario a red o de red a red.

Cuando se conmutan los VC, las VPC que soportan los enlaces de VC de entrada deben, en primer lugar, ser terminadas, creándose una nueva VPC de salida. La integridad de la secuencia de células se preserva, como se define en la cláusula 2/I.150 por la capa ATM para células que pertenecen a la misma VPC.

En la figura 3.13 aparece una representación de la jerarquía de conmutación de VP y VC utilizado en la jerarquía de la tabla 3.3. Los valores del VPI se modifican en los bloques de conmutación de los VP y los valores del VCI se modifican en los bloques de conmutación de los VC.

En las siguientes figuras se muestra la relación entre el Canal Virtual, el Trayecto Virtual y el Trayecto de Transmisión.

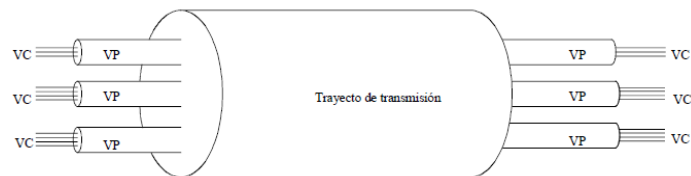


Figura 3.12 Relación entre canal virtual, trayecto virtual y trayecto de transmisión [12]

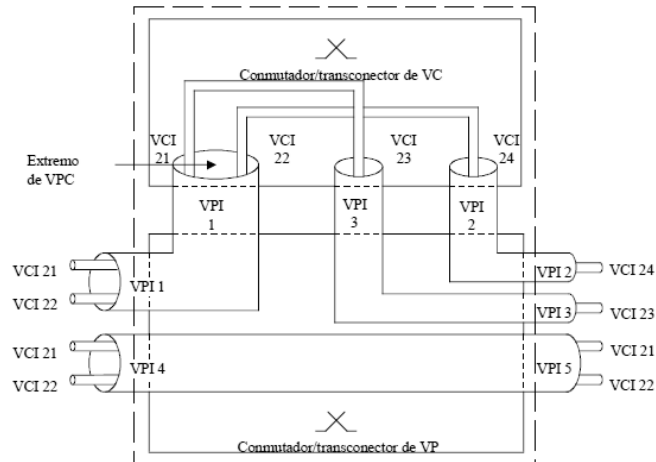


Figura 3.13 Representación de la conmutación de VC y VP [12]

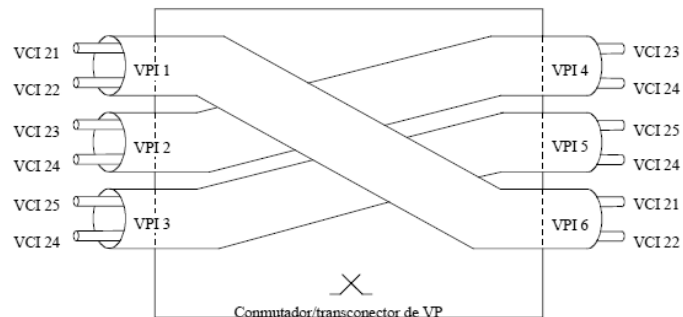


Figura 3.14 Representación de la conmutación de VP [12]

Nivel de trayecto de transmisión

El trayecto de transmisión se extiende entre los elementos de red que ensamblan y desensamblan el contenido útil de un sistema de transmisión. La delimitación de células y las funciones de control de errores de encabezamiento son necesarias en los extremos de cada trayecto de transmisión.

Nivel de sección digital

La sección digital se extiende entre los elementos de red que ensamblan y desensamblan un tren continuo de bits de octetos.

Nivel de sección de regenerador

La sección de regenerador es una porción de una sección digital.

Los componentes arquitectónicos de una red de transporte ATM muestran la relación jerárquica de nivel a nivel. Cada nivel de relación incluye cuatro componentes [12]:

- **Extremo de la conexión.-** Está situado en la frontera de los niveles proporcionando la función de terminación de la conexión.
- **Punto de conexión.-** Se encuentra en el interior de una conexión a la que acceden dos enlaces adyacentes; proporciona la función de conexión.
- **Conexión.-** Proporciona la capacidad de transferir la información los mismos extremos. Representa la asociación entre extremos junto con cualquier información adicional relativa a la integridad de transferencia de la misma.
- **Enlace.-** Proporciona la capacidad de transferir la información de manera transparente. Un enlace representa la asociación entre puntos de conexión contiguos o entre un extremo y su punto de conexión contiguo.

Como puede verse en la figura 3.15, una conexión en un nivel específico proporciona servicio a un enlace situado en el nivel superior siguiente.

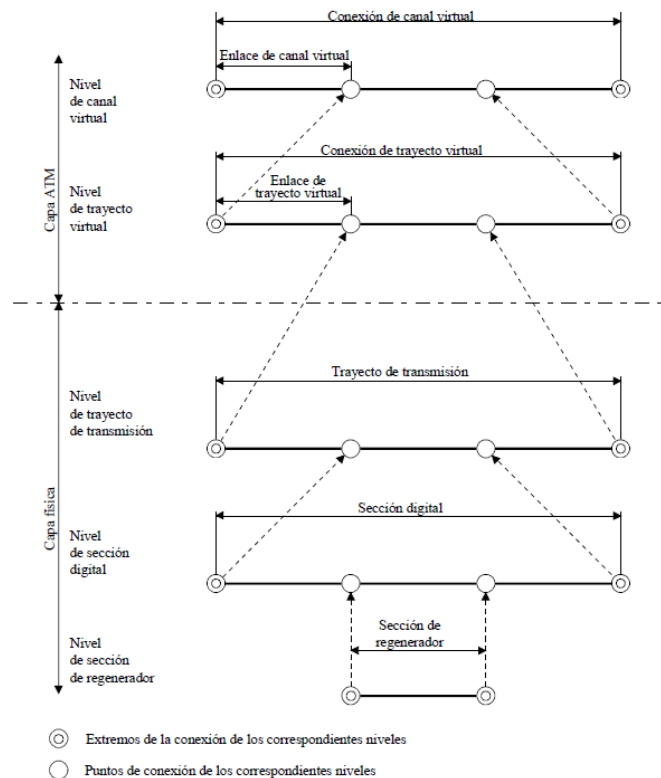


Figura 3.15 Relación jerárquica de capa a capa [12]

Las interfaces de red y usuario que permite ATM son las que muestra la figura 3.16.

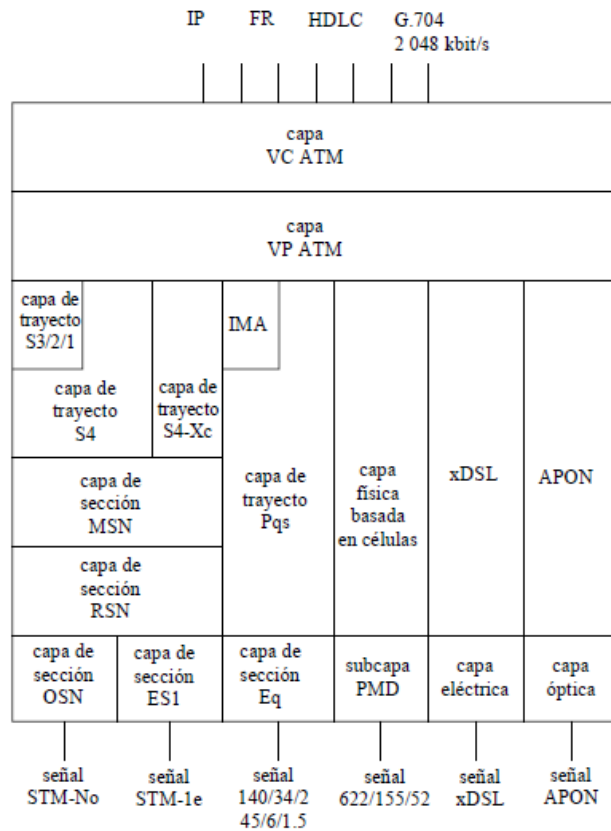


Figura 3.16 Ejemplos de capas de transmisión y señales de interfaz [14]

En la parte de red se muestran:

- IP "Internet Protocol"
- FR "Frame Relay"
- HDLC "High-Level Data Link Control"
- G.704 "Estructuras de trama síncrona utilizadas en los niveles jerárquicos 1544, 6312, 2048, 8448 y 44736kbps"

En la parte del usuario encontramos:

- STM "Synchronous Transport Module"
- Señales PDH T1, T2 Y T3
- Señales PDH E1, E3 Y E4
- Señales ópticas OC-1, OC-3, OC-12
- xDSL "x Digital Subscriber Line"
- APON (ATM Passive Optical Network)

Desventajas

- Sistema complejo y costoso.
- Pocas opciones a nivel de interfaces.
- Saltos "discretos" a nivel velocidad (STM1, STM4, etc.).
- No ha logrado imponerse globalmente.

Ventajas

- Comunicación de alta velocidad.
- Servicio orientado a la conexión, similar a la telefonía tradicional
- Conmutación rápida mediante hardware.
- Transporte de redes universal e interoperable.
- Una única conexión de red que puede mezclar de forma fiable voz, vídeo y datos.
- Asignación flexible y eficaz del ancho de banda de la red.

3.6 Redes Ópticas de Transporte (OTN)

Las Redes Ópticas de Transporte OTN, por sus siglas en inglés (Optical Transport Network), son un conjunto de elementos de red óptica conectados mediante fibra óptica, capaces de proveer transporte, multiplexación, enrutamiento, gestión y supervisión de las señales ópticas.

OTN se compone de tres partes que son denominadas normalmente capas, las cuales son: Sección de Transporte Óptico OTS por sus siglas en inglés (Optical Transmission Section), Sección de Multiplexación Óptica OMS, por sus siglas en inglés (Optical Multiplex Section), y Canal Óptico OCh por sus siglas en inglés (Optical Channel) [15]:

- El Canal Óptico OCh es una conexión óptica entre dos usuarios, y ocupa todo un camino óptico. Estos canales son multiplexados y transmitidos como una señal a través de una única fibra. Ver figura 3.17.
- La Sección de Multiplexación Óptica OMS es el tramo entre un multiplexor y un demultiplexor sobre el que la señal es multiplexada. Ver figura 3.17.
- La Sección de Transmisión Óptica OTS es el transporte entre dos puntos de acceso sobre el que la señal multiplexada se transmite. Ver figura 3.17.

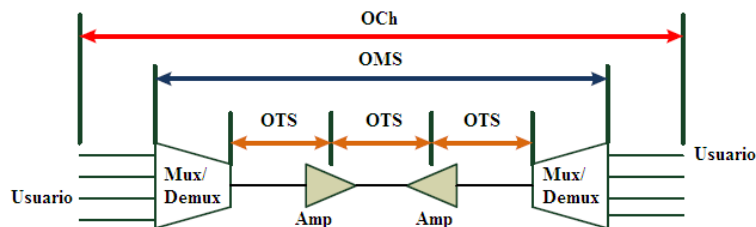


Figura 3.17 Estructura OTN [15]

La terminación del OTS, OMS y capas del canal óptico OCh son realizados en el nivel óptico del OTN. La carga útil del canal óptico OCh consiste en una infraestructura eléctrica, donde la unidad óptica de transporte de canal OTU, por sus siglas en inglés (Optical Transport Unit), es el nivel que añade mayor funcionalidad. Esta capa es digital, la cual ofrece encabezados específicos para manejar las funciones digitales de OTN. El OTU también introduce a las interconexiones ópticas corrección delantera de error FEC, por sus siglas en inglés (Forward Error Correction), a los elementos de la red, permitiendo a operarios limitar el número necesario de regeneradores utilizados en la red y con esto reducir costos.

OTU encapsula otras dos capas: La Unidad Óptica de Datos ODU, por sus siglas en inglés (Optical Data Unit) y la Unidad de Carga Óptica OPU, por sus siglas en inglés (Optical Channel Payload Unit), que dan acceso a la carga útil (SDH, FICON etc.). Ver figura 3.18.

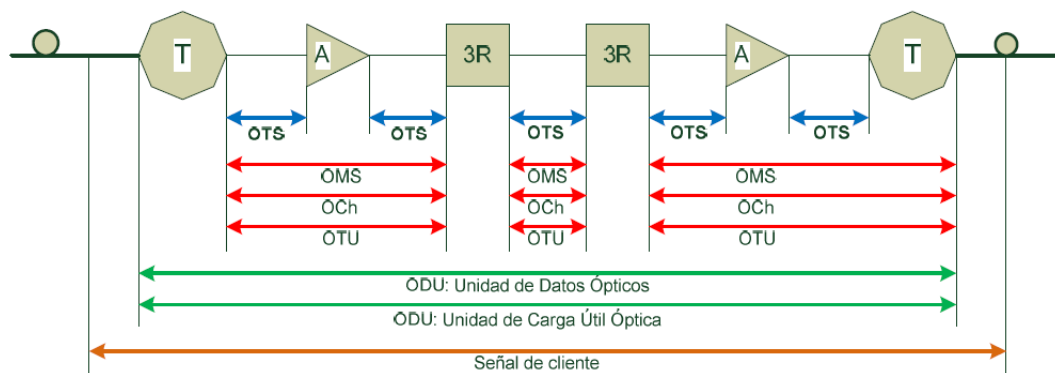


Figura 3.18 Puntos de terminación de capas OTN [15]

T: Punto de acceso a clientes

A: Amplificador Óptico

3R: Reformación, Reamplificación y Resincronización

Por otra parte el proceso para que una señal cliente lleve a cabo su transmisión es el siguiente:

El encapsulamiento de la señal del cliente es primero adaptado a la capa OPU. La adaptación consiste en el ajuste de la tasa de señal de cliente a la tasa de OPU, para esto se añade un encabezado OH el cual contiene información para apoyar la adaptación de la señal del cliente.

Una vez adaptada la señal, el OPU es insertado en el ODU y se agregarán los encabezados necesarios para asegurar supervisión de extremo a extremo y monitoreo. Por último, al ODU se le añade un encabezado que proporciona entramado así como sección de monitoreo y FEC, formando así el OTU. Ver figura 3.19.



Figura 3.19 Encapsulamiento de la señal cliente, Parte I [15]

Las unidades de transporte óptico OTU k ($k = 1, 2, 3$) son transportados utilizando el canal óptico OCh, cada canal es asignado a una longitud de onda específica de la red. Varios canales pueden ser asignados en el OMS y entonces transportados a través de la capa OTS. Cada una de las capas OCh, OMS y OTS tiene su propio encabezado para propósitos de gestión en el nivel óptico. El encabezado de estas capas ópticas es transportado fuera de la red de la UIT, sobre un canal llamado canal de supervisión óptico OSC (Optical Supervisory Channel). Ver figura 3.20.

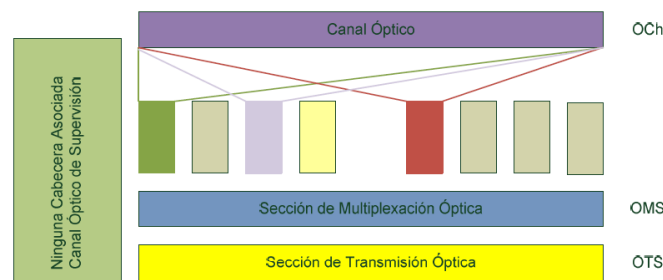


Figura 3.20 Encapsulamiento de la señal cliente, Parte II [15]

Cuando la estructura de trama de OTU está completa (OPU, ODU y OTU), G.709 proporciona funciones Operación, Administración, Mantenimiento y Provisionamiento OAM&P (Operations, Administration, Maintenance, and Provisioning) que son apoyadas por los encabezados.

Unidad de Carga Óptica (OPU-k)

La Unidad de Carga Óptica OPU-k, por sus siglas en inglés (Optical Channel Payload Unit-k), es la unidad de trama básica de OTN, en la cual, las señales de los clientes son mapeadas. Teniendo en cuenta el FEC y la tasa de bits de transmisión nominal de OPU-k, una unidad OPU-K consta de cuatro filas de 3810 bytes cada uno. Ver figura 3.21.

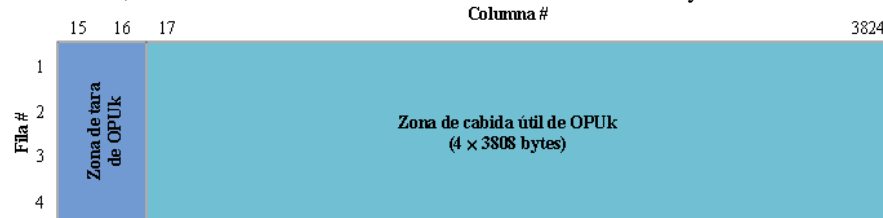


Figura 3.21 Unidad de Carga Óptica OPU-k general [16]

El principal campo de encabezado asociado con la Unidad de Carga Óptica OPU (Optical Channel Payload Unit) se añade a los datos del OPU, para dar soporte a las diferentes señales cliente así como también controla el mapeo de las mismas y aporta información acerca del tipo de señal transmitida.

La recomendación G.709 permite el mapeo asíncrono y síncrono de las señales cliente. El encabezado del OPU está formada por el Identificador de estructura de carga útil PSI (Payload Structure Identifier) donde se encuentra el tipo de carga útil PT (Payload Type) y los bits de encabezado asociados con el mapeo de las señales cliente, un ejemplo de estos son los bits de justificación que son necesarios para los mapeos asíncronos. El campo Identificador de

estructura de carga útil PSI (Payload Structure Identifier) del OPU transporta un mensaje de 256 bytes alineados con la multitrama ODU. Ver figura 3.22.

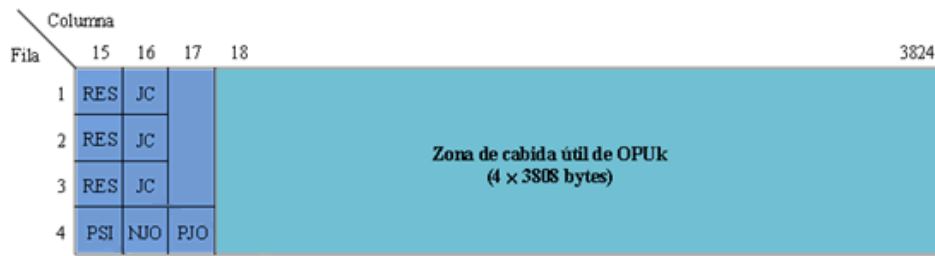


Figura 3.22 Unidad de Carga Óptica OPU-k detallada [16]

RES: Reservado para una futura normalización internacional

JC: Justification Control

NJO: Negative Justification Opportunity

Unidad Óptica de Datos (ODU-k)

La Unidad Óptica de Datos-k ODU-k, por sus siglas en inglés (Optical Channel Data Unit-k), está formada por la adición de un encabezado de 14 columnas de bytes en los extremos iniciales de la OPU-k. Ver figura 3.23.

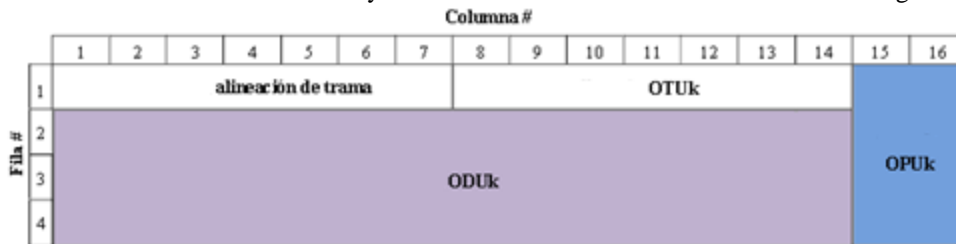


Figura 3.23 Unidad Óptica de Datos ODU-k general [16]

Como se podrá observar en la figura 3.24, el encabezado del ODU suministra dos importantes encabezados: el encabezado Monitoreo de Trayectoria PM, por sus siglas en inglés (Path Monitoring) y el encabezado Supervisión de Conexión en Cascada TCM, por sus siglas en inglés (Tandem Connection Monitoring).

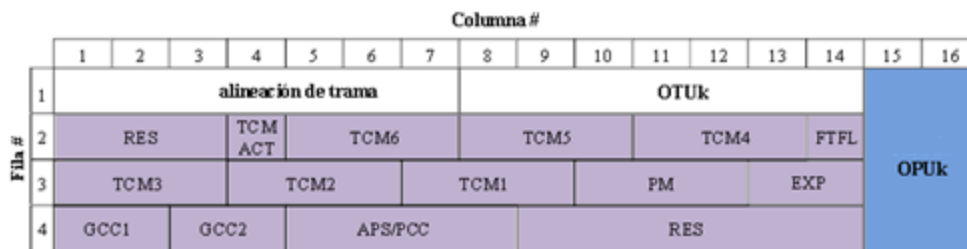


Figura 3.24 Unidad Óptica de Datos ODU-k detallada [16]

Ubicación de tara de alineación de trama de OTUk/ODUk

En las figuras siguientes se muestra la ubicación de la tara de alineación de trama de OTUk/ODUk. La tara de alineación de trama de OTUk/ODUk es aplicable para las señales OTUk y ODUk. Ver figura 3.25 y 3.26.

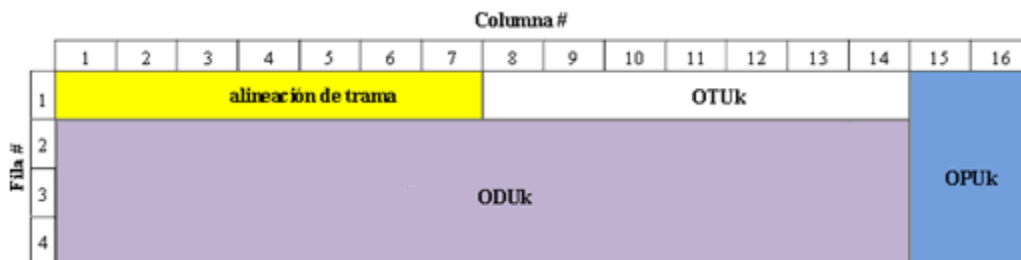


Figura 3.25 Encabezado de alineación de trama OTU-k/ODU-k general [16]

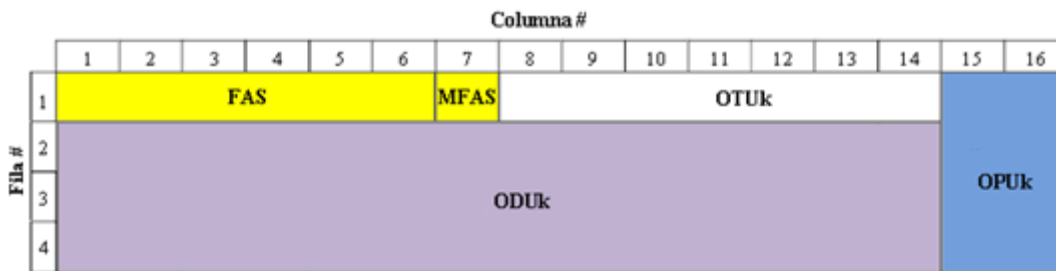


Figura 3.26 Encabezado de alineación de trama OTU-k/ODU-k completa [16]

Los primeros 14 bytes de la primera fila de la ODU-k están definidas de la siguiente manera:

- La Señal de Alineación de Trama FAS, por sus siglas en inglés (Frame Alignment Signal), localizada en los bytes 1-6, consiste en la secuencia de alineación de trama fija: 0xA1 0xA1 0xA1 0xA2 0xA2 0xA2.
- La Señal de Alineación de Multitrama MFAS, por sus siglas en inglés (Multiframe Alignment Signal), localizada en el byte 7, contiene el número de trama en una multitrama de 256 bytes.

Unidad Óptica de Transporte (OTU-k)

El OTU soporta el transporte de una o más conexiones de canal óptico. También especifica la Alineación de Trama y el FEC, la formación de la trama de la unidad de transporte de canal óptico -k (OTU-k) se finaliza con la adición de bytes de encabezado OTU-k. Ver figura 3.27.

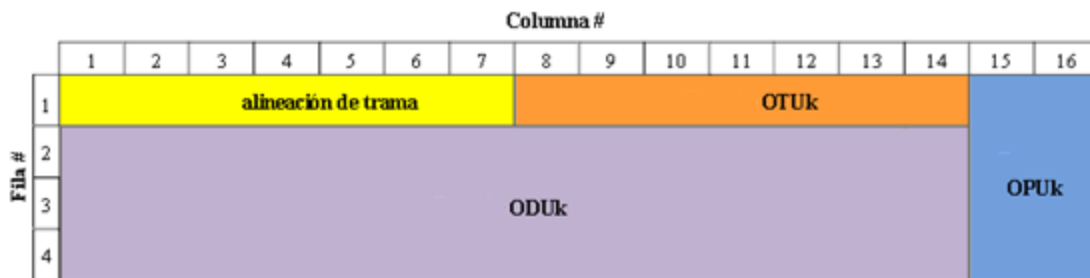


Figura 3.27 Encabezado OTU-k general [16]

Este encabezado localizado en los bytes 8-14, consiste en la sección monitoreo SM (bytes 8-10), canal de comunicaciones general-0 GCC0 (bytes 11 y 12) y dos reservados (bytes 13 y 14). Ver figura 3.28.

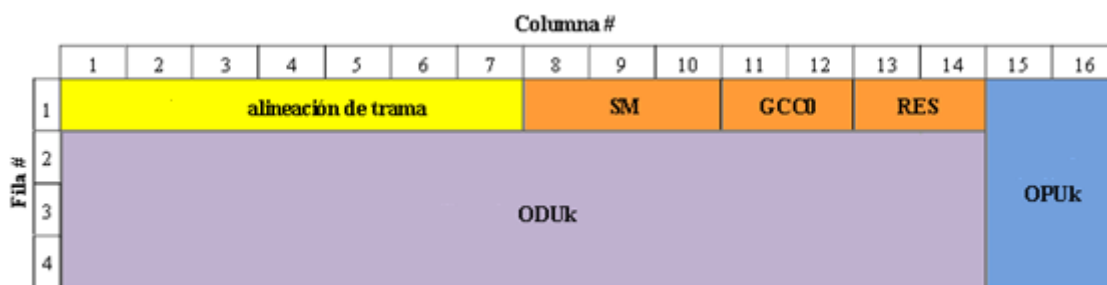


Figura 3.28 Encabezado OTU-k completa [9]

Campo de Encabezado OPU

El principal campo de encabezado asociado con la Unidad de Carga Óptica OPU, por sus siglas en inglés (Optical Channel Payload Unit), se añade a los datos del OPU, para dar soporte a las diferentes señales cliente así como también controla el mapeo de las mismas y aporta información acerca del tipo de señal transmitida.

La recomendación G.709 permite el mapeo asíncrono y síncrono de las señales cliente. El encabezado del OPU está formado por el Identificador de Estructura de carga útil PSI, por sus siglas en inglés (Payload Structure Identifier), donde se encuentra el tipo de carga útil PT (Payload Type) y los bits del encabezado asociados con el mapeo de las señales cliente. Un ejemplo de estos son los bits de justificación que son necesarios para los mapeos asíncronos.

El campo PSI del OPU transporta un mensaje de 256 bytes alineados con la multitrama ODU. A continuación ver la figura 3.29 donde se muestra la agrupación de varias señales de cliente.

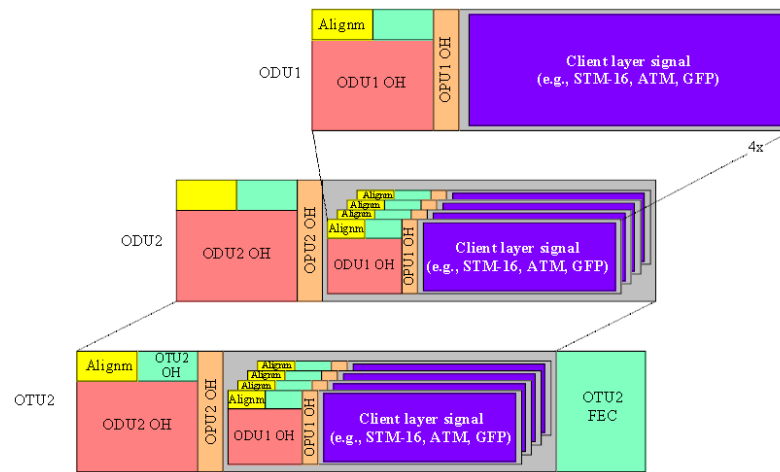


Figura 3.29 Agrupación de señales cliente en OTN [16]

Desventajas

- Retardos básicos, que son el tiempo que emplea un mensaje para viajar de transmisor a receptor el cual se determina mediante el retardo básico de OTN.
- Retardos de tarjetas de interfaz.

Ventajas

- Canales ópticos unidireccionales o bidireccionales transparentes al formato y a la velocidad de la señal cliente que transportan, lo que permite crear una plataforma multicliente (IP, ATM, SDH, PDH, Ethernet, etc.) donde cada cliente puede operar con una velocidad independiente de las demás.
- Mejora la transparencia y sincronización del servicio por medio del uso de la capa digital G.709, tomando en cuenta al FEC que ofrece un mayor rendimiento del transporte.
- La flexibilidad de OTN es posible gracias a su habilidad para ampliar su transparencia, esta habilidad permite la mezcla de ambos tipos de señal sincrónica y asincrónica en una longitud de línea, la capa de servicio representa los servicios del usuario final tal como GbE, SONET, SDH, FC o cualquier otro protocolo.
- Mapea todos los servicios en un grupo común de longitudes de onda, así como también simplifica todo lo relacionado con la red y que OTN es la capa de transporte que puede transportar 10GbE, la interfaz de redes IP/Ethernet.

3.7 Conmutación Multiprotocolo por Etiquetas (MPLS)

Las redes MPLS, por sus siglas en inglés (MultiProtocol Label Switched), integran las características de la capa 2 y la capa 3, combinando eficazmente las funciones de control del enrutamiento con la simplicidad y rapidez de la conmutación de la capa 2 para proveer la mejor solución en la integración de voz, video y datos. La diferencia principal entre MPLS y otra tecnología WAN es la manera de asignar las etiquetas y la capacidad con la que pueden ser llevadas en forma de una pila las mismas en el paquete [17]. Ver figura 3.30.

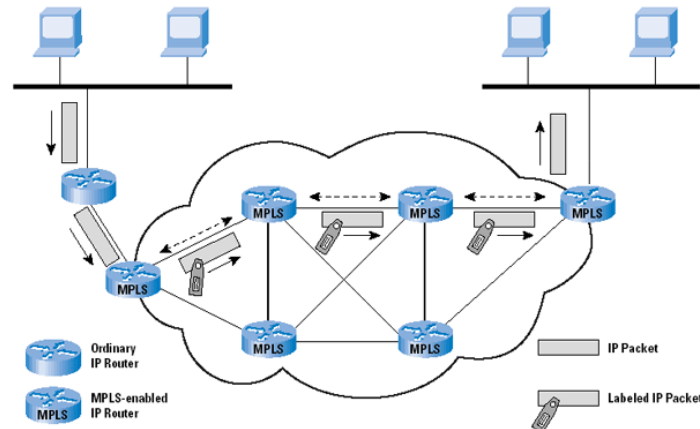


Figura 3.30 Concepto MPLS [18]

Elementos de MPLS

Los elementos de MPLS permiten a la red funcionar más efectivamente que otras tecnologías. Entre los elementos que constituyen una red MPLS es importante mencionar a los LSPs que son una ruta de tráfico específico en la red. Una red MPLS está compuesta por dos tipos de routers o nodos: LER y LSR.

LER (Label Edge Router)

Los Ruteadores de Etiqueta de Borde LER, por sus siglas en inglés (Label Edge Router), son nodos situados en la periferia que clasifican el tráfico que ingresa al dominio MPLS, siendo capaces de conectar un dominio MPLS con nodos externos al dominio; éstos son los responsables de asignar y retirar las etiquetas, a la entrada o salida de la red MPLS. Su conmutación se basa en FECs. Ver figura 3.31.

LSR (Label Switching Router)

Los Ruteadores de Conmutación de Etiquetas LSR, por sus siglas en inglés (Label Switching Router), son nodos internos de un dominio MPLS que conmutan los paquetes en función de la etiqueta. Su conmutación es directa. Físicamente pueden ser routers IP o switches ATM. Ver figura 3.31.

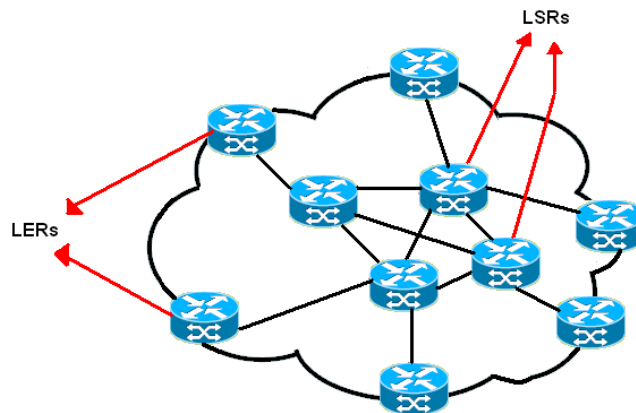


Figura 3.31 LER y LSR [17] [19]

FEC (Forwarding Equivalence Class)

La Clase Equivalente de Envío FEC, por sus siglas en inglés (Forwarding Equivalence Classes), es el conjunto de paquetes que pueden ser tratados de forma idéntica desde el punto de vista de envío. Una FEC está constituida por todos los paquetes a los que se pueden aplicar una etiqueta específica. La escalabilidad de MPLS está garantizada por los FECs.

Cada FEC tiene un camino específico a través de los LSR de la red, razón por la cual MPLS es orientada a conexión y además contiene una serie de valores que definen los requerimientos de QoS del flujo.

LSP (Label Switched Path)

La Trayectoria de Conmutación de Etiqueta LSP, por sus siglas en inglés (Label Switching Path), es un camino unidireccional que se establece mediante conmutación de etiquetas en un dominio MPLS.

Los LSPs sirven como túneles de transporte a lo largo de la red MPLS; incluyen los parámetros QoS que determinan la cantidad de recursos a reservar al LSP, así como la fila de procesos en cada LSR. En el enrutamiento IP unicast para cada red destino de la tabla de enrutamiento se crea un LSP. Ver figura 3.32.

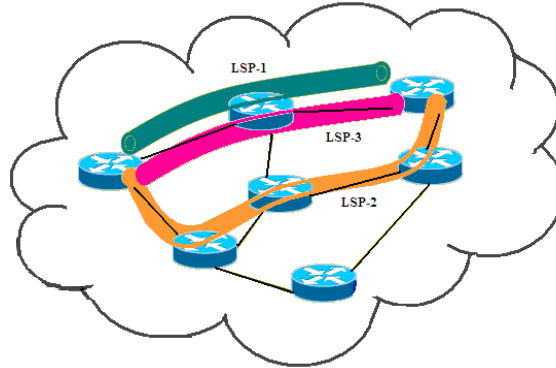


Figura 3.32 LSP (Ruta de conmutación de etiquetas) [17] [19]

Formato del encabezado MPLS

La etiqueta MPLS genérica está conformada por 32 bits, divididos en cuatro campos que son los siguientes. Ver figura 3.33.

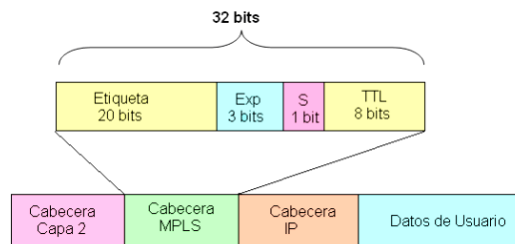


Figura 3.33 Estructura del encabezado MPLS [17] [19]

- **Etiqueta.-** Este campo contiene el valor de la etiqueta y está conformado por 20 bits, proporciona la información sobre el protocolo de nivel de red así como información adicional necesaria para reenviar el paquete. La tabla 3.4 contiene los valores de etiquetas reservadas.

Etiqueta	Descripción
0	El paquete proviene de una red IPv4
1	Etiqueta alerta del ruteador
2	El paquete proviene de una red IPv6
3	Etiqueta nula implícita
4 a la 15	Reservados para uso futuro por la Agencia de Asignación de Números de Internet

Tabla 3.4 Etiquetas reservadas en MPLS [17] [19]

- **EXP.-** Es el campo reservado para uso experimental, indica la clase de servicio (CoS), consta de 3 bits; el valor de este campo afecta a los algoritmos de planificación y/o descarte que se aplican al paquete a medida que se transmite a través de la red.
- **S (Stack).-** Consta de 1 bit, es el campo de posición de la pila. Si tiene el valor de 1 indica que es la última etiqueta añadida al paquete IP, si es un 0 indica que hay más etiquetas añadidas al paquete.
- **TTL (Time To Live).-** Campo de 8 bits, se utilizan para codificar el valor de conteo de saltos (IPv6) o de tiempo de vida (IPv4). Para procesar el paquete TTL se debe considerar lo siguiente:

Cuando un paquete IP llega al ruteador de entrada en un dominio MPLS, se añade una etiqueta de entrada a la pila. Cuando el paquete MPLS llega a los LSRs del núcleo de la red el valor TTL es disminuido. El paquete es excluido si llega a cero para evitar lazos o que el paquete permanezca demasiado tiempo en la red debido a un enrutamiento defectuoso. Si el valor es positivo se añade una nueva etiqueta y es reenviado al próximo salto.

Cuando un paquete MPLS llega a un LSR de salida, el valor TTL es disminuido para posteriormente quitar la etiqueta de la pila, entonces la pila queda vacía.

Pila de etiquetas (Label Stack)

La pila de etiquetas es una característica importante de MPLS. Un paquete puede apilar varias etiquetas según la filosofía LIFO por sus siglas en inglés “último en entrar, primero en salir”. La cima de la pila aparece al principio del paquete y el fondo aparece después; si la pila de etiquetas de un paquete tiene profundidad m , la etiqueta de nivel 1 es la que está en el fondo y la de la cima se considera de nivel m .

El proceso de etiquetado no sigue un nivel jerárquico aunque MPLS soporta jerarquía. En cualquier LSR se puede realizar dos operaciones en la pila de etiquetas: en la operación “push” la etiqueta puede añadirse a la pila y en la operación “pop” la etiqueta puede de la pila. El apilamiento de etiquetas permite crear un túnel, es decir agrupar varios LSPs en uno solo.

Encapsulación de Etiquetas

El encabezado MPLS se encapsula entre la capa 2 y la capa 3. MPLS funciona sobre cualquier tipo de protocolo de transporte como: PPP por sus siglas en inglés (Point to Point Protocol), LAN, ATM, Frame Relay, etc. Ver figura 3.34.

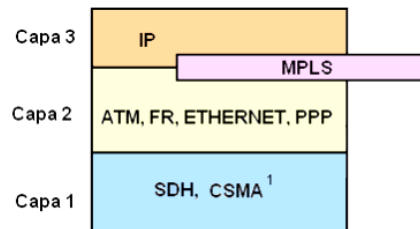


Figura 3.34 Encapsulación de MPLS [17] [19]

Si el protocolo de transporte contiene un campo para etiquetas entonces se utilizan esos campos para las etiquetas MPLS, si no tiene un campo para etiquetas como PPP, se emplea un encabezado genérico MPLS de 32 bits. Ver figura 3.35.

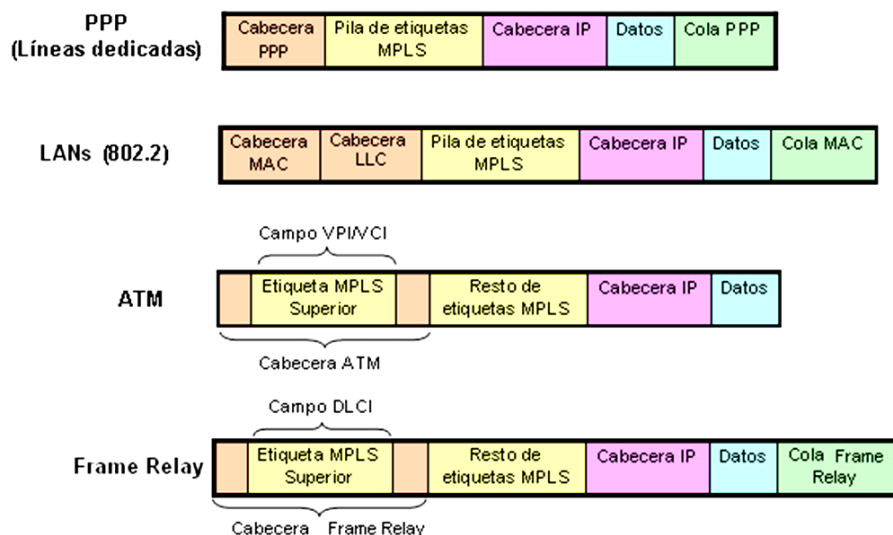


Figura 3.35 Encapsulación ATM, PPP, IEEE 802 y Frame Relay [17] [19]

Asignación y distribución de etiquetas

Considerando las posiciones relativas de dos LSRs para un FEC específico, se define como LSR upstream (Ru) al enrutador que envía los paquetes, y al que recibe los paquetes se le denomina LSR downstream (Rd). Ver figura 3.36.



Figura 3.36 LSR upstream y LSR downstream [17] [19]

La asignación de etiquetas puede ser Downstream o Upstream.

1. Asignación de etiquetas Downstream

La asignación Downstream es de asignación local y se usa como etiqueta de entrada, el LSR que es downstream crea la asociación entre una etiqueta y un FEC particular. Ver figura 3.37.



Figura 3.37 Asignación Downstream [17] [19]

La asignación downstream utiliza dos formas de relación entre LSRs vecinos para la asignación de etiquetas:

- **Downstream bajo demanda.-** Permite que un LSR upstream haga una petición explícita de una etiqueta para un determinado FEC al LSR downstream que es el próximo salto del camino. Ver figura 3.38.

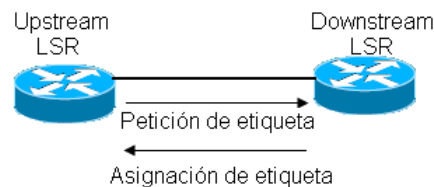


Figura 3.38 Downstream Bajo Demanda [17] [19]

- **Downstream no solicitado.-** Permite que un LSR downstream asigne una etiqueta sin que haya recibido una petición explícita. Ver figura 3.39.

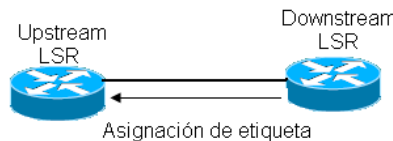


Figura 3.39 Downstream No Solicitado [17] [19]

2. **Asignación de etiquetas Upstream.-** La asignación de etiquetas Upstream, se usa como etiquetas de entrada si la asignación es remota y se utiliza como etiqueta de salida si la asignación es local. Ver figura 3.40.

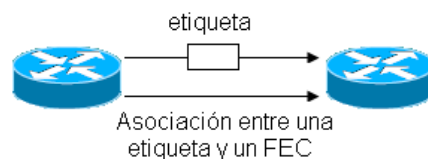


Figura 3.40 Asignación Upstream [17] [20]

El mismo LSR que pone la etiqueta en el paquete crea la asociación entre una etiqueta y un FEC particular.

Distribución de la Capa de Red en Planos

La capa de red del modelo OSI se divide en dos planos específicos, ver figura 3.43:

- Plano de control, denominado también componente de control.
- Plano de datos, denominado también componente de envío.

Plano de Control

El plano de control tiene como función crear y mantener las tablas de enrutamiento para conmutar y clasificar los paquetes; consiste de uno o varios protocolos de enrutamiento como pueden ser el protocolo IS-IS y el protocolo OSPF. Ver figura 3.41.

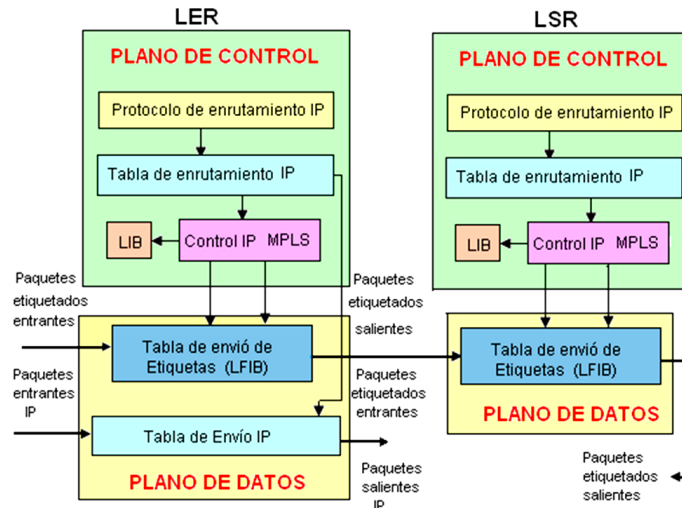


Figura 3.41 Plano de control y de datos [17] [19]

Los componentes del plano de control son:

- Tabla de enrutamiento
- LIB (Label Information Base)

Aplicaciones de MPLS

Las aplicaciones que ofrece MPLS permiten tener una red eficiente. Las principales facilidades son:

- Ingeniería de tráfico
- Calidad de Servicio (QoS)
- Redes privadas virtuales (VPN)

Servicios Diferenciados (Diff-Serv)

La arquitectura de Servicios Diferenciados se fundamenta en la asignación de prioridades a los paquetes y en dividir el ancho de banda de distintas clases.

Cuando mayor sea la prioridad o el ancho de banda asignado a la clase, mejor será el tratamiento que reciba el paquete. La diferenciación de servicios se lleva a cabo mediante la definición de comportamientos específicos para cada clase de tráfico entre dispositivos de interconexión.

Comprende cuatro elementos importantes que se encargan de brindar QoS: Clasificador, Medidor, Marcador y Descartador/Acondicionador.

Diff-Serv facilita la estabilidad y el despliegue en las redes (configurable para redes futuras), ya que no necesita que en todos los nodos de la red se tenga implementado este tipo de arquitectura. Con el marcador, a los paquetes que pertenecen a una misma clase, les provee un mismo trato por parte de la red.

De esta manera MPLS utiliza la arquitectura de servicios diferenciados para ofrecer calidad de servicio, ya que Diff-Serv presenta las siguientes características:

- Modelo escalable.
- Diferencia el tráfico mediante un conjunto de clases y prioridades.
- Provee QoS extremo a extremo.

Desventajas

- El incremento en la velocidad de procesos en los dispositivos de enrutamiento ha declinado con la aparición de nuevos equipos más rápidos y potentes, como los denominados “ruteadores Gigabit”
- El esquema es orientado a la conexión, lo que implica una mayor vulnerabilidad en situaciones de fallo
- Si bien la posibilidad de apilar múltiples etiquetas aporta beneficios indudables, el incremento de la proporción de encabezado transportada contribuye a reducir el rendimiento de la red
- Identificar mediante una etiqueta la calidad de servicio deseada no implica que esta solicitud se satisfaga.
- Está limitado al ámbito de conectividad de la red del proveedor de servicios.

Ventajas

- La conmutación de paquetes mediante el uso de etiquetas es un proceso más rápido que el enrutamiento basado en el análisis del encabezado.
- La clasificación del paquete dentro de una clase de equivalencia particular, es posible realizarla atendiendo diversos criterios y no sólo el valor de su dirección de destino.
- Admite mayor complejidad en el proceso de clasificación, sin que esto tenga impacto en los dispositivos del enrutamiento intermedio, ya que estos solo se encargan de enrutar paquetes etiquetados.
- La clasificación de un paquete puede atender a la calidad de servicio con que se desea que éste se propague en la red, asignándose etiquetas distintas para cada clase de servicio.
- El uso de etiquetas simplifica la gestión de rutas explícitas cuyo establecimiento puede formar parte de la ingeniería del tráfico en la red y que las rutas explícitas sirven también para emular circuitos virtuales sobre una tecnología no orientada a la conexión.
- Capacidad de proporcionar un enrutamiento jerárquico, gracias a la posibilidad de encapsular un “camino” LSP en otro, mediante la anidación de etiquetas, sin necesidad de eliminar la identificación del camino LSP original, de resolución más fina.
- Diversos caminos LSP con características dispares pueden ser agregados, transportados juntos en la red central y finalmente, separados en caminos individuales, simplemente añadiendo y eliminando una etiqueta.
- Cuando los flujos son transportados sobre un camino conmutado MPLS, éste permanece inalterable ante los cambios en la tipología y condiciones de red, reduciendo las llamadas fluctuaciones.

3.7.1 Conmutación Generalizada Multiprotocolo por Etiquetas (GMPLS)

La Conmutación Generalizada Multiprotocolo por Etiquetas GMPLS, por sus siglas en inglés (Generalized Multiprotocol Label Switching), es un avance evolutivo de MPLS. Soporta no sólo la conmutación de paquetes, sino también la conmutación en el tiempo (TDM) y en longitud de onda (WDM). Por lo que GMPLS abarca además de los ruteadores IP y los switches ATM, otros dispositivos de conmutación como conmutadores digitales de señales multiplexadas en el tiempo DXC (Digital Cross Connect), conmutadores de longitudes de onda con conversión electroóptica OXC, por sus siglas en inglés (Optical Cross Connect) y conmutadores de longitudes de onda totalmente ópticos PXC, por sus siglas en inglés (Photonic Cross Connect). Para ello, GMPLS establece las siguientes interfaces [20]. Ver figura 3.42.

1. **Interfaces PSC:** (Packet Switch Capable)
Estas interfaces reconocen los límites de paquetes y pueden enviar datos basándose en el contenido del encabezado del paquete.
2. **Interfaces L2SC:** (Layer-2 Switch Capable)
Estas interfaces reconocen los límites de tramas/celdas y pueden enviar datos basándose en el contenido de los encabezados de las tramas/celdas.
3. **Interfaces TDM:** (Time Division Multiplex Capable)
Estas interfaces enrutan los datos basándose en la ranura temporal de los datos dentro de un ciclo de repetición.
4. **Interfaces LSC:** (Lambda Switch Capable)
Estas interfaces enrutan los datos basándose en la longitud de onda sobre la que se reciben los datos.
5. **Interfaces FSC:** (Fiber-Switch Capable)
Estas interfaces enrutan los datos basándose en la posición en que se reciben éstos en el espacio físico (puerto).

Un sólo circuito puede ser establecido entre interfaces del mismo tipo. Genéricamente todos los distintos tipos de circuitos que se pueden establecer entre dos interfaces del mismo tipo reciben el nombre de LSPs (Label Switched Path).

Un LSP puede anidarse dentro de otro creándose una jerarquía de LSPs. Para hacer esto se considera el LSP como un enlace en la base de datos «link-state» de OSPF o IS-IS.

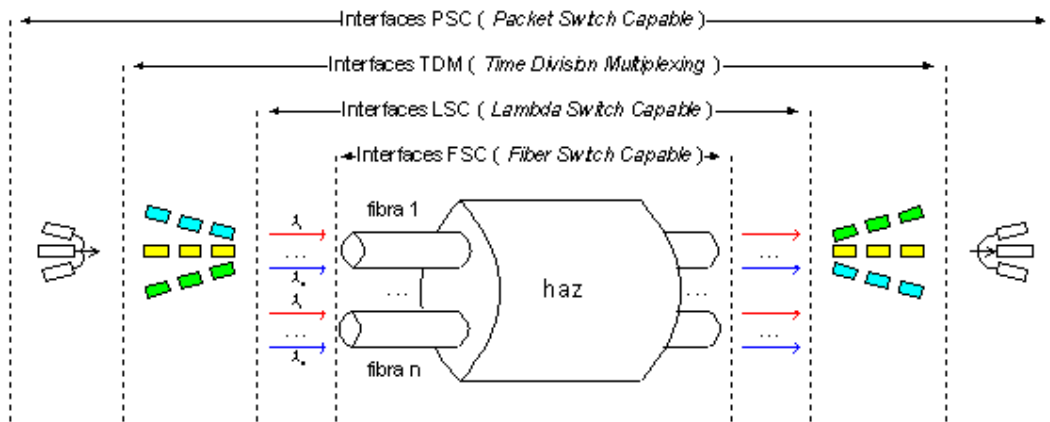


Figura 3.42 Jerarquía de LSPs [21]

En lo alto de la jerarquía se encuentran las interfaces FSC, seguidas de las interfaces LSC, a continuación se encuentran las interfaces TDM seguidas por las interfaces L2SC, y por último se encuentran las interfaces PSC.

Extensiones del plano de control de MPLS

El plano de control de GMPLS se compone de protocolos de señalización y enrutamiento conocidos que han sido modificados para soportar GMPLS. Sólo se necesita un protocolo especializado para soportar las operaciones de GMPLS: un protocolo para la gestión de enlaces LMP, por sus siglas en inglés (Link Management Protocol) [22].

LMP proporciona mecanismos para mantener la conectividad del canal de control, verificarla conectividad física de los enlaces de datos, correlacionar la información de propiedad del enlace y gestionar los fallos en los enlaces. LMP se localiza en la capa de transporte, junto con RSVP-TE, CR-LDP-TE, BGP y OSPF-TE. Ver figura 3.43.

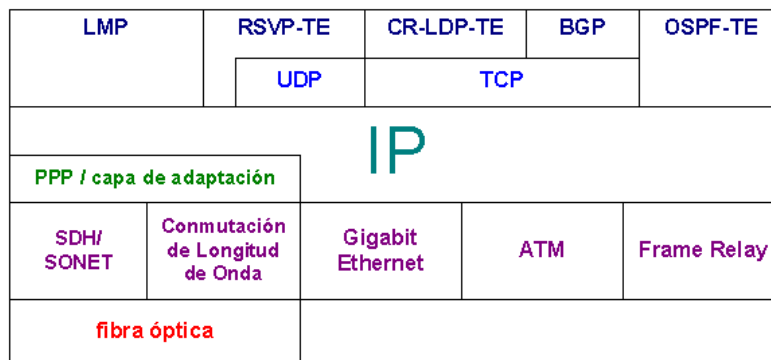


Figura 3.43 Pila de Protocolos de GMPLS [21]

En GMPLS las etiquetas generalizadas extienden la representación de la etiqueta tradicional de un número de 4 bytes a un grupo de bytes de longitud variable, que informan de un número de time-slot, un valor de longitud onda, o un número de fibra dentro del conjunto de fibras del cable; pudiendo también tratarse de la etiqueta MPLS genérica, de la etiqueta de ATM o VPI/VCI (Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier), o de la etiqueta de Frame Relay o DLCI (Data Link Control Identifier). Ver figura 3.44.

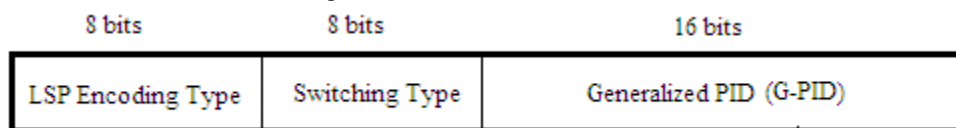


Figura 3.44 Etiqueta generalizada de GMPLS [22]

LSP Encoding Type:

Indica la codificación de los LSPs que se solicitan. Por ejemplo PDH, Ethernet, SDH, Lambda, Fiber, entre otros.

Switching Type:

Indica el tipo de cambio que se debe realizar en un enlace en particular, por ejemplo un PSC-1, L2SC, LSC, DSC entre otros. Este campo es necesario para los enlaces que anuncian más de un tipo de capacidad de conmutación. Este campo debe mapear a uno de los valores anunciados por el enlace correspondiente en el descriptor de capacidad de conmutación de enrutamiento, consulte [GMPLS RTG].

Generalized PID (G-PID):

Un identificador de la carga útil es transportado por un LSP, es decir, un identificador de la capa de cliente de ese LSP. Esto es usado por los nodos en los extremos de la LSP, y en algunos casos por el penúltimo salto. Los valores Ethertype se utilizan para paquetes Ethernet y proveedores de servicios lingüísticos, algunas opciones son: E4, E3, DS3, DS2, lambda, digital wrapper, HDLC, entre otros.

Desventajas

- Tendrá que atraer clientes de MPLS y algunas otras tecnologías ya bien establecidas en el mundo laboral.
- El tiempo de aceptación de las empresas y clientes para utilizar dicha tecnología.

Ventajas

- GMPLS abarca, además de los ruteadores IP y los switches ATM, dispositivos de conmutación tales como conmutadores digitales de señales multiplexadas en el tiempo o DXC, conmutadores de longitudes de onda con conversión electro óptica o OXC y conmutadores de longitudes de onda totalmente ópticos o PXC.
- Extiende ciertas funciones base del tradicional MPLS y en algunos casos añade nueva funcionalidad.
- Ofrece un marco para el manejo del ancho de banda óptico y el aprovisionamiento de tiempo real de los canales ópticos en redes ópticas de conmutación automática (ASON).
- Evita la necesidad de reinventar una nueva clase de protocolos de control para las redes de transporte óptico y permite la reutilización de dispositivos originalmente desarrollados para la aplicación de la ingeniería de tráfico de MPLS.
- Fomenta el rápido desarrollo y despliegue de una nueva clase de OXCs.
- Facilita la introducción de los conceptos de coordinación de control entre los elementos de red de datos y elementos de red óptica.
- Simplifica la administración de redes en las instalaciones de servicio basado en las redes de proveedores al proporcionar una semántica uniforme para la gestión y control de la red, tanto en los dominios de datos como ópticos.

3.8 Redes Ópticas por Conmutación Automática (ASON)

Las Redes Ópticas por Conmutación Automática ASON, por sus siglas en inglés (Automatically Switched Optical Network), son redes ópticas de transporte que tienen una capacidad de conexión dinámica. Esta funcionalidad se consigue utilizando un plano de control que realiza el enrutamiento, señalización y descubrimiento de recursos. Además de esto existe el plano de Gestión y el plano de Transporte [23]. Ver figura 3.45.

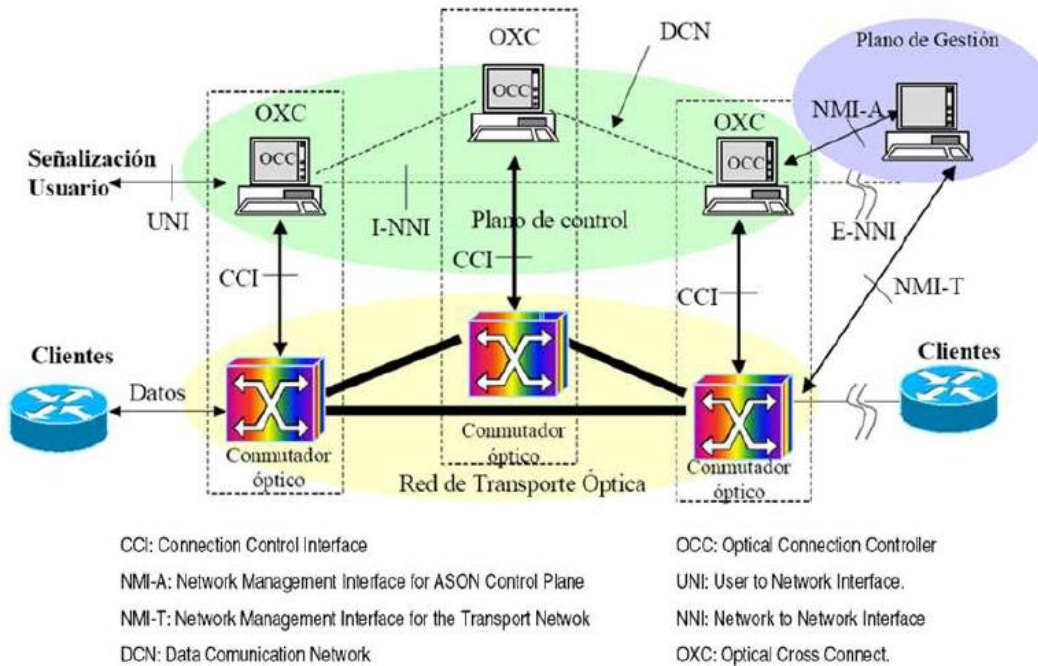


Figura 3.45 Arquitectura lógica de una red ASON [24]

Puntos de Referencia

Los puntos de referencia representan un conjunto de servicios, proporcionado por interfaces en uno o más pares de componentes y pueden ser soportados por interfaces múltiples. Estos puntos de referencia son la UNI, la I-NNI y la E-NNI.

Es importante reconocer que habrá múltiples dominios dentro de la ASON y que las UNI y E-NNI se utilizarán, en particular, para la señalización de control entre dominios.

Las políticas se pueden aplicar en las interfaces que soportan un punto de referencia. Estas dependen del punto de referencia y de las funciones soportadas. Por ejemplo, en los puntos de referencia UNI, I-NNI y E-NNI, se puede aplicar una política al control de llamada y conexión. Además, para los puntos de referencia I-NNI y E-NNI se puede aplicar una política al enrutamiento.

Los flujos de información que transportan servicios a través del punto de referencia son terminados (u originados) por componentes, y múltiples flujos que no tienen que ser terminados en el mismo lugar físico. Pueden atravesar diferentes secuencias de puntos de referencia [23].

UNI (Interfaz Lógica Usuario-Red)

Los flujos de información esperados a través del punto de referencia UNI soportan las siguientes funciones [23]. Ver figura 3.46

- Control de llamada
- Descubrimiento de recursos
- Control de conexión
- Selección de conexión

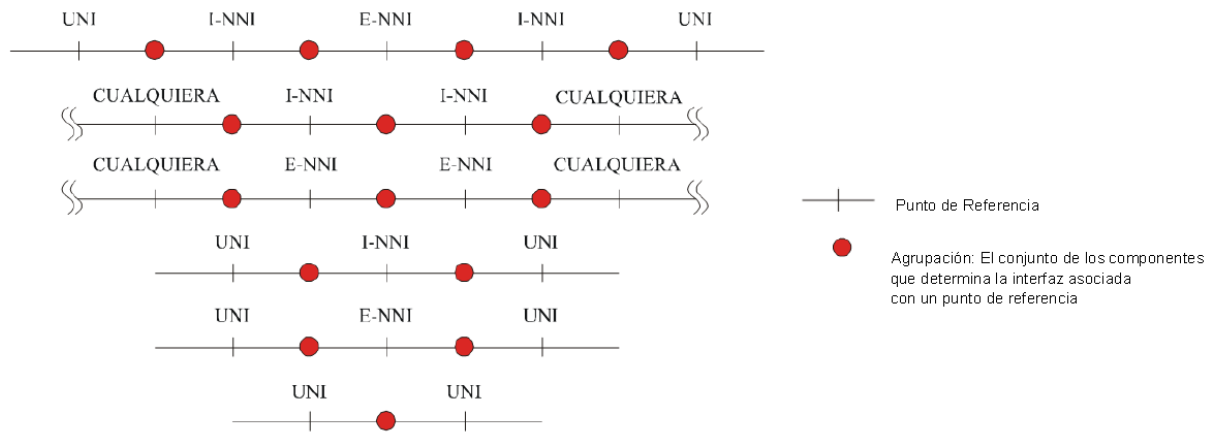


Figura 3.46 Puntos de Referencia de UNI [24]

I-NNI (Interfaz Lógica Interna Red-Red)

Los flujos de información esperados a través del punto de referencia I-NNI, por sus siglas en inglés (Internal-Node Network Interface), soportan las siguientes funciones [23]:

- Descubrimiento de recursos
- Control de conexión
- Selección de conexión
- Enrutamiento de conexión

E-NNI (Interfaz Lógica Externa Red-Red)

Los flujos de información esperados a través del punto de referencia E-NNI, por sus siglas en inglés (External-Node Network Interface), soportan las siguientes funciones [23]:

- Control de llamada
- Descubrimiento de recursos
- Control de conexión
- Selección de conexión
- Enrutamiento de conexión

A este conjunto básico de funciones se pueden añadir funciones adicionales, tales como seguridad y autenticación de llamadas, o servicios de directorio mejorados.

Cuando existe el punto de referencia E-NNI entre un dominio de cliente VPN, por sus siglas en inglés (Virtual Private Network), y una VPN en un dominio de proveedor de servicio, pueden soportarse servicios suplementarios. Ejemplos de servicios son [23]:

- Autenticación y autorización de usuario RPV
- Gestión de política de usuario RPV, incluidas restricciones de conectividad
- Transferencia transparente de información de control entre usuarios RPV
- Participación de la RPV en el dominio de encaminamiento de cliente

Planos de ASON

Su enfoque fundamental está dirigido a proveer a las redes ópticas con un plano de control inteligente, que incorpore aprovisionamiento dinámico de la red combinado con funciones de supervisión, protección y restauración de las conexiones.

Son tres y sus funciones son las siguientes [23]:

- **Plano de Transporte:** unidad lógica y física que hace el transporte de los datos, así como la amplificación y regeneración de la señal óptica.
- **Plano de Control:** es la entidad lógica que da inteligencia a la red, tales como enrutamiento, señalización y restauración de caminos.
- **Plano de Gestión:** unidad lógica que permite al operador de la red gestionar su comportamiento.

El plano de transporte contiene todos los elementos de transporte de red (switches y enlaces) que hacen posible la conexión. Las conexiones extremo a extremo son establecidas dentro del plano de transporte bajo el control del plano de control de ASON, siendo este elemento la principal característica de interrelación entre estos planos.

Los elementos básicos que conforman el plano de transporte son:

- Conmutadores Ópticos:
 - OXC Conmutadores ópticos/eléctrico/ópticos
 - PXC Conmutadores ópticos/ópticos
- Topología de red tipo malla, de fibra óptica
- El Protocolo de Capa de Enlace LMP, por sus siglas en inglés (Link Management Protocol), en el RFC 4394

ASON define una arquitectura para el Plano de Control que permite el establecimiento y desconexión de las sesiones como resultado de requerimientos de los usuarios.

Para lograr una cobertura global y el soporte de múltiples tipos de clientes, es que se describe esta arquitectura en términos de componentes y de un conjunto de reglas y puntos de referencia que se deben aplicar en los puntos de interfaz entre los clientes y la red, y entre las propias redes en sí. Una arquitectura del plano de control bien diseñada debe dar a los proveedores de servicio, un mejor control de su red. Ver figura 3.47.

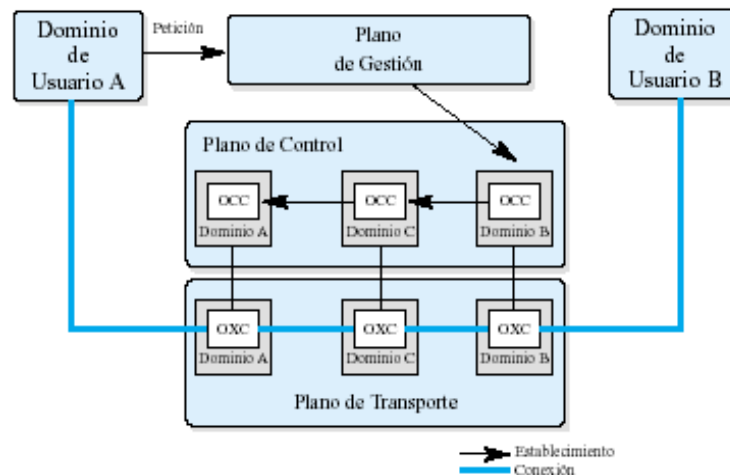


Figura 3.47 Visión general de los bloques de las ASON [24]

El sistema de gestión define y adapta todas las políticas de red (restablecimiento); supervisa la utilización de la red y del enlace mediante flujos y circuitos definidos por el plano de control además simplifica las tareas de mantenimiento.

Más detalladamente, el sistema de gestión con sus planos de control integrados implementa las siguientes funciones administrativas:

Interconexión con el Sistema de Inventario de Red

- Gestión de políticas
- Contabilidad
- Gestión extremo a extremo de ruta
- Correlación y supervisión de alarmas
- Gestión de prestaciones
- Vista unificada de todas las soluciones de servicios

También ofrece, conjuntamente con el VPLS, por sus siglas en inglés (Virtual Private LAN Service), y con el plano de control ASON, las siguientes funciones:

Ingeniería de tráfico:

- Optimización de rutas
- Preparación del restablecimiento

El sistema de gestión de red coordina las siguientes acciones en tiempo real:

- Recuperación del restablecimiento
- Gestión de trayectos multidistribuidor
- Detección de red

Interacción entre los Planos de Control, Transporte y Gestión

La relación general que existe entre los planos de control, gestión y transporte se muestra en la figura 3.48. Cada plano es autónomo, pero se producen algunas interacciones.

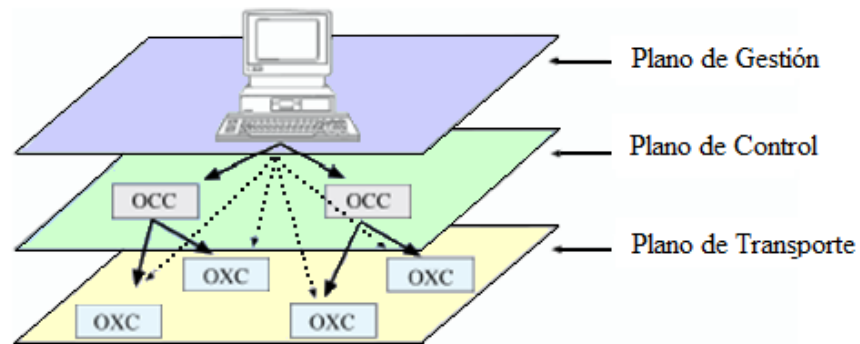


Figura 3.48 Planos de ASON [24]

Interacción Gestión-Transporte

El plano de gestión interactúa con los recursos de transporte funcionando en un modelo de información adecuado, que presenta una visión de gestión del recurso subyacente.

Los objetos del modelo de información están colocados físicamente con el recurso de transporte e interactúan con ese recurso a través de las interfaces de información de gestión MI (Management Information) del modelo funcional específico de la capa. Estas interfaces deben estar ubicadas entre el objeto gestionado y el componente de control [23].

Interacción Control-Transporte

Los componentes Control y Transporte en una arquitectura de red ASON tienen una estrecha relación con un recurso de transporte físico como es el Controlador de Conexión CC, por sus siglas en inglés (Connection Controller).

En el límite más bajo de recursión, el controlador de conexión CC proporciona una interfaz de señalización para controlar una función de conexión. Este componente está colocado físicamente con esta función y todos los demás detalles del soporte físico están ocultos. Sin embargo, dado el limitado flujo de información, un nuevo protocolo puede ser útil para optimizar esta comunicación. El ejecutante de terminación y adaptación TAP, por sus siglas en inglés (Termination and Adaptation Performer), está colocado físicamente con el equipo que ejecuta funciones de adaptación y terminación, y proporciona una visión del plano de control de las conexiones de enlace. El TAP oculta la interacción con el soporte físico [23].

Interacción Gestión-Control

Estas interfaces son equivalentes a la interfaz MI del modelo funcional de transporte, y permiten que el componente presente una visión al sistema de gestión y ser configurado por este, la figura 3.49 describe la interacción entre los planos de Gestión y de Transporte a través de un componente de control.

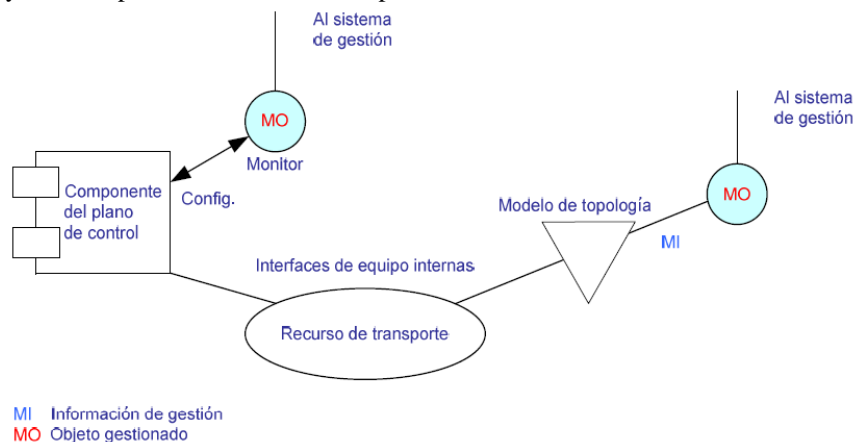


Figura 3.49 Interacciones del plano de Gestión/Transporte con recursos de transporte [23]

El plano de gestión interactúa con componentes de control ejecutando un modelo de información adecuado, que presenta una visión de gestión del componente subyacente.

Los objetos del modelo de información están colocados físicamente con un componente de control e interactúan con ese componente a través de las interfaces de supervisión y configuración del mismo. Estas interfaces deben estar ubicadas con el objeto gestionado y el componente de control.

Gestión de Recursos

Se pueden clasificar los recursos de red entre los que están bajo la autoridad del plano de gestión y los que están bajo la autoridad del plano de control. Para el primer plano no será posible modificar los recursos que estén bajo la autoridad del otro plano. Esta restricción tiene en cuenta los recursos de red que no estén en uso, pero que se hayan reservados para uso futuro (por ejemplo, por los planificadores de red). Siendo esto así, la gestión de recursos es realizada por el plano de gestión.

Recursos de Transporte y su Organización

La arquitectura funcional de la red de transporte describe la forma en que se utilizan los recursos de transporte para realizar las funciones básicas de transporte de una manera que no haga referencia al control ni a la gestión de dichas funciones. A los efectos del control y la gestión, cada recurso de transporte tiene un agente estrechamente acoplado que representa el rol que ha de desempeñar. Estos agentes interactúan con otras funciones que están participando en el control y la gestión a través de interfaces, y presentan información o ejecutan operaciones cuando sea necesario. Los recursos de transporte están organizados en áreas de enrutamiento y subredes para fines de control y gestión.

Arquitectura del Plano de Control

Una arquitectura de plano de control bien diseñada debe dar a los proveedores de servicio un control óptimo de sus redes y al mismo tiempo proporcionar una estructura de comunicaciones rápida y fiable, así como también confiable, escalable, y eficaz. Debe ser lo suficientemente genérico para soportar tecnologías diferentes y satisfacer distintas necesidades comerciales.

El plano de control ASON consta de diversos componentes que suministran funciones específicas, incluida la determinación de ruta y señalización. Los componentes del plano de control se describen en términos que no imponen restricciones a la forma en que estas funciones se combinan y se reúnen en lotes.

Las interacciones entre estos componentes, y el flujo de información necesario para la comunicación entre ellos, se obtienen gracias a la existencia de interfaces.

Esta arquitectura de referencia flexible tiene por objeto permitir a los operadores soportar sus prácticas internas de comercio y de gestión, así como facturar la utilización del servicio.

La arquitectura del plano de control deberá tener las siguientes características:

- Soporte de diversas infraestructuras de transporte, por ejemplo la red de transporte SONET/SDH u OTN, entre otras.
- Ser aplicable cualquiera que sea la opción de protocolo de control que se elija, es decir, emplear un enfoque neutro de protocolo que sea independiente de los protocolos de control de conexión utilizados.
- Facilitar la configuración rápida y eficaz de las conexiones dentro de una red de capa de transporte, para el soporte de conexiones conmutadas y de conexiones permanentes programables.
- Reconfigurar o modificar conexiones que soportan llamadas⁶ ya establecidas y realizar una función de restauración.

En esta arquitectura del plano de control se describen los siguientes aspectos:

- Las componentes funcionales del plano de control, incluidas las interfaces abstractas y las primitivas.
- Las interacciones entre los componentes del controlador de llamada.
- Las interacciones entre componentes durante el establecimiento de la conexión.
- El componente funcional que transforma las interfaces de componentes abstractos en protocolos para interfaces externas.

Los controladores de protocolo se proporcionan para tomar la interfaz de primitivas suministrada por uno o más componentes arquitecturales y multiplexar estas interfaces en un solo protocolo de enrutamiento. De esta manera, un controlador de protocolo absorbe las variaciones entre distintas funcionalidades de protocolo y la arquitectura permanece invariable. Uno o más controladores de protocolo son responsables de gestionar los flujos de información a través de un punto de referencia.

⁶ Una de las opciones de control en ASON

Los controladores de puerto se proporcionan para aplicar reglas a interfaces de sistemas. Su finalidad es proporcionar un entorno seguro para que los componentes arquitecturales puedan ser ejecutados en la misma, aislando así estos componentes de las consideraciones relativas a la seguridad. En particular, aíslan la arquitectura con respecto a las decisiones de distribución adoptadas que entrañan aspectos de seguridad.

Servicios de Conexión en ASON

Éstos se dividen en tres:

- PC (Permanent Connection)
- SPC (Soft Permanent Connection)
- SC (Switched Connection)

PC (Permanent Connection)

El cliente A solicita un servicio de conexión a través del plano de gestión. Desde el plano de gestión, se actúa sobre el plano de transporte para configurar en cada conmutador implicado en la ruta, el establecimiento de una cross conexión (modelo tradicional), como podemos ver en la figura 3.50.

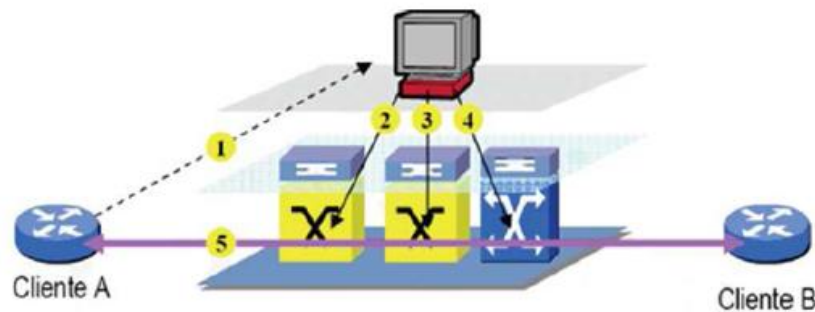


Figura 3.50 Servicio de conexión PC de ASON [24]

SPC (Soft Permanent Connection)

A través del plano de gestión el cliente solicita un servicio como se muestra en la figura 3.51. Desde este plano se traslada al plano de control la configuración de la conexión. De manera autónoma el plano de control decide la ruta.

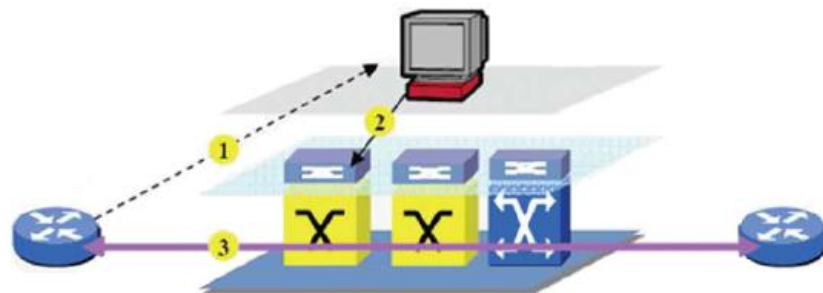


Figura 3.51 Servicio de conexión SPC de ASON [24]

SC (Switched Connection)

A través del interfaz UNI (Logical User-Network Interface), el cliente solicita un servicio de conexión al plano de control, como se muestra en la figura 3.52.

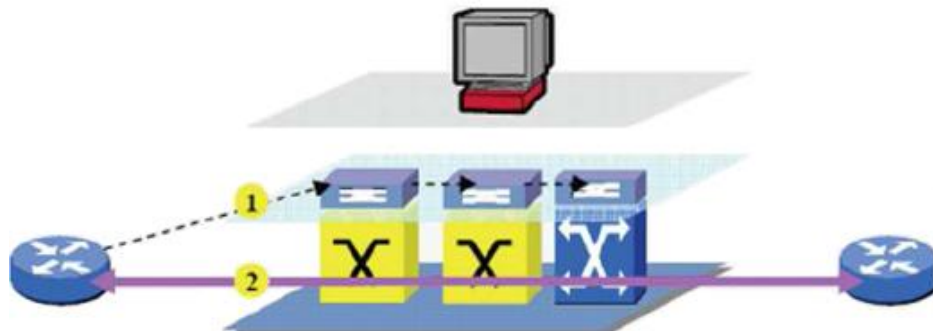


Figura 3.52 Servicio de conexión SC de ASON [24]

Recomendaciones de UIT

La UIT cuenta con una amplia serie de recomendaciones para las redes ASON. Ver figura 3.53.

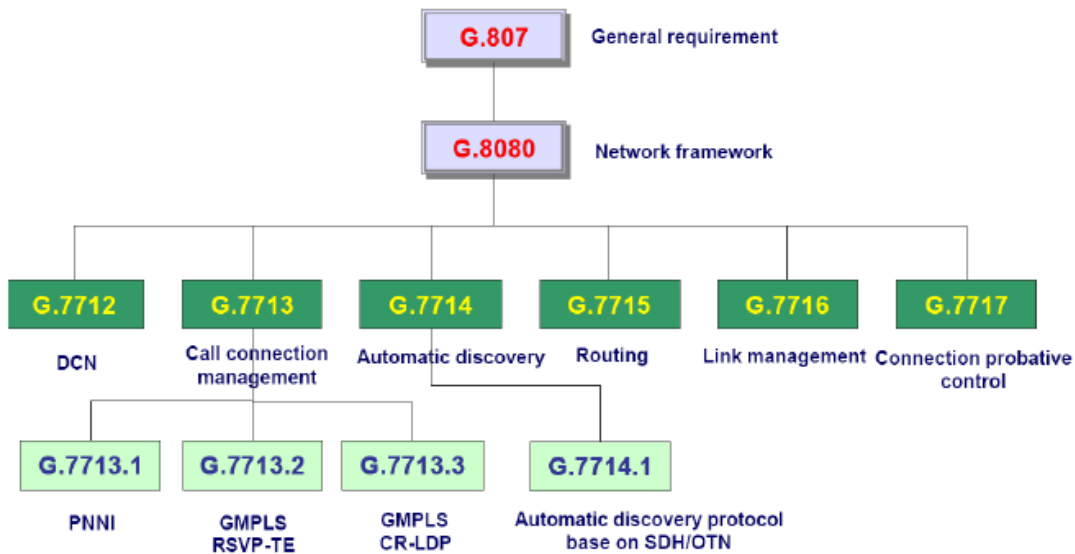


Figura 3.53 Recomendaciones UIT de ASON [24]

Desventajas

- La granularidad de las longitudes de onda, hace que la asignación de una lambda a un cliente sea improbable mientras el costo de ésta sea muy elevado.
- No es posible asignar lambdas a tráfico exclusivos ya que tiene una elevada capacidad como para no aprovecharse.

Ventajas

- La capacidad para otorgar soporte a los clientes ya que la integración de todos ellos sobre una misma plataforma reduce mucho los costos y simplifica el manejo de la red.
- La utilización de protocolos generales, actualizables y escalables, además de la posibilidad de conmutar canales ópticos, permiten gran movimiento en la estructura de la red.
- El plano de control permite una gran supervisión de los recursos libres de la estructura, permitiendo hacer uso de gestión sacando un rendimiento óptimo.
- El operador podrá garantizar un servicio a un cliente aplicando sus políticas de control sobre los recursos, permitiendo de esta manera ajustar el precio: la separación del plano de control del plano de transporte nos permitirá dar servicios de canales semipermanentes conmutados automáticamente, canales permanentes automáticos y redes ópticas virtuales.
- Asignación de longitudes de onda a flujos entre nodos extremos.

3.8.1 Redes Ópticas por Conmutación de Longitud de Onda (WSON)

Las Redes Ópticas por Conmutación de Longitud de Onda WSON, por sus siglas en inglés (Wavelength Switched Optical Networks), actualmente se encuentran en un I-Ds⁷. Dentro de los temas abarcados hasta el momento están:

- Requisitos restricciones de red óptica
- Procesos de estimaciones y deterioros
- Arquitecturas de plano de control
- Mapeo de requisitos de la red
- Implicaciones del protocolo
- Enrutamiento y señalizaciones

Para más información acudir a las referencias [25] y [26].

⁷ Draft, el cual es un documento no oficial por parte de la IETF.

3.9 Norma IEEE 802.3 Ethernet

La norma IEEE 802.3 es bien conocida en ámbitos de redes de área local LAN, pero también, hoy en día se está ampliando a las redes de área extensa WAN o de transporte. Tal es el caso de Metro Ethernet, que se verá más adelante. Por el momento se muestran las variantes con las que cuenta esta norma, donde casi todos son utilizados en áreas locales. El nombre correcto para esta tecnología es IEEE 802.3 CSMA/CD pero casi siempre es referido como Ethernet [27]. Ver tabla 3.5.

Norma	Sub Capa MAC	Medio Físico	Distancia Máxima	Observaciones
1Base 5	802.3	Cable coaxial	500 m	Topología de bus y conectores AUI
10Base 2	802.3	Cable coaxial de 50ohms (thin coaxial) RG-58 con conector BNC	185m	Conectores AUI. Topología en bus serial.
10Base 5	802.3	Cable coaxial de 75ohms (tick coaxial) N-Style	500m	Conectores AUI. Utilizando repetidores.
10BaseF	802.3	Denominación genérica para referirse a tecnologías Ethernet de 10 Mbps sobre cables de fibra óptica.		
10BaseFB	802.3	Fibra Óptica	2000m	Provee cableado de backbone con señalización sincrónica. Tolera dispositivos en cascada hasta un diámetro de 2.500
10BaseFL	802.3	Fibra óptica	2000m	Provee cableado de backbone. El diámetro máximo son 2.500 m.
10BaseFP	802.3	Fibra óptica	500m	Permite establecer terminales en una topología de estrella sin el uso de repetidores.
10BaseT	802.3	UTP cat. 3, 4 ó 5 de 100 Ohms	100m	Conectores RJ-45. Topología en estrella. Utiliza 2 pares de cables.
10Broad36	802.3	Cable coaxial	3600m	NO es Ethernet. Servicio de 10 Mbps de banda ancha.
100BaseX	802.3	Denominación genérica para referirse a tecnologías Fast Ethernet de 100 Mbps sobre diferentes medios físicos.		
100BaseFM	802.3	Dos hilos de fibra óptica multimodo de 62.5/125µ	400m	Conectores ST o SC. Topología P2P
100BaseFS	802.3u	Fibra óptica monomodo	10000m	
100BaseT	802.3	Cable UTP		Utiliza la misma frecuencia de transmisión que 10BaseT
100BaseT2	802.3u	Cable UTP cat. 3, 4 ó 5	100m	
100BaseT4	802.3u	Cable UTP cat. 3, 4 ó 5	100m	Utiliza los 4 pares de cables
100BaseTX	802.3u	Cable UTP cat. 5, 6 ó 7 ó STP cat. 1 de 100 Ohms	100m	Fast-Ethernet. Topología de estrella con conectores RJ-45. Utiliza 2 pares de cables.
100VGAnyLAN	802.12	Cable UTP cat. 3 o 5		NO es Ethernet. Utiliza los 4 pares de cables. No es compatible con Ethernet
1000BaseT	802.3ab	UTP cat. 5 con conector RJ45	100m	Utiliza los 4 pares de cables
1000BaseCX	802.3z	Par trenzado de cobre blindado, o par de coaxial balanceado de 150Ohms. Con conector mini-DB9	25m	Diseñado para cubrir pequeñas distancias entre servidores.
1000BaseSX	802.3z	Fibra óptica multimodo de 62.5 y 50 micrones con conectores SC	62.5 micr. 220 m 50 micr. 500 m.	Utiliza un emisor láser de 850nm
1000BaseLX	802.3z	Fibra óptica Multimodo o Monomodo de 9 micrones	Multimodo 550 m. Monomodo 10.000 m.	Utiliza un emisor láser de 1310 nm

Tabla 3.5 Tabla de normas Ethernet [27]

La nomenclatura de las variantes tiene el común denominador el siguiente formato. Ver figura 3.54.

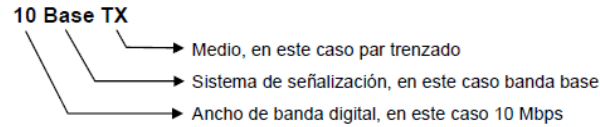


Figura 3.54 Formato del nombre de Normas Ethernet [27]

Protocolo de Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones CSMA/CD

El protocolo de Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones CSMA/CD, por sus siglas en inglés (Carrier Sense Multiple Acces/Collision Detect), es la operación con la cual la norma IEEE 802.3 funciona, en general se realizan los siguientes procedimientos para su funcionamiento [27]:

1. Un nodo tiene una trama para transmitir al medio.
2. El nodo transmisor verifica que ningún otro nodo esté transmitiendo.
 - Si no hay portadora en el medio inicia su transmisión.
 - Mientras se realiza la transmisión, permanece en escucha.
 - Concluida la transmisión queda en escucha.
 - Si detecta una colisión envía una señal de congestión de 32 bits, cesa la transmisión y activa un algoritmo de retardo.
 - Reintenta la transmisión.
 - Si alguien está transmitiendo, activa el algoritmo de retardo y aguarda un espacio de tiempo al azar.
 - Reintenta la transmisión.
3. Si después de 16 intentos el nodo no puede transmitir la trama, genera un mensaje de error y ya no lo intenta más.

Actualmente ya existen las normas IEEE 802.3ba que soportan velocidades de 40 y 100Gbps, permitiendo su funcionamiento en las redes de transporte con altas velocidades

Recientemente se han agregado los protocolos para redes 40G & 100G en la recomendación IEEE 802.3ba que son capaces de soportar altas tasas de transmisión de datos debido a las técnicas de modulación que se ocupan.

3.9.1 Norma IEEE 802.3ba (Ethernet 40/100Gbps)

En junio del 2010 se ratificó la norma IEEE 802.3ba, en él se especifican los parámetros para las comunicaciones de 40G y de 100G a través de la fibra multimodo [28]. Ver figura 3.55.

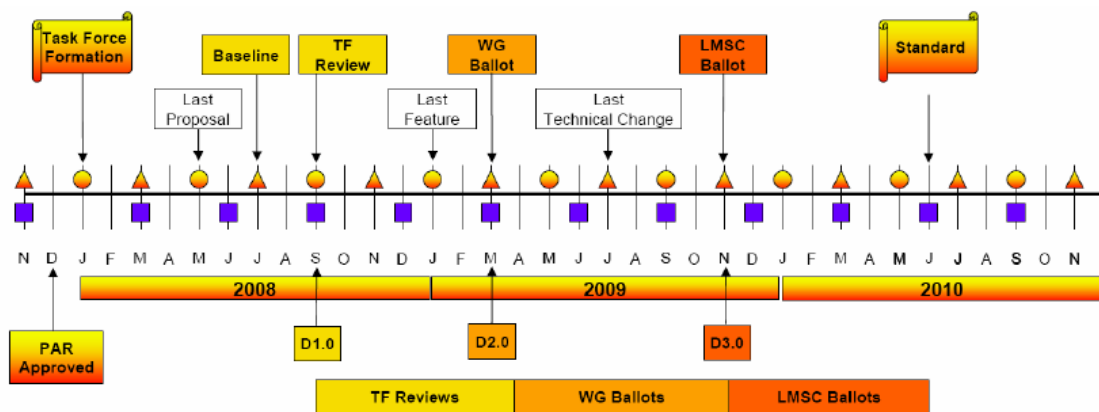


Figura 3.55 Línea de tiempo de la norma IEEE 802.3ba [29]

Las técnicas de multiplexación utilizadas en esta recomendación son: FDM DP-QPSK, OPFDM-RZ-DQPSK, PDM-QPSK.

Transmisión de 100G FDM DP-QPSK

FDM DP-QPSK (Frequency Division Multiplexing Dual Polarization QPSK). Ver figura 3.56. Las características son [30]:

- Baja tolerancia a los efectos no lineales
- Mayor consumo de energía, dos sub-portadoras
- Doble complejidad

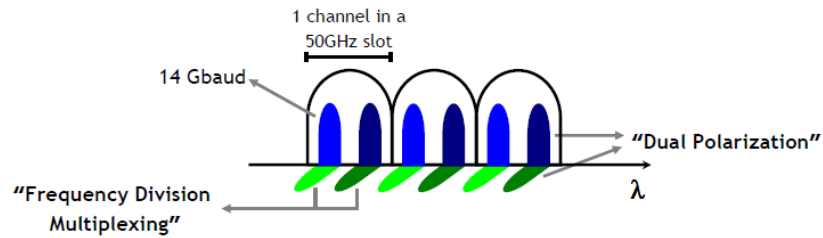


Figura 3.56 Multiplexación FDM DP-QPSK [30]

Transmisión de 100G OPFDM-RZ-DQPSK

OPFDM-RZ-DQPSK (Orthogonal Polarized Frequency Division Multiplexed RZ-DQPSK) con Detección Diferencial. Ver figura 3.57. Las características son [30]:

- Receptor no coherente
- Requiere el uso de Compensadores de PMD y CD
- Buena compatibilidad 10G y 40G, pero baja eficiencia espectral
- Dos longitudes de onda
- Alto consumo de energía y complejidad

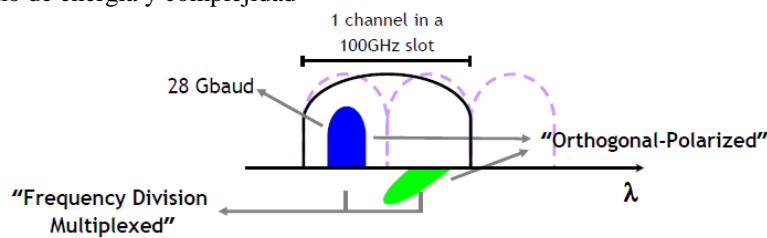


Figura 3.57 Multiplexación OPFDM-RZ-DQPSK [30]

Transmisión Coherente de 100G PDM-QPSK

PDM-QPSK (Polarization Division Multiplexing DQPSK) con detección Coherente. Ver figura 3.58. Las características son [30]:

- Receptor coherente
- No requiere el uso de compensadores de PMD y CD
- Buena compatibilidad 10G y 40G, y alta eficiencia espectral
- Solución simplificada en DSP
- Reducción en consumo de energía
- Excelente tolerancia a los efectos no lineales

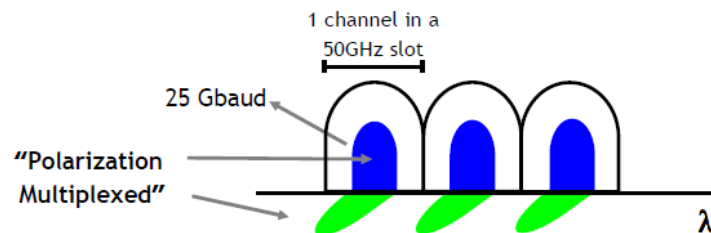


Figura 3.58 PDM-QPSK con detección Coherente [30]

Resumen de Técnicas Modulación de la Capacidad 40Gbps

Las técnicas utilizadas en la capacidad de 40Gbps son: 10G NRZ, 40G DPSK, 40G P-DPSK, 40G RZ-DQPSK y 40G Coherent DP-QPSK. A continuación se muestra en la figura 3.59 la técnica de modulación vs eficiencia espectral vs capacidad del canal [30].

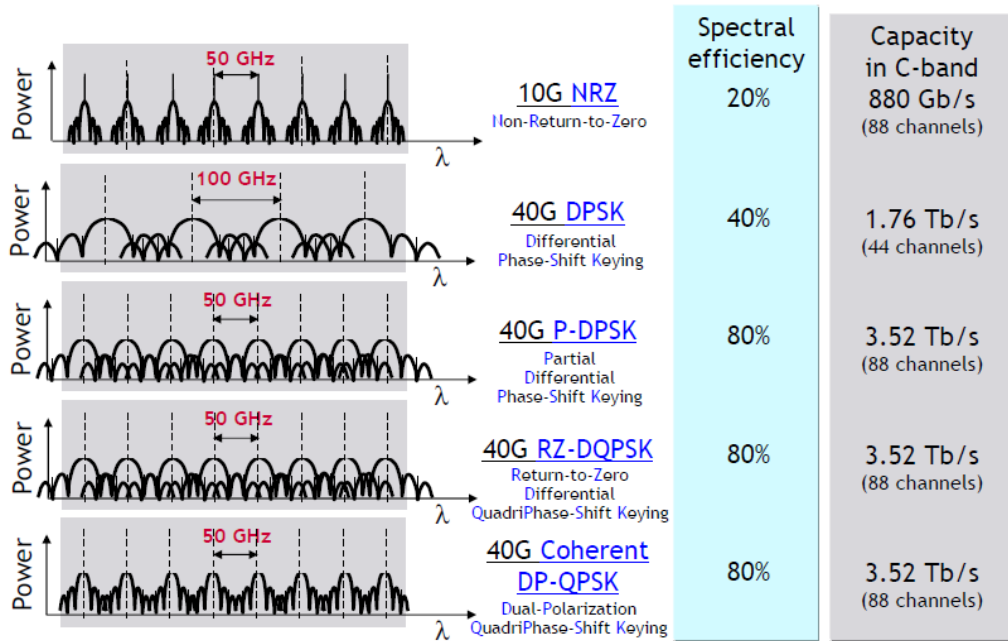


Figura 3.59 Resumen Técnicas Modulación – Espectro - Capacidad 40G [30]

De igual manera, en la figura 3.60 se muestra la técnica de modulación vs bit por símbolo vs velocidad de transmisión:

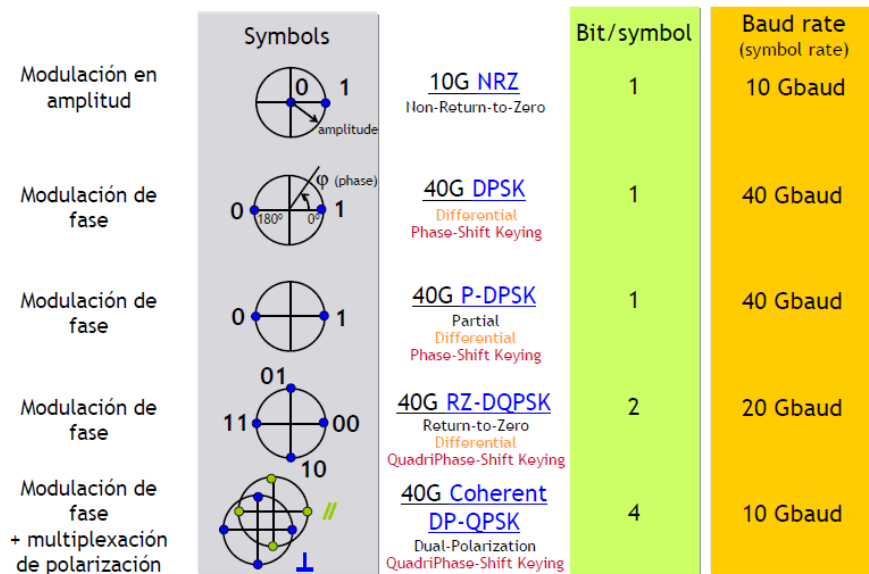


Figura 3.60 Técnica de modulación vs bit por símbolo vs velocidad de transmisión 40G [30]

Modulación y Detección Coherente 100Gbps

Las técnicas de modulación para la velocidad de 100Gbps, son: 100G Coherent PDM-QMPSK y 100G Coherent PDM-QPSK. A continuación se muestra la técnica de modulación vs eficiencia espectral vs capacidad del canal [30]. Ver figura 3.61.

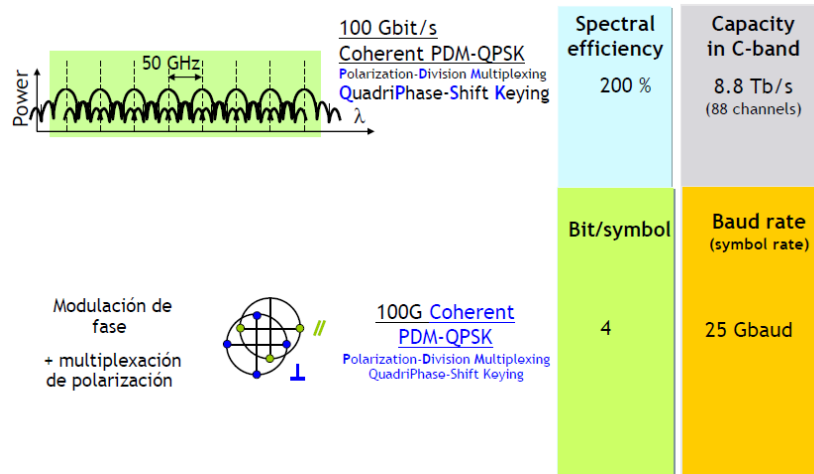


Figura 3.61 Técnica de modulación vs eficiencia espectral vs capacidad del canal de 100G [30]

La ratificación en junio del 2010 por parte de la IEEE en una reunión de implementación, confirmaron lo siguiente:

1.- Soluciones esperadas:

- Paralela para 40G y 100G Ethernet
- 40GBASE - KR4, CR4, SR4, LR4 (ver figura 3.62)
- 100GBASE - CR10, SR10, LR4, ER4 (ver figura 3.62)

2.- Áreas resueltas:

- Operación Full duplex, preserva el existente formato 802.3 /MAC
- Preserva los min/max tamaños de trama para 802.3
- Soporta $BER \geq 10^{-12}$
- Soporte para OTN entramado/velocidades de transmisión

3.- Definido el “pluggable form factor” CFP

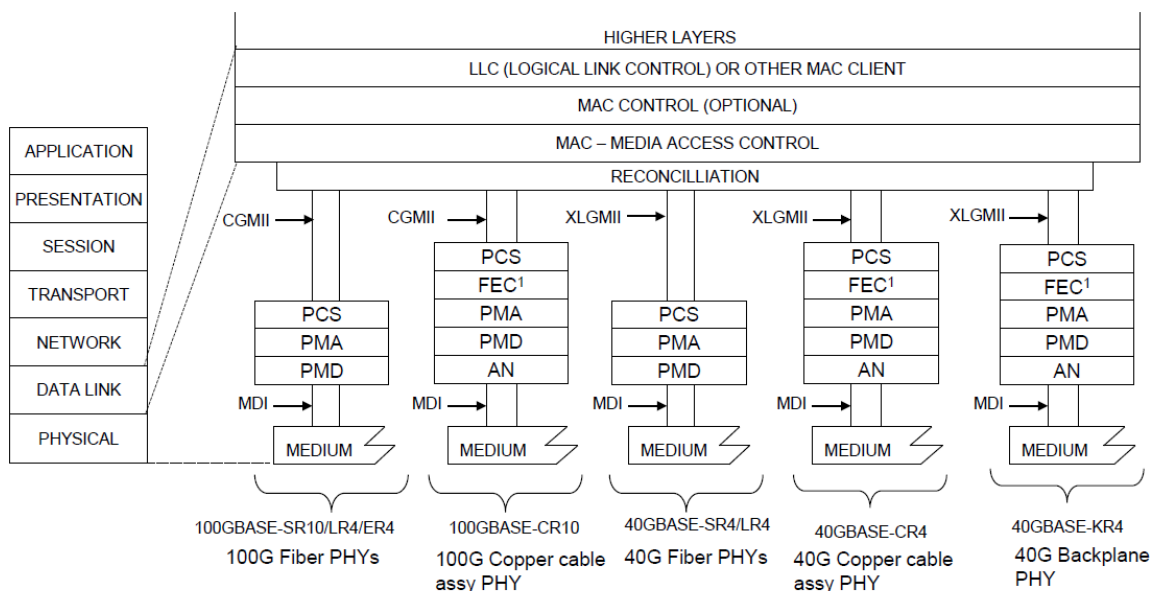


Figura 3.62 40GBASE - KR4, CR4, SR4, LR4 y 100GBASE - CR10, SR10, LR4, ER4 [31]

Finalmente, algunos de los objetivos que motivaron el desarrollo de esta norma son los siguientes [31]:

- Proporcionar apoyo adecuado a la red de transporte óptica (OTN)
- Apoyo a una tasa de MAC de datos de 40Gbps
- Proporcionar las especificaciones de la capa física que soporte 40 Gigabit por segundo a través de la operación:
 - al menos 10 km en fibra monomodo (SMF)
- Apoyo a una tasa de MAC de datos de 100Gbps
- Proporcionar las especificaciones de la capa física que soporte 100Gbps a través de la operación:
 - al menos 40 km en SMF
 - al menos 10 km de SMF

3.9.2 Metro Ethernet

Metro Ethernet es el uso de la tecnología Carrier Ethernet⁸ en una área Metropolitana. Puede conectar usuarios a una WAN y a Internet, o sucursales a una Intranet.

Ethernet es la tecnología LAN más instalada en el mundo. Los dispositivos de Ethernet son capaces de comunicarse mediante el envío de bloques de datos individuales. Cada dispositivo Ethernet recibe direcciones MAC, que especifican el destino y el origen de cada paquete de datos. Frecuente en las redes corporativas y residenciales, las redes de acceso basadas en Ethernet son rentables y fáciles de implementar elevando así su uso en una red de clientes.

Un sistema típico de Metro Ethernet se compone de una colección de capa 2 y capa 3, switches o ruteadores, que se conectan a través de cobre o fibra óptica. Ethernet desplegado en una MAN puede utilizarse como: Ethernet a través de SDH, Ethernet sobre MPLS o Ethernet sobre DWDM; aunque utilizar Ethernet puro es más económico que las últimas tecnologías.

Las conexiones se realizan a través de la Interfaz de Red de Usuario (UNI) que es instalada por el proveedor. En una parte se coloca el equipo del usuario y otro en el área de la Red Metro Ethernet. Realizando una Conexión Virtual de Ethernet (EVC) es posible establecer la ruta entre dos interfaces, manteniendo sin cambios la MAC y contenido de la trama, para tener la conectividad de capa 2 entre las dos localidades.

Los elementos básicos de una Red Metro Ethernet MEN, por sus siglas en inglés (Metro Ethernet Network), son (ver figura 3.63):

- CE, Customer Equipment: Ruteador o Switch
- UNI, User Network Interface: Demarcación entre el suscriptor y el proveedor
- EVC, Ethernet Virtual Connection: Conexión virtual Ethernet
- UNI-C, UNI-Customer Side: Interfaz de usuario
- UNI-N UNI-Network Side: Interfaz de proveedor
- ENNI, External Network to Network Interface: Demarcación entre dos proveedores

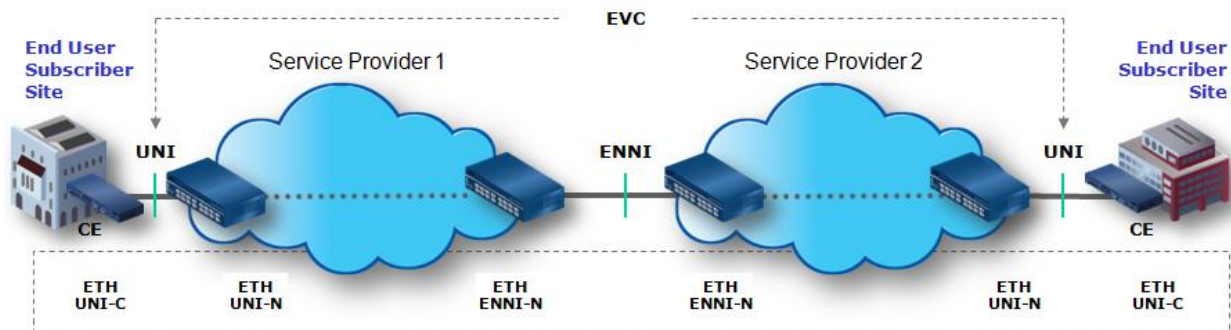


Figura 3.63 Metro Ethernet Network (MEN) [32]

A continuación se describirán brevemente los términos antes mencionados:

⁸ La tecnología Carrier Ethernet consta de 5 servicios, explicados más adelante.

Características de ancho de banda

Para Metro Ethernet se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- CIR (Committed Information Rate): Es la cantidad promedio de información que se ha transmitido, teniendo en cuenta los retardos, pérdidas, etc.
- CBS (Committed Burst Size): Es el tamaño de la información utilizado para obtener el CIR respectivo.
- EIR (Excess Information Rate): Especifica la cantidad de información mayor o igual que el CIR, hasta el cual las tramas son transmitidas sin pérdidas.
- EBS (Excess Burst Size): es el tamaño de información que se necesita para obtener el EIR determinado.

User Network Interface (UNI)

La Interfaz de Red de Usuario (UNI) es una interfaz/puerto que demarca entre el usuario y el servicio del proveedor/operador de cable. Siempre será otorgado por el proveedor de servicios y tiene como características interfaces Ethernet a velocidades de 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps ó 10Gbps. Ver figura 3.64.

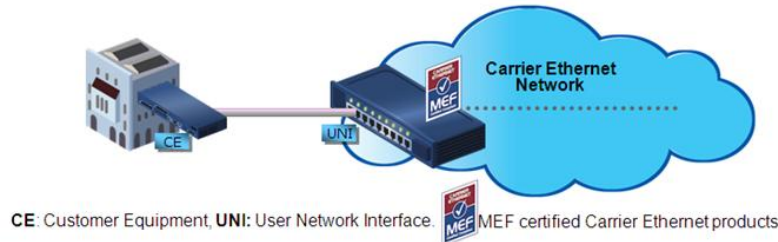


Figura 3.64 User Network Interface (UNI) [33]

Es posible poseer múltiples UNIs conectadas a la red Metro Ethernet, los servicios que puede soportar son una variedad de tecnologías y protocolos, tales como: SONET, DWDM, MPLS, entre otros.

Ethernet Virtual Connection (EVC)

El EVC es una asociación de dos o más UNIs, donde el UNI es la interfaz estándar Ethernet y el punto de demarcación entre el equipo cliente y el proveedor de servicio MEN. Un EVC tiene dos funciones: conectar dos o más sitios (UNIs) habilitando la transferencia de tramas Ethernet entre ellos e impedir la transferencia de datos entre usuarios que no son parte del mismo EVC, permitiendo privacidad y seguridad.

De esta manera el MEF (Metro Ethernet Forum) ha definido dos tipos de EVC:

- Punto a Punto (E-Line). Ver figura 3.65
- Multipunto a Multipunto (E-LAN). Ver figura 3.66

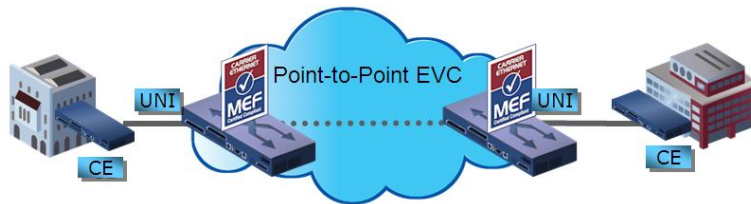


Figura 3.65 Conexión Virtual Ethernet Punto a Punto (E-Line) [33]

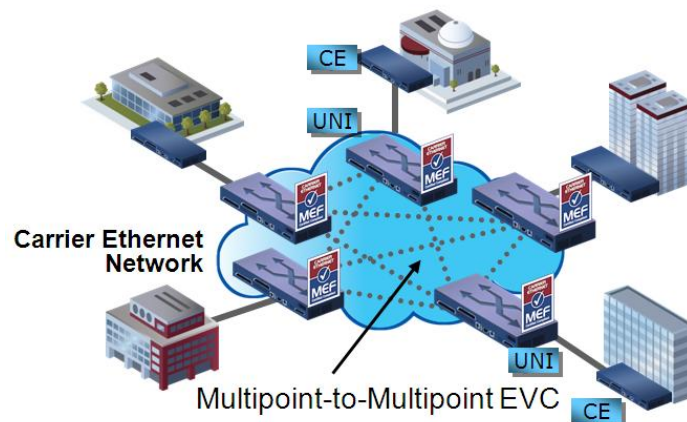


Figura 3.66 Conexión Virtual Ethernet Multipunto a Multipunto (E-LAN) [33]

E-LINE

El servicio E-Line es una Conexión Virtual Ethernet (EVC) Punto a Punto entre dos interfaces de unidades de red (UNI). Ver figura 3.67.

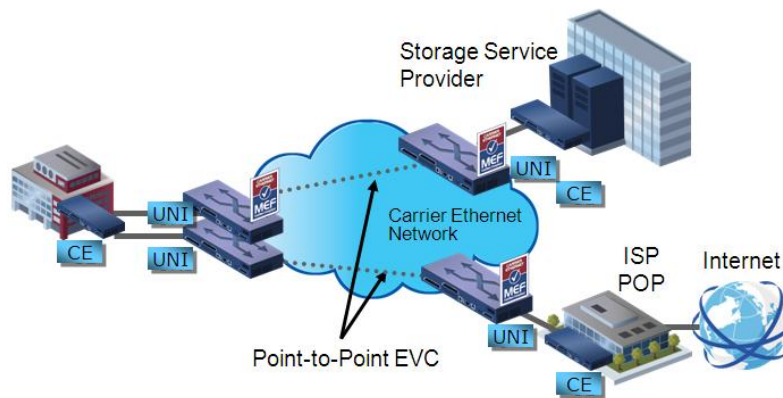


Figura 3.67 E-Line (Conexión Virtual Ethernet Punto a Punto) [33]

Dentro del tipo de servicio E-Line se incluye una amplia gama de servicios. El más sencillo consistente en un ancho de banda simétrico para transmisión de datos en ambas direcciones y no fiable; es decir, servicio “Best Effort” entre dos interfaces UNI a 10Mbps. Un servicio más sofisticado considerado dentro del tipo de servicio E-Line sería, por ejemplo, una línea E-Line, que ofrezca una CIR concreta junto con una CBS, y una EIR junto con una EBS, y un retardo, variación del retardo y BER máximos asegurados entre dos interfaces UNI⁹.

Al igual que con los PVCs de Frame Relay o ATM, se pueden multiplexar varios EVC punto a punto en un mismo puerto físico (UNI). E-Line se puede utilizar para crear los mismos servicios que puede ofrecer una red Frame Relay (a través de PVCs) o una línea alquilada punto a punto. Pero, como valor añadido, el rango de ancho de banda que puede proporcionar Ethernet es mucho mayor.

E-LAN

El tipo de servicio E-LAN proporciona conectividad multipunto a multipunto. Conectará dos o más interfaces UNI. Los datos enviados desde un UNI llegarán a 1 ó más UNI destino. Cada uno de ellos está conectado a un EVC multipunto. A medida que va creciendo la red y se van añadiendo más interfaces UNI, éstos se conectarán al mismo EVC multipunto, simplificando enormemente la configuración de la misma. Desde el punto de vista del usuario, la E-LAN se comporta como una LAN. Al igual que E-Line, el tipo de servicio E-LAN abarca una enorme gama de servicios. Ver figura 3.68.

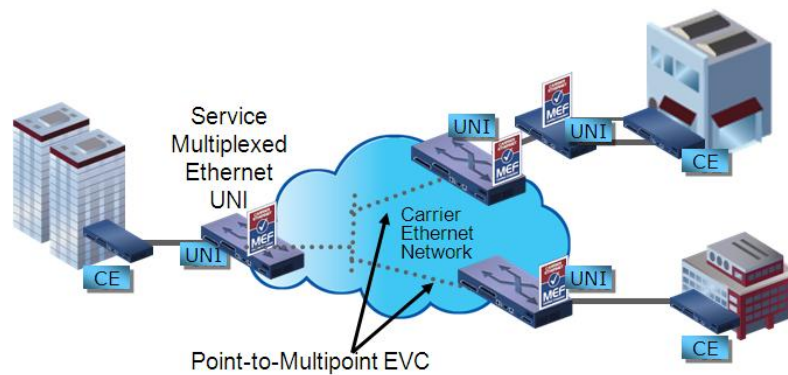


Figura 3.68 E-LAN (Conexión Virtual Ethernet Multipunto a Multipunto) [33]

E-TREE

Esta combinación optimizada entre los servicios E-Line e E-LAN, se basa en la operación de una sola red existente en una empresa, pero los suscriptores sólo pueden comunicarse con la sede, no entre sí. Este tipo de servicio se espera para ser usado con proveedores de nube.

⁹ Para mejor comprensión revisar Características de Ancho de Banda

EP-Tree y EV-Tree (por sus siglas en inglés Ethernet Private Tree y Ethernet Private Tree) permiten que la fuente se comunique con el destino (root to leaf), pero no permite la comunicación fuente a fuente (leaf to leaf). Ver figura 3.69 y 3.70.

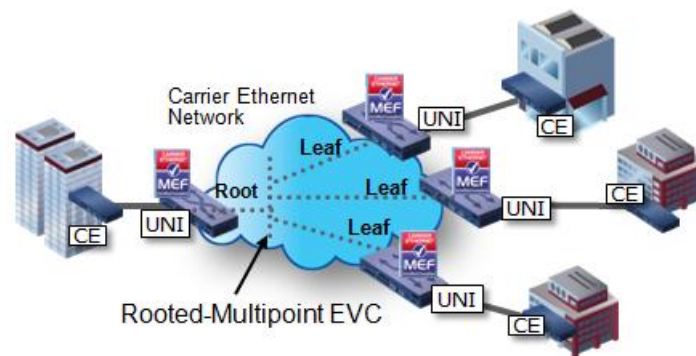


Figura 3.69 Ejemplo de un Ethernet Private TREE [33]

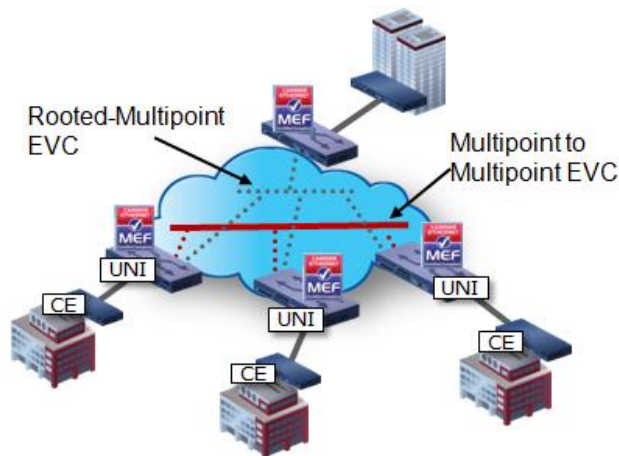


Figura 3.70 Ejemplo de un Ethernet Virtual Private Tree [33]

Estas configuraciones en general cuenta con:

- EP-Tree requiere un uso simple de las UNIs en servicio EP-Tree
- EVP-Tree permite la configuración y soporte de múltiples UNIs con una configuración más compleja del EP-Tree

E-Access

Este tipo de servicio, relativamente nuevo, se utiliza para normalizar y acelerar el abastecimiento de recursos cuando la red está fuera de los servicios Ethernet. Ver figura 3.71. Sus principales características son [33] [35]:

- Establece normas para la implementación, compra y venta de servicios de E-Access en la industria.
- Utilización clave para la adopción a nivel local, regional y mundial de Carrier Ethernet.
- Nuevas definiciones para UNI-ENNI.
- Servicios de acceso al por mayor.
- Simplifica la conexión de nuevos proveedores de servicios locales, regionales y nacionales.
- Permite a los nuevos modelos de negocio, extenderse en pequeñas y medianas empresas.
- Extiende el alcance de las empresas para alcanzar remotamente las sucursales con ubicua presencia de servicios Carrier Ethernet a un costo menor.

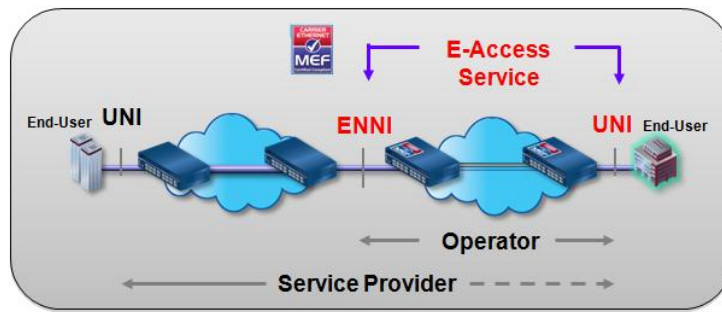


Figura 3.71 E-Access Service [34]

Servicio OAM

Definido en los MEFs 17, 30 y 31. Esta clase de servicio es una forma de administración utilizada entre un CE y otro CE. Ver figura 3.72.

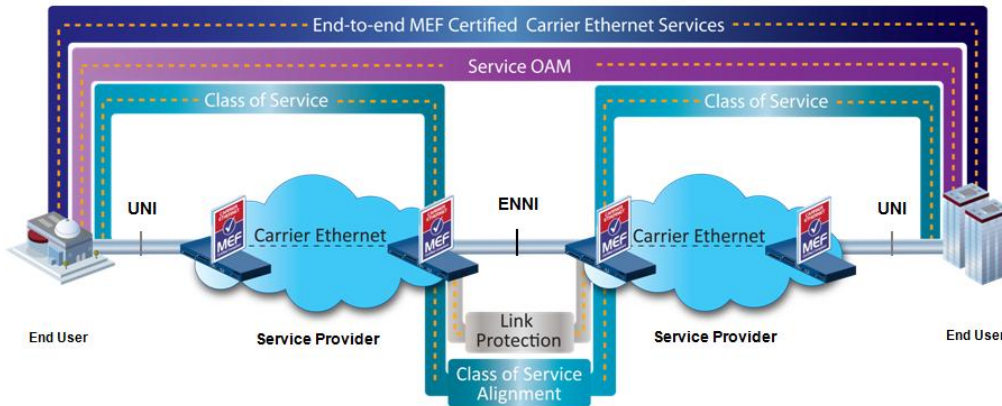


Figura 3.72 Servicio OAM [35]

Opciones de implementación

Se definen en dos tipos: Intercambio de Carrier Ethernet o por su nombre en inglés Carrier Ethernet Exchanged y Proveedores de Servicios de Carrier Ethernet o por su nombre en inglés Carrier Ethernet Services Providers. Ver figura 3.73 y 3.74.

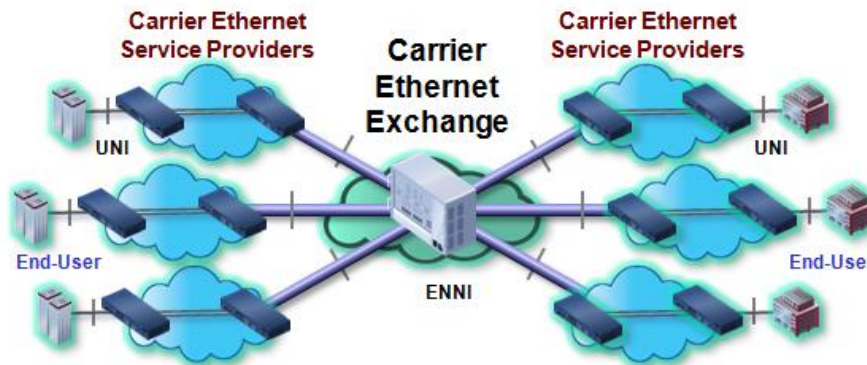


Figura 3.73 Implementación Intercambio de Carrier Ethernet (Carrier Ethernet Exchanged) [35]

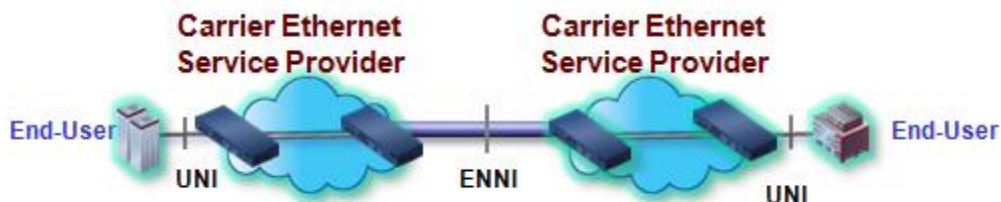


Figura 3.74 Implementación Proveedores de Servicios Carrier Ethernet (Carrier Ethernet Service Provider) [35]

Las cuales debe cumplir con los 5 atributos: Servicios normalizados: Escalabilidad, Confiabilidad, Calidad de servicio QoS y Gestión de servicio. Mostrados a continuación en la tecnología Carrier Ethernet.

3.9.3 Carrier Ethernet

Carrier Ethernet se define como un servicio generalizado y normalizado. Definido por cinco atributos que lo diferencian de Ethernet tradicional en LAN, Ver figura 3.75. Estos atributos que lo diferencian son [35] [36]:

- a) Servicios normalizados
- b) Escalabilidad
- c) Confiabilidad
- d) Calidad de servicio
- e) Gestión de servicio

1. Servicios normalizados: Permite, a un proveedor de servicios, ofrecer una gama de paquetes de servicios multipunto de una forma eficiente y determinística en cuanto a las plataformas del equipo. Estos servicios se basan en las múltiples aplicaciones que van surgiendo en cuanto a voz, datos y video.

2. Escalabilidad: En proveedores de servicios de red, por lo general hay cientos de usuarios finales y como consecuencia más conexiones para las aplicaciones basadas en Ethernet, obligando a los proveedores ofrecer una variedad de tamaño y alcance geográfico en la red, así mismo, las dimensiones a considerar son: usuarios o puntos finales, alcance geográfico, aplicaciones y ancho de banda, lo cual lleva consigo problemas de entrega, aislamiento, solución de problemas y en general el manejo de cientos de usuarios de forma sólida.

3. Confiabilidad: Dentro de los servicios de transporte de Ethernet se espera soporte para aplicaciones críticas a gran escala, además de la habilidad para detectar rápida y remotamente cualquier falla que pueda surgir en la infraestructura física, lo cual es esencial.

4. Calidad de Servicio (QoS): Proveer calidad de servicio es necesario en el transporte de Ethernet ya que debe considerarse como un sustituto de tecnologías como ATM, Frame Relay, entre otras y últimamente como un mecanismo de convergencia para entregar todas las tecnologías. La calidad del servicio esencialmente es conformada para tener una calidad de rendimiento esperada para aplicaciones que lo exigen.

5. Gestión de los Servicios: Gestionar un número grande de clientes sobre una red extendida a un área geográfica amplia, exige a los proveedores tener una sofisticada capacidad de instalación, solución de problemas y mejora de los servicios Ethernet de manera rentable y rápida.

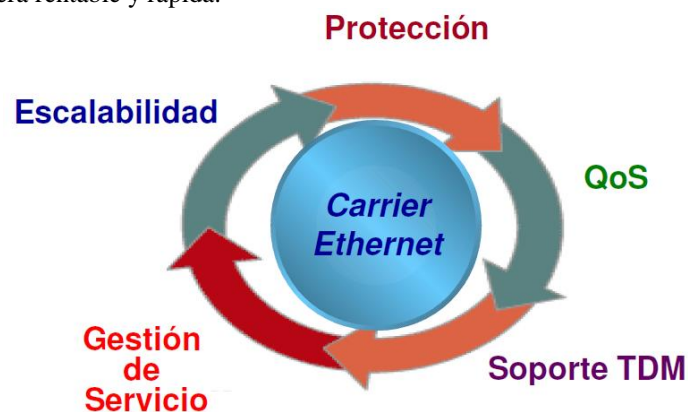


Figura 3.75 Concepto de Carrier Ethernet [35]

3.9.4 Foro Metro Ethernet (MEF)

El Foro Metro Ethernet MEF, por sus siglas en inglés (Metro Ethernet Forum) es una organización sin fines de lucro cuya misión es proveer orientación y acelerar la adopción global de redes y servicios Ethernet. Su principal objetivo es conseguirlo con simplicidad y una excelente relación costo/beneficio. Fue fundada en el 2002 por el padre de esta tecnología Bob Metcalfe [37].

El MEF es una alianza global que está compuesta por más de 120 empresas dedicadas a las telecomunicaciones, entre ellas: proveedores de servicio, titulares de grandes operadores de intercambio, vendedores de equipo de redes,

vendedores de equipo de prueba y otras prominentes compañías que comparten sus frutos en Metro Ethernet. Ver figura 3.76.



Figura 3.76 Participantes Metro Ethernet

El MEF es una combinación entre foro técnico y mercadotecnia que busca promover la adopción de Metro Ethernet. Éste es un diferenciador clave con otros organismos de normalización como el IETF y la IEEE. Este foro hace recomendaciones a los demás organismos de normalización y crea especificaciones que no están siendo desarrolladas o no entran en el ámbito del resto de organismos. Ver tabla 3.6.

El concepto básico promovido por el MEF son las Metro Ethernet Networks, que son redes que interconectan LANs de empresas geográficamente dispersas. Esto es debido a que Ethernet tiene la capacidad de incrementar la capacidad de la red desde un punto de vista costo efectivo, y de ofrecer un amplio rango de servicios de forma escalable, simple y flexible [38].

MEF 2 - Requirements and Framework for Ethernet Service Protection
MEF 3 - Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks
MEF 4 - Metro Ethernet Network Architecture Framework Part 1: Generic Framework
MEF 6.1 - Metro Ethernet Services Definitions Phase 2 (PDF 6/08)
MEF 7.1 - Phase 2 EMS-NMS Information Model
MEF 8 - Implementation Agreement for the Emulation of PDH Circuits over Metro Ethernet Networks
MEF 9 - Abstract Test Suite for Ethernet Services at the UNI
MEF 10.2 - Ethernet Services Attributes Phase 2*
MEF 11 - User Network Interface (UNI) Requirements and Framework
MEF 12.1 - Metro Ethernet Network Architecture Framework Part 2: Ethernet Services Layer
MEF 13 - User Network Interface (UNI) Type 1 Implementation Agreement
MEF 14 - Abstract Test Suite for Traffic Management Phase 1
MEF 15 - Requirements for Management of Metro Ethernet Phase 1 Network Elements
MEF 16 - Ethernet Local Management Interface
MEF 17 - Service OAM Framework and Requirements
MEF 18 - Abstract Test Suite for Circuit Emulation Services
MEF 19 - Abstract Test Suite for UNI Type 1
MEF 20 - UNI Type 2 Implementation Agreement
MEF 21 - Abstract Test Suite for UNI Type 2 Part 1 Link OAM
MEF 22 - Mobile Backhaul Implementation Agreement
MEF 23 - Class of Service Phase 1 Implementation Agreement
MEF 24 - Abstract Test Suite for UNI Type 2 Part 2 E-LMI
MEF 25 - Abstract Test Suite for UNI Type 2 Part 3 Service OAM
MEF 26 - External Network Network Interface (ENNI)-Phase
MEF 27 - Abstract Test Suite For UNI Type 2 Part 5: Enhanced UNI Attributes & Part 6: L2CP Handling
MEF 28 - MEF 28 ENNI Amendment: Support for UNI Tunnel Access and V-UNI
MEF 29 - Ethernet Services Constructs
MEF 30 - Service OAM Fault Management Implementation Agreement
MEF 31 - Service OAM Fault Management Definition of Managed Objects

■ Architecture
 ■ Services
 ■ Management
 ■ Test

Tabla 3.6 Especificaciones MEF

- MEF 1 (Reemplazada por el MEF 10) Ethernet Services Model, Phase 1
- MEF 5 (Reemplazada por el MEF 10) Traffic Management Specification: Phase I

En definitiva, lo que pretende el MEF es ofrecer redes metropolitanas basadas en la tecnología Ethernet pero con calidad de operador, para lo que ha definido cinco atributos, en torno a los que se ha trabajado y desarrollado las normas necesarias para garantizar los servicios Ethernet.

Por último, cabe mencionar que Carrier Ethernet cuenta con acceso a las tecnologías de última milla, tales PON, HFC-DOCSIS, DSL, WIMAX, entre otras. Ver figura 3.77.

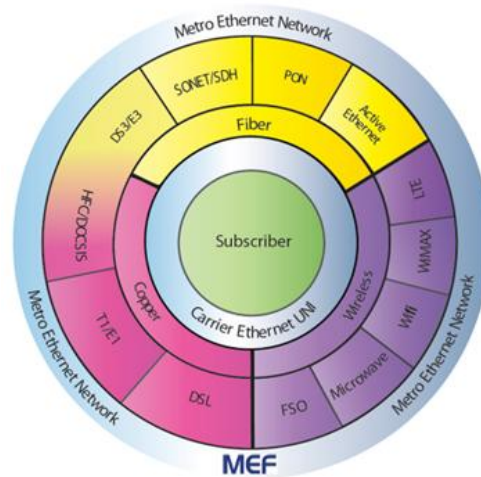


Figura 3.77 Acceso de Carrier Ethernet a tecnologías de última milla

Desventajas

- Relativamente poco conocimiento de la tecnología a nivel internacional.
- Existe poca gente capaz de administrar dicha tecnología.

Ventajas

- El mejoramiento y el desarrollo de Carrier Ethernet ha traído consigo el mejoramiento de Ethernet, en el aspecto de distancia, fiabilidad, redundancia, capacidad de crecimiento y seguridad. Esto ha sido gracias a los avances tecnológicos que han podido superar dichas desventajas por medio de diferentes herramientas, lo cual ha llevado al Ethernet a ser una opción que se debe considerar para casi cualquier tipo de red.
- Fácil uso: Interconectando con Ethernet se simplifica las operaciones de red, administración, manejo y actualización.
- Economía: los servicios Ethernet reducen el capital de suscripción y operación de tres formas.
- Amplio uso: se emplean interfaces Ethernet que son la más difundidas para las soluciones de Networking.
- Bajo costo: Los servicios Ethernet ofrecen un bajo costo en la administración, operación y funcionamiento de la red.
- Ancho de banda: Los servicios Ethernet permiten a los usuarios acceder a conexiones de banda ancha a menor costo.
- Flexibilidad: Las redes de conectividad mediante Ethernet permiten modificar y manipular de una manera más dinámica, versátil y eficiente, los anchos de banda y cantidad de usuarios en corto tiempo.
- Costos bajos: Los costos para implantar la infraestructura (cable, conectores, tarjetas, equipos de interconexión, etc.) son mucho menores. Además, los costos de configuración y mantenimiento de una red Ethernet también son menores que los de una red Frame Relay o ATM.
- Ethernet sólo requiere conectar los equipos, sin más configuración.
- Configuración rápida bajo demanda: Ethernet sí permite esta flexibilidad. Además, Ethernet ofrece una gran variedad de velocidades de transmisión, (desde 10Mbps hasta 10Gbps), en incrementos de 1 Mbps o incluso menos.
- Fácil de interconectar con otras redes: Debido a que el 98% de las LAN están implementadas sobre Ethernet, no es necesaria una conversión de protocolos entre LAN y MAN. Esto facilita enormemente la integración de redes LAN en la red MAN.

3.10 Estudio Comparativo de las Tecnologías de Transporte

Tecnología	Norma	Particularidades	Desventajas	Ventajas
PSTN	UIT-T V.90	<ul style="list-style-type: none"> • Norma UIT • Conmutación de circuitos • E0 • Internet-by-call (Internet por llamada) 	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión a través de modem. • Ocupa la línea telefónica. [39] 	<ul style="list-style-type: none"> • Accesibilidad permitiendo la conexión a Internet donde no hay banda ancha. • Se puede conectar vía Internet-by-call. [39]
PDH	UIT-T G.702	<ul style="list-style-type: none"> • Norma UIT • Velocidades binarias en Europa: E1, E3. • Velocidades binarias en Japón: T1, T3. • Tecnología asíncrona 	<ul style="list-style-type: none"> • No ha podido ser una fuerte implementación en las redes telefónicas. • SDH fue lo siguiente a PDH. • Carencia de capacidad de alta transmisión. • Utiliza códigos regionales. • Diferentes arquitecturas internacionales. • Cada fabricante usa sus propios códigos. [40] 	<ul style="list-style-type: none"> • El multiplexor no se tiene que sincronizar en el lado de los tributarios a la señal de entrada. • Adaptación del reloj mediante relleno positivo bit por bit. [40]
SONET/SDH	ANSI T1.105 UIT-T G.707	<ul style="list-style-type: none"> • Normas ANSI/UIT • STM (Synchronous Transport Module) • STS (Synchronous Transport Signal) • OC (Optical Carrier) • Carga Útil (Payload) • SOH (Section Overhead) • RSOH (Regenerator Section Overhead) • AUP (Administrative Unit Pointer) • MSOH (Multiplex Section Over Head) • C-n (Container) • VC-n (Virtual Container) • POH (Path Over Head) • TUG-n (Tributary Units Group) • AU-n (Administrative Unit) • TU-n (Tributary Unit) • AUG (Administrative Unit Group) 	<ul style="list-style-type: none"> • La estructura de trama de las centrales hecha por entrelazamiento de octetos a 64kbps. • El entrelazamiento de bits sólo se pueden bifurcar hasta que se demultiplexan a un nivel primario. • Los canales de n 64kbps que no se puedan incluir bajo la multiplexación primaria no se pueden tramitar de ninguna otra forma por la red. • El procedimiento de mantenimiento para una vía completa es complicado. • Necesita sincronismo entre los nodos de la red. • Se pierde eficiencia. [41] 	<ul style="list-style-type: none"> • Sincronización bajo un mismo reloj. • Transmisión de las jerarquías digitales PDH y SDH. • Multiplexación de canales sincrónicos y asincrónicos. • Arquitectura tipo anillo. • Facilita la operación, mantenimiento, administración y gestión de la red. [42]
ISDN	UIT-T I.311	<ul style="list-style-type: none"> • Norma UIT • Canal B • Canal D • Canal H • BRI (Basic Rate Interface) • PRI (Primary Rate Interface) 	<ul style="list-style-type: none"> • Periodos prolongados para descargar datos. • Los datos cada vez aumentan más en Internet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión más rápida que una conexión vía módem analógico. • Es posible usar simultáneamente el teléfono, fax e Internet. • Se pueden conectar simultáneamente hasta 8 dispositivos. [39]
ATM	UIT-T I.361	<ul style="list-style-type: none"> • Norma UIT • Capa ATM: Nivel de Canal Virtual, Nivel de Trayecto Virtual • Capa Física: Nivel de Trayecto de Transmisión, Nivel de Sección Digital, Nivel de Sección del Regenerador • VC (Virtual Channel) • VP (Virtual Path) • VPC (Virtual Path Connection) • VCI (Virtual Channel Identifier) 	<ul style="list-style-type: none"> • Complejo y costoso • Pocas opciones a nivel de interfaces. • Saltos “discretos” a nivel velocidad. • No ha logrado imponerse globalmente. [43] 	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicación de alta velocidad. • Servicio orientado a la conexión. • Transporte de redes universal e interoperable. • Una única conexión de red que puede mezclar de forma fiable voz, vídeo y datos. • Asignación flexible y eficaz del ancho de banda de la red. [44]

		<ul style="list-style-type: none"> • Red Óptica Pasiva ATM (APON) 		
OTN	UIT-T G.709	<ul style="list-style-type: none"> • Norma UIT • 3R: Reformación, Reamplificación y Resincronización • Señal de cliente • OPU (Optical Channel Payload) • ODU (Optical Data Unit) • OTU (Optical Transport Unit) • OCh (Optical Channel) • OMS (Optical Multiplex Section) • OTS (Optical Transmission Section) 	<ul style="list-style-type: none"> • Retardos básicos OTN. • Retardos de las tarjetas de interfaz. [15] 	<ul style="list-style-type: none"> • Canales ópticos unidireccionales o bidireccionales. • Transparencia y sincronización del servicio por medio del uso de la capa digital G.709. • Flexibilidad. • Habilidad para transportar 10GbE. [15]
MPLS	RFC 3031	<ul style="list-style-type: none"> • Norma IETF • LER (Label Edge Router) • LSR (Label Switching Router) • FEC (Forwarding Equivalence Class) • LSP (Label Switched Path) • Capa 2-3 • LS (Label Stack) • Uso de etiquetas • Plano de Control • Diff-Serv 	<ul style="list-style-type: none"> • Aparición de nuevos equipos más rápidos y potentes. • El esquema es orientado a la conexión. • Múltiples etiquetas pueden reducir el rendimiento de la red. • Identificar mediante una etiqueta la calidad de servicio deseada no implica que esta solicitud se satisfaga. • Limitación en el ámbito de conectividad de la red del proveedor de servicios. [46] 	<ul style="list-style-type: none"> • La conmutación mediante el uso de etiquetas es más rápido. • Es posible realizar la clasificación del paquete dentro de una clase de equivalencia. • Se admite mayor complejidad en el proceso de clasificación. • La clasificación de un paquete puede atender a la calidad de servicio. • El uso de etiquetas simplifica la gestión de rutas explícitas. • Capacidad de proporcionar un enrutamiento jerárquico. • Diversos LSPs pueden ser transportados y separados en caminos individuales. • Cuando los flujos son transportados permanecen inalterables. [46]
GMPLS	RFC 3471	<ul style="list-style-type: none"> • Norma IETF • Interface PSC (Packet Switch Cable) • Interface L2SC (Layer-2 Switch Capable) • Interface TDM (Time Division Multiplexing) • Interface LSC (Lambda Switch Capable) • Interface FSC (Fiber Switch Capable) • DXC (Digital Cross Connect) • OXC (Optical Cross Connect) • PXC (Photonic Cross Connect) • Extensiones de MPLS: LMP, RSVP-TE, CR-LDP-TE, BGP y OSPF-TE 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendrá que atraer clientes de MPLS y algunas otras tecnologías ya bien establecidas en el mundo laboral. • El tiempo de aceptación de las empresas y clientes para utilizar dicha tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> • Además de los ruteadores IP y los switches ATM, se abarcan DXC, OXC y PXC. • Extiende funciones de MPLS y en algunos casos añade nueva funcionalidad. • Ofrece un marco para el manejo del ancho de banda óptico y el aprovisionamiento en ASON. • Evita la necesidad de reinventar una nueva clase de protocolos de control para las redes de transporte óptico. • Fomenta el rápido desarrollo y despliegue de una nueva clase de OXCs. • Facilita la introducción de los conceptos de coordinación de control entre los elementos de red de datos y elementos de red óptica. • Simplifica la administración de redes en las instalaciones de servicio basado en las redes de proveedores. [47]
ASON	UIT-T G.8080	<ul style="list-style-type: none"> • Norma UIT • CCI (Conexión Control Interface) • NMI-A (Network Management Interface for ASON Control Plane) • NMI-T (Network Management Interface for ASON Transport Network) • DCN (Data Communication Network) 	<ul style="list-style-type: none"> • La granularidad de las longitudes de onda, hace que la asignación de una lambda a un cliente sea improbable mientras el costo sea muy elevado. • No es posible asignar lambdas a tráfico exclusivos. [47] 	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte a los clientes. • La utilización de protocolos generales, actualizables y escalables. • El plano de control permite una gran supervisión de los recursos libres de la estructura. • El operador podrá garantizar un servicio a un cliente aplicando sus políticas de control sobre los recursos. • Otorga servicios de canales semipermanentes conmutados automáticamente, canales semipermanentes automáticos canales permanentes automáticos y redes

		<ul style="list-style-type: none"> • OCC (Optical Connection Controller) • UNI (User Network Interface) • NNI (Network Node Interface) • OXC (Optical Cross Connect) • DXC (Digital Cross Connect) • PXC (Photonic Cross Connect) • I-NNI (Internal-Network Node Interface) • E-NNI (External-Network Node Interface) • VPLS (Virtual Private LAN Service) • Plano de Control, Gestión y Transporte a nivel Óptico • CC (Connection Controller) • TAP (Termination and Adaption Performer) • Servicio PC (Permanent Connection) • Servicio SPC (Soft Permanent Connection) • Servicio SC (Switched Connection) 		<p>ópticas virtuales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asignación de longitudes de onda a flujos entre nodos extremos. [47]
Ethernet 40/100Gbps	IEEE 802.3ba	<ul style="list-style-type: none"> • Norma IEEE • CSMA/CD • FDM DP-QPSK (Dual Polarization) • OPFDM-RZ-DQPSK (Orthogonal Polarized) • PDM-QPSK (Polarization Division Multiplexing) • 40GBASE - KR4, CR4, SR4, LR4 • 100GBASE - CR10, SR10, LR4, ER4 	<ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de aceptación de la tecnología ira avanzando conforme a las necesidades de las empresas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altas velocidades de transmisión. • Norma establecida por la IEEE.
Carrier Ethernet	MEFs (2-32)	<ul style="list-style-type: none"> • CE (Customer Equipment) • UNI (User Network Interface) • EVC (Ethernet Virtual Connection) • UNI-C (UNI-Customer Side) • UNI-N (UNI-Network Side) • ENNI (External Network to Network Interface) • MEN (Metro Ethernet Network) • CBS (Committed Burst Size) • EIR (Excess Information Rate) • EBS (Excess Burst Size) • E-Line (Ethernet Line) • E-LAN (Ethernet LAN) • E-Tree (Ethernet Tree) • E-Access (Ethernet Access) 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente poco conocimiento de la tecnología a nivel internacional. • Existe poca gente capaz de administrar dicha tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil uso • Economía • Amplio uso • Bajo costo • Ancho de banda • Flexibilidad • Costos bajos • Configuración rápida bajo demanda • Fácil de interconectar con otras redes

3.11 Redes de Próxima Generación (NGN)

El concepto de Redes de Próxima Generación NGN, por sus siglas en inglés (Next Generation Network), se ha introducido para tener en consideración las nuevas realidades en la industria de telecomunicaciones, tales como: competencia entre operadores debido a la desregulación en curso de los mercados, explosión del tráfico digital, (por ejemplo, la utilización creciente del Internet), demanda creciente de nuevos servicios multimedia, demanda creciente de una movilidad general, convergencia de redes y servicios, etc. [48]

La UIT ha iniciado la normalización de la nueva generación de redes con el proyecto de Infraestructura Mundial de la Información GII, por sus siglas en inglés (Global Information Infrastructure), que produjo cierto número de Recomendaciones de la serie Y relativas a la GII.

De esta manera se ha definido en la Recomendación UIT-T Y.2001 a las redes de próxima generación como: “Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas por la QoS, y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a redes y a proveedores de servicios y/o servicios de su elección. Se soporta movilidad generalizada que permitirá la prestación coherente y ubicua de servicios a los usuarios”.

Es así como la UIT ha colocado en la web una herramienta descriptiva de gestión de proyectos NGN “Project management Tool overview” en la cual participan las siguientes asociaciones, institutos y otros en la elaboración de normas y grupos de trabajo relacionadas a dicho tema [49]:

- ITU International Telecommunication Union
- ARIB Association of Radio Industries and Businesses
- ATIS Alliance for Telecommunications Industry Solutions
- ATSC Advanced Television Systems Committee
- ETSI European Telecommunications Standards Institute
- IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers
- IETF Internet Engineering Task Force
- OMA Open Mobile Alliance
- TIA Telecommunications Industry Association

Por último, podemos ver en la figura 3.78 la evolución de las redes NGN

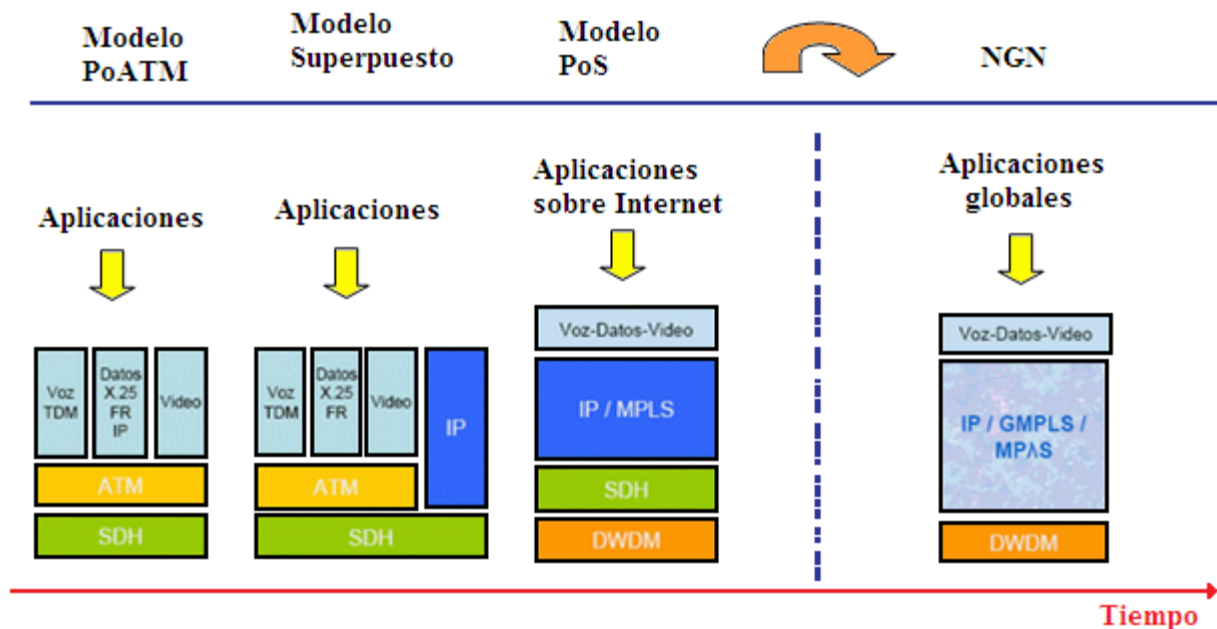


Figura 3.78 Evolución de las redes NGN

Capítulo 4

Tecnologías y Redes de Fibra Óptica de Última Milla

Las redes de acceso o última milla, tienen como propósito enlazar las redes de los operadores con las de los usuarios, sean residenciales, educativas o corporativas. Permiten una conexión entre la red LAN del cliente y la red de transporte del proveedor de servicio. Se pueden considerar cinco modalidades de acceso en función del medio de conexión [1]:

- Las redes de acceso vía cobre, entre las que se destacan las que usan las tecnologías xDSL (Digital Subscriber Line).
- Las redes de acceso vía radio, tales como celular, usando WLL (Wireless Local Loop), LMDS (Local Multipoint Distribution Service), MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service), WLAN (Wireless Local Area Network) y satélite.
- Las redes de acceso móvil tales como CDMA (Code Division Multiple Access), GSM (Global System for Mobile Communications), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), 3G IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) y 4G IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications Advanced).
- Las redes híbridas fibra-coaxial HFC (Hybrid Fibre Coaxial).
- Las redes de acceso vía fibra óptica pasiva tales como redes PON (Passive Optical Network).

Estas tecnologías tienen la característica de ser alámbricas o inalámbricas. Ver figura 4.1.

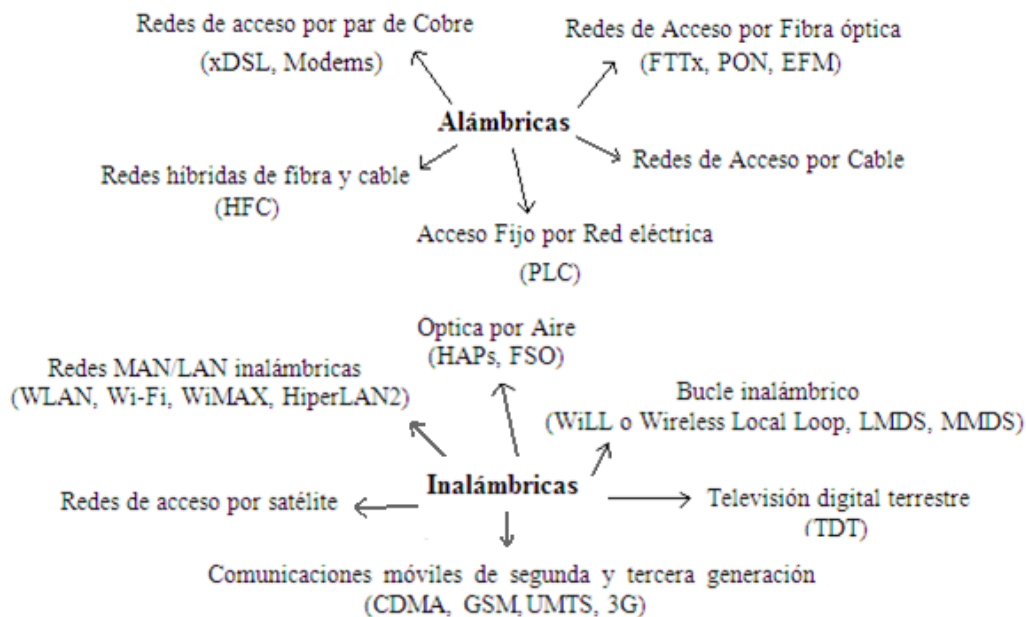


Figura 4.1 Tecnologías de acceso o de última milla [2]

La selección de la tecnología condiciona los servicios que se pueden ofrecer, como condicionar el ancho de banda, el monto de inversión y los costos de operación/venta. Seleccionar una tecnología debe estar sólidamente basado en el modelo de negocio, por ejemplo, la tecnología seleccionada debe ser actual y estar disponible; tomando en cuenta modelos de negocio exitosos en otros países y juzgar hasta qué punto el negocio es viable.

El transporte de la información en la última milla representa una de las áreas donde continuamente se invierte gran cantidad de tiempo de diseño e investigación –debido al *cuello de botella*, o en inglés *Bottle Neck*- a fin de crear equipos y técnicas más eficientes, que permitan a los usuarios finales integrarse a esta poderosa infraestructura de telecomunicaciones aprovechando al máximo las ventajas y ancho de banda que ofrece la red para satisfacer sus necesidades de información.

4.1 Redes Híbridas Fibra Óptica-Coaxial (HFC)

Las Redes Híbridas Fibra Óptica-Coaxial HFC, por su siglas en inglés (Hybrid Fiber Coaxial), son un tipo de red de acceso preferidas por los operadores de telecomunicaciones de todo el mundo para ofrecer a sus abonados, un sin número de servicios y aplicaciones cada vez más amplio, y que comprende desde la TV digital interactiva hasta el acceso a Internet a alta velocidad, pasando por la telefonía.

Las primeras redes de distribución de TV por cable coaxial tenían una topología en árbol con lo que, requerían de decenas de derivaciones y preamplificadores intermedios; como es lógico, los últimos de la cadena recibían una señal mucho peor a los que por suerte vivían cerca de la cabecera de emisión de la señal. Ver figura 4.2.

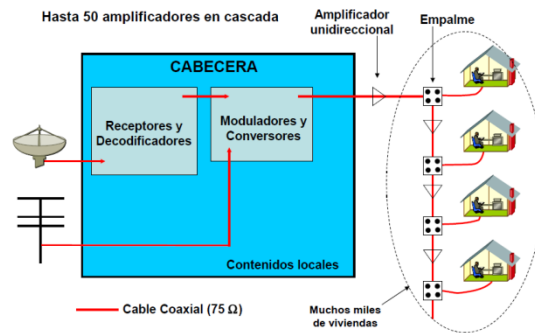


Figura 4.2 Arquitectura típica de una red CATV coaxial tradicional [3]

La arquitectura típica de una Red de Televisión por Cable CATV, por sus siglas en inglés (Community Antenna Television), como se puede observar en la figura 4.2, se denotan amplificadores unidireccionales, máximo 50 en cascada, con empalmes, lo cual representaba un alto costo para la adquisición del servicio y solo era para el servicio de televisión.

A principios de los 80s, aparecieron las redes híbridas entre fibra y coaxial HFC, en donde, la topología cambió hacia una combinación entre estrella y árbol, llevando la señal de manera óptica desde la cabecera hasta los nodos intermedios en donde se realiza la distribución mediante cable coaxial hasta los hogares, pudiendo así disminuir el número de repetidores y amplificadores intermedios, permitiendo que el usuario tenga un canal de retorno para servicios interactivos como Internet [4].

La arquitectura de la figura 4.2 permitía únicamente la difusión de la señal de TV. Sin embargo, la red HFC tiene capacidad para transportar servicios bidireccionales (telefonía y datos).

Pero los servicios bidireccionales requieren que la red posea canal de retorno habilitado y diseño adecuado del área de servicio de cada nodo.

Como se puede ver en la figura 4.3, la estructura básica de una red CATV coaxial tradicional ha variado abruptamente. La red HFC se descompone básicamente de una cabecera (que ha evolucionado hacia un centro de control y emisión), la red troncal de fibra óptica que distribuye las señales hacia los nodos primarios (o hubs), la red secundaria que une estos con los nodos finales que reparten la señal a los clientes mediante la red de distribución (coaxial).

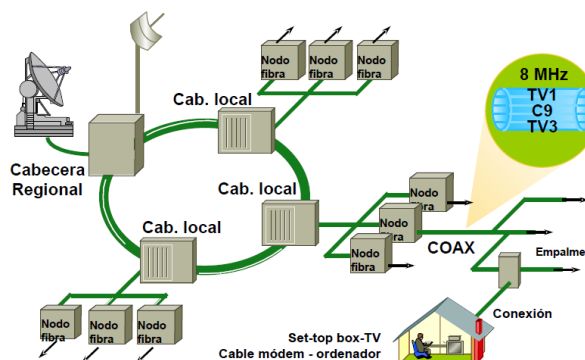


Figura 4.3 Arquitectura HFC (Híbrida Fibra-Coax) [3]

4.1.1 Especificación de Interfaz de Datos sobre Servicios de Cable (DOCSIS)

La Especificación de Interfaz de Servicio de Datos por Cable DOCSIS, por sus siglas en inglés (Data Over Cable Service Interface Specification), es un norma comercial –publicada por CableLabs- que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable permitiendo añadir transferencias de datos de alta velocidad a un sistema de televisión por cable CATV. Esta tecnología es utilizada por muchos operadores de televisión por cable, lo emplean para proporcionar acceso a Internet sobre una infraestructura HFC existente, tal es el caso de Cablevisión, en México DF.

La norma DOCSIS, es quizá la más importante dentro del ámbito de las redes de cable, prueba de ello es su aceptación como norma por la UIT¹⁰. Utiliza el método de acceso TDMA/SCDMA.

- TDMA: Tecnología de cable módem de sistemas de comunicación que proporciona la transmisión de 10Mbps en ambas direcciones.
- Synchronous CDMA: Técnica de modulación de espectro disperso por división de código. Trabaja bien en ambientes ruidosos.

DOCSIS es diferente de los sistemas Ethernet, dado que no experimentan ninguna colisión. En DOCSIS, hay muchas variantes en las que los niveles 1 y 2 de OSI se pueden configurar, aparte de los métodos de acceso.

Para la modulación del canal de bajada (downstream) se utiliza desde 64QAM hasta 256QAM, y para el canal de subida (upstream) se utiliza QPSK y 16QAM como se puede ver en la tabla 4.1.

Modulación	Sentido	Bits por segundo	S/R mínima	Bits por símbolo Shannon
QPSK	Ascendente	2	>21dB	7
16 QAM	Ascendente	4	>24dB	8
64 QAM	Descendente	6	>25dB	8.3
256 QAM	Descendente	8	>33dB	10.9

Tabla 4.1 Modulación DOCSIS [4]

La capa física DOCSIS permite flexibilidad considerable debido a los diferentes anchos de banda de la señal ascendente y a las opciones de modulación disponibles para ambos flujos.

Hasta la fecha se han definido tres versiones de DOCSIS. La primera norma DOCSIS fue la versión 1.0, publicada en marzo de 1997, seguida de la revisión 1.1 en abril de 1999. Después llegó la versión 2.0, publicada en enero del 2002. En agosto del 2006 llegó DOCSIS 3.0. [5]

Evolución DOCSIS

- **DOCSIS 1.0:** Se define sobre todo como servicio de acceso al Internet para los consumidores, permite que el cable coaxial sea compartido por una variedad de suscriptores en la red; fue aceptada unánimemente como norma norteamericana. [4]
- **DOCSIS 1.1:** Agrega la capacidad a los datos de entrega que permiten el apoyo a sistemas de servicio telefónico. Uno de los aspectos más importantes que introduce esta versión es el soporte de servicios con garantías de QoS, para servicios sensibles al retardo. A este tipo de servicios se añade el servicio sin garantías (best effort), el único considerado en DOCSIS 1.0.

En un sistema, es posible que exista más de un canal DOCSIS; los dispositivos DOCSIS 1.1 pueden trabajar en sistemas DOCSIS 1.0 pero dejan la capacidad de entrega exacta de datos [4]

¹⁰ DOCSIS 1.1, que fue ratificado en la Recomendación UIT-T J.112 Anexo B (2001). Posteriormente, DOCSIS 2.0 fue ratificado en la Recomendación UIT-T J.122. DOCSIS 3.0 fue ratificado en la Recomendación UIT-T J.222.

- DOCSIS 2.0: Los dispositivos DOCSIS 2.0 basan su funcionamiento en características DOCSIS 1.1 y agregan la capacidad de utilizar tarifas ascendentemente ascendentes. Esta versión define también dos nuevos métodos de modulación: S-CDMA y A-TDMA.

Todas estas mejoras se combinan para proporcionar una velocidad de subida total de 30,72Mbps por canal; la velocidad de subida en DOCSIS 1.0 está limitada a 5Mbps, y a 10Mbps en DOCSIS 1.1. Todas las versiones de la norma DOCSIS soportan una velocidad de bajada de hasta 38Mbps por canal. [4]

- DOCSIS 3.0: Las redes de cable coaxial no se quedan atrás frente a la llegada de la fibra hasta el hogar. Gracias al DOCSIS 3.0, los límites de velocidad del cable pueden rivalizar con el FTTH y podrán hacerlo durante bastantes años teniendo en cuenta los últimos avances [6].

En DOCSIS 1.0, 1.1 y 2.0 se utiliza un canal para transportar datos en sentido descendente y otro en sentido ascendente. Este canal no es más que una señal de radio en una frecuencia determinada que es modulada con la información que debe ser transportada. Con esta norma se alcanzan velocidades de transferencia de DS (downstream) de 160Mbps y UP (upstream) de 120Mbps.

4.2 Redes Ópticas Pasivas (PON)

Las Redes Ópticas Pasivas PON, por sus siglas en inglés (Passive Optical Network), permiten eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente, introduciendo en su lugar componentes ópticos pasivos para guiar el tráfico por la red. Su elemento principal es el dispositivo divisor óptico conocido también como splitter.

Una red de transmisión basada en la arquitectura PON está compuesta generalmente por los siguientes segmentos, ver figura 4.4:

- Una Terminal de Línea Óptica OLT, por sus siglas en inglés (Optical Line Terminal).
- Varios elementos pasivos de ramificación óptica, denominados splitters.
- Una Unidad Óptica de Red ONU por sus siglas en inglés (Optical Network Unit).

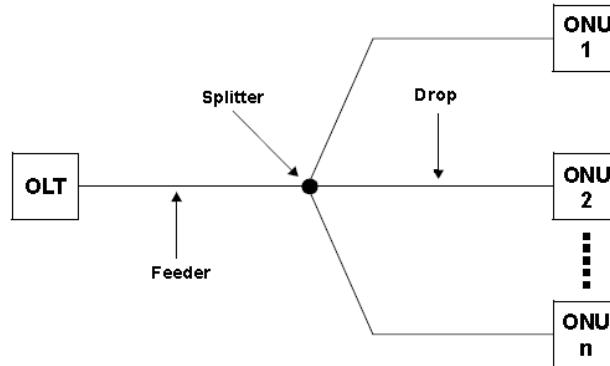


Figura 4.4 Redes Ópticas Pasivas PON [7]

Para este tipo de redes existen las siguientes configuraciones [8]:

- APON (ATM Passive Optical Network): ITU-T G.983
- BPON (Broadband Passive Optical Network): ITU-T G.983
- GPON (Gigabit Passive Optical Network): ITU-T G.984
- EPON (Ethernet Passive Optical Network): IEEE 802.3ah
- 10G-EPON (10Gigabit Ethernet Passive Optical Network): IEEE 802.3av
- XG-PON (Next Generation Passive Optical Network): ITU-T G.987

4.2.1 Redes Ópticas Pasivas ATM (APON)

Las Redes Ópticas Pasivas ATM, por sus siglas en inglés (ATM Passive Optical Network), están definidas en la recomendación UIT-T G.983, la cual consiste en fundamentar la transmisión en celdas ATM con una tasa máxima de 155Mbps que se reparte entre el número de ONUs que estén conectadas [9].

Originalmente estaba definida con una tasa de 155Mbps fijos tanto en canal ascendente como descendente; pero, más adelante, se modificó para admitir tráfico asimétrico: canal descendente de 622Mbps y canal ascendente de 155Mbps; tráfico simétrico: canal descendente y ascendente de 622Mbps; no obstante presentaban un costo elevado y limitaciones técnicas. En la tabla 4.2 se muestran las configuraciones de velocidades de APON establecidas en la recomendación UIT-T G.983.

Bajada [Mbps]	Subida [Mbps]
155.52	155.52
622.08	155.52
622.08	622.08
1244.16	155.52
1244.16	622.08

Tabla 4.2 Configuración de velocidades APON [9]

4.2.2 Redes Ópticas Pasivas de Difusión (BPON)

Las Redes Ópticas Pasivas de Difusión BPON, por sus siglas en inglés (Broadcast Passive Optical Network), fueron establecidas en la recomendación UIT-T G.983 por el sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) y es comúnmente conocida como BPON [9].

Esta recomendación describe una red de acceso flexible de fibra óptica que puede soportar los requisitos de ancho de banda de los servicios de banda estrecha y ancha. Describe sistemas con velocidades de línea en sentido descendente de 155,52, 622,08 y 1244,16Mbps, y velocidades nominales de línea en el sentido ascendente de 155,52 y 622,08Mbps. Se describen tanto los sistemas simétricos como los asimétricos.

G.983.1 trata, entre otras cosas, de una red para el soporte de servicios que requieran una anchura de banda superior a la correspondiente a la velocidad binaria básica de la RDSI, que incluiría servicios de vídeo y de distribución; así como también, describe las características de una red óptica de acceso OAN, por sus siglas en inglés (Optical Access Network), con capacidad para transportar diversos servicios entre la interfaz usuario/red y la interfaz de nodo de servicio. La OAN descrita permite al operador de red introducir perfeccionamientos de la red de una manera flexible para responder a futuras exigencias de los clientes, en particular en el área de la red de distribución óptica ODN, por sus siglas en inglés (Optical Distribution Network). La ODN que se considera se basa en una opción de árbol punto a multipunto y rama. [10]

4.2.3 Redes Ópticas Pasivas con capacidad de Gigabit (GPON)

Las Redes Ópticas Pasivas con capacidad de Gigabit GPON, por sus siglas en inglés (Gigabit Passive Optical Network), han quedado establecidas en las recomendaciones UIT-T G.984.x (x = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) y utilizan configuraciones de 2.4Gbps de bajada y 1.2Gbps de subida, así como 2.4Gbps de bajada y 2.4Gbps de subida [11].

Los sistemas GPON se encuentran formados de la misma manera que las redes PON (OLT, ODN y ONU/ONT). A continuación, en la figura 4.5, se muestra un sistema genérico GPON, cabe mencionar que puede existir el Equipo Local del Cliente CPE, por sus siglas en inglés (Customer Premises Equipment), después de la ONU para otorgar servicio al cliente.

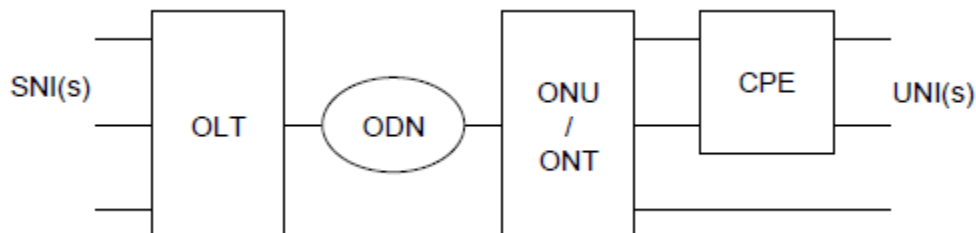


Figura 4.5 Escenario de un sistema genérico para GPON [11]

Variantes OLT

En la figura 4.6, se muestra la forma más simple de configuración de un OLT: escenario OLT puro, el cual cuenta con conexión Ethernet:

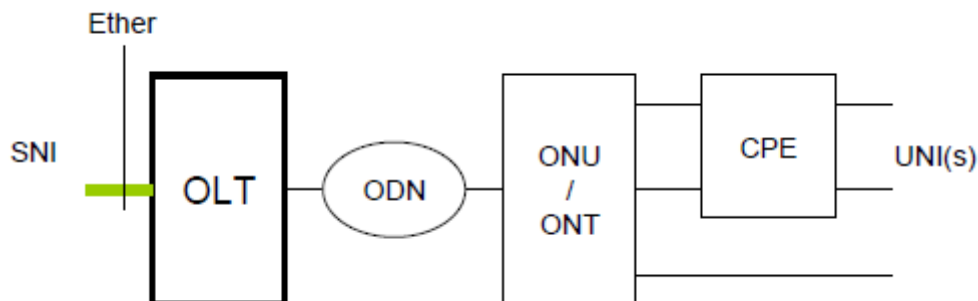


Figura 4.6 Escenario OLT Puro para GPON [11]

La figura 4.7 muestra el escenario “grooming OLT” el cual incluye servicios de voz (DS1) y circuitos TDM. Estos servicios se pueden realizar con un OLT puro y equipos de voz por separado, sin embargo, en la práctica, la integración de servicios de voz y TDM parece tener fuertes ventajas económicas y prácticas.

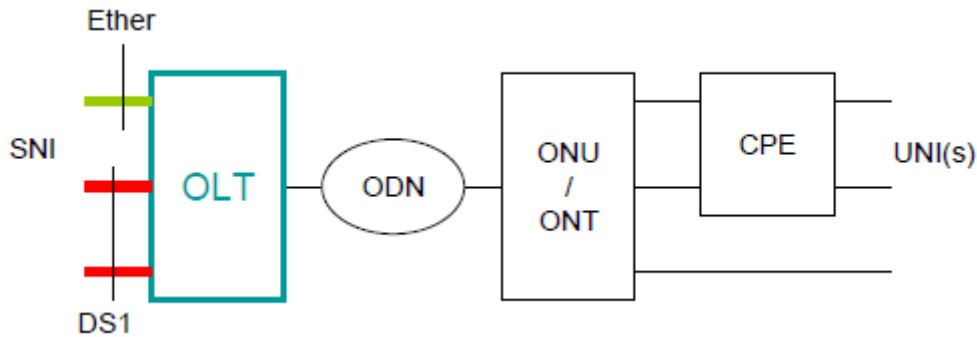


Figura 4.7 Escenario Grooming OLT para GPON [11]

Variantes ONU

En la figura 4.8 se muestra el escenario VDSL/POTS ONU. La característica distintiva de esta variación es que el ONU se utiliza para crear interfaces de base de cobre como un multiplexor de línea de acceso digital de abonado lo haría (DLC/DSLAM). Hay dos subtipos de este esquema. El primero es cuando el ONU proporciona las interfaces POTS y VDSL a los clientes, tratando de centralizar las funciones y reducir la necesidad de un CPE. El segundo es cuando la ONU ofrece sólo interfaces VDSL, tratando de minimizar el tamaño y potencia de la ONU, aunque sea a costa de requerir derivación POTS en la CPE. Esta alternativa es útil sobre todo en aplicaciones FTTB y FTTC.

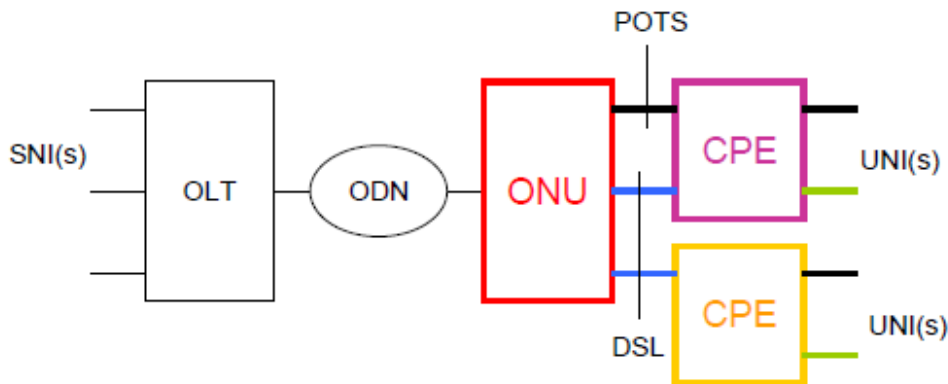


Figura 4.8 Escenario VDSL/POTS ONU para GPON [11]

La figura 4.9 muestra el escenario Modem GPON, donde la ONT se ocupa lo más pequeño y simple que sea posible. En este caso, se asemeja a un módem que proporciona la capa 1 y 2 de la interfaz entre la interfaz óptica de GPON y la tecnología de enlace de datos. El enlace de datos se lleva todos los servicios de los flujos de la CPE, lo que hace la mayor parte de la función de servicio de interconexión. Este sistema se utiliza principalmente en aplicaciones FTTH.

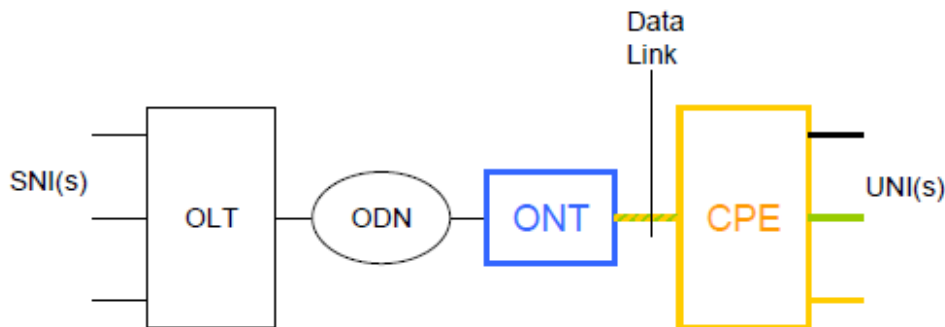


Figura 4.9 Escenario Modem para GPON [11]

En la figura 4.10 se muestra el escenario ONT Integrado. Este puede ser visto como la fusión del módem y los servicios derivados de GPON con el CPE. Sin embargo, esta fusión de las funciones tiene implicaciones críticas en que el sistema se encarga de la gestión de los servicios. También hay que señalar que a pesar de que las funciones

Mediante RF las operadoras de cable pueden hacer una migración gradual hacia IPTV. Con IPTV la señal de vídeo, que es transformada por la cabecera en una cadena de datos IP, se transmite sobre el mismo enlace IP como datos de una mayor prioridad al tráfico de Internet. Así, mediante GPON, con los equipos que incorporan avanzadas capacidades de QoS y multicast IP avanzadas, los operadores pueden ofrecer varios canales IPTV de alta calidad de imagen y sonido, incluidos HDTV, así como proporcionar servicios interactivos y personalizados.

Método de encapsulación

En cuanto al método de encapsulación que emplea GPON se utiliza GEM (GPON Encapsulation Method) que permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM, etc.) en un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125 ms. De este modo, GPON no sólo ofrece mayor ancho de banda que sus tecnologías predecesoras, es además mucho más eficiente y permite a los operadores continuar ofreciendo sus servicios tradicionales (voz basada en TDM, líneas alquiladas, etc.) sin tener que cambiar los equipos instalados en las dependencias de sus clientes.

Mejores usos en la Industria para 2.488Gbps en sentido descendente y 1.244Gbps en sentido ascendente

El amplio interés en esta configuración (2,4Gbps de bajada y 1.2Gbps de subida) ha proporcionado una mayor visibilidad de viabilidad en la pérdida de presupuestos en el sistema.

Actualmente hay dos grandes aplicaciones para el sistema GPON. El primero es un sistema de servicio completo con una superposición de vídeo y el segundo es un sistema sólo digital que funciona sin la superposición de vídeo. Estas dos aplicaciones se esquematizan en la figura 4.13.

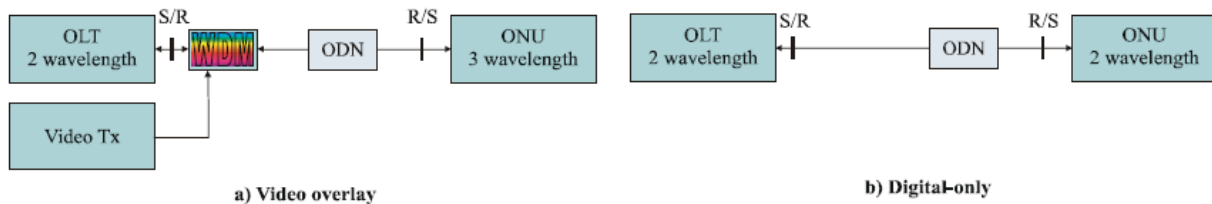


Figura 4.13 Aplicación de video en GPON [13]

La norma permite manejar amplios márgenes de ancho de banda, para prestar servicios a nivel comercial y residencial, mejorando sus prestaciones en el transporte de servicios IP y con una nueva capa de transporte diferente, el envío de la señal en forma ascendente y descendente con rangos de 1.25Gbps y 2.5Gbps para el primer caso y de 2.5Gbps para el segundo ya sea de forma simétrica o asimétrica llegando bajo ciertas configuraciones a entregar hasta 100Mbps por usuario.

4.2.4 Redes Ópticas Pasivas con capacidad Ethernet (EPON)

Las Redes Ópticas Pasivas con capacidad Ethernet EPON, por sus siglas en inglés (Ethernet Passive Optical Network) fueron definidas en 2004 por el grupo EFM (Ethernet First Mile) del IEEE EPON, también llamado GEAPON (Gigabit Ethernet PON). Esta tecnología está ampliamente desplegada en Japón y proporciona tasas de datos simétricas de 1Gbps en ambas direcciones.

Una de las ventajas más importantes de EPON es el uso de protocolos de transporte Ethernet nativos. Ethernet asíncrono de bajo costo ha sido desplegado en las redes de datos extendidas por años y, hay economías de escala significativas asociadas con componente gigabit Ethernet tales como interfaces ópticas. La naturaleza asíncrona de Ethernet permite que los equipos de red basados en Ethernet sean mucho más baratos en comparación con los equipos basados en ATM o SONET, cuya característica principal es el sincronismo.

EPON está basado en la norma IEEE 802.3ah. También denominado EFM. Algunas características de importancia son [14]:

- Combina los protocolos de transporte Ethernet con topologías de redes PON punto a multipunto.
- Incluye mecanismos para la operación, administración y mantenimiento de redes.
- Soporta operación CoS (Class of Service) para transportes de datos sensibles al tiempo tales como video donde las tramas del video deben entregarse en secuencia y a tiempo para prevenir fallas visibles.
- Soporta TDM usando servicios de emulación de circuitos.

Existen dos tipos de topologías aplicables para la norma Ethernet en la primera milla, las cuales son: Topología Punto a Punto y Topología Punto Multipunto

Topología Punto a Punto

La topología punto a punto, mostrada en la figura 4.14, entrega velocidades de hasta 1Gbps, se caracteriza por un menor costo, mayor rendimiento y gran acceso para una familia en un hogar común y corriente. La fibra óptica es el medio de transmisión del futuro por los beneficios que ofrece para la entrega de datos, voz y video, también es usada para aplicaciones como el acceso con gran velocidad al Internet, video streaming y telefonía IP.

Esta topología alcanza una distancia de hasta 100Km y funciona con similares condiciones de potencia. Por los beneficios antes descritos, los proveedores de servicios escogen la fibra óptica como medio de transporte para sus instalaciones.

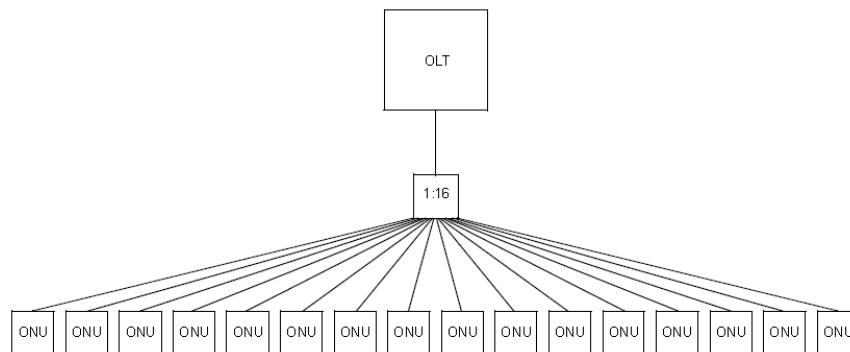


Figura 4.14 Ejemplo de una topología punto a punto de EPON [15]

Usando Ethernet en una red óptica sobre topologías punto a punto, se podrían brindar ventajas de gran capacidad con bajos costos de transceivers 1000BASE-X.

La fibra óptica que llega al usuario, permite proveer a los hogares o negocios un enlace con una velocidad de hasta 1Gbps (ésta dependerá de los equipos utilizados). Además, los proveedores de servicio habilitan nuevas alternativas para utilizar funciones de capa 3, las cuales se conoce que tiene una velocidad limitada (los proveedores de servicio pueden ofrecer nuevas alternativas usando funciones adicionales conocidas de capa 3). Con la característica de velocidad limitada en combinación con los Acuerdos de Nivel de Servicio **SLAs**, por sus siglas en inglés (Service Level Agreements), un enlace físico de 1000Mbps podría ser usada para proveer servicios de 10, 100, ó 200Mbps. Como consecuencia las redes con topología punto a punto pueden ofrecer una gran flexibilidad y escalabilidad, por ejemplo, cuando existen casos en que se necesita entregar servicios a una velocidad no muy alta como un simple acceso a Internet, o cuando se necesita entregar aplicaciones como voz o video, Ethernet sobre fibra óptica con topología punto a punto es una excelente solución.

Gigabit Ethernet sobre fibra óptica con topología punto a punto provee suficiente ancho de banda y asegura una larga vida a la infraestructura de la red. Por tanto EFM con fibra óptica representa bajos costos en servicios y al mismo tiempo entrega un excelente ancho de banda para garantizar múltiples servicios.

Topología Punto Multipunto (P2MP)

Esta topología soporta velocidades de hasta 1Gbps con un alcance de hasta 20 km, se muestra en la figura 4.15.

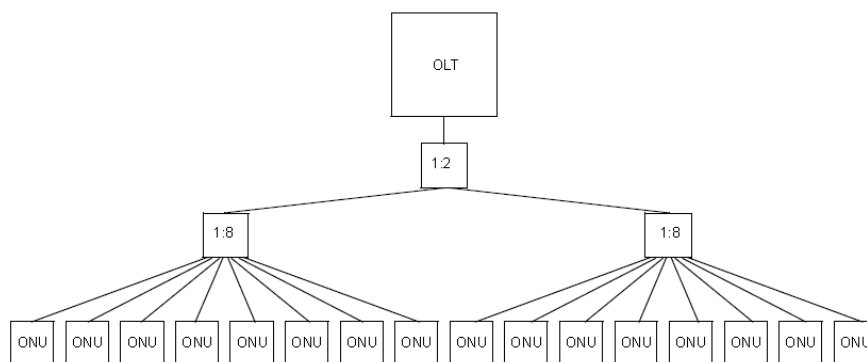


Figura 4.15 Ejemplo de una topología Punto a Multipunto de EPON [15]

Las arquitecturas EPON se están presentando como una nueva alternativa para solucionar la problemática de la última milla, puesto que presenta varias ventajas. Las redes EPON permiten brindar servicios a usuarios localizados a distancias de hasta 20Km, ubicados desde la central u OLT hasta la ONU, las cuales están ubicadas en el usuario.

Esta distancia supera con creces la máxima cobertura de las tecnologías DSL (máximo 5Km desde la central). Las redes EPON minimizan el despliegue de fibra en la última milla al poder utilizar topologías punto multipunto mucho más eficientes que las topologías punto a punto. Además, este tipo de arquitecturas simplifica el equipamiento central, de esta manera se reduce los costos.

Principios de operación

La norma IEEE 802.3 define dos configuraciones básicas para una red Ethernet. En la primera configuración sobre un medio compartido se emplea técnicas de acceso múltiple con detección de portadora con el protocolo de detección de colisión (CSMA/CD). En la otra configuración, las estaciones pueden conectarse a través de un switch sobre un medio compartido usando enlaces punto a punto full dúplex.

Dirección downstream

En dirección downstream, las tramas Ethernet transmitidas por la OLT pasan a través de un divisor pasivo 1:N y llegan a cada ONU. El valor de N está típicamente entre 16 y 64. Este comportamiento es similar a una red de medio compartido. Debido a la difusión de Ethernet, en dirección downstream (desde la red al usuario), se satisface perfectamente con la arquitectura Ethernet PON: los paquetes son difundidos por la OLT y recogidos por sus destinos ONU basándose en la dirección de control de acceso al medio. Ver figura 4.16.

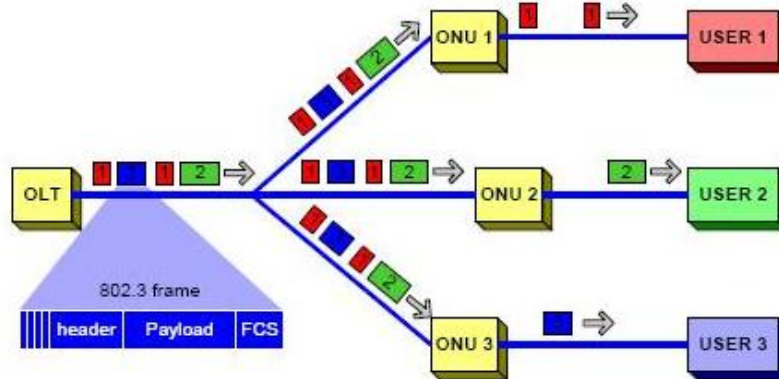


Figura 4.16 Dirección downstream de EPON [16]

Dirección upstream

En la dirección upstream, debido a las propiedades direccionales de un combinador óptico pasivo, las tramas de datos desde cualquier ONU solo alcanzarán a la OLT, y no a otras ONUs. En este sentido, en la dirección upstream, el comportamiento de la EPON es similar a una arquitectura punto a punto. Ver figura 4.17.

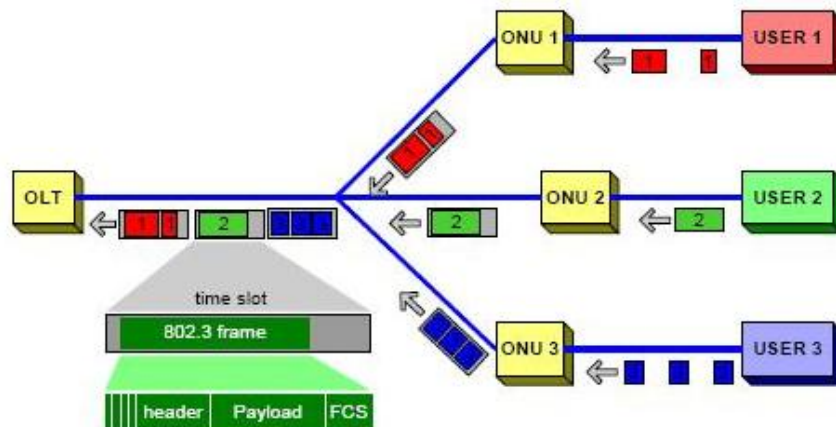


Figura 4.17 Dirección upstream de EPON [16]

Sin embargo, a diferencia de un verdadero enlace de red punto a punto, en las tramas de datos EPON de diferentes ONUs transmitidas simultáneamente todavía se puede presentar colisión. Así, en la dirección upstream (desde el usuario a la red) las ONUs necesitan emplear algunos mecanismos arbitrarios para evitar colisiones de datos y compartir medianamente la capacidad del canal de fibra. Un mecanismo de acceso basado en contención (similar a CSMA/CD) es difícil de implementar porque las ONUs no pueden detectar una colisión de la OLT (debido a las propiedades direccionales de los divisores/combinadores). Una OLT podría detectar una colisión e informar a las ONUs; sin embargo, los retardos de propagación en la PON, que pueden exceder los 20 Km de longitud, pueden reducir enormemente la eficiencia de tal esquema.

No hay garantía de que un nodo consiga acceso al medio de comunicación en cualquier intervalo de tiempo pequeño. Esto no es un problema para las redes de las empresas basadas en CSMA/CD donde los enlaces son cortos, y el tráfico predominante son los datos. Las redes de acceso de suscriptores, sin embargo, además de datos, deben soportar servicios de voz y video, y de esa manera proveer algunas garantías en la entrega oportuna de dichos tipos de tráfico.

Posicionamiento de la EPON dentro de la Arquitectura IEEE 802.3

En la figura 4.18 se presenta la relación entre los elementos EFM y el modelo de referencia OSI para tecnologías punto a multipunto.

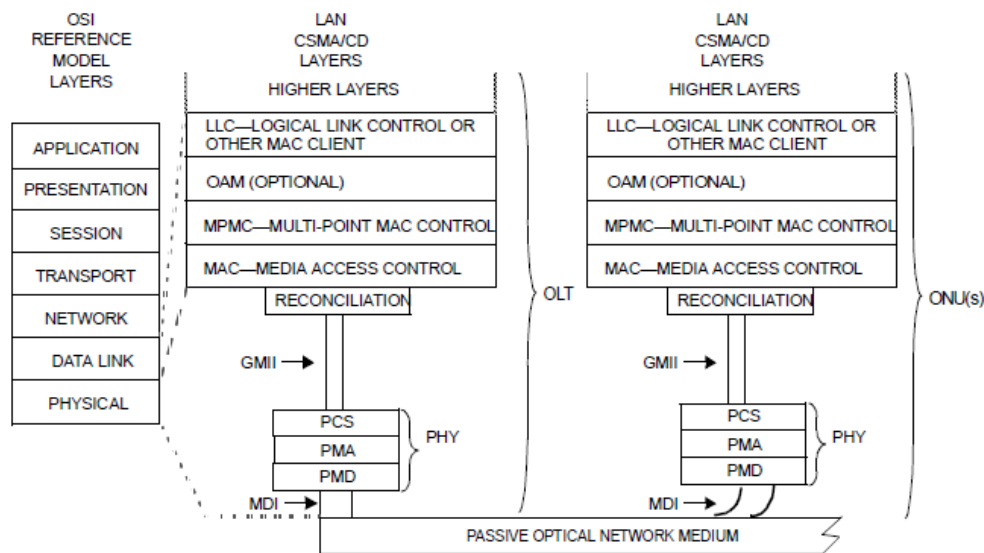


Figura 4.18 EFM para tecnologías punto a multipunto [17]

Estas capas físicas incluyen fibra óptica y subcapas dependientes del medio (PMD, Physical Medium Dependent) para cable de cobre con aplicaciones de voz, para conexiones punto a punto (P2P) en redes de acceso de suscriptores. EFM también introduce el concepto de EPONs, en el cual se implementa, como se había mencionado antes, una topología de red punto a multipunto (P2MP) con divisores ópticos pasivos, junto a las extensiones de las subcapas MAC Control Sublayer y Reconciliation Sublayer así como la Subcapa dependiente del medio físico (PMD), tipo 1000BASE-PX10 y 1000BASE-PX20 de fibra óptica para soportar esta tecnología. Además, en la norma se incluye un mecanismo para el Mantenimiento, Administración y Operación OAM, por sus siglas en inglés (Operation, Administration and Maintenance), para facilitar la operación y la solución de problemas de la red.

Sistemas de señalización de capa física

Para las topologías P2MP, EFM introduce una familia de sistemas de señalización de capa física las cuales se derivan de 1000BASE-X, pero que incluyen extensiones al PCS y PMA, junto con una capacidad FEC.

La familia de sistemas de señalización de capa física de P2MP incluye una combinación de 1000BASE-PX10-D (downstream PON de 10 km), más 1000BASE-PX10-U (flujo de subida PON de 10 km), y la combinación de 1000BASE-PX20-D (flujo de bajada PON de 20 km) más 1000BASE-PX20-U (flujo de subida PON de 20 km). EFM introduce diferentes sistemas de señalización de capa física ya sean especificaciones de larga distancia, utilizando cableado de cobre, etc. En la tabla 4.3, se puede ver de manera general las operaciones de cada elemento de capa física que se presentan en la norma.

Nombre	Localización	Velocidad (Mbps)	Alcance nominal (Km)	Medio
100BASE-LX10	ONU/OLT	100	10	Dos fibras monomodo
100BASE-BX10-D	OLT	100	10	Una fibra monomodo
100BASE-BX-10-U	ONU			
1000BASE-LX10	ONU/OLT	1000	10	Dos fibras monomodo
			0.55	Dos fibras monomodo
1000BASE-BX10-D	OLT	1000	10	Una fibra monomodo
1000BASE-BX-10-U	ONU			
1000BASE-BX10-D	OLT	1000	10	Una fibra monomodo PON
1000BASE-BX-10-U	ONU			
1000BASE-BX10-D	OLT	1000	20	Una fibra monomodo PON
1000BASE-BX-10-U	ONU			
10PASS-TS-O	CO	10	0.75	Uno o más pares de cobre para aplicaciones de voz
10PASS-TS-R	Subscriber			
2BASE-TL-O	CO	2	2.7	Uno o más pares de cobre para aplicaciones de voz
2BASE-TL-R	Subscriber			

Tabla 4.3 Capa física de la norma IEEE 802.3ah [17]

4.2.5 Redes Ópticas Pasivas XG (XG-PON)

Las Redes Ópticas Pasivas XG-PON, por sus siglas en inglés (Next Generation Passive Optical Network), son consideradas como redes de la siguiente generación. Han quedado establecidas en las recomendaciones UIT-T G.987.x (x=1, 2, 3).

Aunque sus velocidades son de 10Gbps, bien se puede equiparar a su similar con la norma 10GPON, ya que cuenta con velocidades similares establecidas en la norma IEEE 802.3av, siendo a su vez esta norma la sucesora de IEEE 802.3ah EPON (también conocida como GPON). Actualmente tanto XG-PON e IEEE 802.3av son catalogadas como redes NG-PON1. Las redes NG-PON2 se atribuyen a la norma que está siendo actualmente desarrollada por parte de la UIT-T, en redes WDM-PON, aún sin tener información concreta al respecto, pero se estipulan 40Gbps simétricos [18].

De esta manera, a la norma XG-PON se utilizar en dos configuraciones, las cuales son: XG-PON1 y XG-PON2 [19].

- XG-PON1: 10Gbps de bajada y 2.5Gbps de subida
- XG-PON2: 10Gbps de bajada y 10Gbps de subida

Al igual que su similar GPON, XG-PON cuenta con ciertos escenarios. En la figura 4.19 se muestra el escenario de un sistema genérico XG-PON. Este sistema se desarrolla de modo particular en las siguientes seis figuras. Cabe destacar que estas configuraciones no son requisitos de configuración.

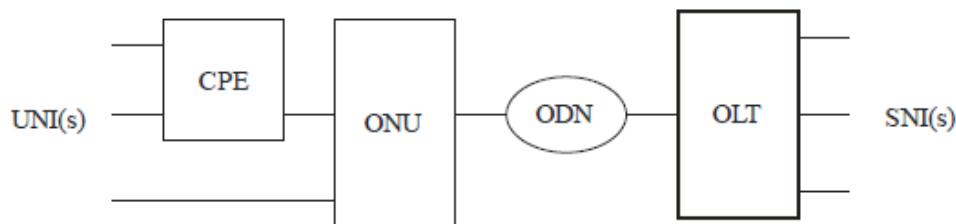


Figura 4.19 Escenario de un sistema genérico para XG-PON [20]

Variantes OLT

La figura 4.20 muestra el escenario OLT puro. En este caso, el OLT sólo contiene la función de XG-PON y por lo general (aunque no necesariamente), un cierto nivel de agregación de Ethernet. Es la forma más sencilla de configurar un OLT, y evita los vínculos de servicios específicos tanto como sea posible.

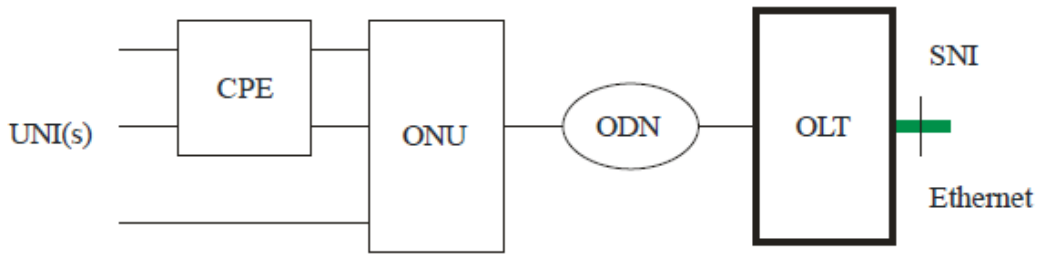


Figura 4.20 Escenario OLT Puro para XG-PON [20]

La figura 4.21 muestra el escenario “grooming OLT”. En este caso, la OLT asume las funciones adicionales “service grooming”, que típicamente incluyen gateway de voz y funciones de emulación de circuitos TDM. Estos servicios se pueden realizar utilizando un escenario de OLT puro y un gateway de voz independiente.

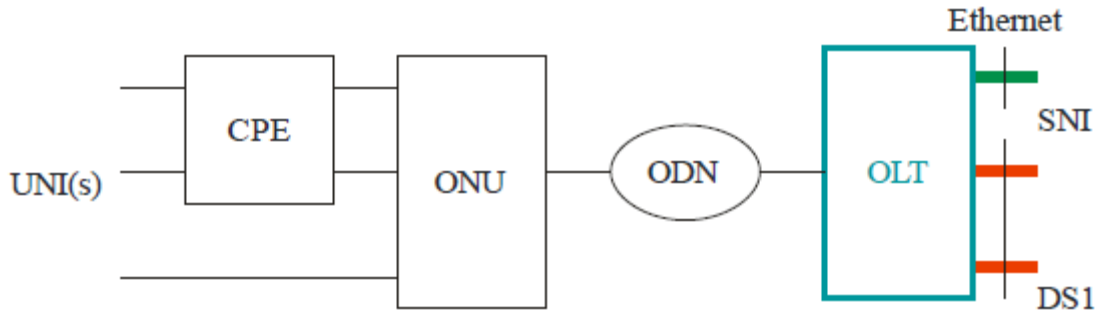


Figura 4.21 Escenario Grooming OLT para XG-PON [20]

Variantes ONU

La figura 4.22 muestra el escenario ONU VDSL/POTS. La característica distintiva de esta variación es que la ONU se utiliza para crear interfaces de base de cobre como un multiplexor de línea de acceso digital de abonado lo haría (DLC/DSLAM). Hay dos subtipos de este esquema. El primero es que la ONU proporciona las interfaces POTS y VDSL a los clientes, tratando de centralizar las funciones y reducir la necesidad de CPE. El segundo es que la ONU ofrece interfaces sólo de VDSL, tratando de minimizar el tamaño y potencia de la ONU. Esta alternativa es útil sobre todo en aplicaciones FTTB y FTTC.

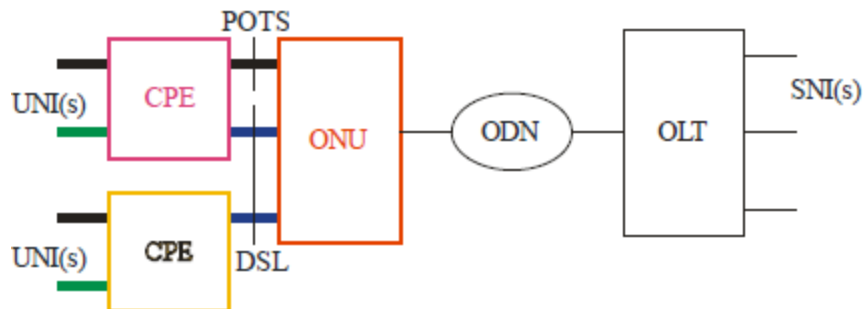


Figura 4. 22 Escenario VDSL/POTS ONU para XG-PON [20]

La figura 4.23 muestra el escenario Modem XG-PON, donde se configura la ONU tan pequeña y simple como sea posible. En este caso, se asemeja a un módem que proporciona la capa 1 y 2 interfuncionamiento entre la interfaz óptica XG-PON y la capa de enlace de datos. El enlace de datos se lleva todos los servicios de los flujos de la CPE, lo que hace la mayor parte de la función de servicio de interconexión. Las tecnologías de datos populares enlace en uso hoy en día están basados en Cat5 Ethernet, cable HomePNA¹¹, y Multimedia over Coax Alliance¹². Este sistema se utiliza principalmente en aplicaciones FTTH.

¹¹ UIT-T G.9954

¹² <http://www.mocalliance.org>

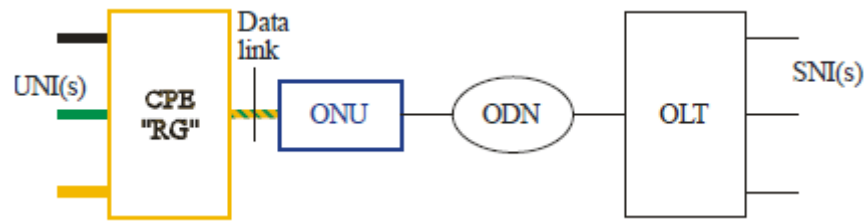


Figura 4.23 Escenario Modem XG-PON para XG-PON [20]

En la figura 4.24 se muestra el escenario ONU Integrado. Esto se puede ver como la fusión de Modem XG-PON y los servicios derivados de XG-PON con el CPE. Sin embargo, esta fusión de funciones tiene implicaciones críticas en qué sistema es el responsable de la gestión de los servicios. También hay que señalar que a pesar de que las funciones importantes se han incorporado a la ONU, un CPE es típicamente colocado aún, en el hogar. Este escenario también es popular para FTTH.

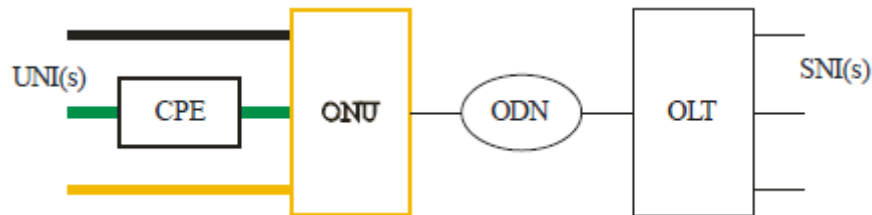


Figura 4.24 Escenario ONU Integrado para XG-PON [20]

La figura 4.25 muestra el escenario Gateway Residencial ONU. Esto se puede ver como la fusión de la ONU y la derivación de servicios integrados del CPE. La ONU incluye elementos tales como enrutamiento, NAT y firewall. Este escenario también es popular para FTTH.

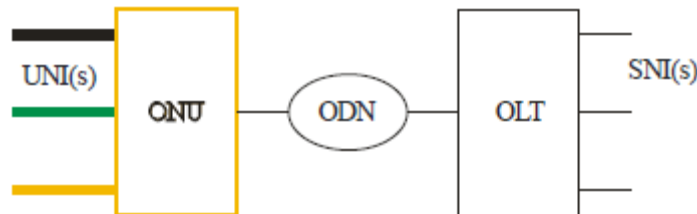


Figura 4.25 Gateway Residencial ONU para XG-PON [20]

4.2.6 Redes Ópticas Pasivas con capacidad WDM (WDM-PON)

Es obvio que las tecnologías de la información están en continua evolución, cambiando rápidamente la forma de comunicarnos, hacer negocios o divertirnos, y una de las contribuciones más notables a este cambio se debe al aumento de velocidad en los accesos a la red. La aparición del xDSL supuso un avance importante, progresando de la escala del kilobit al megabit para los accesos residenciales y de empresas. Sin duda, el ADSL ha sido el protagonista del cambio, junto a las nuevas generaciones ADSL2+ y VDSL2 que nos acercan a los 100 megabits en los accesos sobre par de cobre [21].

El siguiente paso en la evolución es, sin duda, la fibra óptica, tanto en modalidad punto a punto como en todas sus variantes PON: APON, BPON, EPON, GPON y los más veloces en la actualidad 10GPON y XG-PON. Hoy en día son muchos los operadores y servicios disponibles, tanto en modo dedicado como GPON, ofreciendo velocidades en la escala del gigabit, pero, ¿cuál es el siguiente paso en la evolución? La respuesta es WDM-PON.

La tecnología GPON tiene el inconveniente de la multiplexación de los datos de distintos usuarios, lo que reduce la capacidad real de la fibra, puesto que los usuarios han de compartir el ancho de banda. Este inconveniente es ajeno en un escenario de fibra punto a punto, pero, evidentemente, las inversiones de los operadores distan mucho de un escenario de implantación masiva de esta tecnología.

La solución desarrollada es totalmente innovadora y revolucionaria, sin embargo aún no está lista y no se tienen datos contundentes de alguna norma o recomendación por parte de la UIT. Si bien la tecnología subyacente se basa en la multiplexación por longitud de onda, en este caso tiene la particularidad “colour-less optics”, donde los dispositivos laser de los equipos conectados a la fibra en cada cliente sintonizan cada uno de ellos a su correspondiente longitud de onda con el mismo hardware en todos ellos (al contrario de la tecnología WDM y DWDM actual donde se requieren distintos laser para cada longitud de onda). Además, la aplicación de tecnologías WDM a las arquitecturas PON dibuja un nuevo escenario que multiplica las velocidades de los accesos para usuarios residenciales y de empresas de un modo nunca antes visto, tales como son los 40Gbps simétricos.

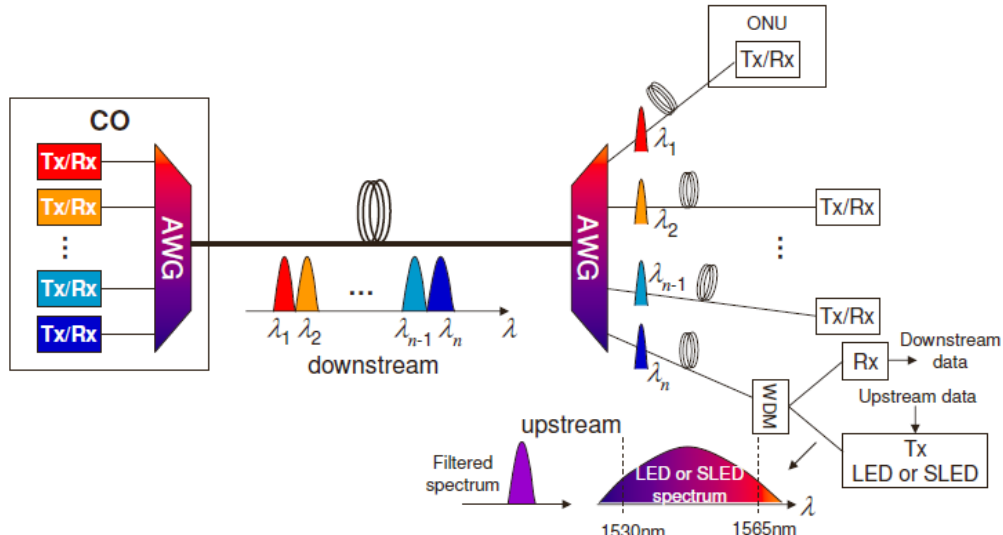


Figura 4.26 Arquitectura WDM-PON [22]

En la figura 4.26 podemos ver una posible configuración de WDM-PON, prácticamente se contara en la red de acceso con la tecnología WDM, la cual incrementa notablemente las tasas de transferencia y eliminará por completo el cuello de botella. También podemos apreciar en la figura 4.26 uso de rejillas AWG, por sus siglas en inglés (Array Wavelength Gate), como una variante a los splitters ocupados en variantes pasadas de las redes ópticas pasivas.

4.3 Redes de Fibra Óptica Hasta el “X” (FTTx)

Las Redes de Fibra Óptica Hasta el “X”, por sus siglas en inglés (Fiber To The “X”), son muy reconocidas como una solución óptima para proporcionar un ancho de banda tanto en instalaciones nuevas como en las ya existentes. Los retos tecnológicos y económicos básicos de FTTx se han resuelto en base a la inmensa capacidad de la fibra, ya que esta es la base del sistema de telecomunicaciones mundial. [25]

Las alternativas inalámbricas tales como Wi-Fi y Wi-Max no pueden proporcionar HDTV entre otras y de hecho tienen problemas para proporcionar la definición estándar de televisión. Las variaciones de DSL, y hasta los últimos enlaces de cable y satélite, pueden proporcionar HDTV solo con dificultad, poca confiabilidad y altos costos de operación.

La trayectoria de telecomunicaciones de fibra óptica la cual se extiende desde el equipo de conmutación del operador hasta por lo menos los límites de la propiedad privada de donde se encuentran las casas o negocios. En esta arquitectura -que combina su uso con xPON-, la fibra óptica terminará justo antes de llegar a la casa o el espacio de las oficinas de negocio. De esta manera, la trayectoria de acceso continuará por otro medio de acceso, tal como cable de cobre o conexión inalámbrica hasta el suscriptor. Ver figura 4.27

Una red de acceso FTTx se compone de tres elementos básicos –tal y como se vio en redes PON-, el nodo de acceso, también denominado terminal de línea óptico OLT, una red de distribución de fibra ODN y varias unidades ópticas de red ONU. En virtud a la cercanía de la ONU al domicilio del abonado las redes FTTx poseen diferentes nombres y características tal cómo se muestra en la figura 4.27 (aunque existen más variantes, sólo se muestran las tres más usadas a nivel internacional). Es así como la implementación de alguna arquitectura FTTx, será acompañada con la aplicación de alguna variante PON para complementar así su funcionamiento.

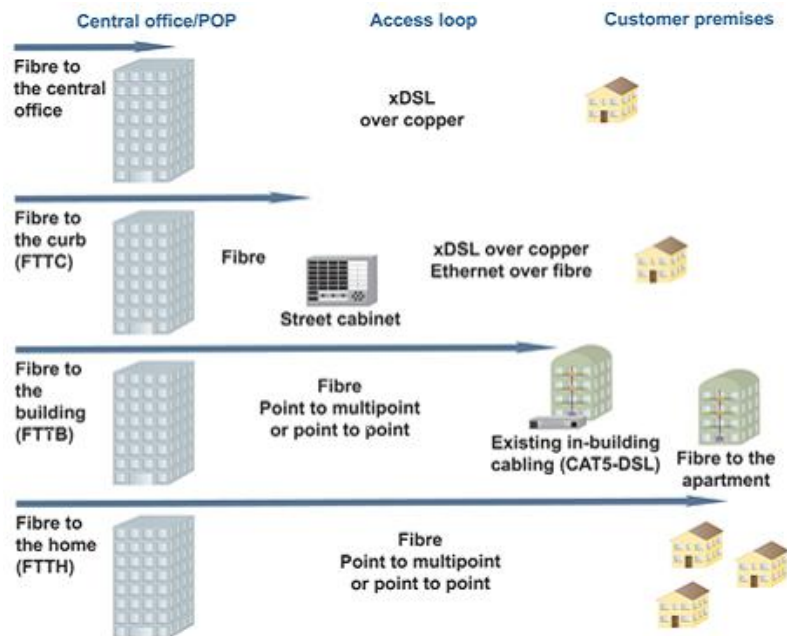


Figura 4.27 Diferentes configuraciones de FTTx [26]

Cabe mencionar que puede existir cierta similitud de la tecnología FTTx con la tecnología HFC, sin embargo, la segunda es principalmente utilizada por empresas cableadoras para implementar sistemas de televisión, telefonía e Internet.

4.3.1 Fibra Hasta La Acera (FTTC)

Se trata de compartir la ONU y el tendido final de fibra por parte de varios abonados ubicados en una manzana o área residencial de pequeña extensión. La parte de cobre restante por abonado <500m. El número de usuarios que comparten la ONU oscila entre 16-32. Ver figura 4.28.



Figura 4.28 Fibra Hasta La Acera (FTTC) [26]

4.3.2 Fibra Hasta El Edificio (FTTB)

Se trata de llegar con la fibra hasta el interior de un edificio residencial o de negocios. Existe una única ONU para todo el edificio, de forma que la parte de cobre restante (coaxial) es <500m. El número de usuarios que comparten la ONU oscila entre 8-16. Ver figura 4.29

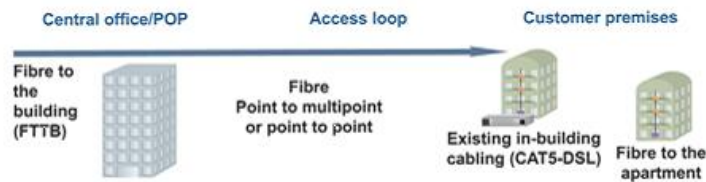


Figura 4.29 Fibra Hasta El Edificio (FTTB) [26]

Con millones y millones de euros invertidos en FTTH/B, las estrategias de instalación y penetración deben estar diseñadas para salvar tiempo y dinero a los operadores durante la construcción y más tarde, durante las altas y la operación.

4.3.3 Fibra Hasta El Hogar (FTTH)

Las redes FTTH son el paradigma de la red de acceso completamente óptica, donde la ONU se sitúa en el domicilio del abonado existiendo una distinta para cada uno de ellos. FTTH (ver figura 4.30) provee un acceso libre de cables metálicos y, en principio, es de suponer que el más atractivo en cuanto a la capacidad que puede ofrecerse a cada usuario. Al mismo tiempo, supone el acceso de mayor costo para el operador, ya que gran parte de los elementos de la red de acceso que han de instalarse son nuevos. Por dichos motivos la implementación de redes de acceso son basadas en FTTH ha sido considerada por los operadores como el paso final hacia una red capaz de promover múltiples servicios y algo viable a largo plazo.

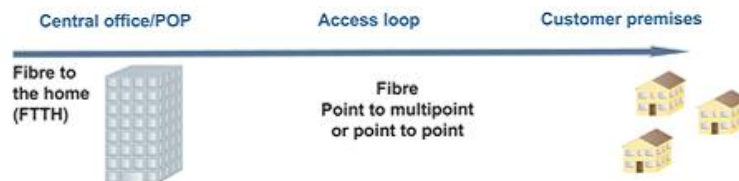


Figura 4.30 Fibra Hasta el Hogar (FTTH) [26]

Los servicios de FTTx ofrecen, generalmente, varios planes con diferentes velocidades, que varían en precio respectivamente. En la escala más baja, un plan de servicio podría ofrecer velocidades de 10Mbps, mientras que el servicio de DSL típico corriendo en las líneas de cobre existentes es de 1.5Mbps. Un plan de FTTx a un mayor costo podría ofrecer velocidades de transferencia por encima de los 100Mbps, lo cual es 66 veces más rápido que el servicio típico de DSL. Esta tecnología es necesaria para los futuros avances a medida que crece el uso de la red. La tecnología FTTx se instala cada vez más en la construcción de nuevas comunidades como un valor agregado a la venta. Así mismo la instalación de la tecnología FTTx incrementa el valor de las propiedades existentes.

Las demandas en el ancho de banda se incrementan constantemente. Muy pronto la banda ancha requerida en pares trenzados de cobre será únicamente aplicable en distancias cortas y para aplicaciones nuevas y mejoradas. La solución a éste problema es la utilización de fibras ópticas, ya que tienen la habilidad de transmitir anchos de banda muy amplios y a grandes distancias. La inversión para distribuir fibra óptica en apartamentos independientes, puede ser reducida al utilizar la infraestructura ya instalada en edificios con varios apartamentos.

4.4 ¿Qué es la banda ancha?

El debate de las TIC para el desarrollo está viviendo un cambio evidente: ya no se centra en el milagro móvil/celular, sino en la necesidad de contar con acceso a Internet en banda ancha. Las instancias políticas más ambiciosas están intentando crear el marco reglamentario adecuado y procurando que inversores, operadores y fabricantes de equipos aprendan del éxito de la tecnología móvil y lo dupliquen. Al mismo tiempo, cada vez hay más polémica sobre lo que significa la banda ancha y cuáles son sus repercusiones. La investigación ha de ir más allá del simple análisis de los abonos a la banda ancha (que se definen como una conexión a Internet que da al usuario una velocidad descendente mínima de 256kbits) y examinar otros factores, como la velocidad y la calidad de servicio. La red dorsal subyacente y la infraestructura de acceso merecen una atención especial, pues son el factor clave para determinar la calidad del servicio en banda ancha que percibirá el usuario.

Hay diferencias sustanciales entre las tecnologías fijas y móviles de banda ancha, con importantes variaciones de la velocidad que pueden ofrecer. Los datos de que dispone la UIT sobre abonos a la banda ancha fija, desglosados por velocidad, muestran que en países como Portugal, Reino Unido y Bulgaria hay muy pocos abonos a velocidades inferiores a 2Mbps (y ninguno en la República de Corea) mientras que en Azerbaiyán, Omán, Ghana, Mongolia y Venezuela tal velocidad representa más del 90% de todas las conexiones fijas a la banda ancha. Ver figura 4.31.

La velocidad mínima de la banda ancha (256kbits) puede ser suficiente para el correo electrónico y otros servicios muy básicos, pero no para las aplicaciones y servicios con muchos datos. Además, la velocidad real que experimentan los clientes a la banda ancha fija y móvil suele ser muy inferior a la velocidad teórica y anunciada. Para entender plenamente la repercusión que puede tener el acceso a Internet en banda ancha, y poder realizar una comparación entre países, resulta importante hacer un seguimiento y medir las velocidades reales. Por último, hay aplicaciones que pueden tener requisitos que atañen a otros parámetros de calidad de servicio (QoS). La calidad de una conexión de voz por IP, por ejemplo, dependerá no sólo de la capacidad de la conexión en banda ancha, sino incluso más de la calidad de la conexión en términos de latencia, pérdida de paquetes y fluctuación de fase.

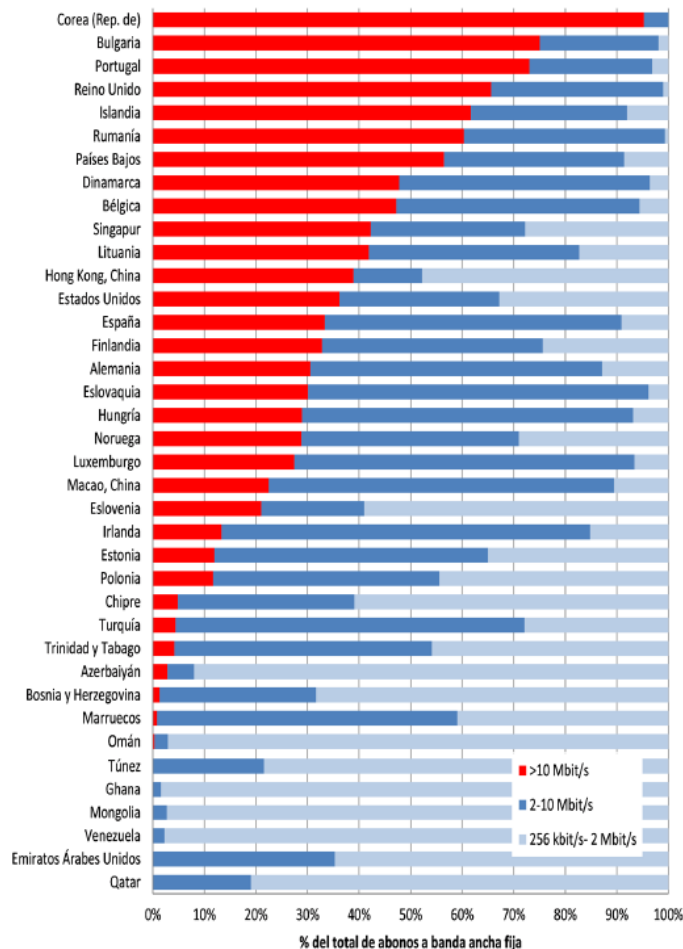


Figura 4.31 Abonos con banda ancha fija (alámbricas), por velocidad, países seleccionados, 2010 [27]

Hay entre los servicios fijos y móviles en banda ancha diferencias cualitativas importantes para efectuar una comparación del número y tipo de abonos a la banda ancha. La capacidad y velocidad reales de un abono a la banda ancha móvil no suele equivaler a la de un abono fijo de alta velocidad; y los abonos a banda ancha móvil casi siempre incluyen límites de datos, contrariamente a las habituales ofertas de banda ancha fija "ilimitada". Por consiguiente, una comparación entre el número total de abonos fijos y móviles ha de hacerse con precaución. Se trata de un ejercicio especialmente difícil cuando las tecnologías de banda ancha móvil son la única tecnología de acceso a la banda ancha de que disponen los usuarios, como ocurre en la mayoría de países en desarrollo, sobre todo en las zonas rurales y distantes.

Contrariamente a lo que ocurre en casi todos los países desarrollados, en los países en desarrollo las tecnologías de banda ancha móvil no son un complemento de las conexiones en banda ancha fija, sino más bien un sustituto. Por ende, la banda ancha móvil puede ayudar a reducir la brecha digital, pero no a cerrarla. Es necesario implantar tecnologías de banda ancha fija, en particular redes de fibra óptica, para dar servicios a los usuarios que necesitan gran cantidad de datos (empresas, organizaciones) y a las zonas geográficas donde se concentran los usuarios de Internet.

La tecnología de banda ancha fija dominante en todo el mundo sigue siendo xDSL (que representa el 65% del total mundial), pero también son importantes los módems de cable y la fibra óptica. Para ajustarse a las necesidades presentes y futuras de los usuarios, en términos de alta velocidad y conexiones en banda ancha de alta capacidad, la evolución de las redes de banda ancha fija pasa por extender las redes de cable desde la red dorsal y acercarlas al usuario extremo. Otra posibilidad es modernizar las redes de cable, permitiendo así conexiones a muy alta velocidad, equivalentes a las que se consiguen con conexiones de fibra comerciales. Este punto es importante en países donde el cable representa una gran proporción del total de abonos a la banda ancha fija, como Estados Unidos, Canadá, Chile, Panamá y Colombia [27] [31].

4.5 Estudio Comparativo de las Tecnologías de Última Milla

Tecnología	Norma	Particularidades	Desventajas	Ventajas
HFC	DOCSIS 1.0 DOCSIS 1.1 DOCSIS 2.0 DOCSIS 3.0	<ul style="list-style-type: none"> • Norma CableLabs • CATV • 64QAM • 256QAM • 16QAM • QPSK • Versiones DOCSIS 1.0, 1.1, 2.0 y 3.0. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso ampliamente a nivel comercial por las compañías cableras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Equiparable con la tecnología de fibra hasta el hogar FTTH. • DS = 160Mbps • US = 120Mbps
APON	UIT-T G.983.1 UIT-T G.983.2 UIT-T G.983.3 UIT-T G.983.4	<ul style="list-style-type: none"> • Norma UIT • OLT (Optical Line Terminal) • ODN, splitters (Optical Distribution Network) • ONU (Optical Network Unit) • ONT (Optical Network Terminal) • Tráfico asimétrico y simétrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajas velocidades con respecto a sus similares. • Poco difundido a nivel internacional • Aparecen las nuevas redes ópticas pasivas NG o XG-PON que superan la velocidad de transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza infraestructura de las redes ópticas pasivas. • Recomendación establecida por la UIT. • DS = 155, 622 y 1244Mbps • US = 155 y 622Mbps
BPON	UIT-T G.983.1 UIT-T G.983.2 UIT-T G.983.3 UIT-T G.983.4	<ul style="list-style-type: none"> • Norma UIT • OLT (Optical Line Terminal) • ODN, splitters (Optical Distribution Network) • ONU (Optical Network Unit) • ONT (Optical Network Terminal) • Tráfico asimétrico y simétrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajas velocidades con respecto a sus similares • Difundida a menor escala que GPON o EPON. • Aparecen las nuevas redes ópticas pasivas NG o XG-PON que superan la velocidad de transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza infraestructura de las redes ópticas pasivas. • Recomendación establecida por la UIT. • DS = 155, 622 y 1244Mbps • US = 155 y 622Mbps
GPON	UIT-T G.984.1 UIT-T G.984.2 UIT-T G.984.3 UIT-T G.984.4 UIT-T G.984.5 UIT-T G.984.6 UIT-T G.984.7	<ul style="list-style-type: none"> • Norma UIT • OLT (Optical Line Terminal) • ODN, splitters (Optical Distribution Network) • ONU (Optical Network Unit) • ONT (Optical Network Terminal) Escenario OLT Puro • Escenario Grooming OLT • Escenario ONU VDSL/POTS • Escenario Modem GPON • Escenario ONT Integrado • Escenario Gateway Residencial ONT • Método de encapsulación GEM • Tráfico asimétrico y simétrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Aparecen las nuevas redes ópticas pasivas NG o XG-PON que superan la velocidad de transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza infraestructura de las redes ópticas pasivas. • Recomendación establecida por la UIT. • Altas velocidades de transmisión. • Globalmente es bien recibida la tecnología. • El uso de la tecnología va en crecimiento a lo largo de todo el mundo. • Alcance de largas distancia sin necesidad de amplificadores. • Varias configuraciones de OLT. • Varias configuraciones del ONT. • DS = 2.4Gbps • US = 1.2 y 2.4Gbps
EPON	IEEE 802.3ah	<ul style="list-style-type: none"> • Norma IEEE • Método de encapsulación Tramas Ethernet • Topología P2P (Point to Point) • Topología P2MP (Point to Multipoint) • OLT (Optical Line Terminal) • ODN, splitters (Optical Distribution Network) • ONU (Optical Network 	<ul style="list-style-type: none"> • Su uso no compite contra las características de GPON • Aparecen las nuevas redes ópticas pasivas NG o XG-PON que superan la velocidad de transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza infraestructura de las redes ópticas pasivas. • Norma establecida por la IEEE. • Altas velocidades de transmisión. • DS = 1Gbps • US = 1Gbps

		Unit) • ONT (Optical Network Terminal)		
10G-PON	IEEE 802.3av	<ul style="list-style-type: none"> • Norma IEEE • Método de encapsulación Tramas Ethernet • OLT (Optical Line Terminal) • ODN, splitters (Optical Distribution Network) • ONU (Optical Network Unit) • ONT (Optical Network Terminal) 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología que lleva poco de ser aceptada. • Poco uso a lo largo de todo el mundo. • Pronta aparición de WDM-PON. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza infraestructura de las redes ópticas pasivas. • Norma establecida por la IEEE. • Altas velocidades de transmisión. • Alcance de largas distancia sin necesidad de amplificadores. • DS = 10Gbps • US = 10Gbps
XG-PON	UIT-T G.987.1 UIT-T G.987.2 UIT-T G.987.3	<ul style="list-style-type: none"> • Norma UIT • Escenario OLT Puro • Escenario Grooming OLT • Escenario ONU VDSL/POTS • Escenario Modem GPON • Escenario ONT Integrado • Escenario Gateway Residencial ONT • OLT (Optical Line Terminal) • ODN, splitters (Optical Distribution Network) • ONU (Optical Network Unit) • ONT (Optical Network Terminal) • Tráfico asimétrico y simétrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología aún por ser ratificada por la UIT o IEEE. • El uso de esta tecnología será relativamente lenta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza infraestructura de las redes ópticas pasivas. • Recomendación establecida por la UIT • Altas velocidades de transmisión. • Varias configuraciones de OLT. • Varias configuraciones del ONT. • DS = 10Gbps • US = 2.5 y 10Gbps
WDM-PON	En proceso	<ul style="list-style-type: none"> • WDM en redes de acceso • OLT (Optical Line Terminal) • ODN, splitters (Optical Distribution Network) • ONU (Optical Network Unit) • ONT (Optical Network Terminal) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aún no está lista la tecnología para su uso. • La implementación será relativamente lenta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza infraestructura de las redes ópticas pasivas. • Se cuenta con la tecnología de WDM en la sección de última milla. • DS = 40Gbps • US = 40Gbps

Capítulo 5

Propuesta para la RedUNAM Metropolitana de Fibra Óptica (RUM)

Tomando en cuenta que la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) ha desempeñado un papel protagónico en la historia y en la formación de nuestro país que las tareas sustantivas de esta institución pública, autónoma y laica son la docencia, la investigación y la difusión de la cultura, y que en el mundo académico es reconocida como una universidad de excelencia [1], no podría quedarse atrás ante el avance tecnológico particularmente en el crecimiento e interconexión de todas sus redes con fibra óptica (FO) propia y no sólo de terceros como es actualmente.

Como podemos ver en la figura 5.1, existen diversas dependencias pertenecientes a la UNAM distribuidas a lo largo del Distrito Federal y zona conurbada.

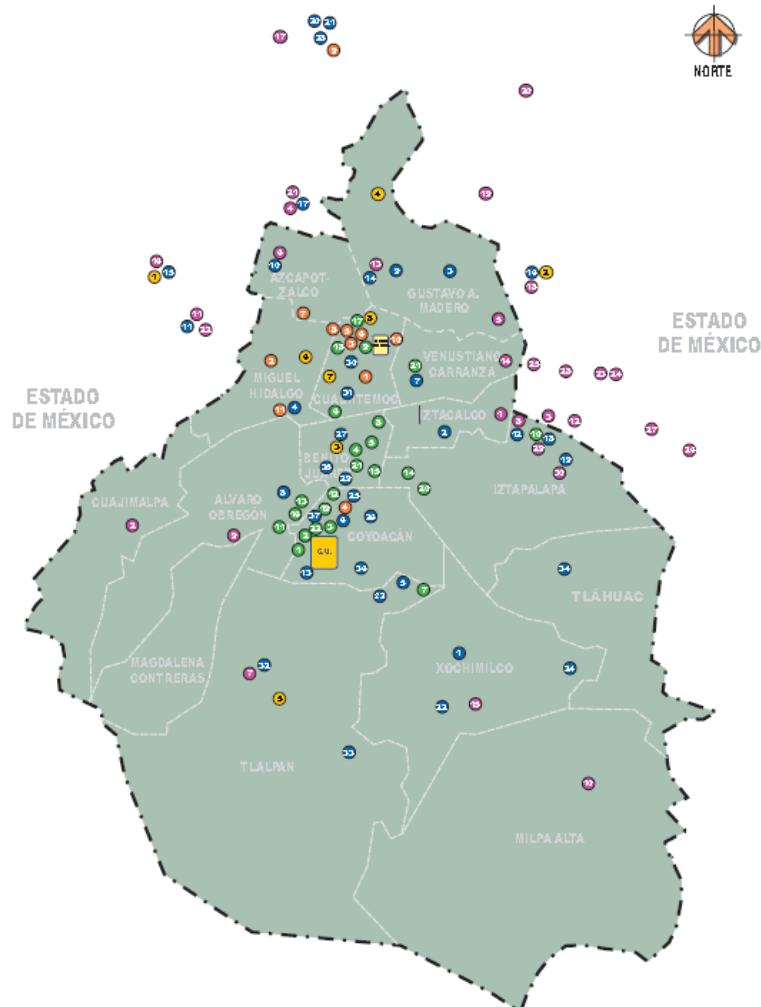


Figura 5.1 Dependencias de la UNAM distribuidas a lo largo del Distrito Federal y zona conurbada [2]

La clasificación de las dependencias de la UNAM es de la siguiente manera [1]:

- Docencia
 - ENP (Escuela Nacional Preparatoria)
 - CCH (Colegio de Ciencias y Humanidades)
 - FES (Facultad de Estudios Superiores)
 - Educación Superior
- Extensión Universitaria
- Edificios Históricos
- Apoyo
- Sistemas de Salud
 - Unidad de enseñanza
 - Clínicas Odontológicas CU
 - Clínicas Odontológicas Iztacala
 - Clínicas Odontológicas Zaragoza
- Centro Histórico
 - Facultad de Medicina
 - Facultad de Ingeniería
 - Escuela Nacional de Artes Plásticas
 - Facultad de Derecho
 - Dirección General de Artes Plásticas
 - Coordinación de Difusión Cultural
 - Escuela Nacional Preparatoria
 - Dirección General de Actividades Cinematográficas
 - Dirección General de Patrimonio Universitario
 - Dirección General de Divulgación de la Ciencia
 - Facultad de Economía
 - Investigación Humanística
 - Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (Antes Dirección General de Servicios de Cómputo Académico)

5.1 Definición de la propuesta

Como bien se mencionó en la primera página de este trabajo, el objetivo principal de esta tesis, consistió en documentar, proponer y desarrollar, principalmente, la primera fase de diseño de la expansión y evolución de la red del actual Laboratorio LANCAD. Esta evolución dará pauta a lo que será la RedUNAM Metropolitana que interconectará -con fibra óptica propia- dependencias de la UNAM tales como: CCHs, ENPs, FESs y edificios administrativos, entre otros, localizados en la zona metropolitana de la ciudad de México y parte del Estado de México.

La definición de la propuesta se basa en lo siguiente, de un total de 128 se tomaron en cuenta a 56 dependencias¹³ para realizar el estudio de posicionamiento geográfico y distanciamiento a las estaciones del STC (Sistema de Transporte Colectivo - Metro) más cercano, considerando a estas dependencias, un posible aporte a la red académica de la UNAM -ahora a nivel metropolitano (lo que podría llamarse “RedUNAM Metropolitana”)- como lo es el desarrollo científico, investigación, pruebas de software, teleconferencias, aplicaciones, entre otras. Las 72 restantes no implica que estén descartadas para su incorporación, más bien se trata de una acotación en la población.

De esta manera, para localizar la ubicación física de las 56 dependencias se utilizaron los programas satelitales de Google Earth y el Google Maps. Aunque ambos realizan la misma función (localización satelital), el primero fue utilizado para registrar distancias a línea de vista y el segundo para archivar distancias y recorridos a través de calles. Su registro y localización se agregó a un archivo en formato *.kmz*, formato utilizado por Google Earth y Maps para abrir mapas satelitales con marcadores de localización.

Es así como se han organizado y clasificado con marcadores en 5 categorías de las dependencias y edificios:

- ENPs
- CCHs
- FESs
- DGCTIC
- Administrativos u otros

El registro de estos mapas se puede ver a detalle en la siguiente lista:

- Ubicación general de las dependencias (Ver Anexo B)
- Distancias a línea de vista (Ver Anexo C, incluido en el CD de la tesis)
- Distancias en recorrido por calles (Ver Anexo D, incluido en el CD de la tesis)

También cabe mencionar, que se realizaron las líneas del Sistema de Transporte Colectivo Metro con herramientas del programa Google Earth. A continuación, se muestran las líneas del metro, las 5 clasificaciones y la vista general de las 5 categorías en las figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7.

¹³ No se realizó una investigación previa y a detalle para reconocer a los mejores candidatos con un aporte científico y académico relevante para formar parte de la fase 1 de la RedUNAM Metropolitana, sin embargo, la selección se ha realizado para abarcar la mayor parte de las dependencias y dejar un estudio de su localización y distancias al STC.

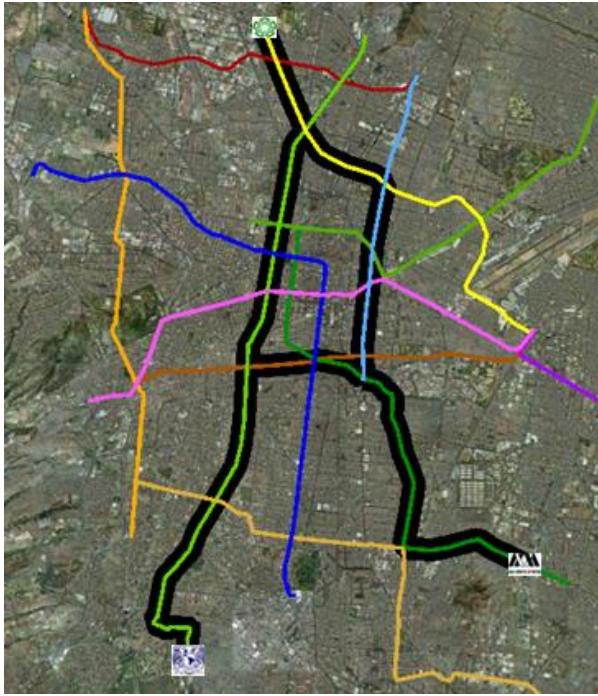


Figura 5.2 Red Metropolitana DELTA y líneas del metro

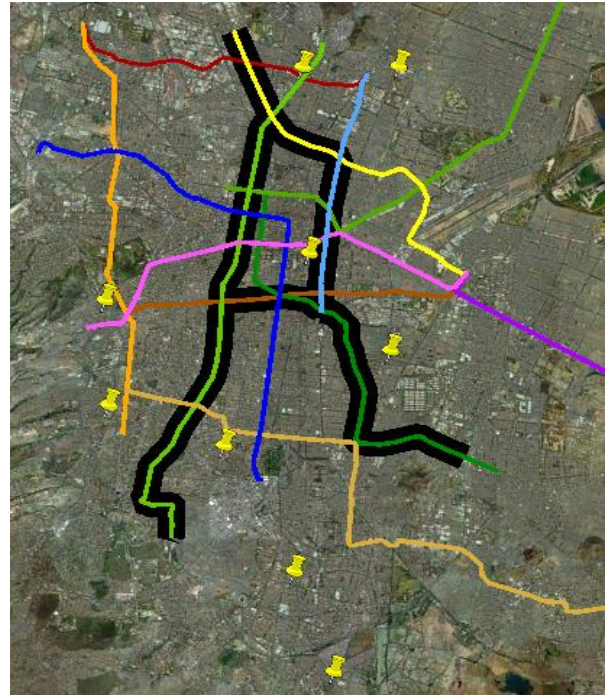


Figura 5.3 Ubicación de las Escuelas Nacionales Preparatorias (ENPs) (marcadores amarillos)

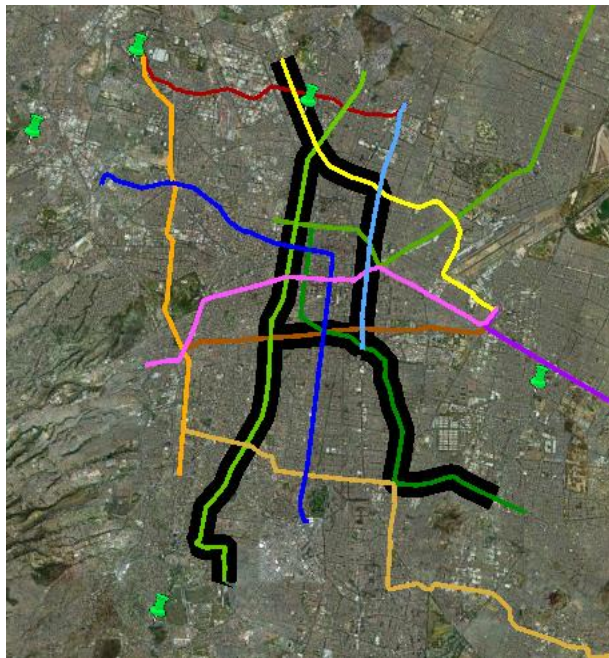


Figura 5.4 Ubicación de los Colegios de Ciencias y Humanidades (CCHs) (marcadores verdes)

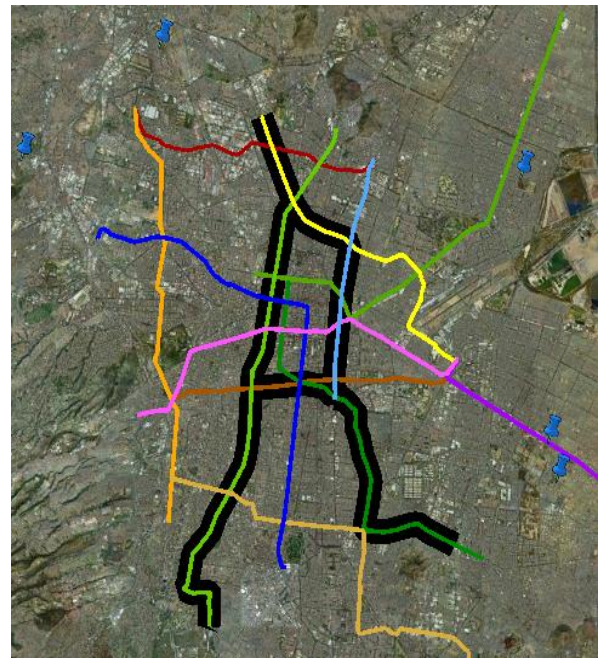


Figura 5.5 Ubicación de las Facultades de Estudios Superiores (FESs) (marcadores azules)

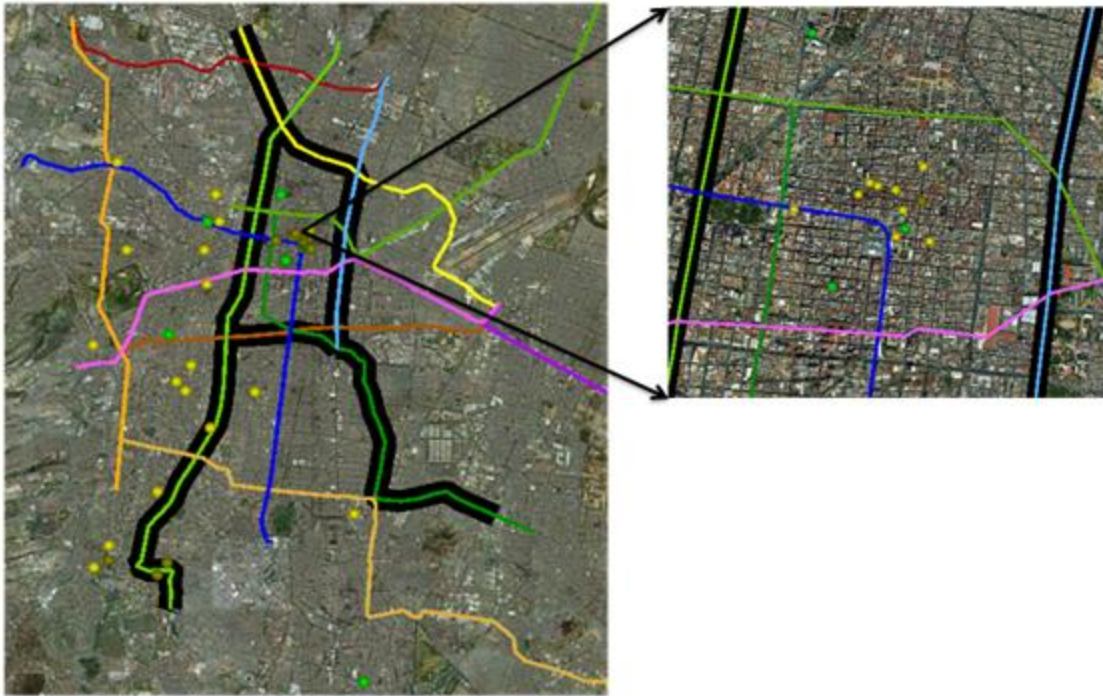


Figura 5.6 Ubicación de sedes de DGCTIC (círculos verdes) y edificios administrativos, entre otros (círculos amarillos).

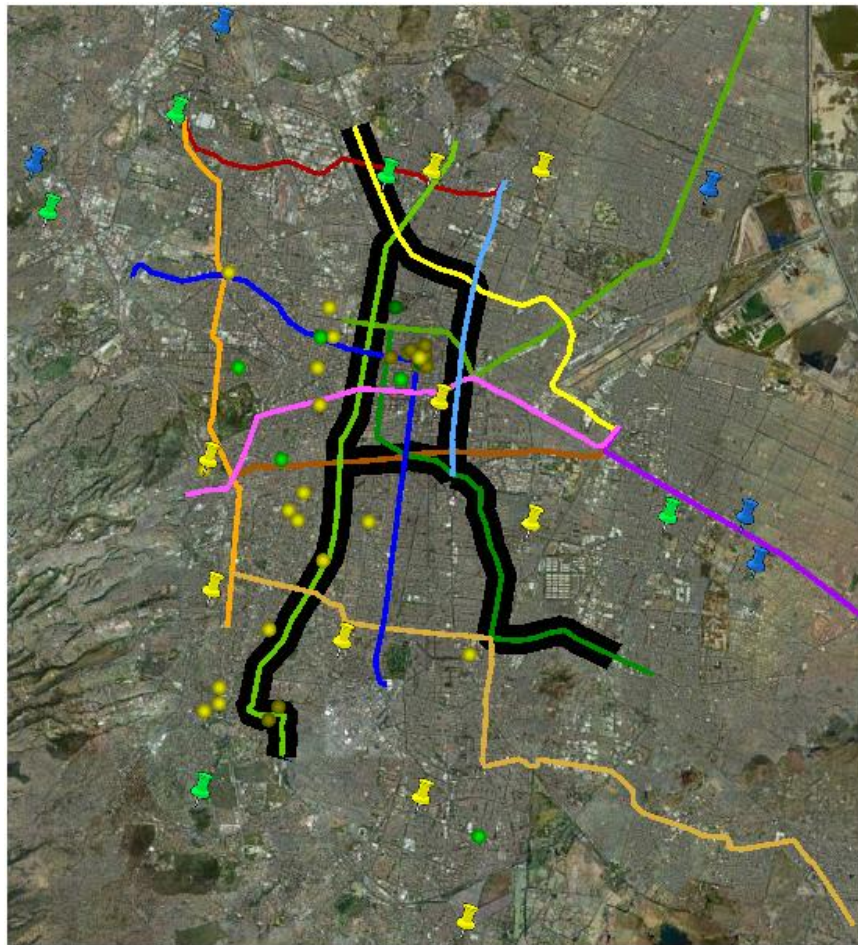


Figura 5.7 Vista general de la ubicación de las 56 dependencias de la UNAM

5.1.1 Ubicación y definición de la interconexión de las dependencias de la UNAM

La ubicación y localización de las dependencias fueron factores muy importantes a considerar, ya que conforme a estas direcciones se hizo la búsqueda de todas las dependencias. A continuación en las tablas 5.1, 5.2 y 5.3 se muestran la dirección física de las 56 dependencias:

Dependencia	Dirección	Dependencia	Dirección
Prepa #1 (P1)	Av. de las Torres y Prolongación Aldama s/n, Col. Las Peritas, Pueblo de Tepepan, Del. Xochimilco, C.P. 16020, México, D.F.	Prepa #8 P8	Av. Lomas de Plateros s/n, esquina Dr. Francisco de P. Miranda, Col. Merced Gómez, Del. Álvaro Obregón, C.P. 01600, México, D.F.
Prepa #2 P2	Av. Río Churubusco entre Apatlaco y Tezontle Col. Lic. Carlos Zapata Vela, Del. Iztacalco, C.P. 08040, México, D.F.	Prepa #9 P9	Av. Insurgentes Norte, N° 1698, Col. Lindavista, Del. Gustavo A. Madero, C.P. 07300, México, D.F.
Prepa #3 P3	Av. Eduardo Molina N°1577 esquina Av. José Morelos, Col. Salvador Díaz Mirón, Del. Gustavo A. Madero, C.P. 07400, México, D.F.	CCH Azcapotzalco	Aquiles Serdán N° 2060, esquina con Hernández Covarrubias, Col. Tierra Nueva, Del. Azcapotzalco C.P. 02130 México, D.F.
Prepa #4 P4	Av. Observatorio N°170 esquina General Plata Col. Observatorio, Del. Miguel Hidalgo, C.P. 11860, México, D.F.	CCH Naucalpan	Av. De los Remedios, N° 10 y Av. Corona, Col. Bosque de los Remedios, Municipio de Naucalpan, C.P. 53400, Edo. México,
Prepa #5 P5	Calzada del Hueso N°729, Col. Ex-Hacienda de Coapa, Del. Tlalpan, C.P. 14300, México, D.F.	CCH Oriente	Av. Canal de San Juan s/n, esquina Sur 24, Col. Tepalcates, Del. Iztapalapa, C.P. 08500, México, D.F.
Prepa #6 P6	Calle Corina N°3, esquina Av. Hidalgo Col. El Carmen, Del. Coyoacán, C.P. 04100, México, D.F.	CCH Sur	Boulevard de las Cataratas esquina con Llanura, Col. Pedregal de San Ángel, Del. Coyoacán, C.P. 04500, México, D.F.
Prepa #7 P7	Calzada de la Viga N° 54, esquina calle Zoquipa, Col. Lorenzo Boturini, Del. Venustiano Carranza, C.P. 15810, México, D.F.	CCH Vallejo	Eje Central Lázaro Cárdenas Norte, esquina Av. Fortuna Col. Magdalena de las Salinas, Del. G.A. Madero, C.P. 07760, México, D.F.

Tabla 5.1 Direcciones física de las Escuelas Nacionales Preparatorias y Colegios de Ciencias y Humanidades

Dependencia	Dirección	Dependencia	Dirección
FES Acatlán	Av. San Juan Totoltepec s/n, Col. Santa Cruz Acatlán, Municipio de Naucalpan, C.P. 53150, Estado de México.	DGCTIC Nuevo León	Nuevo León 167, esq. Mexicali. Col. Condesa, Cuauhtémoc, 06100 Distrito Federal, México
FES Aragón	Av. Rancho Seco s/n, Col. Bosques de Aragón, Municipio de Nezahualcóyotl, C.P. 57130, Estado de México.	DGCTIC Tlatelolco	Nonoalco Tlatelolco Del. Cuauhtémoc. CP 06900 México DF
FES Iztacala	Av. de los Barrios s/n, Col. Los Reyes Iztacala, Municipio de Tlalnepantla, C.P. 54090, Estado de México.	DGCTIC Polanco	Taine 246, Col. Polanco Miguel Hidalgo, 11570 Distrito Federal
FES Zaragoza Campo 1	Av. Guelatao N° 66 esquina Calzada Ignacio Zaragoza, Col. Unidad Ejercito de Oriente, Del. Iztapalapa, C.P. 09230, México, D.F.	DGCTIC Coapa	Calzada del Hueso 757, Col. Rinconada Coapa 2ª Sección
FES Zaragoza Campo 2	Calle Batalla 5 de Mayo s/n esquina Fuerte de Loreto, Col. Ejercito de Oriente, Del. Iztapalapa, C.P. 09230, México, D.F.	DGCTIC Macarones	Av. Ribera de San Cosme 71, Col. Santa María de la Ribera
FES	Av.1° de Mayo, Col. Cuautitlán	DGCTIC	República del Salvador 70,

Cuautitlán Campo 1	Izcalli, apartado postal N°25, Municipio de Cuautitlán Izcalli, C. P. 54740, Edo. de México	San Agustín	esq. Isabel la Católica, Centro Histórico
FES Cuautitlán Campo 4	Carretera Cuautitlan- Teoloyucan San Sebastián Xhala, Mpo. Cuautitlan Izcalli, C.P. 54740, Edo. de México	DGCTIC Palacio de la Autonomía	Calle Licenciado Verdad 2, Esq. República de Guatemala, Centro Histórico

Tabla 5.2 Direcciones físicas de las Facultades de Estudios Superiores (FES) y Direcciones Generales Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGCTIC)

Dependencia	Dirección	Dependencia	Dirección
Dirección General de Radio UNAM	Adolfo Prieto 133, Del Valle, Benito Juárez, 03100 Distrito Federal 01 55 5523 8806	Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad	Moneda 2, esq. Seminario Col. Centro, Del, Cuauhtémoc CP 06010 México DF
CEPE Polanco	Taine 246, Col. Polanco Miguel Hidalgo, 11570 Distrito Federal	Depósito de Filmoteca	República de Bolivia 17, Col. Centro, Del, Cuauhtémoc CP 06000 México DF
Museo Experimental del Eco	Sullivan 43, Col. San Rafael. Del. Cuauhtémoc CP 06470 México DF	Estación Sismológica del Instituto de Geología	General Victoriano Zepeda 53, Col. Miguel Hidalgo CP 11860 México DF
Casa Universitaria del Libro	Orizaba 24, esq. Puebla Col. Roma. Del. Cuauhtémoc CP 06700. México DF	Academia Mexicana de Derechos Humano	Av. Cerro del Agua 120, Col. Romero Terrenos, Del. Coyoacán CP 04310 México DF
Museo Universitario del Chopo	Calle Emanuel González Mtz. No. 10 Casi esquina con San Cosme. Col. Santa María la Rivera Del. Cuauhtémoc CP 06400	Unidad Administrativa de Asuntos Estudiantiles	Filosofía y Letras 80 Col. Copilco, Del. Coyoacán CP 04340 México DF
Museo de Geología de la UNAM	Jaime Torres Bodet 176, esq. Salvador Díaz Mirón. Col. Santa María la Rivera	Coordinación de Asesoría Institucional	Iztaccihuatl 191, Col. Florida Del. Álvaro Obregón CP 04000 México DF
Dirección General de CCH	San Francisco 400, Col. Del Valle Del. Benito Juárez CP 03100	Coordinación de Programas Académicos	Av. Revolución 1909 Del. Álvaro Obregón México DF
Dirección General de Personal	Matías Romero 1220, Esq. Pitágoras. Col. Del Valle. Del. Benito Juárez CP 03100 México DF	Dirección General de Actividades Cinematográficas	Dr. Gálvez 2, interior 2, San Ángel Del Álvaro Obregón CP 01000 México DF
Dirección General ENP	Adolfo Prieto 722, esq. Torres Adalid Col. Del Valle. Del. Benito Juárez CP 03100 México DF	Sindicato de Trabajadores de la UNAM	Centeno 145 Col. Granjas Esmeralda Del. Iztapalapa CP 09810 México DF
Antigua Escuela de Medicina	República de Brasil 22, esq. República de Venezuela. Col. Centro, Del, Cuauhtémoc CP 06010 México DF	Protomedicato	Rep. Venezuela 8 y 10. Col Centro Del. Cuauhtémoc CP 06010 México DF
Palacio de Minería	Tacuba 7, esq. Eje central Lázaro Cárdenas Col. Centro, Del, Cuauhtémoc	Antigua Escuela de Jurisprudencia	San Ildefonso 28, esq. República de Argentina Col. Centro Del. Cuauhtémoc CP 06020 México
Academia de San Carlos	Academia 22, esq. Moneda Col. Centro, Del. Cuauhtémoc CP 06010 México DF	Museo de la Luz	El Carmen 31, esq. República de Venezuela Col. Centro, Del, Cuauhtémoc CP 06010 México DF
Antiguo Colegio de San Ildefonso	Justo Sierra 16 y San Ildefonso 33 Col. Centro, Del, Cuauhtémoc CP 06020 México DF	Palacio de Economía	República de Cuba 92 Col. Centro, Del, Cuauhtémoc CP 06010 México DF
Templo de San Agustín	República del Salvador 70, esq. Isabel la Católica, Centro Histórico	CEI Narvarte	Eje Central 733, Col. Vértiz Narvarte entre eje 5 Sur Eugenia y Eje 4 Sur Xol. México DF

Tabla 5.3 Direcciones físicas de las dependencias generales, tales como Museos, Direcciones Generales, Edificios Históricos, Coordinaciones, entre otras

5.1.2 Resumen estadístico

Con el fin de registrar distancias (ver Anexo B), se muestra a continuación un resumen estadístico donde se desglosan de manera comparativa dos tablas por cada tipo de dependencia, una en orden alfabético o por número de dependencia y otra también en orden ascendente, en cuanto a la distancia de cada dependencia a la estación del STC más cercana.

5.1.2.1 Escuelas Nacionales Preparatorias (ENPs)

Registramos a continuación en la tabla 5.4 a las ENPs con sus respectivas distancias en kilómetros y después en la tabla 5.5, percibimos el orden jerárquico de menor a mayor distancia en kilómetros de cada dependencia a la estación del metro más cercana.

ENP	Distancia Corta [km]	Línea de Vista [km]
1	9.4	8.96
2	1.4	1.09
3	1.2	0.98
4	1	0.76
5	5	4.14
6	1.6	1.25
7	0.95	0.76
8	1.1	0.92
9	0.22	0.17

Tabla 5.4 Distancia y línea de vista corta de ENPs

ENP	Distancia Corta [km]	Línea de Vista [km]
9	0.22	0.17
7	0.95	0.76
4	1	0.76
8	1.1	0.92
3	1.2	0.98
2	1.4	1.09
6	1.6	1.25
5	5	4.14
1	9.4	8.96

Tabla 5.5 Distancia y línea de vista corta de ENPs (Orden ascendente)

5.1.2.2 Colegios de Ciencias y Humanidades (CCHs)

Registramos a continuación en la tabla 5.6 a los CCHs con sus respectivas distancias en kilómetros y después en la tabla 5.7, percibimos el orden jerárquico de menor a mayor distancia en kilómetros de cada dependencia a la estación del metro más cercana.

CCH	Distancia corta [km]	Línea de vista [km]
Azcapotzalco	0.88	0.594
Naucalpan	4.2	3.14
Oriente	1.8	1.44
Sur	5	3.12
Vallejo	0.4	0.4

Tabla 5.6 Distancia y línea de vista corta de CCHs

CCH	Distancia corta [km]	Línea de vista [km]
Vallejo	0.4	0.4
Azcapotzalco	0.88	0.594
Oriente	1.8	1.44
Naucalpan	4.2	3.14
Sur	5	3.12

Tabla 5.7 Distancia y línea de vista corta de CCHs (Orden ascendente)

5.1.2.3 Facultades de Estudios Superiores (FESs)

Registramos en la tabla 5.8 a las FESs con sus respectivas distancias en kilómetros y después en la tabla 5.9, percibimos el orden jerárquico de menor a mayor distancia en kilómetros de la dependencia a la estación del metro más cercana.

FES	Distancia corta [km]	Línea de vista [km]
Acatlán	5.4	4.38
Aragón	1.4	0.98
Iztacala	3.4	2.53
Zaragoza Campo 1	0.088	0.1
Zaragoza Campo 2	1.8	1.51

Tabla 5.8 Distancia y línea de vista corta de las FESs

FES	Distancia corta [km]	Línea de vista [km]
Zaragoza Campo 1	0.088	0.1
Aragón	1.4	0.98
Zaragoza Campo 2	1.8	1.51
Iztacala	3.4	2.53
Acatlán	5.4	4.38

Tabla 5.9 Distancia y línea de vista corta de las FESs (Orden ascendente)

5.1.2.4 Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGCTICs)

Notamos a continuación en la tabla 5.10 a las DGCTICs con sus respectivas distancias en [km] y después en la tabla 5.11, percibimos el orden jerárquico de menor a mayor en [km] de la dependencia a la estación del metro más cercana.

DGCTIC	Distancia corta [Km]	Línea de vista [Km]
Coapa	6.4	5.58
Mascarones	0.05	0.05
Nuevo León	0.7	0.46
Palacio de la Autonomía	0.3	0.27
Polanco	0.7	0.65
San Agustín	0.4	0.37
Tlatelolco	1	0.63

Tabla 5.10 Distancia y línea de vista corta de las DGCTICs

DGCTIC	Distancia corta [Km]	Línea de vista [Km]
Mascarones	0.05	0.05
Palacio de la Autonomía	0.3	0.27
San Agustín	0.4	0.37
Nuevo León	0.7	0.46
Polanco	0.7	0.65
Tlatelolco	1	0.63
Coapa	6.4	5.58

Tabla 5.11 Distancia y línea de vista corta de las DGCTICs (Orden ascendente)

5.1.2.5 Edificios administrativos y otros

Registramos a continuación en la tabla 5.12 a los edificios administrativos entre otros, con sus respectivas distancias en kilómetros y después en la tabla 5.13, percibimos el orden jerárquico de menor a mayor distancia en kilómetros de estos edificios a la estación del metro más cercana.

Dependencia	Distancia corta [km]	Línea de vista [km]
Academia de San Carlos	0.4	0.43
Academia Mexicana de Derechos Humanos	0.18	0.16
Antigua Escuela de Jurisprudencia	0.5	0.46
Antigua Escuela de Medicina	0.6	0.44
Antiguo Colegio de San Ildefonso	0.45	0.32
Casa Universitaria del Libro	0.28	0.23
CEI Narvarte	1.7	1.7
CEPE Polanco	0.7	0.65
Conjunto Externo Sede Tacuba	0.4	0.19
Coordinación de Asesoría Institucional	1	0.67
Coordinación de Programas Académicos	1.6	1.4
Depósito de Filmoteca	0.7	0.51
Dirección General de Radio UNAM	1	0.88
Dirección General de Actividades Cinematográficas	1.4	1.22
Dirección General de CCH	1.7	1.39
Dirección General de ENP	1.5	1.26
Dirección General de Personal	0.13	0.11
Estación Sismológica de Geología	1.1	0.85
Museo de Geología UNAM	0.9	0.67

Dependencia	Distancia corta [km]	Línea de vista [km]
Dirección General de Personal	0.13	0.11
Palacio de Minería	0.13	0.11
Academia Mexicana de Derechos Humanos	0.18	0.16
Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad	0.21	0.17
Casa Universitaria del Libro	0.28	0.23
Museo Universitario del Chopo	0.35	0.26
Academia de San Carlos	0.4	0.43
Conjunto Externo Sede Tacuba	0.4	0.19
Templo de San Agustín	0.4	0.37
Unidad Administrativa de Asuntos Estudiantiles	0.4	0.37
Antiguo Colegio de San Ildefonso	0.45	0.32
Palacio de la Economía	0.45	0.4
Antigua Escuela de Jurisprudencia	0.5	0.46
Antigua Escuela de Medicina	0.6	0.44
Protomedicato	0.65	0.5
CEPE Polanco	0.7	0.65
Depósito de Filmoteca	0.7	0.51
Museo de la Luz	0.7	0.46
Museo de Geología UNAM	0.9	0.67
Coordinación de Asesoría	1	0.67

Museo de la Luz	0.7	0.46
Museo Experimental del Eco	1.1	0.97
Museo Universitario del Chopo	0.35	0.26
Palacio de la Economía	0.45	0.4
Palacio de Minería	0.13	0.11
Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad	0.21	0.17
Programa Universitario México Nación Multicultural	2.2	2.05
Protomedicato	0.65	0.5
Sindicato de Trabajadores de la UNAM	2.6	1.7
Templo de San Agustín	0.4	0.37
Unidad Administrativa de Asuntos Estudiantiles	0.4	0.37

Tabla 5.12 Distancia y línea de vista corta de las Dependencias

Institucional		
Dirección General de Radio UNAM	1	0.88
Estación Sismológica de Geología	1.1	0.85
Museo Experimental del Eco	1.1	0.97
Dirección General de Actividades Cinematográficas	1.4	1.22
Dirección General de ENP	1.5	1.26
Coordinación de Programas Académicos	1.6	1.4
CEI Narvarte	1.7	1.7
Dirección General de CCH	1.7	1.39
Programa Universitario México Nación Multicultural	2.2	2.05
Sindicato de Trabajadores de la UNAM	2.6	1.7

Tabla 5.13 Distancia y línea de vista corta de las Dependencias (Orden ascendente)

5.1.2.6 Tabla de ascendente de distancias de las ENPs, CCHs y FESs

En la siguiente tabla se muestra el orden de menor a mayor distancia entre las ENPs, CCHs, FESs a las estaciones del STC.

Ranking	Escuelas de la UNAM	Distancia corta [km]	Línea de vista [km]
1	FES Zaragoza Campo 1	0.088	0.1
2	ENP 9	0.22	0.17
3	Vallejo	0.4	0.4
4	Azcapotzalco	0.88	0.594
5	ENP 7	0.95	0.76
6	ENP 4	1	0.76
7	ENP 8	1.1	0.92
8	ENP 3	1.2	0.98
9	ENP 2	1.4	1.09
10	FES Aragón	1.4	0.98
11	ENP 6	1.6	1.25
12	Oriente	1.8	1.44
13	FES Zaragoza Campo 2	1.8	1.51
14	FES Iztacala	3.4	2.53
15	Naucalpan	4.2	3.14
16	ENP 5	5	4.14
17	Sur	5	3.12
18	FES Acatlán	5.4	4.38
19	ENP 1	9.4	8.96

Tabla 5.14 Ranking de distancias ascendentes de las ENPs, CCHs y FES

5.1.2.7 Tabla posicional de distancias

En la tabla 5.15 se localiza de menor a mayor distancia, de las dependencias de la UNAM a la estación del STC, de las 5 categorías antes mencionadas:

Ranking	DGCTIC	Distancia corta [Km]	Línea de vista [Km]
1	DGCTIC Mascarones	0.05	0.05
2	FES Zaragoza Campo 1	0.088	0.1
3	Dirección General de Personal	0.13	0.11
4	Palacio de Minería	0.13	0.11
5	Academia Mexicana de Derechos Humanos	0.18	0.16
6	Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad	0.21	0.17
7	ENP 9	0.22	0.17
8	Conjunto Externo Sede Tacuba	0.4	0.19
9	Casa Universitaria del Libro	0.28	0.23
10	Museo Universitario del Chopo	0.35	0.26
11	DGCTIC Palacio de la Autonomía	0.3	0.27
12	Antiguo Colegio de San Ildefonso	0.45	0.32
13	Templo de San Agustín	0.4	0.37
14	Unidad Administrativa de Asuntos Estudiantiles	0.4	0.37
15	DGCTIC San Agustín	0.4	0.37
16	CCH Vallejo	0.4	0.4
17	Palacio de la Economía	0.45	0.4
18	Academia de San Carlos	0.4	0.43
19	Antigua Escuela de Medicina	0.6	0.44
20	Antigua Escuela de Jurisprudencia	0.5	0.46
21	Museo de la Luz	0.7	0.46
22	DGCTIC Nuevo León	0.7	0.46
23	Protomedicato	0.65	0.5
24	Depósito de Filmoteca	0.7	0.51
25	CCH Azcapotzalco	0.88	0.594
26	DGCTIC Tlatelolco	1	0.63
27	CEPE Polanco	0.7	0.65
28	DGCTIC Polanco	0.7	0.65
29	Museo de Geología UNAM	0.9	0.67
30	Coordinación de Asesoría Institucional	1	0.67
31	ENP 7	0.95	0.76
32	ENP 4	1	0.76
33	Estación Sismológica de Geología	1.1	0.85
34	Dirección General de Radio UNAM	1	0.88
35	ENP 8	1.1	0.92
36	Museo Experimental del Eco	1.1	0.97
37	ENP 3	1.2	0.98
38	CCH Aragón	1.4	0.98
39	ENP 2	1.4	1.09
40	Dirección General de Actividades Cinematográficas	1.4	1.22
41	ENP 6	1.6	1.25
42	Dirección General de ENP	1.5	1.26
43	Dirección General de CCH	1.7	1.39
44	Coordinación de Programas Académicos	1.6	1.4

45	CCH Oriente	1.8	1.44
46	FES Zaragoza Campo 2	1.8	1.51
47	CEI Narvarte	1.7	1.7
48	Sindicato de Trabajadores de la UNAM	2.6	1.7
49	Programa Universitario México Nación Multicultural	2.2	2.05
50	CCH Iztacala	3.4	2.53
51	CCH Sur	5	3.12
52	CCH Naucalpan	4.2	3.14
53	ENP 5	5	4.14
54	CCH Acatlán	5.4	4.38
55	DGCTIC Coapa	6.4	5.58
56	ENP 1	9.4	8.96

Tabla 5.15 Ranking general de las 56 dependencias de la UNAM en base a su distancia

Por último, cabe mencionar que las distancias registradas en esta tesis, no necesariamente son distancias reales y exactas en la implementación de la RedUNAM Metropolitana. Se deben considerar varios elementos que modificarán seguramente la información aquí presentada como por ejemplo: la autorización por parte de las delegaciones del Distrito Federal para las trayectorias utilizadas en el cálculo de las distancias; la viabilidad de rutas mismas; distancias adicionales (considerando de la entrada a cada dependencia por donde se insertará la FO hasta llegar al equipo: pasillos, escaleras, techos, etc.), así como posibles cambios ligeros o significativos en las trayectorias.

5.1.3 Opciones de diseño iniciales en la Última Milla para la RedUNAM Metropolitana

A continuación se muestran los diseños inicialmente contemplados en la última milla para la RedUNAM Metropolitana. Se consideraron tecnologías como WiMax, HiperLAN, xDSL, PLC, entre otras, para interconectar las dependencias de la UNAM al laboratorio LANCAD, pero debido a que el estudio final se basó en el uso de tecnologías de última milla con fibra óptica, estas tecnologías fueron descartadas. En las figuras 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11 se pueden ver el posible uso de las mismas en la Red UNAM Metropolitana.

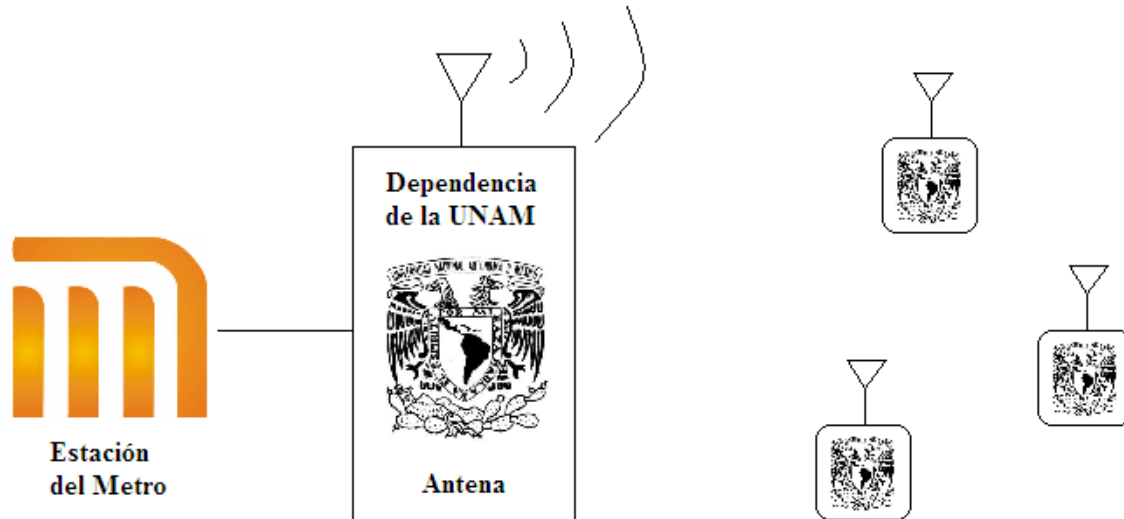


Figura 5.8 Conexión inicialmente contemplada para el acceso a la última milla de la RedUNAM Metro vía WiMAX

En la figura 5.8 podemos apreciar el posible uso de la tecnología WiMax, por sus siglas en inglés (Worldwide Interoperability for Microwave Access), en la última milla para la RedUNAM Metropolitana, la cual permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. Es un protocolo para redes de área metropolitana y proporcionando acceso concurrente con varios repetidores de señal superpuestos.

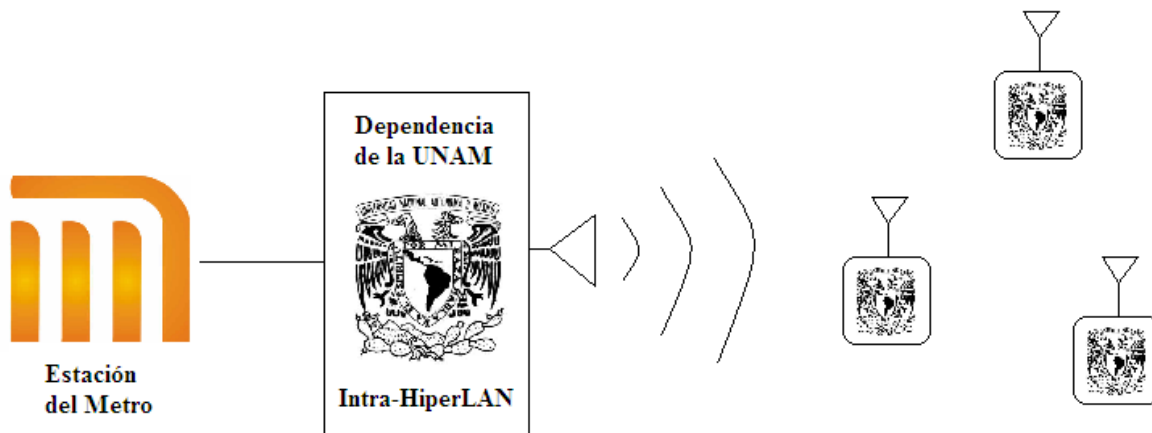


Figura 5.9 Conexión inicialmente contemplada para el acceso a la última milla de la RedUNAM Metro vía HiperLAN

En la figura 5.9 podemos apreciar el posible uso de la tecnología HiperLAN, por sus siglas en inglés (High Performance Radio LAN), en la última milla para la RedUNAM Metropolitana -la cual consta de dos versiones HiperLan1 e Hiperlan2-, esta tecnología proporciona conectividad para las comunicaciones inalámbricas.

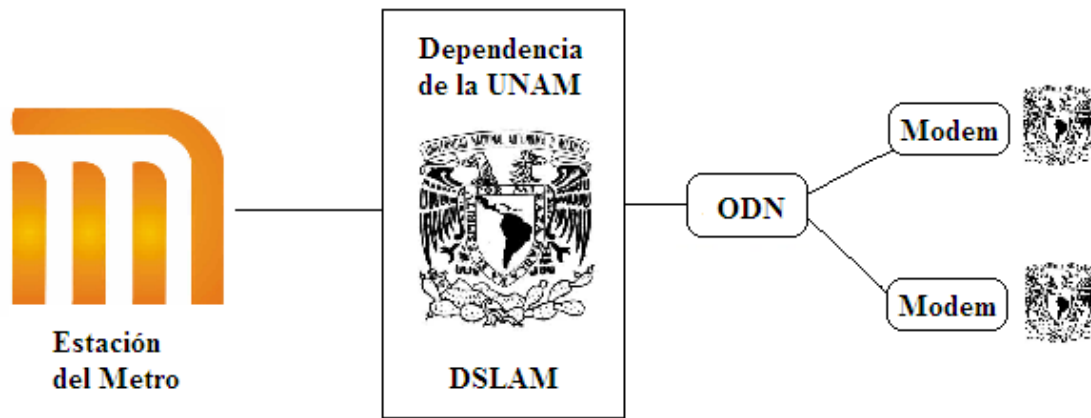


Figura 5.10 Conexión inicialmente contemplada para el acceso a la última milla de la RedUNAM Metro vía xDSL

En la figura 5.10 podemos apreciar el posible uso de la tecnología xDSL, por sus siglas en inglés (x Digital Subscriber Line), en la última milla para la RedUNAM Metropolitana, la cual se basa en la conversión del par de cobre de la red telefónica básica en una línea digital de alta velocidad capaz de soportar servicios de banda ancha además del envío simultáneo de voz. En la figura también se muestra un DSLAM, por sus siglas en inglés (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), que contienen un conjunto de tarjetas con varios módems de central de un número de usuarios de tal manera que se concentre y se enrute el tráfico de los enlaces xDSL hacia una red de área extensa.

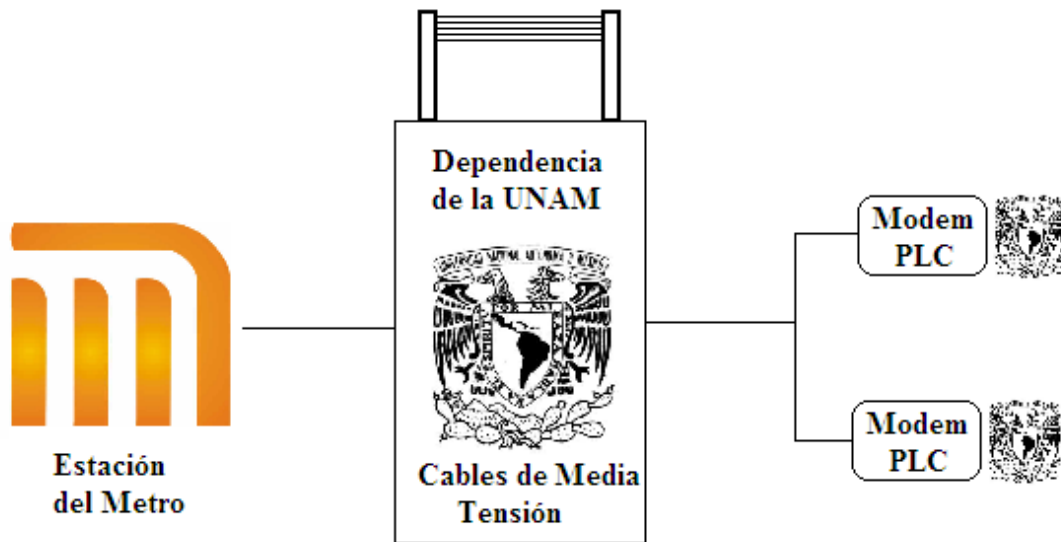


Figura 5.11 Conexión inicialmente contemplada para el acceso a la última milla de la RedUNAM Metro vía PLC

En la figura 5.11 podemos apreciar el posible uso de la tecnología PLC, por sus siglas en inglés (Power Line Communications), en la última milla para la RedUNAM Metropolitana, la cual utiliza las líneas de energía eléctrica convencionales para transmitir señales de radio para propósitos de comunicación; de esta manera se aprovecha la red eléctrica para convertirla en una línea digital de alta velocidad de transmisión de datos, permitiendo, entre otras cosas, el acceso a Internet mediante banda ancha.

5.1.4 Opciones de diseño con la tecnología PON en la Última Milla para la RedUNAM Metropolitana

A continuación se muestran otras configuraciones posibles de los escenarios en la última milla para la RedUNAM Metropolitana. Se seleccionó a la tecnología PON para interconectar *teóricamente* a la(s) dependencia(s) de la UNAM a la estación más cercana del STC. Las variantes principales son dos: simple y con vídeo; sin embargo, se muestran 4 posibles escenarios. Ver figura 5.12, 5.13, 5.14 y 5.15.

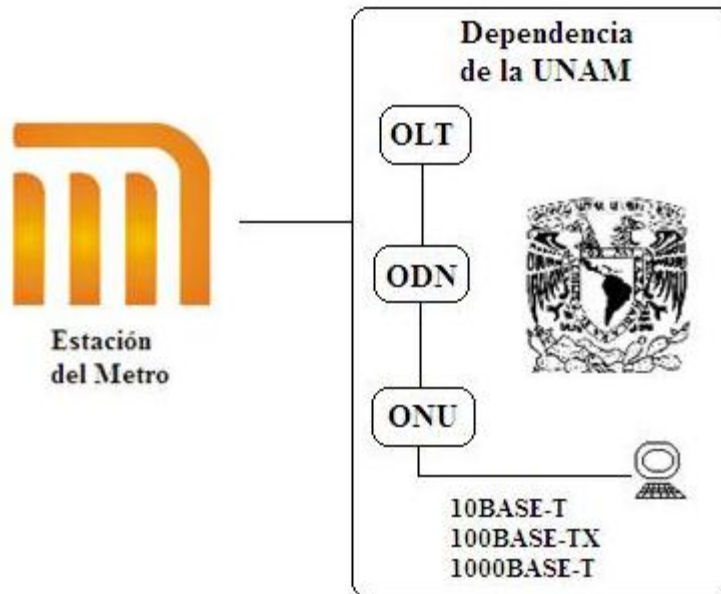


Figura 5.12 Configuración simple de la tecnología PON en una dependencia de la UNAM

En el escenario de la figura 5.12, notamos el uso de la tecnología PON en su configuración más simple (OLT, ODN y ONU) para interconectar a una dependencia de la UNAM a la estación del STC más cercana.

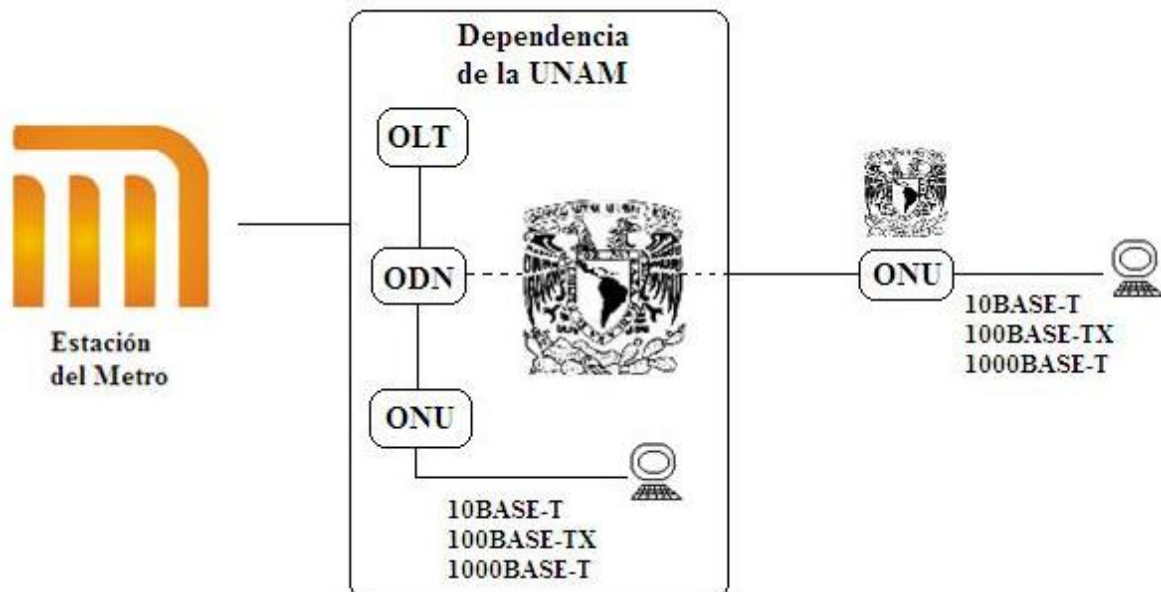


Figura 5.13 Configuración simple de la tecnología PON en dos dependencias de la UNAM

En el escenario de la figura 5.13, notamos el uso de la tecnología PON en otra configuración simple (OLT, ODN y ONU) para interconectar ahora dos dependencias de la UNAM a la estación del STC más cercana.

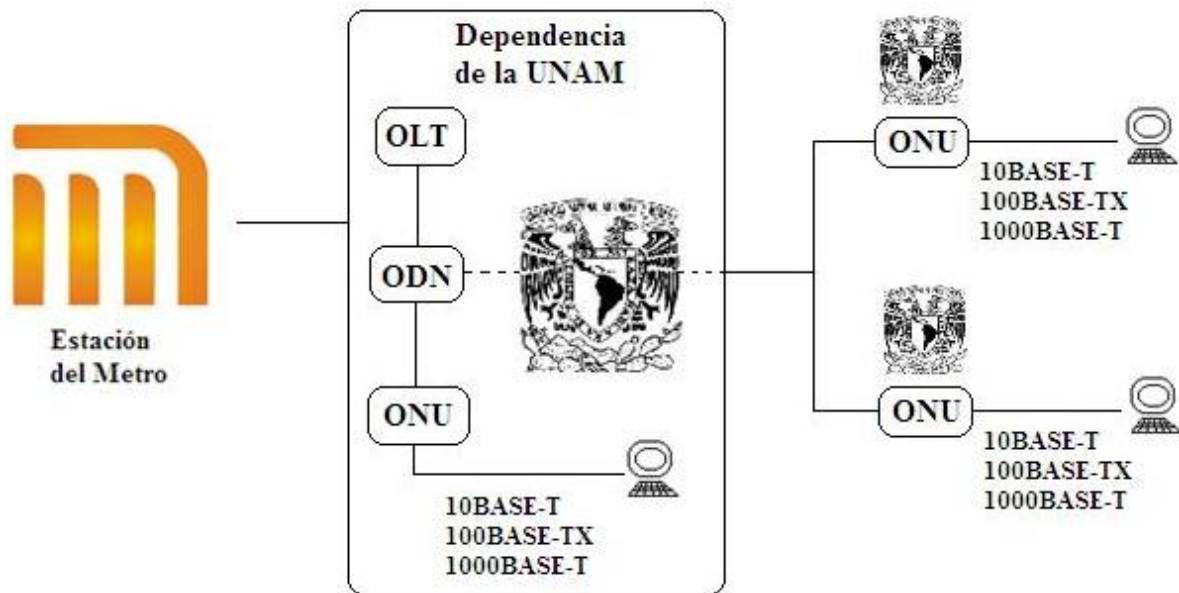


Figura 5.14 Configuración simple de la tecnología PON en tres (o más) dependencias de la UNAM

En el escenario de la figura 5.14, notamos el uso de la tecnología PON también en su configuración más simple (OLT, ODN y ONU) para interconectar a tres (o más) dependencias de la UNAM a la estación del STC más cercana.

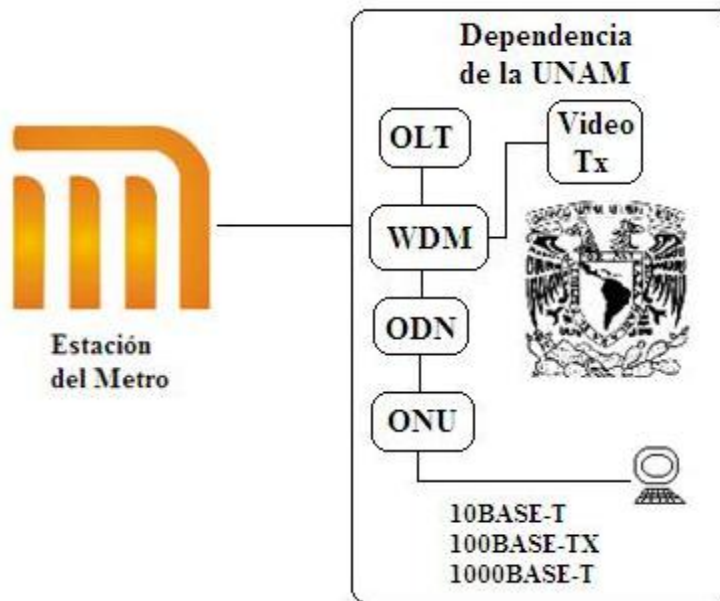


Figura 5.15 Configuración con vídeo de la tecnología PON en dos dependencias de la UNAM

En el escenario de la figura 5.15, notamos el uso de la tecnología PON con transmisiones de vídeo –definida en la recomendación UIT-T G.984- con la configuración de un OLT, ODN, ONU y un equipo adicional que utiliza WDM para enviar las señales de vídeo en 1550nm. Esta configuración, en las referencias obtenidas y documentación revisada, predomina su amplio uso en las televisoras para distribuir TV con alta definición HD, por sus siglas en inglés (High Definition).

Cabe mencionar que sería muy deseable situar el OLT dentro de las estaciones del metro, de tal manera que el recorrido del metro a la dependencia de la UNAM cumpla con la función de última milla; pero debido a cuestiones de mantenimiento y autorización (en dado caso que así lo pudiera requerir el equipo) ante el STC, esta opción no es viable, por lo que se ha situado al OLT dentro de la dependencia de la UNAM.

También es necesario destacar que en la parte final de las opciones de diseño (ONUs), la señal entregada al usuario es bajo las normas de Ethernet 10BASE-T, 100BASE-TX y 1000BASE-T, por lo que esta debe ser la menor distancia posible para utilizar así, el beneficio que brinda la tecnología PON (fibra óptica hasta el usuario).

5.1.5 Opciones de diseño finales para la RedUNAM Metropolitana

A continuación se muestra un análisis preliminar de las 7 posibles opciones con las que podría contar la RedUNAM Metropolitana. Se contempló su diseño así como también las características principales de cada opción.

5.1.5.1 Opción 1: WDM con par FO BB-Delta (Con equipo Cisco)

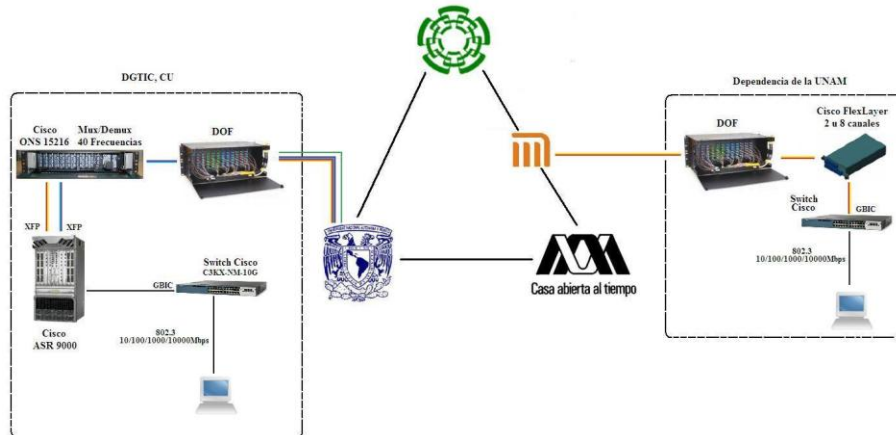


Figura 5.16 WDM con par FO BB-Delta (Cisco)

Características:

- ROI en mediano-largo plazo
- Compatibilidad garantizada al ser todo Cisco.
- Se requiere un Mux/Demux en cada Dependencia.
- Al usar el mismo par de FO del BB de la Delta se podrían necesitar amplificadores.

5.1.5.2 Opción 2: WDM otro par FO, otro Mux/Demux BB-Delta (Con equipo Cisco)

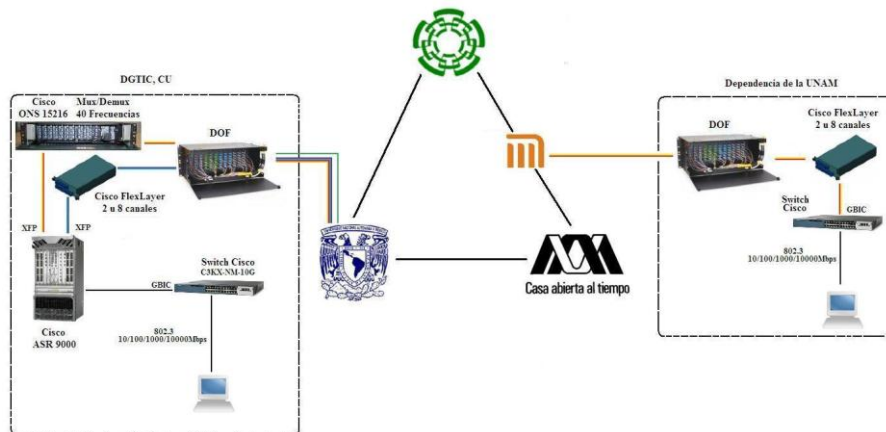


Figura 5.17 WDM otro par FO, otro Mux/Demux BB-Delta (Cisco)

Características:

- ROI en mediano-largo plazo (Más caro).
- Compatibilidad garantizada al ser todo Cisco.
- Se requiere un Mux/Demux en cada Dependencia, otro Mux/Demux de menos canales para el BB para usar el de 40 canales para la RedUNAM.
- Al usar otro par de FO de la Delta se evitaría degradar el BB sin necesitar amplificadores.

5.1.5.3 Opción 3: Sin WDM con otro par FO BB-Delta (Con equipo Cisco)

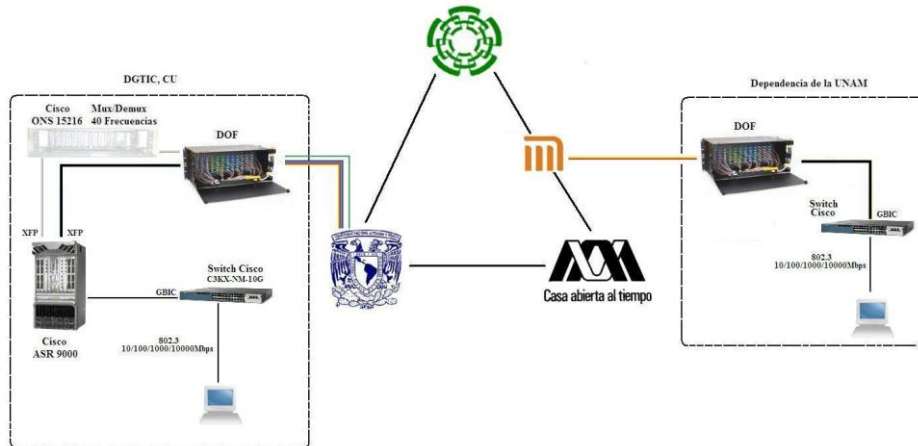


Figura 5.18 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (Cisco)

Características:

- ROI en mediano plazo (Menos caro).
- Compatibilidad garantizada al ser todo Cisco.
- Se requiere de XFPs de largo alcance y en cada Dependencia un Switch.
- Al usar otro par de FO de la Delta se evitaría degradar el BB sin necesitar amplificadores.

5.1.5.4 Opción 4: WDM con par FO BB-Delta (X Fabricante)

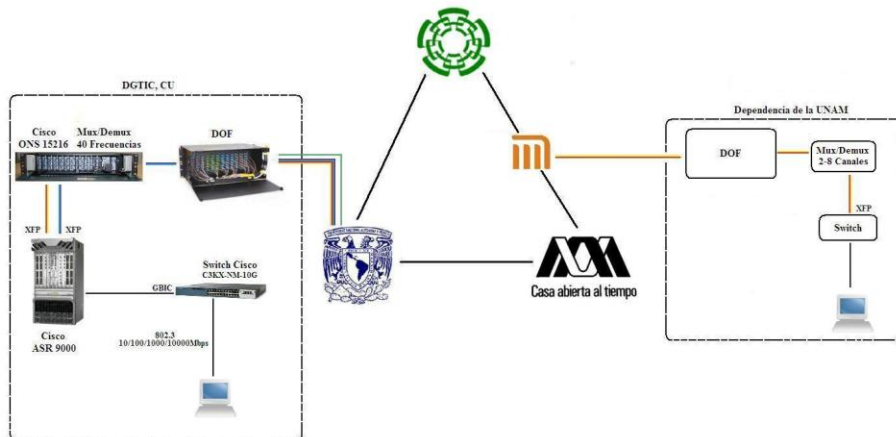


Figura 5.19 WDM con par FO BB-Delta (X Fabricante)

Características:

- ROI en mediano-largo plazo (Menos caro que el #1 tal vez).
- Compatibilidad no garantizada al no ser todo Cisco.
- Se requiere un Mux/Demux de otra marca en cada Dependencia.
- Al usar el mismo par de FO del BB de la Delta se podrían necesitar amplificadores.

5.1.5.5 Opción 5: WDM otro par FO, otro Mux/Demux BB-Delta (X fabricante)

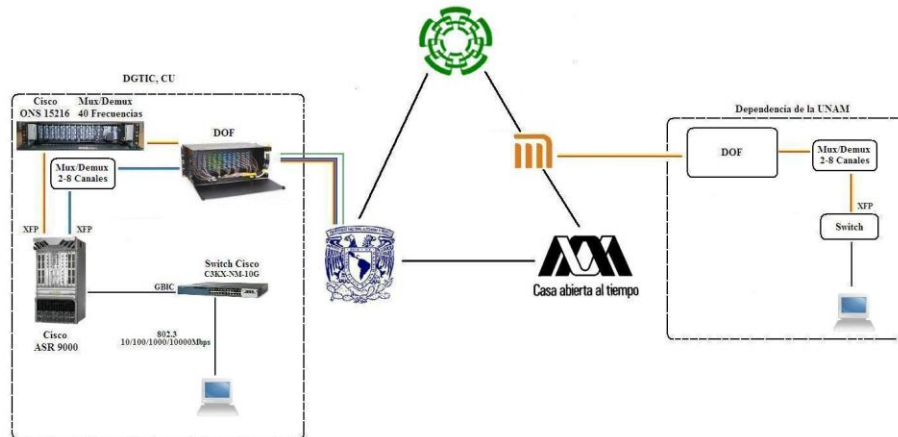


Figura 5.20 WDM otro par FO, otro Mux/Demux BB-Delta (X fabricante)

Características:

- ROI en mediano-largo plazo (Más caro que el anterior)
- Compatibilidad no tan garantizada al no ser todo Cisco.
- Se requiere un Mux/Demux de otra marca en cada Dependencia y otro Mux/Demux de menos canales para el BB, para usar el de 40 canales para la RedUNAM.
- Al usar otro par de FO de la Delta se evitaría degradar el BB sin necesitar amplificadores.

5.1.5.6 Opción 6: Sin WDM con otro par FO BB-Delta (X Fabricante)

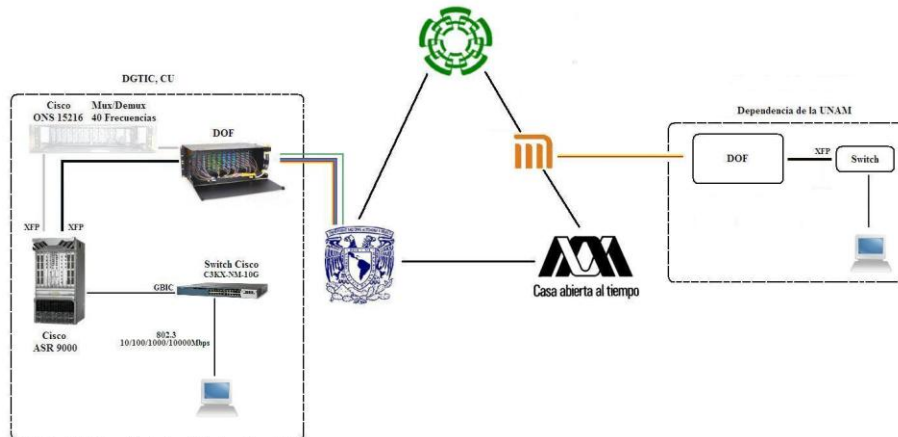


Figura 5.21 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (X Fabricante)

Características:

- ROI en mediano plazo (Menos caro).
- Compatibilidad no garantizada al no ser todo Cisco.
- Se requiere de XFPs de largo alcance y en cada Dependencia un Switch.
- Al usar otro par de FO de la Delta se evitaría degradar el BB sin necesitar amplificadores.

5.1.5.7 Opción 7: Sin WDM con otro par FO BB-Delta (Equipo RedUNAM)

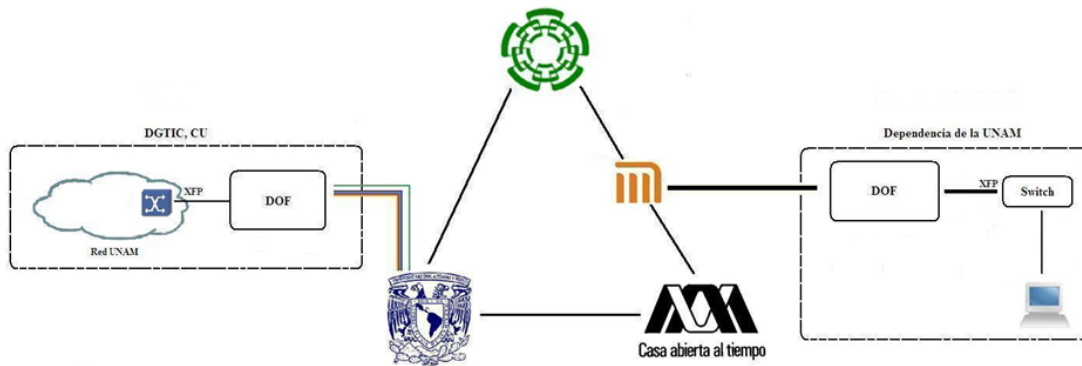


Figura 5.22 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (Equipo RedUNAM)

Características:

- ROI en corto-mediano plazo (Menos caro).
- Compatibilidad garantizada si misma marca.
- Se requiere de XFPs de largo alcance y en cada Dependencia un Switch.
- Al usar otro par de FO de la Delta se evitaría degradar el BB sin necesitar amplificadores.

5.2 Metas y Alcances

Mostrar un estudio de las más recientes tecnologías de transporte y de última milla a nivel internacional así como también, presentar una propuesta lo más detallada posible de las fases a seguir en el diseño de la RedUNAM Metropolitana incluyendo diagramas, topologías de red, estudios y un protocolo de pruebas preliminar, así como todo lo necesario para el cumplimiento de al menos la primera fase del proyecto que incluyen:

- Crear un *Backbone* de fibra óptica central o principal, al que podría llamarse “RedUNAM Metropolitana”.
- Utilizar la combinación de tecnologías de última milla sobre la fibra óptica instalada –y/o por instalar- para la optimización de los recursos de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Diseñar distintos escenarios con los que se podrá trabajar en las fases del proyecto.
- Crear una infraestructura abierta para la transmisión de cualquier tipo de servicio y protocolos de comunicación.
- Utilizar fibra óptica que reduzca costos de renta y mantenimiento de los enlaces dedicados actuales, que permita también aumentar los anchos de banda de la red, en base principalmente a la demanda, con mayor facilidad sin depender de terceros, conforme crezca el número de usuarios, servicios y/o aplicaciones.

5.3 Fases de la red

Este proyecto se realizará en varias fases para completar e incluir a todas o la mayor cantidad posible de dependencias de la UNAM. Estas fases están, en gran medida, en función de las decisiones de los directivos, que son quienes aceptan o niegan la elaboración de dichas fases. Cabe mencionar, que existen prioridades de selección ajenas a un estudio previo, por lo que muchas veces algunas dependencias serán incluidas en una fase temprana cuando no les corresponde bajo el estudio realizado basado en distancias y por tanto, de factibilidad.

5.3.1 Fase 1

La fase 1 consta en diseñar e instalar la infraestructura de fibra óptica, para conectar las primeras dependencias de la UNAM, a la DEMECAR (Delta), las cuales son y serán: ENP 2, ENP 7, ENP 9 y el CCH Vallejo. Ver figura 5.23.

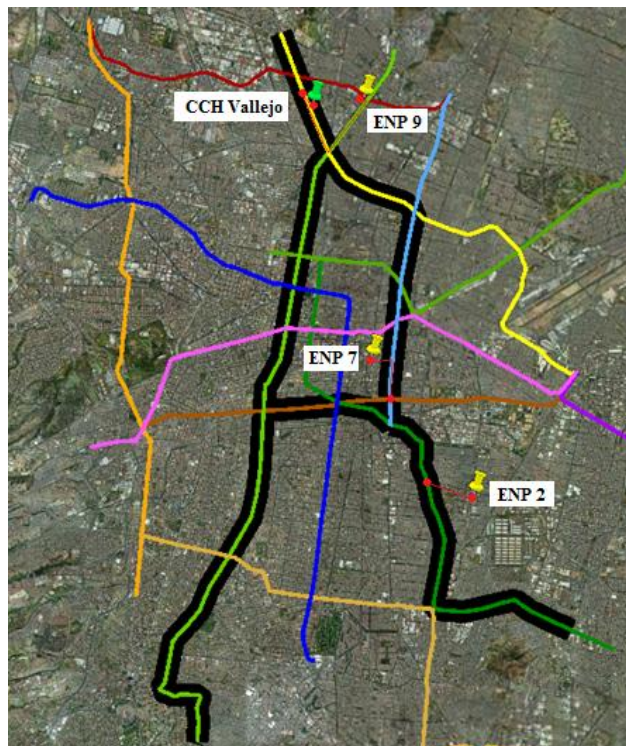


Figura 5.23 Topología lógica de la fase 1 de la RedUNAM Metropolitana

5.3.1.1 Topologías Lógicas y Físicas

De esta manera, se muestran a continuación las topologías físicas y lógicas a dichas dependencias de la fase 1:

Escuela Nacional Preparatoria No. 2

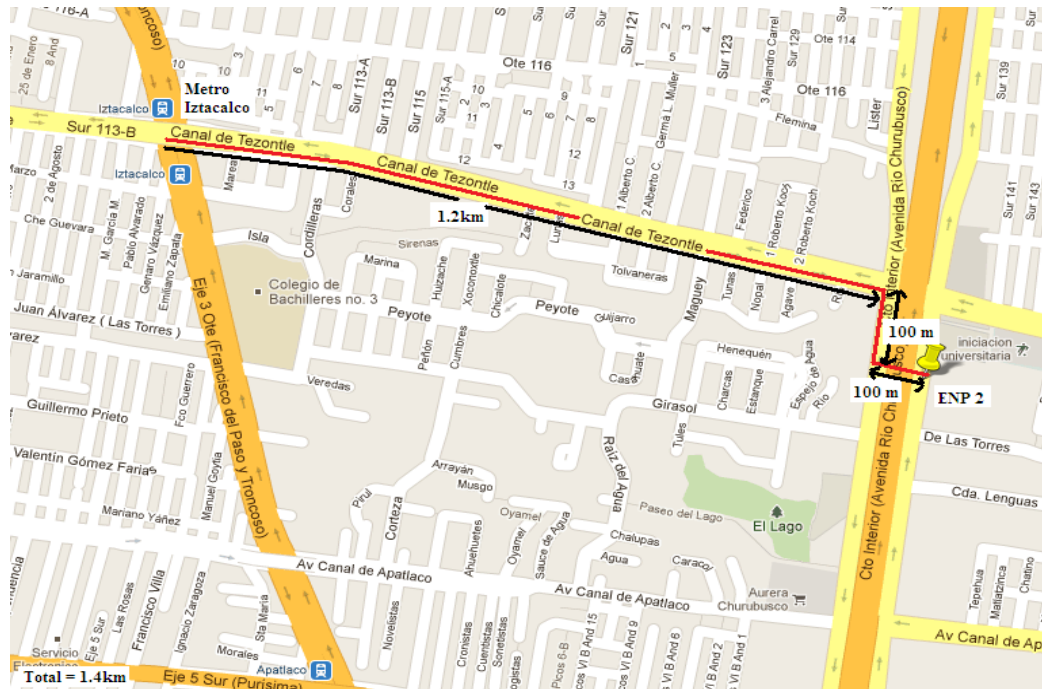


Figura 5.24 Topología física ENP 2 (Distancia total = 1.4km)

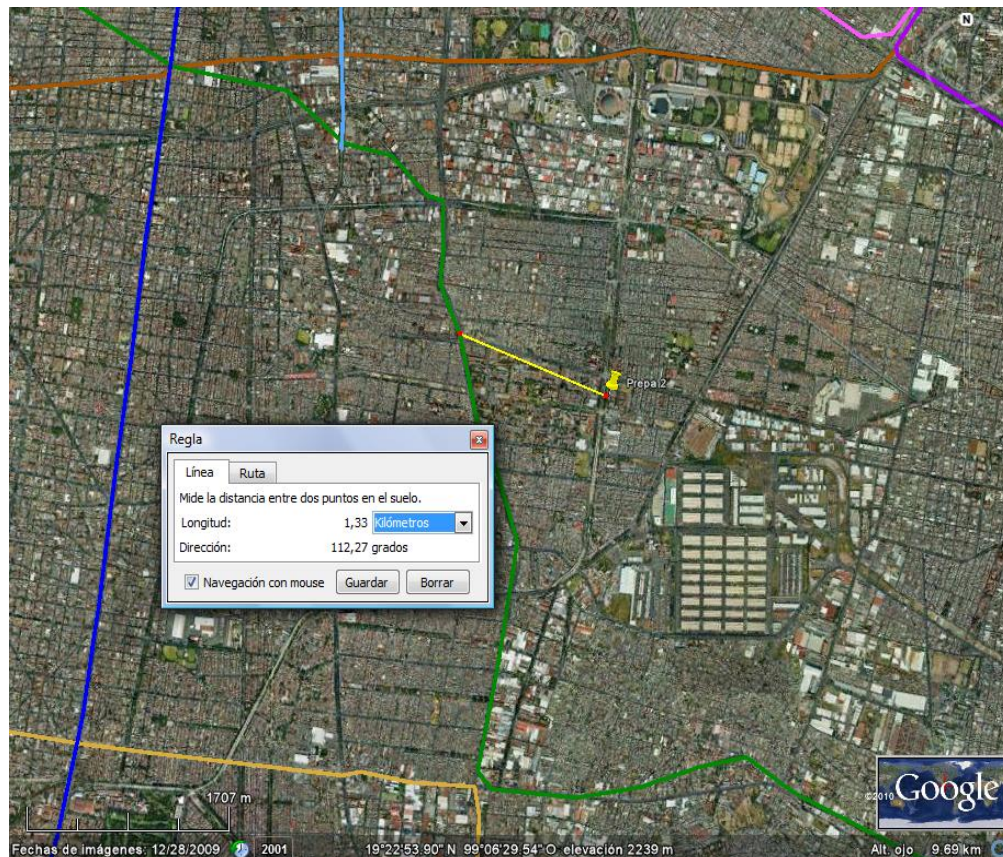


Figura 5.25 Topología lógica ENP 2 (Distancia total = 1.33km)

Escuela Nacional Preparatoria No. 7

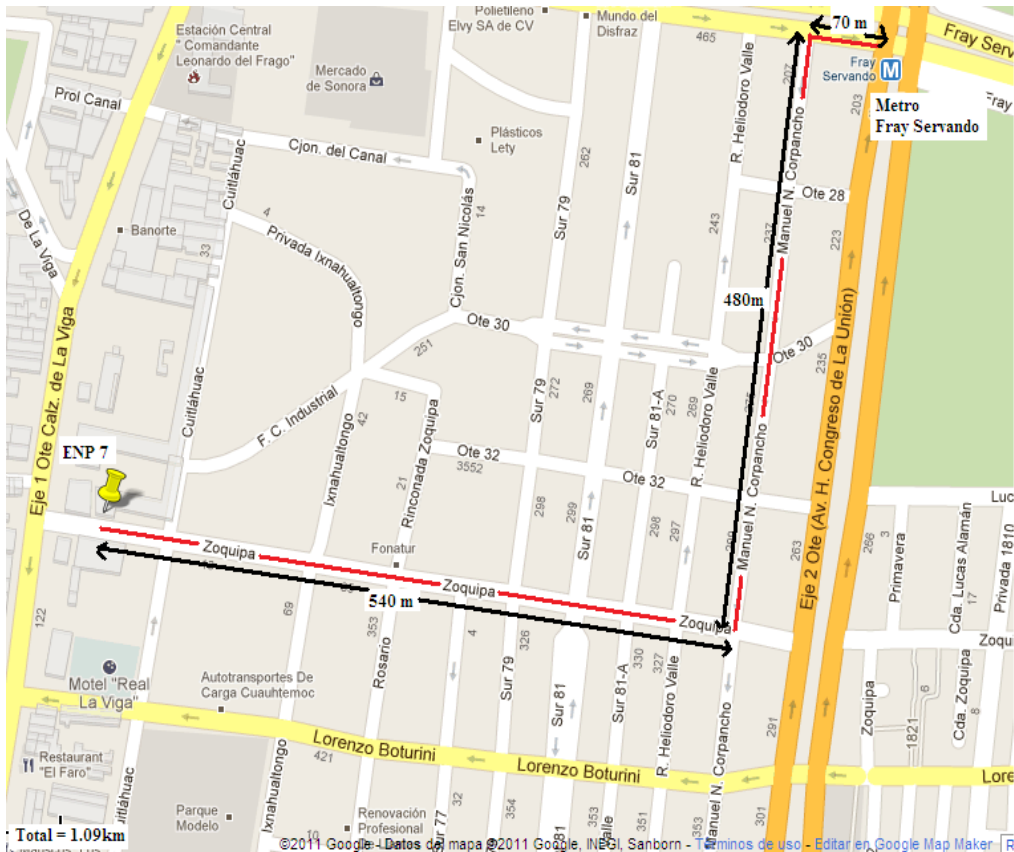


Figura 5.26 Topología física ENP 7 (Distancia total = 1.09km)

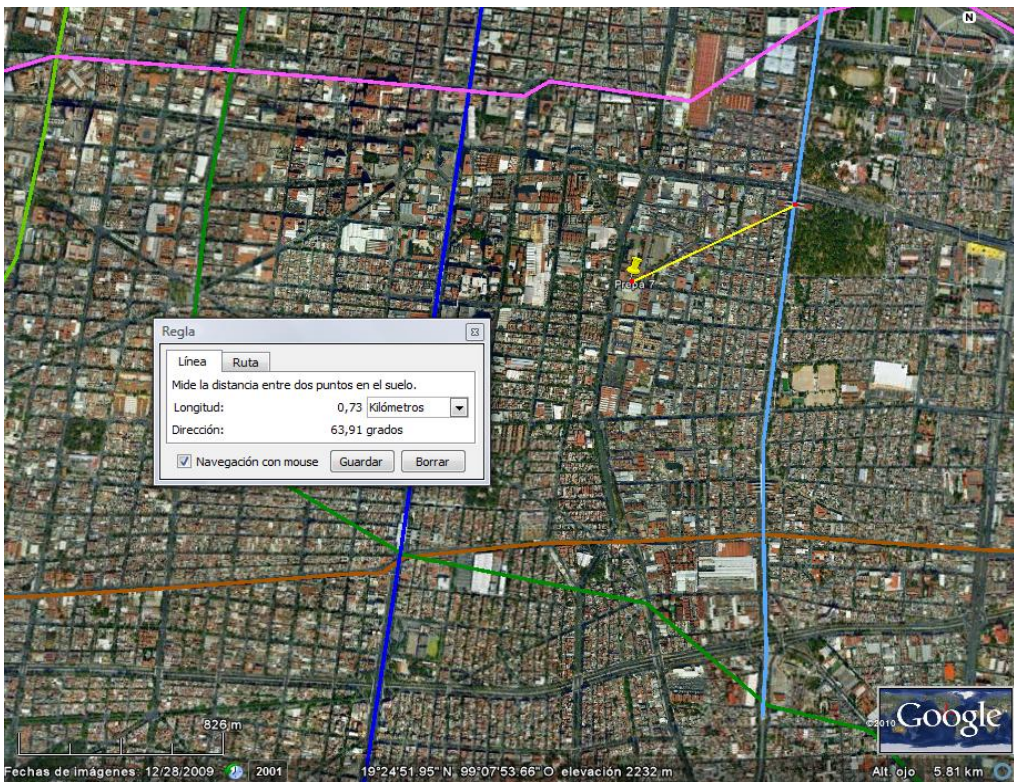


Figura 5.27 Topología lógica ENP 7 (Distancia total = 0.73km)

Escuela Nacional Preparatoria No. 9

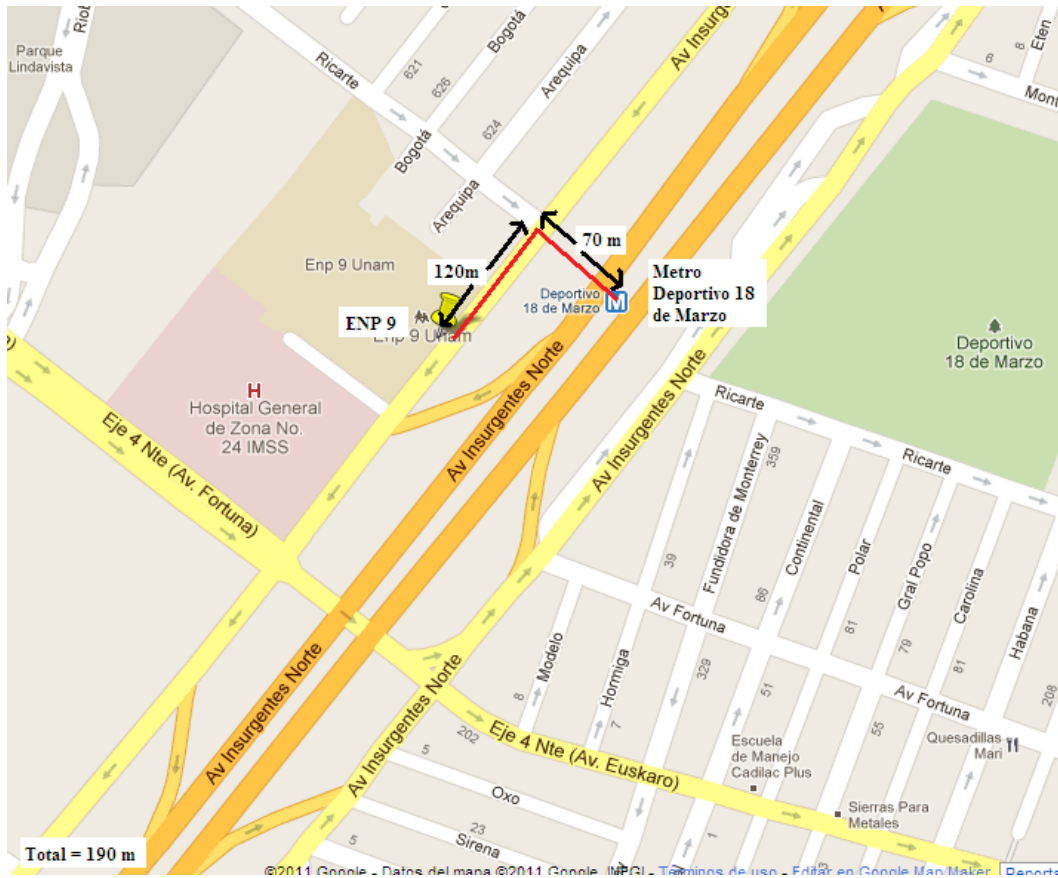


Figura 5.28 Topología física ENP 9 (Distancia total = 190m)

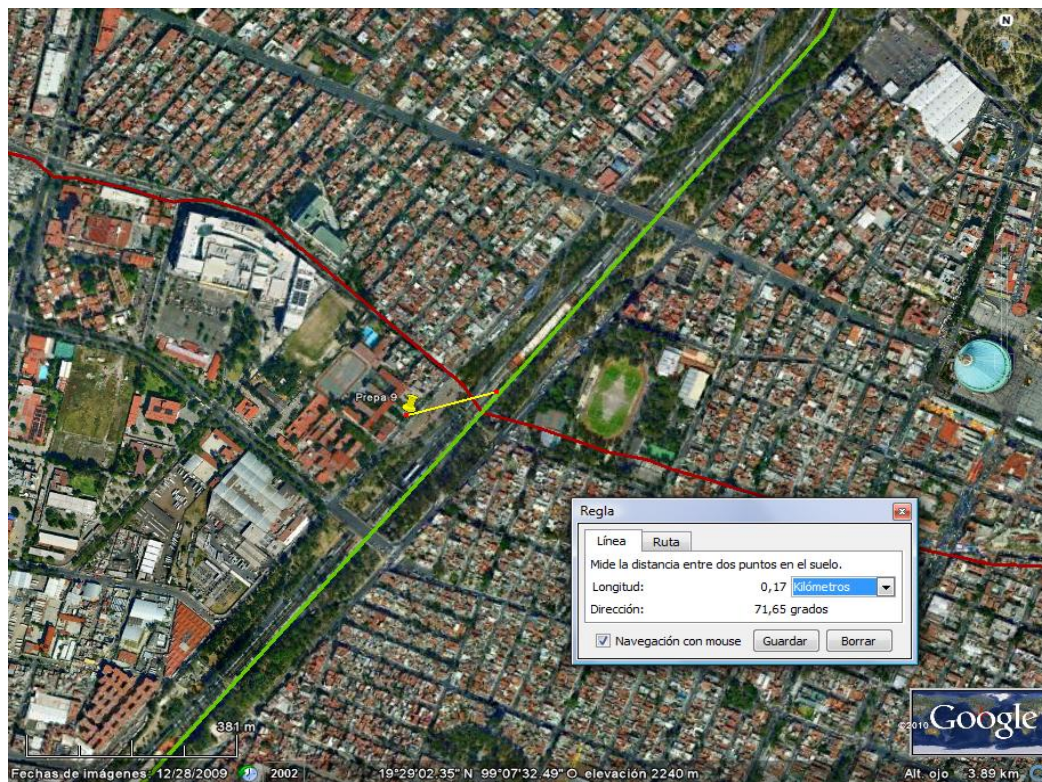


Figura 5.29 Topología lógica ENP 9 (Distancia total = 0.19km)

Colegio de Ciencias y Humanidades CCH Vallejo

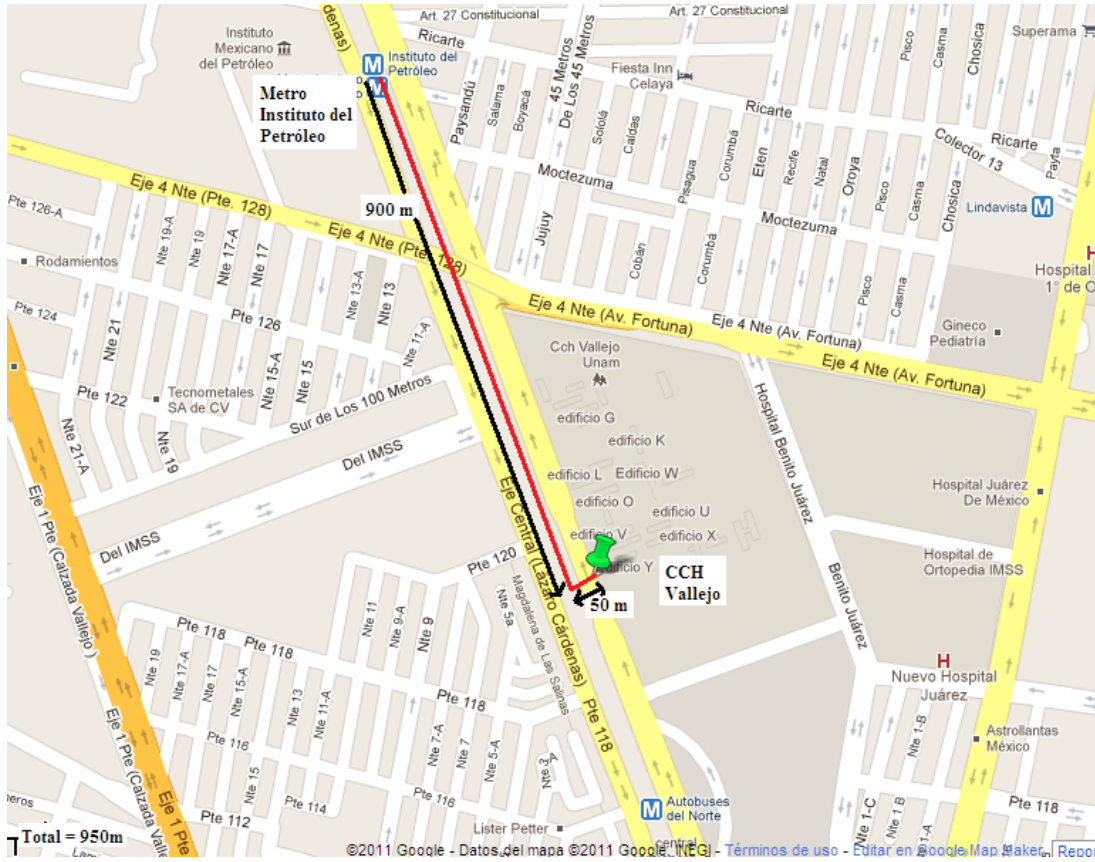


Figura 5.30 Topología física CCH Vallejo (Distancia total = 950m)



Figura 5.31 Topología lógica CCH Vallejo (Distancia total = 852.06m)

5.3.1.3 Opciones de diseño para la RedUNAM Metropolitana en su Fase 1

A continuación se muestran las posibles opciones con las que se podrían conectar las ENPs 2, 7, 9 y el CCH Vallejo a lo que sería la RedUNAM Metropolitana. Ver figuras 5.33, 5.34, 5.35 y 5.36.

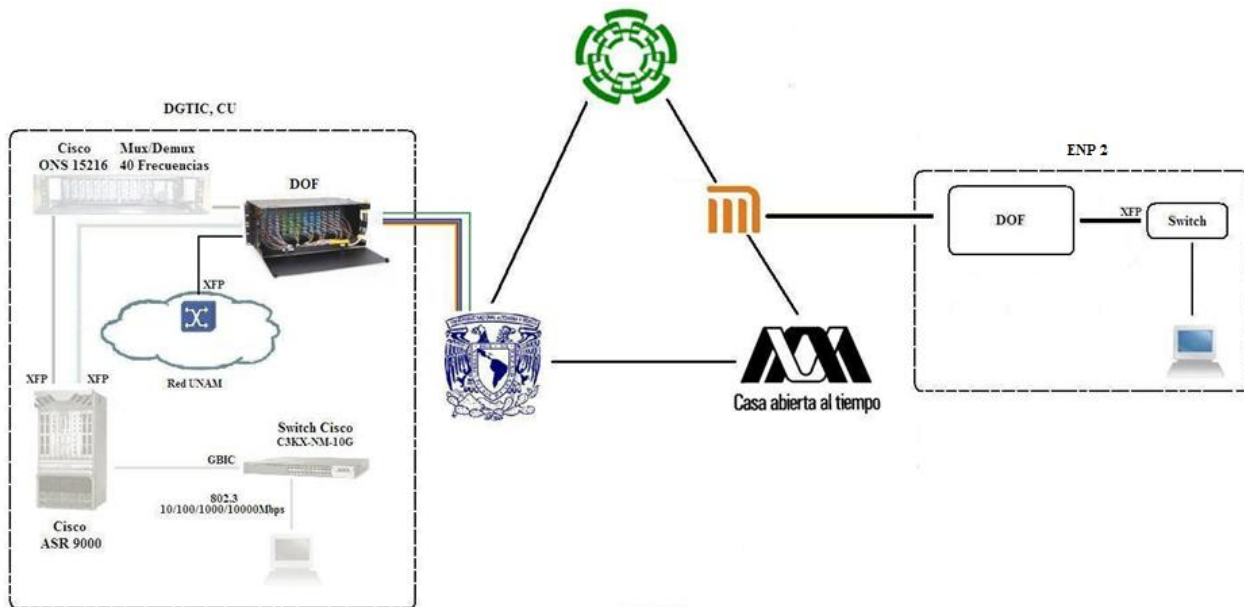


Figura 5.33 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (ENP2)

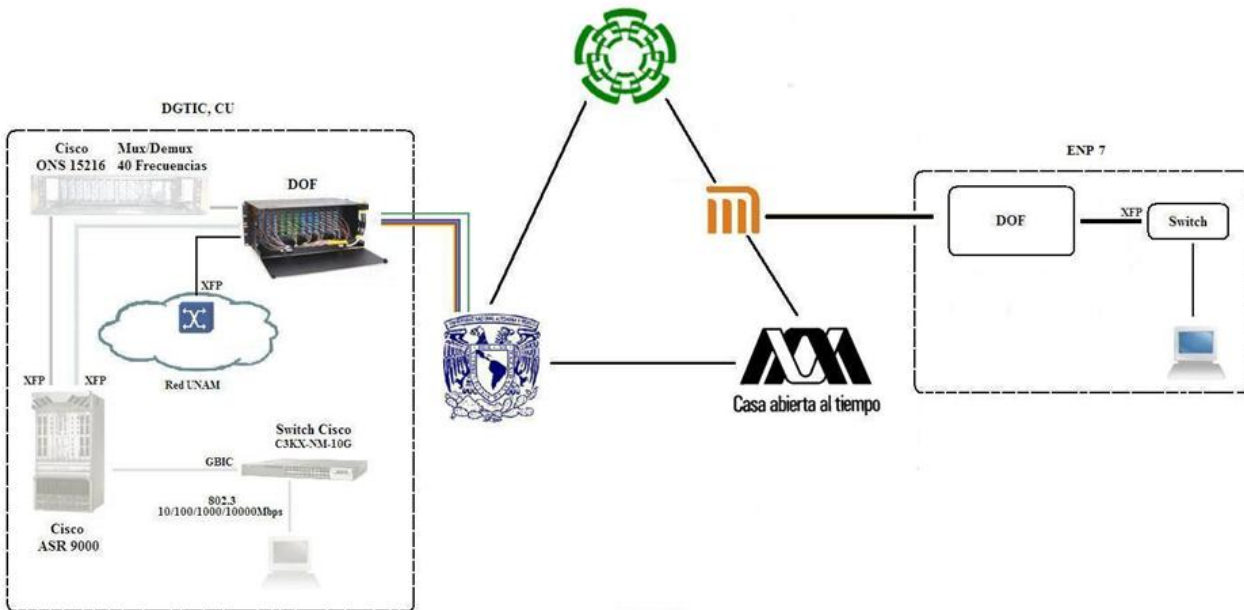


Figura 5.34 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (ENP7)

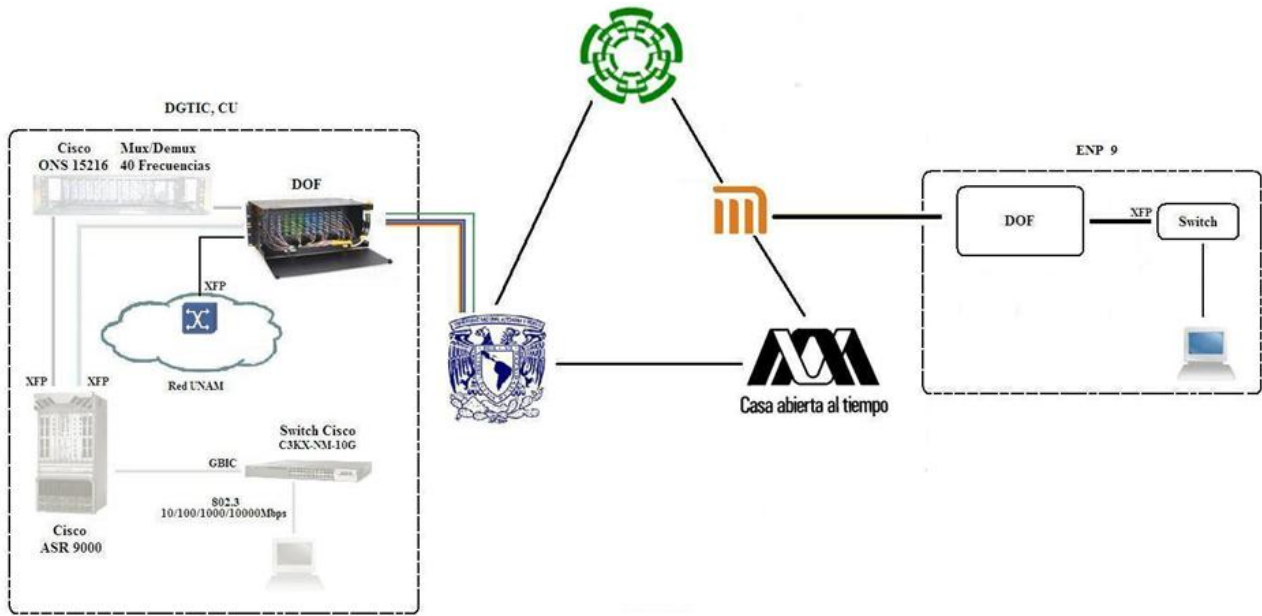


Figura 5.35 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (ENP9)

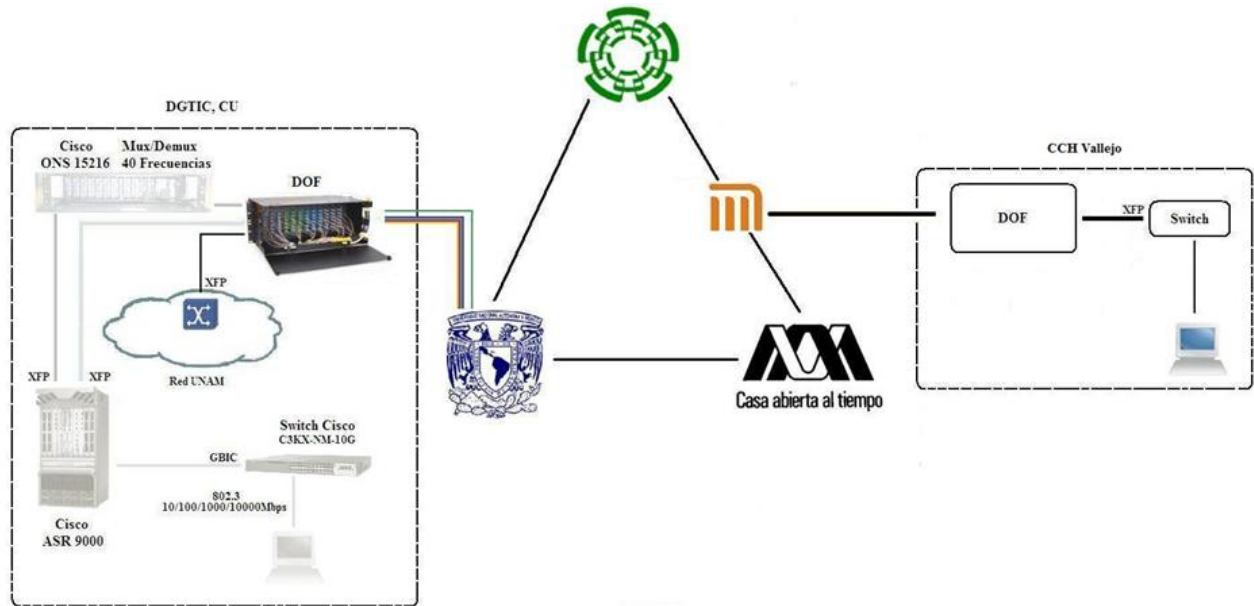


Figura 5.36 Sin WDM con otro par FO BB-Delta (CCH Vallejo)

Como se puede percibir en los diseños anteriores, no se utiliza WDM en la interconexión de estas dependencias, en su lugar, se ocuparían XFPs de largo alcance, con los cuales se estaría creando un nuevo e independiente *backbone* al que actualmente existe (Delta Metropolitana); lo que permitiría conectar a nuevas dependencias que vayan incorporando a la RedUNAM Metropolitana. Los beneficios de este diseño, es que no se tocaría para nada al principal *backbone* que existe entre la UAM, el CINVESTAV y la UNAM, asegurando así, su estabilidad y la no degradación de los niveles de potencia actuales.

5.4 Topología Normal de la RedUNAM Metropolitana

Considerando el desarrollo de todas las fases y la instalación de fibra óptica a lo largo de las calles de la ciudad de México, la RedUNAM Metropolitana podría quedar de la siguiente forma. Ver figura 5.37.

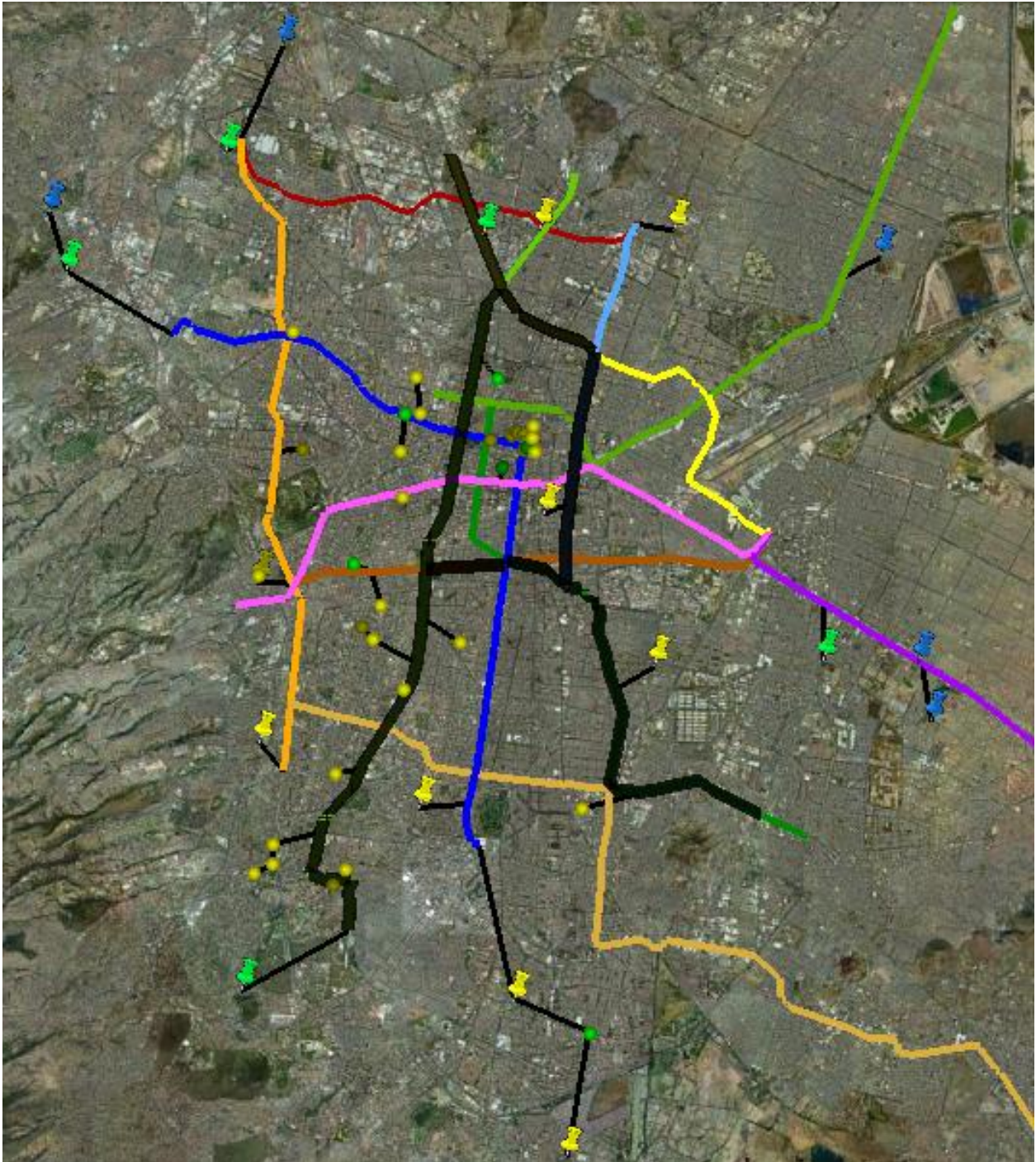


Figura 5. 37 Topología Normal de la RedUNAM Metropolitana

Esta topología considera las estaciones del STC más cercanas a las dependencias, sin considerar que estas puedan coexistir en estaciones adyacentes a otras dependencias; a esta otra topología le hemos llamado *Topología Potencial*.

5.5 Topología Potencial de la RedUNAM Metropolitana

Alternativamente, considerando a dependencias adyacentes a estaciones del STC, el desarrollo de todas las fases y la instalación de fibra óptica a lo largo de las calles de la ciudad de México, la RedUNAM Metropolitana podría quedar de la siguiente segunda forma. Ver figura 5.38.

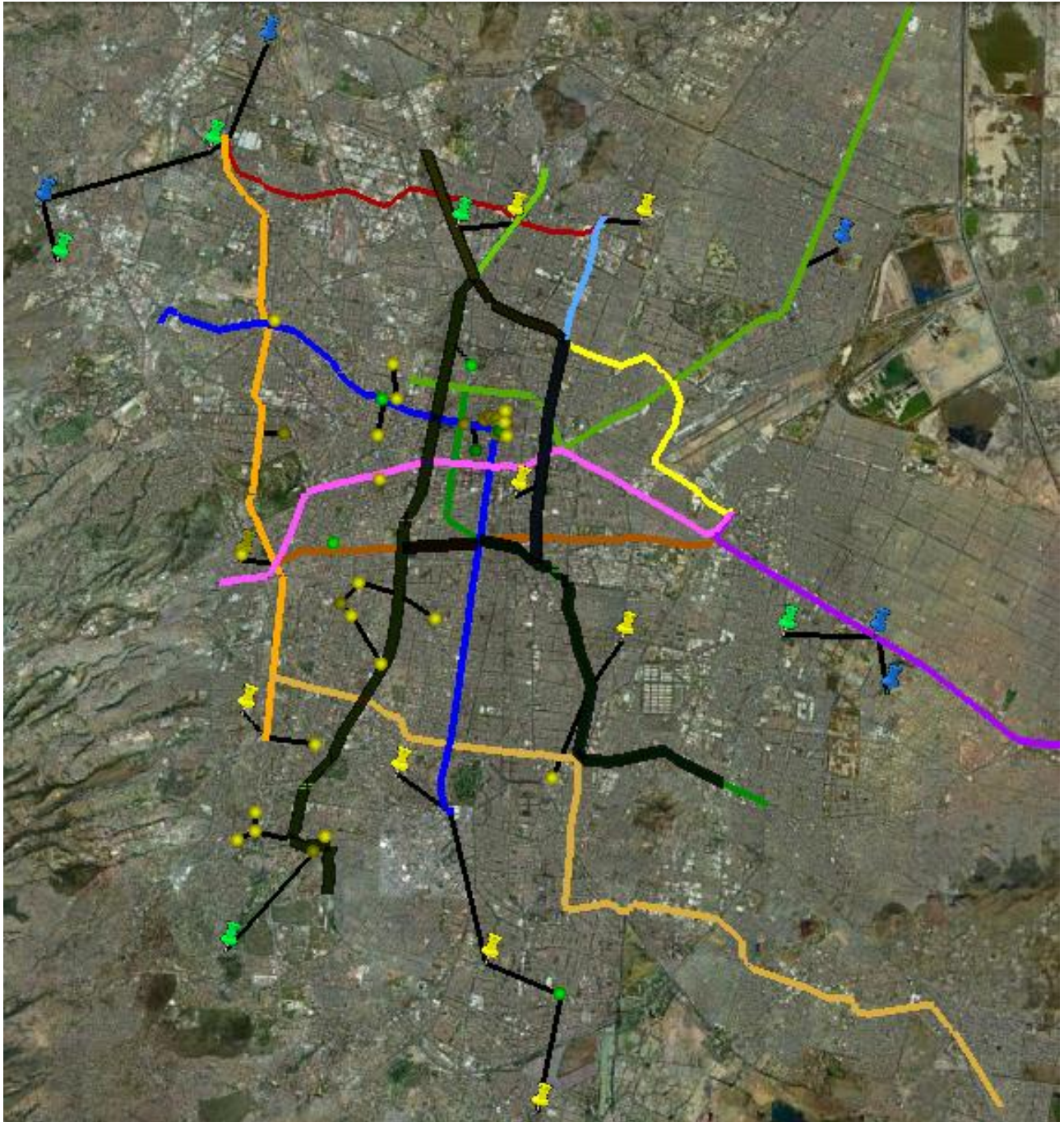


Figura 5.38 Topología Potencial de la RedUNAM Metropolitana

Esta topología considera a un grupo de dependencias adyacentes en una zona determinada, para conectarse a una misma estación logrando así, un menor número de empalmes en la red de fibra óptica de la Delta Metropolitana alterna a la opción de la *Topología Normal*.

5.6 Distribución de las dependencias de la UNAM en el Distrito Federal

Para ir finalizando, se muestra a continuación un desglose de la cantidad detallada de las 5 categorías en las que se agruparon las dependencias de la UNAM, listándose en la tabla 5.18 y mostrándose en la figura 5.39.

Dependencias	Número
ENP	9
CCH	5
FES	5
DGCTIC	7
Otros	30
Total	56

Tabla 5.18 Distribución de las dependencias de la UNAM

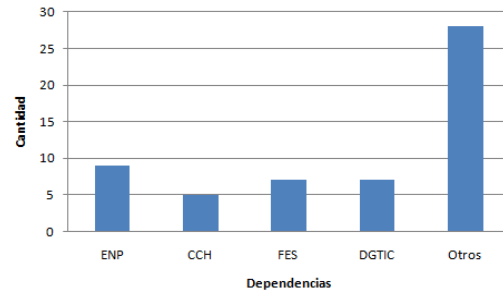


Figura 5.39 Distribución de las dependencias de la UNAM

De esta manera, también se mapearon y asignaron casillas a la zona del Distrito Federal para su mejor ubicación. A continuación en la figura 5.40 se muestra la densidad de dependencias en función de cada casilla/coordenada.

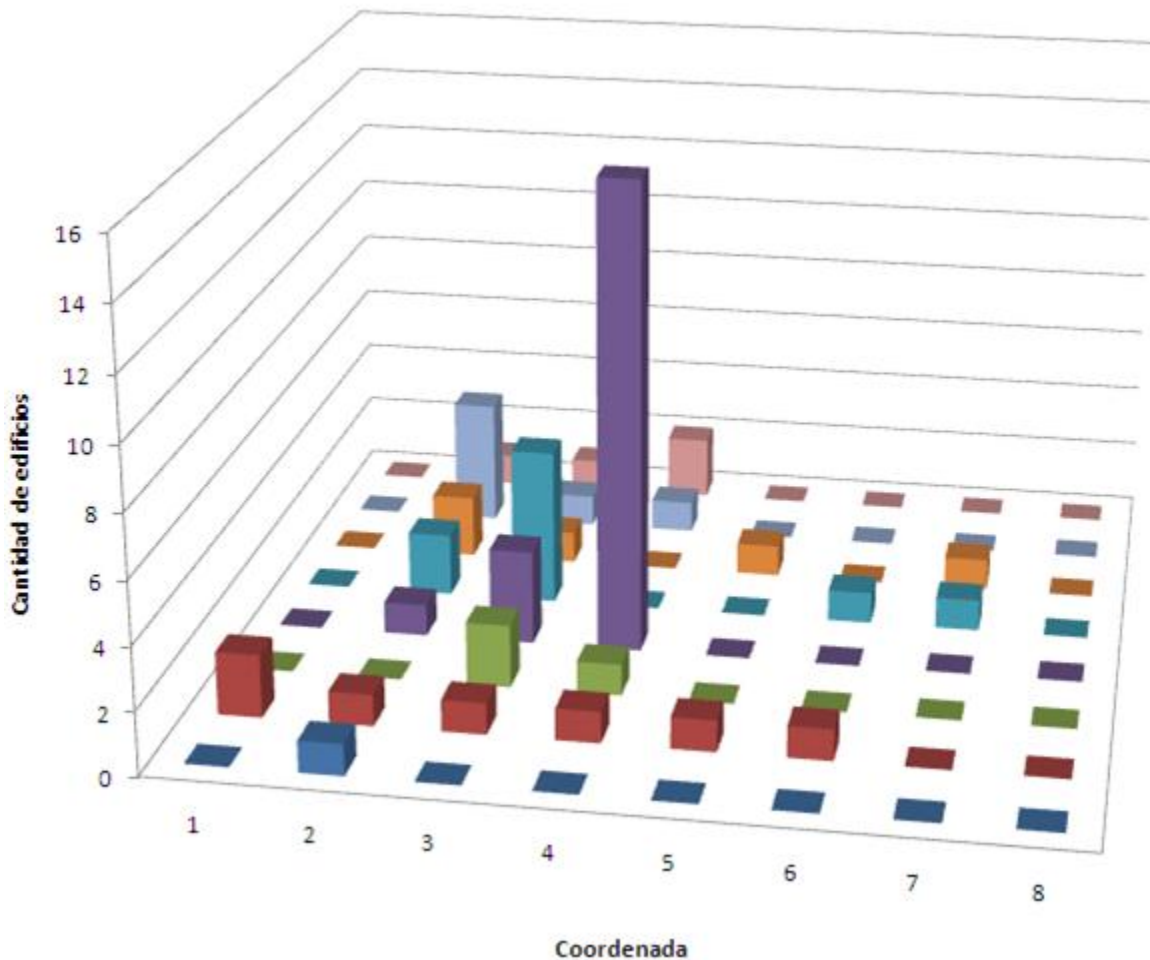


Figura 5.40 Distribución de las dependencias de la UNAM en el DF (3D)

5.7 Ventajas y desventajas de la propuesta

Es necesario mencionar en todo proyecto las posibles ventajas y desventajas en general con las propuestas de diseño. A continuación se hace un desglose de los posibles beneficios y contras que podría tener la creación de una red metropolitana por parte de la UNAM en la ciudad de México.

Desventajas

- Trámites delegacionales relativamente lentos.
- Construcción e implementación con una ROI en el mediano a largo plazo.
- Altos costos iniciales de infraestructura.
- Se requiere de mucho trabajo en conjunto por parte de las dependencias participantes.
- El acceso a las dependencias no está disponible a través del Internet comercial, aunque algunos servicios sí.

Ventajas

- Se contará con una red propia para interconectar a las dependencias de la UNAM.
- Reducción y/o eliminación de las rentas y pagos de los enlaces que actualmente se pagan a terceros para interconectar a las dependencias de la UNAM en la ZMCM.
- Se lograrán tener altas velocidades de transferencia de archivos.
- Se apoyará más directamente al sector de investigación y divulgación científica.
- Este tipo de redes son de uso exclusivamente académico, lo que favorece la colaboración entre académicos, estudiantes e investigadores.
- Las redes metropolitanas académicas poseen capacidades muy superiores a la Internet comercial (tasas de transferencias efectivas, no nominales).
- Tienen una calidad estable durante todo el día. No es necesario usar horas con menos tráfico (noche y madrugada) para transferir archivos o visualizar videos en tiempo real.
- El acceso a ellas no está disponible a través de Internet comercial, aunque algunos servicios sí.
- Van a la cabeza en el desarrollo de protocolos y servicios del futuro.

Por otra parte, las posibles aplicaciones a desarrollar y promover incluirían las siguientes:

- Transferencia de datos desde distintos dispositivos como acelerómetros, sismómetros, GPS, etc.
- Simulación de terremotos.
- Simulación Astronómica.
- Manipulación Remota de equipos y dispositivos.
- VESO (Virtual Earth Sun Observatory).
- OVSM (Observatorio Virtual Solar Mexicano).
- EMBOSS (European Molecular Biology OpenSource Suite).
- Transferencia masiva de datos.
- Videoconferencia de Alta Definición.
- Entre otras.

5.8 Pre-bases técnicas de la licitación

Las pre-bases técnicas de la licitación de la fase uno se encuentran actualmente en desarrollo. No se pudieron anexar a la tesis debido a cuestiones de privacidad. Cabe mencionar que estos procesos son de tiempo prolongado y esperar a la publicación de estos documentos excede a los tiempos de elaboración de esta tesis.

Para mayor información al respecto de la licitación y su publicación se puede consultar la información en las siguientes páginas web:

- <http://www.tic.unam.mx>
- <http://www.netlab.unam.mx>

Capítulo 6

Propuesta de Maqueta de Pruebas y Resultados esperados

En este capítulo se buscó documentar y desarrollar una maqueta de las pruebas (protocolo y realización de las mismas), así como también los resultados esperados, en base a los criterios que serían tomados en cuenta en la licitación de la red metropolitana que interconectará a las dependencias de la UNAM. Desafortunadamente, la licitación aún está en proceso, ya próxima a presentarse, como se comentó en el capítulo previo, por lo que sólo se presenta una propuesta de las primeras pruebas de funcionalidad, características y rendimiento de equipos WDM, que serían necesarias llevar a cabo para algunas aplicaciones del proyecto y la nueva red que se construirá.



PROTOCOLO GENERAL DE PRUEBAS DE WDM

Título: Proyecto: "RedUNAM Metropolitana"

Nombre de la Prueba:

- Primeras pruebas de funcionalidad, características y rendimiento de equipos WDM para algunas aplicaciones del proyecto.

Responsable(s):

- Azael Fernández Alcántara
- Ramón Gutiérrez Castrejón
- Salvador Cárdenas Sánchez

Duración:

- Una semana

Participantes:

- Azael Fernández Alcántara
- José Luis Gordillo Ruiz
- Axel Iván González B.
- Ramón Gutiérrez Castrejón
- Responsables de la marca de los equipos WDM a probar.
- Responsable de los equipos de medición ópticos que se usarán.



Objetivo General:

Este protocolo de pruebas consiste en hacer uso de los equipos WDM suministrados por el fabricante probando las características, funcionalidad y desempeño de los mismos y de sus partes ópticas, haciendo para ello mediciones en tiempo real de potencias de transmisión/recepción, de jitter, OSNR, etc., utilizando equipos de medición ópticos como por ejemplo un atenuador variable, y aplicaciones de supercómputo y cómputo, en tiempo real.

Para tal fin, se contempla la ejecución de las siguientes sub-pruebas:

- 1) Inventario de tarjetas y equipos de WDM ya instalados
- 2) Verificación de la configuración de la topología de la red.
- 3) Análisis del espectro óptico de los transceivers y de la señal transmitida a través de la fibra. Caso DWDM.
 - a) OSNR del transmisor
 - b) OSNR de la señal transmitida a través de la fibra
 - c) Lambdas medidas vs. nominales
 - d) Potencia de canales a la salida del transmisor
 - e) Potencia de canales de la señal transmitida a través de la fibra
- 4) Medición de potencia óptica y espectro de transmisión de los XFPs (10 Gb/s)
 - a) Para diferentes lambdas, servicios, etc.
- 5) Medición de pérdidas por inserción de los Mux/Demux
- 6) Prueba de inclusión y exclusión de canales en DWDM.
- 7) Prueba de software de administración y monitoreo.
 - a) Alarmas
 - b) Reportes
- 8) Pruebas de respaldo de la configuración.
- 9) Prueba de transferencia de información a diferentes bit rates.
- 10) Prueba de varios servicios por una lambda (capacidad de agregación)
- 11) Prueba de un servicio por una lambda
- 12) Prueba de protección de ruta
- 13) Prueba de OADM.
- 20) Transferencia de archivos
- 21) Ancho de banda MPI-fibra
- 22) Transmisión de datos desde equipos para registrar sismos
- 23) Videoconferencia de Alta Definición (HD)



Sub-Pruebas:

- 1) Inventario de tarjetas y equipos
- 2) Verificación de la configuración de la topología de la red.
- 3) **Análisis del espectro óptico de los transceivers y de la señal transmitida a través de la fibra. Caso DWDM.**
 - a) OSNR del transmisor
 - b) OSNR de la señal transmitida a través de la fibra
 - c) Lambdas medidas vs. nominales
 - d) Potencia de canales a la salida del transmisor
 - e) Potencia de canales de la señal transmitida a través de la fibra

Descripción:

Mediante el uso de un OSA (Optical Spectrum Analyzer) se hará un análisis del perfil espectral de la señal del equipo DWDM bajo prueba y se verificará que éste posea el espaciamiento intercanal especificado. Asimismo, se medirá la potencia de los canales a la salida del transmisor y la potencia de los canales de la señal transmitida a través de la fibra, además se calculará la relación señal a ruido óptica (OSNR) del transmisor y de la señal transmitida a través de la fibra.

Diagrama:

A continuación se muestra un diagrama de conexiones:

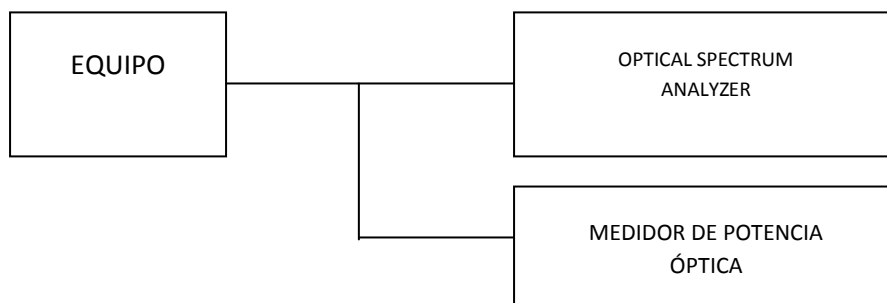


Figura 2. Conexiones entre equipos de medición ópticos y equipo DWDM bajo prueba



Objetivo:

Se verificará que el equipo DWDM bajo prueba posea el espaciado intercanal especificado, se evaluará la OSNR del transmisor y de la señal transmitida a través de la fibra, así como la potencia a la salida de cada canal del equipo DWDM bajo prueba y la potencia de la señal transmitida a través de la fibra óptica.

Recursos:

Requeridos del NETLab:

- Corriente directa de -48V y AC de 110/220 V.
- Puntos de red, fibra óptica, conectores, cables UTP, etc.
- Tramo de aprox. 30 km de FO SMF marca PRYSMIAN OPSYCOM 7537

Proporcionados por el proveedor de equipos WDM a probar:

- 4 transmisores de 2.5 Gb/s a diferentes lambdas coincidentes con canales DWDM
- 2 transmisores de 10 Gb/s a diferentes lambdas coincidentes con canales DWDM

Equipos de medición ópticos:

- OSA (analizador de espectro óptico) para bandas ópticas O, E, S, C y L con al menos 0.05 nm de resolución.

Desarrollo:

1.- Configurar el equipo DWDM para transmitir entre cuatro y seis canales, dependiendo de disponibilidad.

2.- Conectar el OSA a la salida multiplexada del equipo DWDM. Fijar resolución del OSA a 0.1 nm.

3.- Medir la potencia, lambda central, OSNR, y espaciado intercanal de las señales recibidas en el OSA. Apuntar la resolución utilizada. Comparar con especificaciones del fabricante.



4.- Conectar la fibra de transmisión al sistema DWDM y al OSA para medir los parámetros después de la transmisión. Fijar resolución del OSA a 0.1 nm.

5.- Medir la potencia, lambda central, OSNR, y espaciamiento intercanal de las señales recibidas en el OSA. Apuntar la resolución utilizada. Comparar con especificaciones del fabricante.

Notas adicionales:

En todos los casos guardar los resultados (imágenes) observados en el OSA.

4) Medición de potencia óptica y espectro de transmisión de los XFPs (10 Gb/s)
a) Para diferentes lambdas, servicios, etc.

Descripción:

Se empleará un Medidor de Potencia Óptica para medir la potencia de los XFP's (10 Gbps) para distintas longitudes de onda.

Mediante el uso de un OSA (Optical Spectrum Analyzer) se hará un análisis del espectro de transmisión de los XFP's (10Gbps).

Diagrama:

A continuación se muestra un diagrama de conexiones:

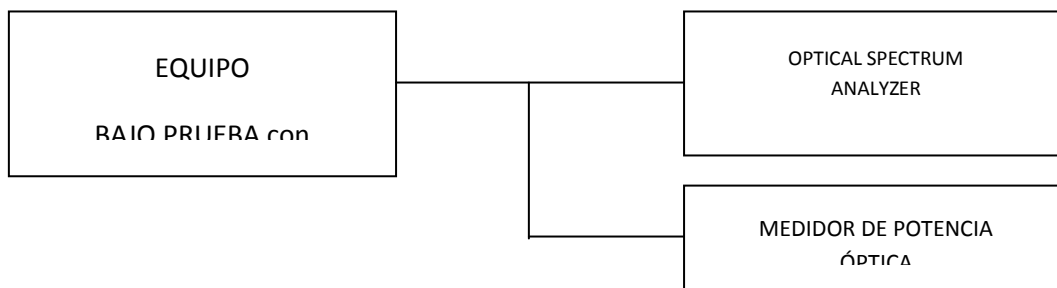


Figura 3. Conexiones entre equipos de medición ópticos y equipo bajo prueba con XFP's a 10 Gbps



Objetivo:

Se medirá la potencia del transceptor óptico de 10 Gbps para distintas longitudes de onda y se analizará a detalle el espectro de transmisión del mismo.

Recursos:

Requeridos del NETLab:

- Corriente directa de -48V y AC de 110/220 V.
- Puntos de red, fibra óptica, conectores, cables UTP, etc.

Proporcionados por el proveedor de equipos WDM a probar:

- XFPs de diferentes longitudes de onda y características (short-reach, long-reach, etc.).

Equipos de medición ópticos:

- OSA (Analizador de Espectro Óptico) para bandas ópticas O, E, S, C y L con al menos 0.05 nm de resolución.
- Medidor de Potencia Óptica para operar alrededor de 1550 y 1300 nm.

Desarrollo:

1.- Conectar los transmisores del equipo bajo prueba directamente al Medidor de Potencia Óptica y medir la potencia de cada uno de los XFP's disponibles para distintas longitudes de onda y características. Elaborar una tabla de dos columnas especificando las características del XFP y la potencia óptica medida correspondiente, anotar las unidades de medición. Comparar con especificaciones del fabricante.

2.- Conectar los transmisores del equipo bajo prueba directamente al Optical Spectrum Analyzer (OSA). Fijar la mejor resolución del OSA (0.05 nm o menos). Anotar la resolución.

3.- Analizar el espectro de transmisión de cada uno de los XFP's disponibles para distintas longitudes de onda y características. Medir λ central y el ancho espectral de la fuente analizada.



Notas adicionales:

En todos los casos guardar los resultados (imágenes) observados en el OSA.

5) Medición de pérdidas por inserción de los Mux/Demux

Descripción:

Se evaluarán las pérdidas ocasionadas por el banco de filtros de los dispositivos Multiplexores (Mux) y Demultiplexores (Demux) ópticos empleados en este sistema de comunicación para diferentes canales (lambdas).

En el caso de los Multiplexores ópticos, se medirá la potencia que se introduce en uno de sus canales y la potencia que se tiene a la salida de este dispositivo. Análogamente para el Demultiplexor óptico se medirá la potencia que se recibe y la potencia a la salida del canal correspondiente.

Diagrama:

A continuación se muestra el diagrama de medición:

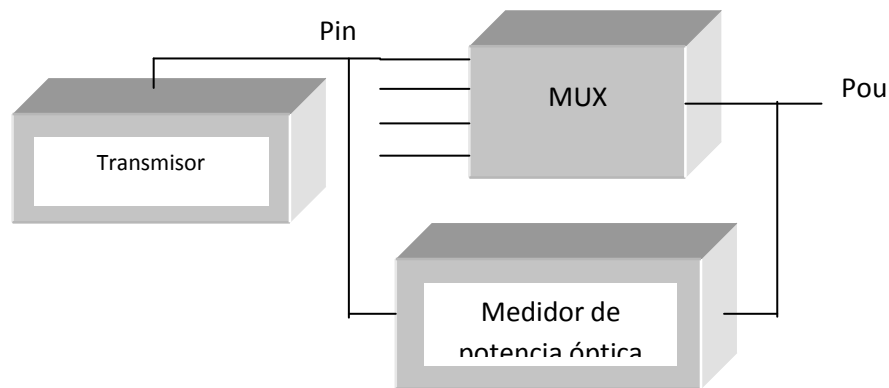


Figura 5. Medición de la potencia a la entrada y salida del multiplexor óptico

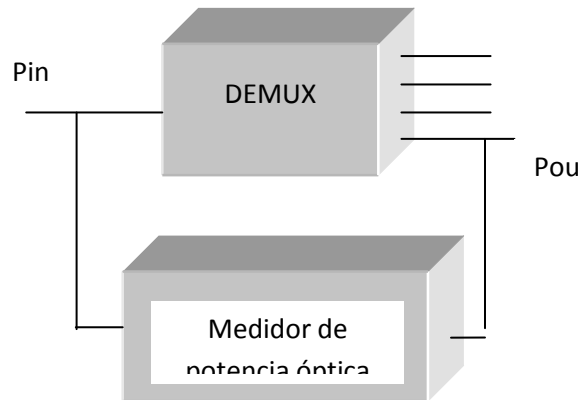


Figura 6. Medición de la potencia a la entrada y salida del demultiplexor óptico

Objetivo:

Medir y evaluar las pérdidas ocasionadas por la introducción de los dispositivos Multiplexores (Mux) y Demultiplexores (Demux) ópticos en este sistema de comunicaciones.

Recursos:

Requeridos del NETLab:

- Corriente directa de -48V y AC de 110/220 V.
- Tramo de aprox. 30 km de FO SMF marca PRYSMIAN OPSYCOM 7537

Proporcionados por el proveedor de equipos WDM a probar:

- 4 transmisores a 2.5 Gb/s de diferente lambda
- 2 transmisores de 10 Gbps de diferente lambda

Equipos de medición ópticos:

- Medidor de Potencia Óptica para operar alrededor de 1550 y 1300 nm.

Desarrollo:

1.-Conectar el Medidor de Potencia Óptico a la salida del transmisor para cada uno de los canales a ser evaluados. Medir la potencia de salida.



2.- Conectar los canales evaluados al MUX y conectar el Medidor de Potencia Óptico a la salida de este dispositivo. Ver la figura 5. Medir la potencia de salida.

3.- Registrar los valores en la siguiente tabla indicando las unidades:

MUX			
	$\lambda=$	$\lambda=$	$\lambda=$
Pin			
Pout			

4.-Calcular la atenuación por las pérdidas de inserción para una longitud de onda determinada con la siguiente ecuación:

$$\alpha(\lambda) = 10\log(P_{out} / P_{in})$$

5.-Comparar y juzgar resultados.

6.- Conectar el Medidor de Potencia Óptico a la salida de la fibra óptica de transmisión o jumper. Transmitir por dicha fibra cada uno de los canales que se utilizaron para medir las pérdidas del MUX. Medir la potencia recibida para cada uno de los canales.

7.- Conectar la fibra óptica a la entrada del DEMUX.

8.-Conectar el Medidor de Potencia óptica a la salida del DEMUX para cada uno de los canales analizados. Ver figura 6.

9.- Análogamente, utilizando el medidor de potencia óptica obtener la potencia de la señal a la salida del DEMUX para el canal correspondiente.



10.- Registrar los valores en la siguiente tabla indicando las unidades:

DEMUX			
	$\lambda =$	$\lambda =$	$\lambda =$
Pin			
Pout			

11.-Calcular la atenuación por las pérdidas de inserción para una longitud de onda determinada con la siguiente ecuación:

$$\alpha(\lambda) = 10 \log(P_{in} / P_{out})$$

12.-Comparar y juzgar resultados.

6) Prueba de inclusión y exclusión de canales en DWDM.

Descripción:

Se observará el comportamiento en la potencia, espacio intercanal así como en la frecuencia central al conectar y desconectar cada uno de los canales del multiplexor en DWDM.

Diagrama:

A continuación se muestra el diagrama de conexiones:

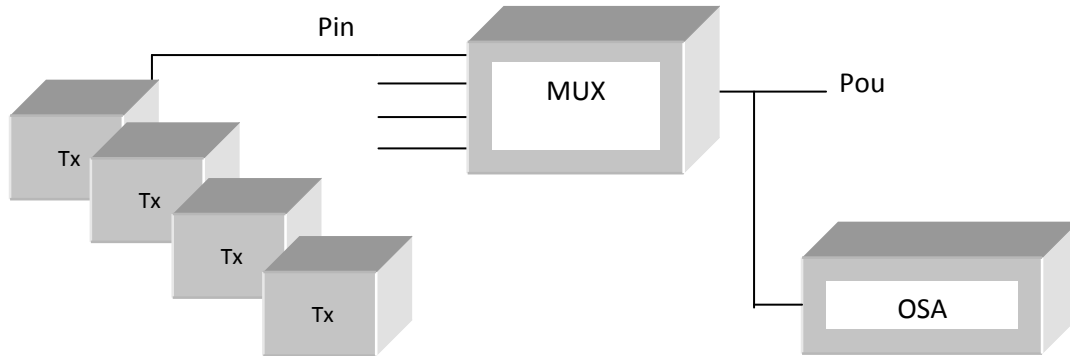


Figura 11. Conexiones para la medición de potencia, frecuencia central y espacio intercanal por inclusión de canales

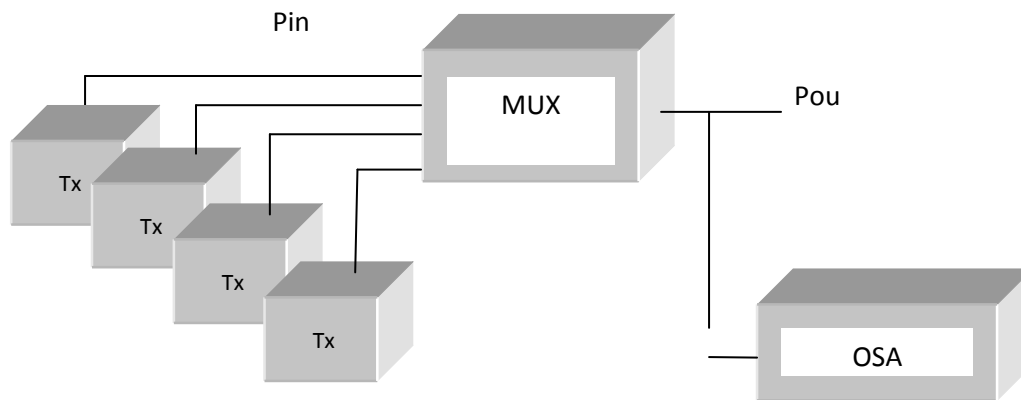


Figura 12. Conexiones finales para la medición de potencia, frecuencia central y espacio intercanal por inclusión de canales

Objetivo:

Medir y evaluar con ayuda del Optical Spectrum Analyzer el comportamiento de la potencia, la frecuencia central y el espacio intercanal que tienen al introducir y retirar cada uno de los canales del multiplexor.



Recursos:

Requeridos del NETLab:

- Corriente directa de -48V y AC de 110/220 V.
- 1 computadora
- Rack de tamaño estándar

Proporcionados por el proveedor de equipos WDM a probar:

- 3 chasis WDM, de preferencia dos medianos y uno pequeño
- 1 XFP's de 10 Gbps
- 2 Multiplexor/Demultiplexor 40 canales
- 3 SFP's de 2.5 Gbps
- Cables (patch) de Fibra Óptica monomodo (varios) para OADM/Equipos de medición ópticos de preferencia SC.

Equipos de medición ópticos:

- OSA (analizador de espectro óptico) para bandas ópticas O, E, S, C y L con al menos 0.05 nm de resolución.

Desarrollo:

1.-Conectar los dispositivos como se muestra en la figura 11, primero se harán las mediciones con un solo canal conectado al multiplexor.

2.-Generar una señal a la lambda correspondiente.

3.-Mediante el Optical Spectrum Analyzer observar la señal a la salida del multiplexor óptico y obtener de esta la potencia y la frecuencia central a la que se encuentre.

4.-Incluir otro canal en el multiplexor óptico sin retirar el/los anteriores.



5.- Mediante el Optical Spectrum Analyzer observar las señales a la salida del multiplexor óptico y obtener de estas la potencia, la frecuencia central a la que se encuentra cada una y el espacio intercanal que presentan.

6.-Observar si se modificó la potencia, la frecuencia central o el espacio intercanal de cualquiera de las señales anteriores al introducir el canal adicional.

7.-Repetir los pasos 4 a 6 hasta tener insertadas un total de 4 canales en el multiplexor tal y como se muestra en la figura 12.

8.-Completar la siguiente tabla con los valores registrados especificando las unidades en cada campo correspondiente:

	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4
Potencia				
Frecuencia Central				
Espacio Intercanal				

9.-Se realizará el proceso inverso, es decir, ahora se observará el comportamiento de la potencia, espacio intercanal y frecuencia central de cada una de las señales al retirar del multiplexor cada uno de los canales que se introdujeron anteriormente.

10.-Retirar uno de los canales que fue introducido anteriormente, y con ayuda del Optical Spectrum Analyzer observar si hubo alguna variación en las otras señales, es decir, si se modificó de éstas su potencia, el espacio intercanal o su frecuencia central, de ser el caso registrarlos en la siguiente tabla especificando las unidades en cada campo correspondiente:

	Canal 1	Canal 2	Canal 3
Potencia			
Frecuencia Central			
Espacio Intercanal			



11.- Retirar otro de los canales que aún se encuentran conectados al multiplexor y observar si hubo alguna variación en las otras señales, es decir, si se modificó de éstas su potencia, el espacio intercanal o su frecuencia central, de ser el caso registrarlos en la siguiente tabla especificando las unidades en cada campo correspondiente:

	Canal 1	Canal 2
Potencia		
Frecuencia Central		
Espacio Intercanal		

12.- Retirar finalmente uno de los canales que aún se encuentran conectados al multiplexor y observar si hubo alguna variación en la señal restante, es decir si se modificó de ésta su potencia, el espacio intercanal o su frecuencia central, de ser el caso registrarlos en la siguiente tabla especificando las unidades en cada campo correspondiente:

	Canal 1
Potencia	
Frecuencia Central	
Espacio Intercanal	

13.-Evaluar resultados.

7) Prueba de software de administración y monitoreo.

- a) Alarmas
- b) Reportes

8) Pruebas de respaldo de la configuración

9) Prueba de transferencia de información a diferentes bit rates.

10) Prueba de varios servicios por una lambda (capacidad de agregación)

11) Prueba de un servicio por una lambda

12) Prueba de protección de ruta

13) Prueba de OADM



20) Transferencia de archivos

Descripción:

Se utilizará la herramienta **gridftp** para transferir archivos entre dos equipos remotos. **gridftp** proporciona extensiones al protocolo FTP que permiten partir un archivo y transferir las partes en paralelo, aprovechando así la capacidad de canales de banda ancha.

Recursos:

- 2 computadoras con puertos 10G.
- 1 switch 10G (no importa el número de puertos).
- “testbed” WDM.
- Cada computadora debe tener una IP, y deben estar en una misma red.
- Sistema operativo Linux.
- 1 cuenta de usuario en cada máquina (preferentemente mismo login).
- GSI
- Gridftp

Desarrollo:

1.- La prueba se llevará a cabo en dos fases: primero con los equipos conectados al Switch 10G, y después conectados al “testbed” de WDM. Esto nos permitirá tener un marco de referencia que elimine los factores de desempeño de los equipos de cómputo.

2.- Se transferirán archivos de 1GB, 2GB, 4GB, 8GB, 16GB, 32GB, 64GB, 128GB. Cada transferencia se realizará 10 veces. Se obtendrá el promedio de cada transferencia y se computará la tasa de transferencia como función del tamaño del archivo.

Notas adicionales:

Si se mantienen los mismos equipos de cómputo durante todas las pruebas WDM, sólo será necesario hacer una vez la prueba con el Switch 10G.

14) Ancho de banda MPI-fibra



Descripción:

Se utilizará el “Benchmark” **mpptest** para caracterizar las comunicaciones entre dos equipos conectados en una red de área amplia. Estas comunicaciones se llevarán a cabo entre procesos ejecutándose en dos computadoras “remotas” conectadas a través de una fibra óptica de N kilómetros y de los equipos WDM. Las pruebas particulares que se harán con mpptest son:

- Comunicaciones síncronas, punto a punto de mensajes cortos en cache.
- Comunicaciones síncronas, punto a punto de mensajes cortos fuera del cache.
- Comunicaciones síncronas, punto a punto de mensajes largos en cache.
- Comunicaciones síncronas, punto a punto de mensajes largos fuera de cache.
- Comunicaciones asíncronas, punto a punto de mensajes cortos en cache.
- Comunicaciones asíncronas, punto a punto de mensajes cortos fuera del cache.
- Comunicaciones asíncronas, punto a punto de mensajes largos en cache.
- Comunicaciones asíncronas, punto a punto de mensajes largos fuera de cache.
- Comunicaciones síncronas de bisección de mensajes cortos en cache.
- Comunicaciones síncronas de bisección de mensajes cortos fuera del cache.
- Comunicaciones síncronas de bisección de mensajes largos en cache.
- Comunicaciones síncronas de bisección de mensajes largos fuera de cache.
- Comunicaciones asíncronas de bisección de mensajes cortos en cache.
- Comunicaciones asíncronas de bisección de mensajes cortos fuera del cache.
- Comunicaciones asíncronas de bisección de mensajes largos en cache.
- Comunicaciones asíncronas de bisección de mensajes largos fuera de cache.

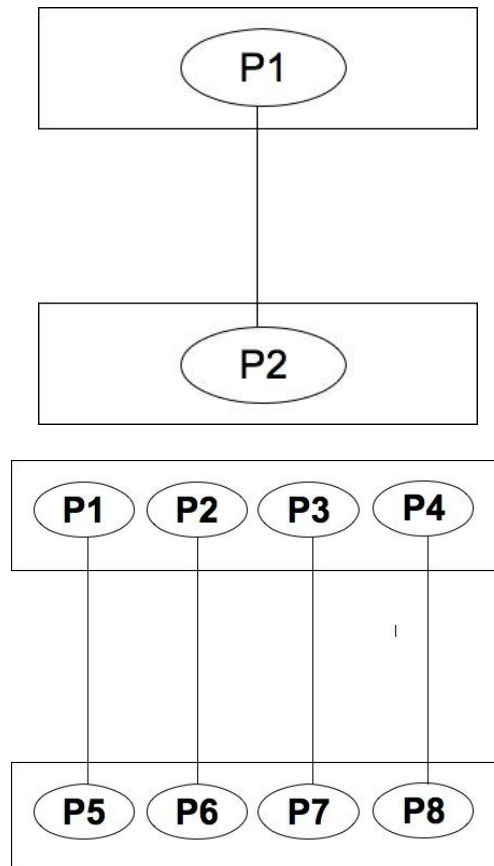
De estas pruebas, se determinarán los siguientes datos:

Parámetro	Referencia B2B	Referencia B2B GigaE	WAN-WDM
Latencia	62 usecs	35 usecs	
Ancho de banda PP	1320 Mbits/s	498 Mbits/s	
Ancho de banda Bisect	2625 Mbits/s	1123 Mbits/s	



Diagrama:

Se muestran los esquemas de interacción para pruebas punto a punto y bisección, respectivamente.



Objetivo:

Obtener métricas de ancho de banda y latencia de comunicaciones entre procesos bajo distintos esquemas de interacción.



Recursos:

- 2 computadoras con puertos ethernet.
- Conexión B2B
- “testbed” WDM.
- Cada computadora debe tener una IP, y deben estar en una misma red.
- Sistema operativo Linux.
- 1 cuenta de usuario en cada máquina (preferentemente mismo login).
- Biblioteca MPICH
- Aplicación **mpptest**

Desarrollo:

1.- Cada tipo de prueba se llevará a cabo en dos fases: primero con los equipos conectados B2B, y después conectados al “testbed” de WDM. Esto nos permitirá tener un marco de referencia que elimine los factores de desempeño de los equipos de cómputo.

2.- Se configurará la aplicación **mpptest** para hacer cada una de las 16 pruebas. Cada prueba se repetirá dos veces para verificar la confiabilidad de los resultados arrojados.

La información resultante permitirá conocer la rancia y el ancho de banda en función de la longitud del mensaje.

22) Transmisión de datos desde equipos para registrar sismos.

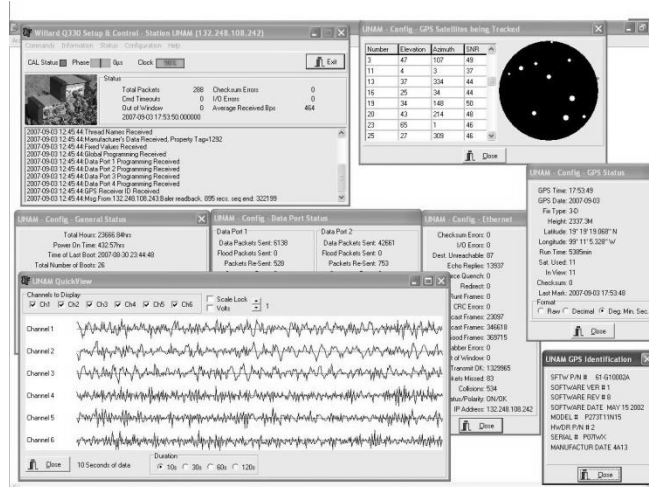
Descripción:

Esta prueba consistirá en la transferencia de los datos adquiridos por un acelerómetro y un sismómetro, similares a los utilizados en estaciones remotas para medir la actividad sísmica, el almacenaje de la información en un disco duro y su posterior transmisión por red.

Se tomará como referencia la posición obtenida por un receptor GPS, a partir de una antena localizada en la azotea de DGCTIC (Antes DGSCA), por medio de una conexión con cable coaxial.



Diagrama:



Objetivo:

Registrar en forma continua sin interrupciones, los datos adquiridos por equipo de medición de actividad sísmica.

Recursos:

- Computadora personal con Windows.
- Sismógrafo – Digitalizador Quanterra Q330
- Acelerógrafo (sensor de aceleración y velocidad)
- Sismómetro de Banda ancha.
- Disco duro Baler
- Antena GPS marca Trimble
- Switch Gigabit marca Linksys

Desarrollo

Se instalará una aplicación de captura de los datos adquiridos por el acelerómetro y el sismómetro, en una computadora.

Con los equipos localizados en el laboratorio, se obtendrá y mostrará en la pantalla de un monitor, las señales de las ondas sísmicas en componentes norte-sur, este-oeste y vertical.



23) Videoconferencia de Alta Definición (HD)

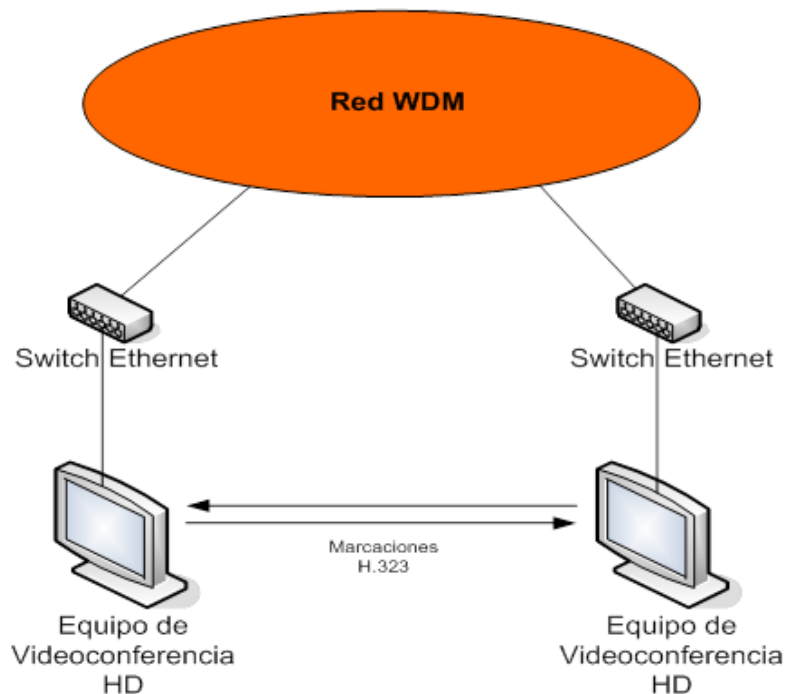
Descripción:

La conexión de los 2 sistemas de videoconferencia será a través de puertos Ethernet, se les configurará una dirección IP del laboratorio por equipo en cada extremo. Desde un códec se marcará al otro a diferentes calidades y tasas de transferencia:

- 2 Mbps videoconferencia HD 720p
- 6 Mbps videoconferencia HD 1080p
- 20 Mbps HDTV 1080p (Codec VBrick)
- 42 Mbps HDTV 1080p
- 1.2 Gbps FDTV 1920p

Los encargados de cada equipo en los extremos recopilarán información de protocolos de audio y video utilizados, tasa de transferencia en la conexión, pérdida de paquetes y calidad de video percibida

Diagrama:





Objetivo:

Verificar y analizar el rendimiento de las conexiones de videoconferencia de alta definición en ambiente WDM y/o redes de super cómputo.

Recursos:

- 2 sistemas de videoconferencia que cumplan con el estándar de comunicación de alta definición (720p o 1080p) y cables DVI o componentes para periféricos.
- 2 cámaras de alta definición de al menos 720p, optimo 1080p
- 2 pantallas LCD o plasma de alta definición 16:9
- 1 reproductor DVD con interfaces HDMI o por componentes.
- 2 switches Ethernet 1000 Mbps
- Calidad de Servicio (QoS) soportado en la red

Desarrollo:

1. Conectar los equipos de videoconferencia en el laboratorio de pruebas y configurarlos con direcciones IP dentro de su segmento de red.
2. Realizar la marcación a 2 Mbps con calidad 720p desde un equipo a otro, en una segunda prueba a 6 Mbps calidad 1080p
3. En primera instancia hacer pruebas de audio y video personalmente y posteriormente enviar algún video en DVD durante un tiempo determinado.
4. Verificar y documentar los protocolos de audio y video utilizados, la calidad de video recibida, la pérdida de paquetes, tasa de transmisión que los equipos están negociando y las posibles desconexiones o problemas detectados durante la prueba.

Recursos Generales:

- Disponibles en el NETLab:
 - Corriente Directa de -48V y AC de 110/220 V.
 - Puntos de red, fibra óptica, conectores, cables UTP, etc.
 - Tramo de aprox. 30 km de FO SMF marca PRYSMIAN OPSYCOM 7537
 - 3 o más computadoras.
 - Analizadores de protocolos (Ethereal, tcpdump, etc.)
 - Generadores de tráfico, (Iperf, OWAMP, etc.)
 - Rack de tamaño estándar



- Equipo que proporcionará el proveedor de la marca de los equipos WDM a probar.
 - 3 chasis WDM, de preferencia dos medianos y uno pequeño.
 - 2 XFP's de 10Gbps DWDM para conector SC
 - 2 Transponder de 10Gbps
 - 8 Transponders de 2.5Gbps
 - 2 Multiplexor/Demultiplexor 40 canales
 - 2 Muxponder 4 canales de 2.5Gbps c/u
 - 8 SFP's de 2.5 Gbps para conector RJ45 GE
 - Módulo de protección de ruta
 - 1 OADM pasivo de al menos 2 canales.
 - Cables (patch) de Fibra Óptica monomodo (varios) para OADM/Equipos de medición ópticos de preferencia SC.

- Equipos de medición ópticos.
 - OSA (analizador de espectro óptico) para bandas ópticas O, E, S, C y L con al menos 0.05 nm de resolución.
 - Medidor de Potencia Óptica para operar alrededor de 1550 y 1300 nm.
 - Atenuador óptico variable para operar alrededor de 1550 y 1300 nm.
 - Osciloscopio óptico con capacidad de generar diagramas de ojo para una bit rate de 10 Gb/s.
 - Analizador de transmisión o Medidor Bit Error Rate de 10 Gb/s



Notas adicionales:

Este protocolo de pruebas fue diseñado de acuerdo a la siguiente matriz de tráfico:

	WDM-1	WDM-2
WDM-1	X	20 Gbps (1 x 10 Gbps 4 x 2.5 Gbps)
WDM-2	20 Gbps (1 x 10 Gbps 4 x 2.5 Gbps)	X

Que es un caso particular de la matriz de requerimientos mínimos iniciales del proyecto.

	UNAM	UAM	CINVESTAV
UNAM	X	20 Gbps (1 x 10 Gbps 4 x 2.5 Gbps)	20 Gbps (1 x 10 Gbps 4 x 2.5 Gbps)
UAM	20 Gbps (1 x 10 Gbps 4 x 2.5 Gbps)	X	20 Gbps (1 x 10 Gbps 4 x 2.5 Gbps)
CINVESTAV	20 Gbps (1 x 10 Gbps 4 x@ 2.5 Gbps)	20 Gbps (1 x 10 Gbps 4 x 2.5 Gbps)	X



REVISIÓN CARACTERÍSTICAS EQUIPOS WDM.

En la tabla 7 se concentran las características eléctricas, tipos de interfases, de funciones de red y de seguridad del hardware y software de los equipos WDM.

En la tabla 8 se concentran las facilidades de administración de los equipos.

<i>Características del Equipo WDM</i>	<i>Marca: Modelo:</i>	<i>Marca: Modelo:</i>	<i>Observaciones</i>
<i>Características Generales</i>			
Velocidad de transferencia			
Distancia Máxima			
Consumo (watts)			
Frecuencia y voltaje de alimentación			
Dimensiones (alto, ancho, largo)			
<i>Interfases</i>			
RJ45 Ethernet 10/100/1000			
Ver. USB	-		
<i>Funciones de Red</i>			
802.1D Spanning Tree Protocol			



VLAN 802.1Q y OVLAN			
QoS 802.1P			
SNMP			
DHCP			
SSH			
FTP			
NTP			
IPv4			
IPv6			
Seguridad			
VLAN 802.1Q y OVLAN			
Cifrado	-		
Autenticación	-		
Interoperabilidad con ruteadores, servidores, switches, etc.			
Certificaciones y normatividad			

Tabla 7. Características del equipo WDM



Facilidades de Administración	<i>Marca:</i> <i>Modelo:</i>	Equipo: Marca: Modelo:	Equipo: Marca: Modelo:	Observaciones
Puertos				
Herramientas de				
Protocolos de administración Web				
Basada en Web				
Directa o por Proxy				
Por línea de comandos				
Telnet				
SSH, versión y actualización				
Políticas de administración				
Administración QoS				
Herramientas de trouble-shooting				
Tiene diversos niveles de seguridad				

Dirección de Telecomunicaciones y Departamentos de Supercómputo y de Innovación y Desarrollo Tecnológico



Facilidades de	Marca: Modelo:	Equipo: Marca:	Equipo: Marca:	Observaciones.
Versión de SNMP soportada				
Acceso a las MIB's públicas y privadas				
Administración fuera de banda				
Tiempo de recarga del sistema				
Administración central				
Cuantos equipos se pueden conectar al sistema				
Que equipos y características monitorea				

Tabla 8. Administración y funcionalidades de los equipos WDM

Dirección de Telecomunicaciones y Departamentos de Supercómputo y de Innovación y Desarrollo Tecnológico



Documentos: Documenta todas las actividades realizadas durante la prueba, así como folletos o archivos utilizados y generados. Hacer referencia de los archivos en este apartado.

Conclusiones: Describir el resultado obtenido.

Capítulo 7

Conclusiones

El uso de la fibra óptica en las telecomunicaciones ha ido evolucionando con las redes de datos a nivel mundial, no sólo por el hecho de ser un medio de transmisión más confiable y económico (a largo plazo) que el tradicional cobre, sino porque ha permitido la transmisión de múltiples canales a grandes distancias con la necesidad de menos amplificadores, con tasas de transferencia por arriba de los gigabits por segundo, y como se mencionó en la introducción, por sus ventajas como la anulación de los efectos electromagnéticos que tanto afectan al cobre.

En el caso de este trabajo de tesis, la actual red Delta Metropolitana ahora conocida operativamente como LANCAD, busca integrar muchas más instituciones académicas mexicanas para realizar proyectos conjuntos para contribuir así a que se desarrollen y fortalezcan, brindando una conexión con este bondadoso medio de transmisión a través de las instalaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC), en la cual participan la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

La finalidad de la Delta Metropolitana es única, y en mediano-largo plazo se pretende formar una red metropolitana de redes académicas para promover así varios beneficios, tales como: la reducción de rentas y pagos a terceros por la interconexión de dependencias a bajas tasas de transmisión; mayor apoyo al sector de investigación, promoviendo la divulgación científica. Pero el factor más importante de este tipo de redes es, sin lugar a dudas, el uso exclusivo para cuestiones académicas, ya que el acceso a la gran mayoría de los servicios no estará disponible a través del Internet comercial, sólo algunas páginas Web y los servicios definidos.

Como se mencionó a lo largo del mundo se ha observado la proliferación de las redes académicas a diferentes ámbitos, a nivel continental se encuentran: la Red CLARA (Latinoamérica), Red GEANT2 (Europa), TEIN2 (Asia Pacífico), etc. -por mencionar algunos ejemplos a nivel internacional-. Existen además las redes nacionales (RNIE) como la Red CANARIE (Canadá), ABILENE (EUA), Red CUDI (México), etc. con un avance significativo en el desarrollo de cada país. Más recientemente, aunque tardíamente, en países como el nuestro se están creando redes estatales y particularmente a nivel metropolitano, como por ejemplo, en la ciudad de Durango con conexión a la Red NIBA, que traerá sin lugar a dudas grandes beneficios.

Es así que se hizo un estudio de las tecnologías de última milla y transporte existentes para conocer su grado de desarrollo, ventajas y desventajas competitivas, sus casos de estudio más adecuados, etc., con el fin de determinar aquellas más viables. Se analizó la evolución de las redes de transporte desde PSTN, PDH, SDH/SONET, ISDN, ATM, hasta las más desarrolladas recientemente como OTN, MPLS, GMPLS, ASON, IEEE 802.3av, IEEE 802.3ah y Carrier Ethernet. Estas últimas tecnologías se distinguen cada vez más por ir incorporando mayor capacidad, robustez y velocidad en su infraestructura. A través de la investigación notamos a un Carrier Ethernet con enormes despliegues y esfuerzos para convertir Ethernet –que comúnmente es de uso local- en ambientes metropolitanos, por lo que utilizar la tecnología sería de uso confiable.

Así mismo, cabe mencionar que la mejor manera de seleccionar una tecnología es realizando los protocolos de pruebas para comprobar si efectivamente cada fabricante tiene el grado de soporte como se espera. En cuanto a SDH/SONET y MPLS/GMPLS, así como OTN, están fuertemente implementadas en el mercado, por lo que difícilmente cederán terreno ante las otras tecnologías, aunque todo está en función de la adaptabilidad y aceptación de las empresas, clientes y proveedores de servicios para su distribución a nivel mundial.

Podemos mencionar de las redes de última milla –también conocidas como redes de acceso-, que se ha presentado en los últimos años el denominado cuello de botella (*Bottle Neck*), el cual niega la transmisión de archivos con una transferencia fluida, debido a la discrepancia de velocidades establecidas entre las redes de transporte y las de acceso. Tal es la razón por la cual han aparecido nuevas tecnologías para mejorar la actual infraestructura establecida desde el bucle telefónico hasta el usuario final (última milla). Se pudo observar en el Anexo A que aunque las tecnologías FTTH/FTTB se encuentran en pleno crecimiento mundial, actualmente en México, predomina la tecnología xDSL, factor que nos muestra el rezago tecnológico en nuestro país. A esto se le agrega la polémica cuestión de cuál es la cantidad suficiente para considerar que se cuenta con banda ancha, como se pudo ver en el capítulo 4, este factor es inestable ya que la UIT en las normas de RDSI define como una conexión a Internet que da al usuario una velocidad

descendente mínima de 256kbts para ser considerada como banda ancha, pero que en países como Portugal, Reino Unido y Bulgaria hay muy pocos abonos a velocidades inferiores a 2Mbps (y ninguno en la República de Corea) mientras que en Azerbaiyán, Omán, Ghana, Mongolia y Venezuela tal velocidad representa más del 90% de todas las conexiones fijas a la banda ancha.

También se hizo un análisis de otras tecnologías de última milla, que se fueron descartando en su posible aplicación en este proyecto, por falta de disponibilidad de proveedores y menos viables entre las cuales destacan xDSL, Wi-Fi, WiMax, PLC, HiperLAN2, LMDS, MMDS, GSM, 3G y 4G.

Como se pudo constatar el uso de xDSL es en abundancia utilizado en México, siendo el primer lugar de conectividad en nuestro país, con un poco más de ocho millones de subscriptores; sin embargo, el uso de esta tecnología no es el esperado conforme a la evolución de los medios de transmisión a nivel mundial.

En este trabajo se estudiaron dos tecnologías que se sustentan en el uso de la fibra óptica, las cuales fueron HFC y PON. No obstante, HFC es frecuentemente utilizada por las compañías *cableras* –tal es el caso de Cablevisión en México- por lo que el uso de esta tecnología es más comercial que académico. En cuanto a lo que ofrece PON, es simplemente brindar fibra óptica en la última milla, hasta el usuario final o casero, gozando de esta manera, los grandes beneficios de este medio de transmisión.

Es así que en la figura 1, podemos ver un breve resumen de lo que se contempló en esta tesis. Se muestran –cuando es el caso- las especificaciones o normas que definen a cada tecnología, adicionalmente, algunos conceptos clave de cada tema contemplado. Cabe mencionar que hizo falta tener la oportunidad de verificar dichas tecnologías en tiempo real –o mínimo con algún simulador- para que de esta forma, la experiencia profesional hubiese sido más completa; pero como es de esperar, en estas cuestiones se requiere de mayor tiempo y capacitación para realizar este tipo de actividades.

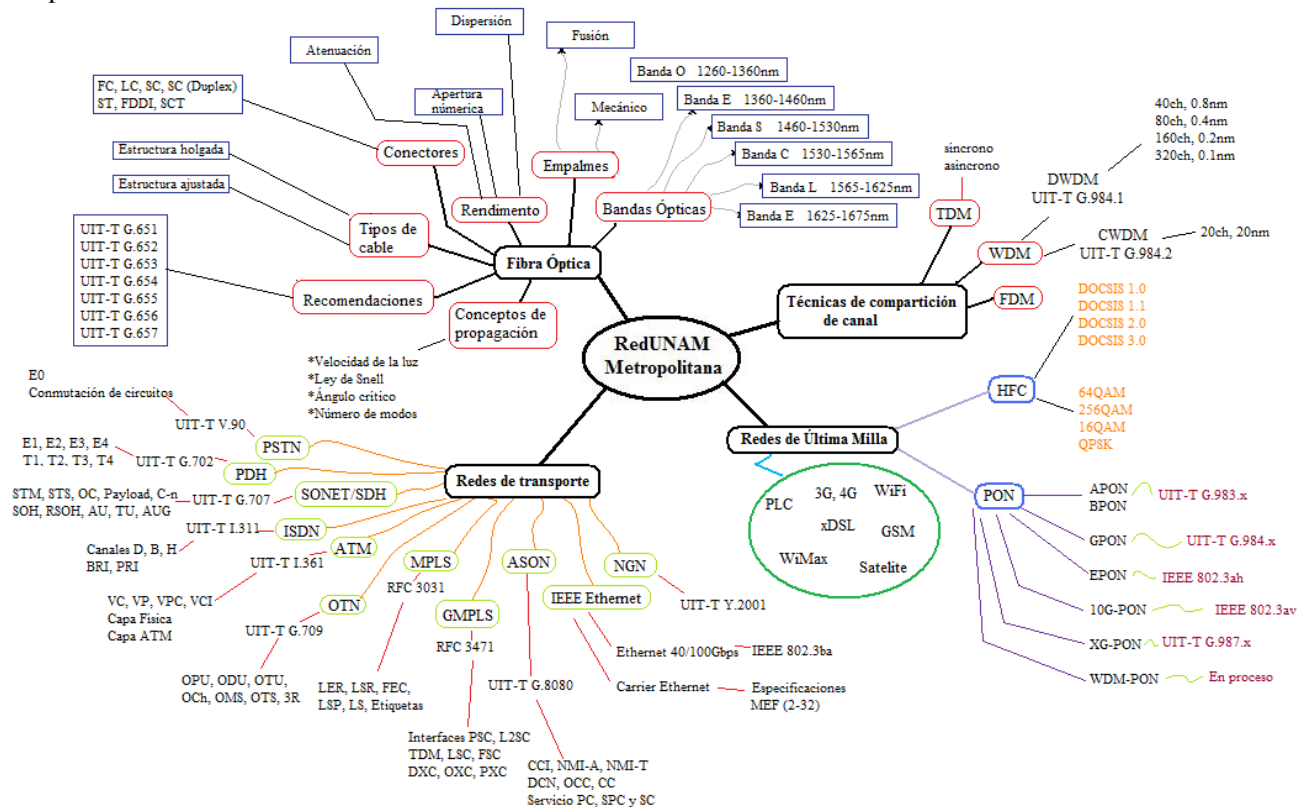


Figura 1 Mapa mental de la Tesis RedUNAM Metropolitana

Es así como en la realización del diseño de la RedUNAM Metropolitana se tomaron en cuenta a más de 50 dependencias de la UNAM para contemplarlas a una posible interconexión a la Red Delta Metropolitana, hoy LANCAD. Para esto se crearon y ordenaron más de 250 mapas, estableciendo en cada uno, trayectorias de las dependencias a las estaciones del STC Metro más cercano, dejando en ellos topologías físicas y lógicas, además de estadísticas en orden jerárquico para su pronta ubicación y disponibilidad tomando como referencia la distancia. Aunque cabe mencionar que, hubiese sido mejor realizar un estudio previo para localizar a las dependencias con mayor actividad de investigación, academia, aplicaciones, desarrollo de software, entre otras, para la optimización

del diseño de la red metropolitana. Contemplando de esta manera exclusivamente a todas aquellas dependencias que explotarían el uso de tan poderosa herramienta de comunicación tal y como lo es la Red Delta Metropolitana.

Uno de los grandes impedimentos que podrían detener el desarrollo de la Red Metropolitana, son factores externos al diseño y planificación de ingeniería, tales como los permisos del gobierno para instalar la fibra óptica a lo largo de la vía pública –ya sea de manera terrena o aérea-, procesos de licitación, economía, alto trabajo en conjunto por parte de los sectores involucrados, así como otros factores ajenos a nosotros que hacen del proyecto la toma de tiempo indeterminado.

En cuanto a las opciones de diseño de los equipos para la primera fase, se contaron con varias alternativas en el proyecto. Se contempla la utilización de un XFP de largo alcance –así como la utilización de un nuevo equipo adquirido para el NETLab en la DGCTIC CU- para crear un *backbone* alternativo al ya existente. Tomando en cuenta las posibles conexiones se estaría garantizando la estabilidad del actual *backbone*, dejando en pleno funcionamiento las aplicaciones que se estén desarrollando entre las tres sedes antes mencionadas.

Para finalizar se muestra a continuación de manera breve el trabajo realizado durante el tiempo de elaboración de la tesis y el trabajo a futuro con respecto al proyecto RedUNAM Metropolitana en la tabla 1.

Trabajo realizado	Trabajo a futuro
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estudio comparativo de las tecnologías de transporte. ✓ Estudio comparativo de las tecnologías de última milla. ✓ Diseño de probables escenarios del <i>Backbone</i> alternativo para la fase 1 de la RedUNAM Metropolitana. ✓ Diseño de probables escenarios de conexión con la tecnología PON en la última milla. ✓ Diseño de probables escenarios de diversas tecnologías de última milla. ✓ Propuesta del posible protocolo WDM. ✓ Recopilación de estadísticas mundiales de la tecnología FTTx. (Anexo A). ✓ Recopilación de estadísticas en México de las redes de acceso. (Anexo A). ✓ Localización física de más de 50 dependencias físicas de la UNAM en mapas virtuales e impresos. (Anexo B) ✓ Más de 250 topologías físicas y lógicas. (Anexo C y D. incluidos en el CD de la tesis). ✓ Mapas de 28 dependencias de la UNAM con trazos de vialidad y rutas alternas. (Anexo E, incluido en el CD de la tesis). ✓ Lista de contacto de proveedores xPON, FTTx, DWDM y Carrier Ethernet. (Ver Anexo F, incluido en el CD de la tesis). ✓ Recopilación de páginas Web útiles en el estudio de los temas analizados en la tesis. (Ver Anexo G, incluido en el CD de la tesis). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Elaboración de pruebas del protocolo WDM. ➤ Protocolo de pruebas de última milla. ➤ Elaboración de las siguientes fases del proyecto RedUNAM Metropolitana. ➤ Contactar proveedores de tecnologías de última milla para realizar cotizaciones. ➤ Posible certificación de la tecnología Carrier Ethernet a los equipos y miembros del Laboratorio de Tecnologías Emergentes NETLab. ➤ Contemplar en próximas fases de diseño el uso de la tecnología FTTH en la zona de última milla. ➤ Contemplar en próximas fases de diseño el uso de la tecnología WDM-PON en la zona de última milla. ➤ Incrementar el potencial de la red con aplicaciones, desarrollo de software, videoconferencias, investigación, entre muchas otras.

Tabla 1 Comparativa Trabajo realizado vs Trabajo a futuro

Es así como podemos decir que se cumplió con el objetivo de la tesis y que se aportó información que facilitará el desarrollo de las próximas fases de la RedUNAM Metropolitana. Cabe mencionar que en un principio se contempló incluir criterios –que serán tomados en cuenta- para la licitación de la red, así como una maqueta de protocolos de pruebas más extensa que incluyera resultados, sin embargo, factores externos al diseño y planificación de ingeniería –como se menciono anteriormente-, no permitieron que estos fueron incluidos dentro del trabajo de investigación aquí presentado. Estos procesos están actualmente en continuo desarrollo, por lo que noticias relevantes a este proyecto se podrán encontrar en las páginas web mencionadas en el capítulo 5.

Anexo A

Telecomunicaciones en Estadísticas Mundiales

En el curso del año 2010 el mundo fue testigo del continuo crecimiento de los servicios TIC y su asimilación en todo el mundo. A medida que se dispone de datos correspondientes al periodo posterior a la crisis de 2008, se confirma al crecimiento sostenido del mercado de telecomunicaciones e Internet en general, aunque con algunas notables variaciones. Entre los aspectos más destacados cabe mencionar los siguientes [Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT “Medición de la sociedad de la información 2011”]:

- La telefonía fija sigue declinando, como viene haciéndolo desde 2005, especialmente en los países desarrollados, en los cuales el mercado de telefonía móvil celular ha dejado atrás al de línea fija. Ver figura 1.
- En los países desarrollados la penetración de la telefonía móvil celular ha alcanzado niveles de saturación, pues se registraron unas tasas de penetración de más del 100% y un crecimiento de sólo un 1% durante el año pasado; en los países en desarrollo, por el contrario, el crecimiento de las abonos al servicio móvil persiste enérgicamente, al 20%, sin dar ningún signo de retardación. Ver figura 2.
- A fines de 2010 la penetración de la banda fija en los países desarrollados había ascendido a casi el 24% y el ritmo de crecimiento se está aminorando, lo que indica que se está llegando a niveles de saturación, mientras que en los países en desarrollo el porcentaje correspondiente es sólo de 4,2. Ver figura 3.
- El acceso a Internet en banda ancha inalámbrica sigue siendo el sector de mayor crecimiento y la banda ancha inalámbrica se propaga vertiginosamente en los países en desarrollo, donde creció a un 160% entre 2009 y 2010 (aunque a partir de unos niveles bajos). Ver figura 4.
- En el curso de los últimos cinco años el número de usuarios de Internet se ha duplicado, y actualmente hay más de dos mil millones de usuarios de Internet en todo el mundo. Las tasas de crecimiento en los países en desarrollo son elevadas (14% entre 2009 y 2010) y los números absolutos están determinados por grandes países tales como Brasil, China, India, Nigeria y la Federación de Rusia. A fines de 2010, aproximadamente el 30% de la población mundial estaba en línea, a partir de un 12% en 2003 y un 6% en 2000. Ver figura 5.
- La proporción de hogares con acceso a Internet aumenta progresivamente, sobre todo en los países en desarrollo, en los cuales alrededor del 16% de las viviendas tenían acceso a Internet a fines de 2010, en comparación con un 66% en los países desarrollados. Ver figura 6.

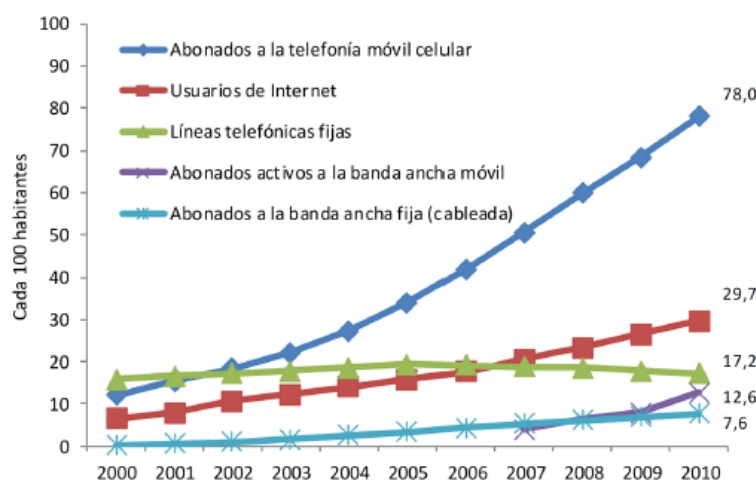


Figura 1 Evolución Mundial de las TIC a nivel mundial, 2000-2010

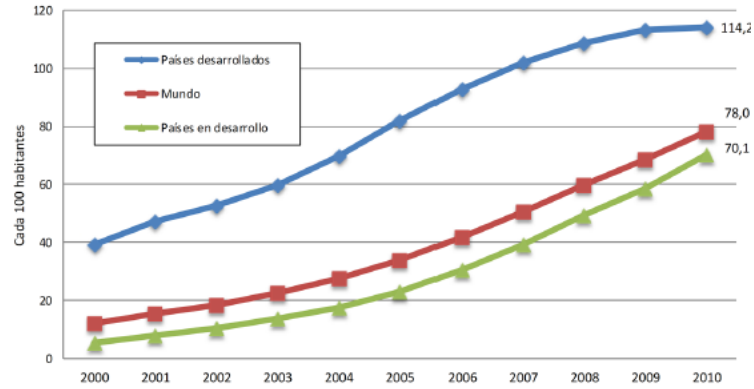


Figura 2 Abonados al servicio móvil celular en el mundo y por nivel de desarrollo, 2000-2010

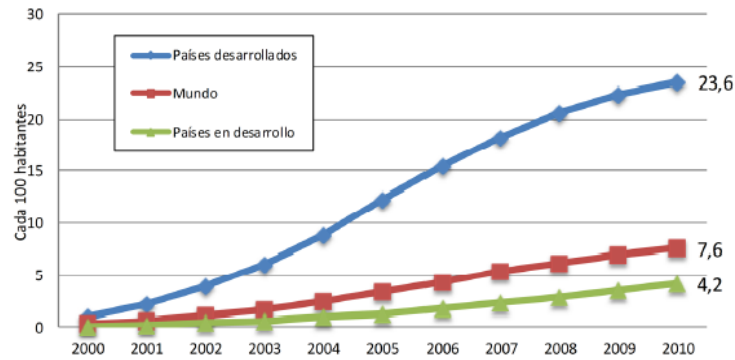


Figura 3 Abonados a la banda ancha fija en el mundo y por nivel de desarrollo, 2000-2010

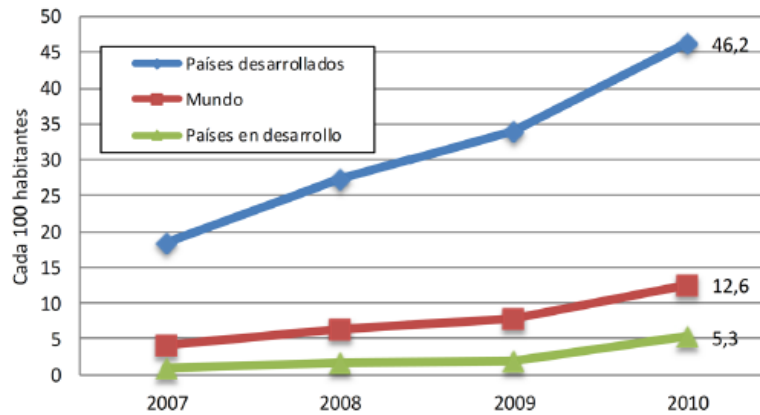


Figura 4 Abonados a la banda ancha móvil en el mundo y por nivel de desarrollo, 2007-2010

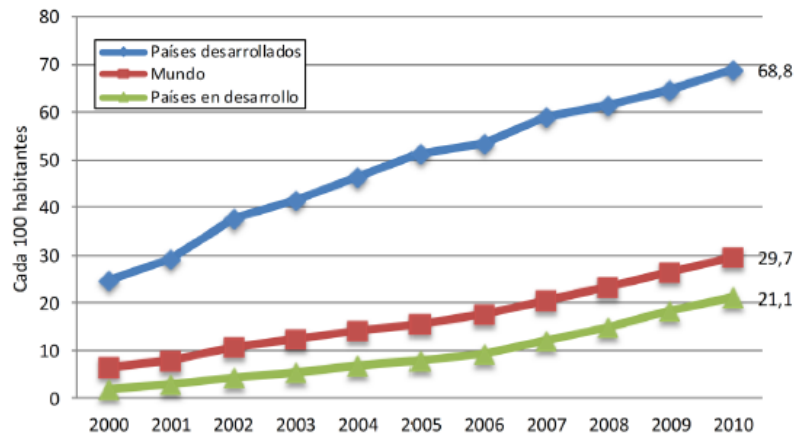


Figura 5 Usuarios de Internet en el mundo y por nivel de desarrollo, 2000-2010

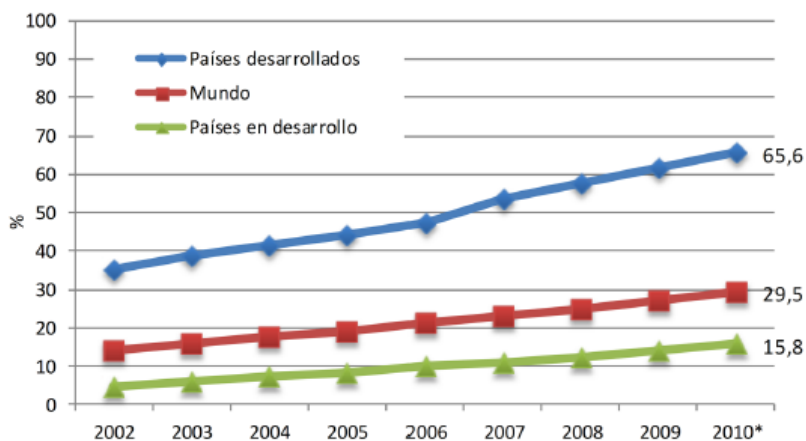


Figura 6 Hogares con acceso a Internet en el mundo y por nivel de desarrollo, 2002-2010

Al ver las estadísticas mundiales, podemos aterrizar la situación actual de las redes de telecomunicaciones, específicamente en el área de redes de acceso. Notamos que las redes móviles son las que adquieren mayor crecimiento, sin embargo, las redes de acceso para pc's de escritorio siguen siendo las de más alta tasas de transferencia. En cuanto a tecnologías de última milla o redes de acceso, se pueden clasificar en tres rubros: computadoras de escritorio, laptops y teléfonos móviles. Tal y como lo muestra la figura 7.

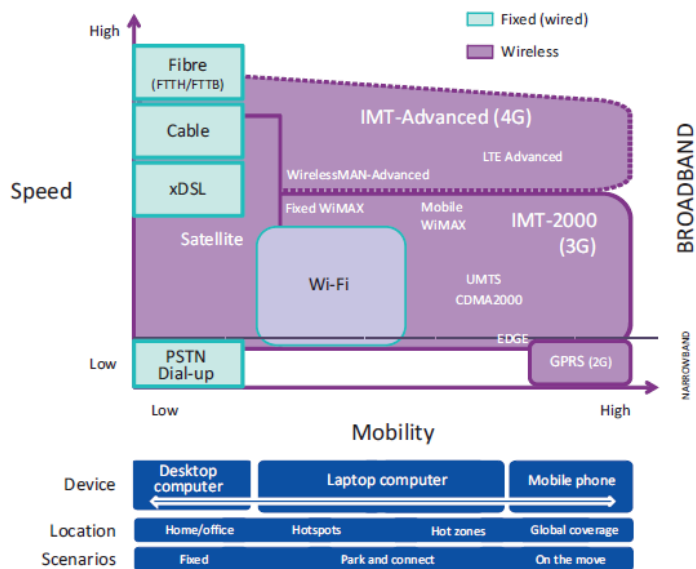


Figura 7 Tecnologías inalámbricas de banda ancha y fija (por cable) de velocidad frente a la portabilidad

En la sección de computadoras de escritorio notamos en la parte baja, referente a velocidades, a la tecnología de Dial-Up, seguido de Satélite, Cable y por último a la fibra óptica con FTTH/FTTB. El crecimiento de FTTH a escala mundial se muestra en la figura 8 [Fiber To The Home Council Europe “The Growth of Fiber to the Home”]:

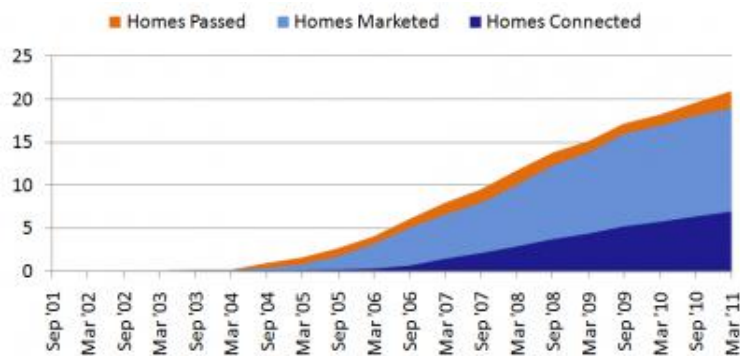


Figura 8 Casas conectadas a FTTH a nivel mundial (medido en millones)

En cuanto a las economías que lideran el uso de esta tecnología se encuentran: Corea, Japón y Hong Kong. Ver figura 9 [Unión Internacional de Telecomunicaciones “Measuring the Information Society UIT”]:

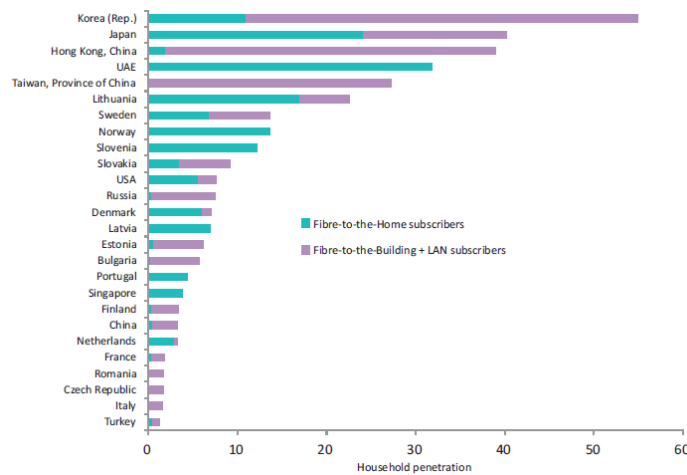


Figura 9 Economías con mayor penetración en FTTH/B

Estadísticas de Telecomunicaciones en México

Las tecnologías de acceso a nivel nacional, según la COFETEL, están determinadas de la siguiente manera. Ver tabla 1 [Secretaría de Comunicaciones y Transportes COFETEL. “Estadísticas”]:

Año	Dial-up	xDSL	Cable coaxial	Otras	Total
2000	1,023,024.00	-	8,622.00	103,341.00	1,134,987.00
2001	1,772,568.00	5,300.00	64,479.00	41,291.00	1,883,638.00
2002	1,864,929.00	78,120.00	124,052.00	29,314.00	2,096,415.00
2003	2,015,996.00	213,494.00	180,752.00	34,125.00	2,444,367.00
2004	2,134,042.00	695,912.00	326,774.00	34,596.00	3,191,324.00
2005	1,959,544.00	1,198,725.00	668,874.00	54,753.00	3,881,896.00
2006	1,718,795.00	1,960,557.00	987,802.00	138,785.00	4,805,939.00
2007	1,283,288.00	3,150,190.00	1,236,239.00	177,844.00	5,847,561.00
2008	702,391.00	5,683,398.00	1,615,688.00	277,356.00	8,278,833.00
2009 p/	395,588.00	7,323,079.00	1,893,369.00	554,757.00	10,166,793.00
2010 p/	303,704.00	8,960,483.00	2,206,183.00	673,690.00	12,144,060.00

Tabla 1 Suscripciones de Internet por tipo de tecnología en México [30]

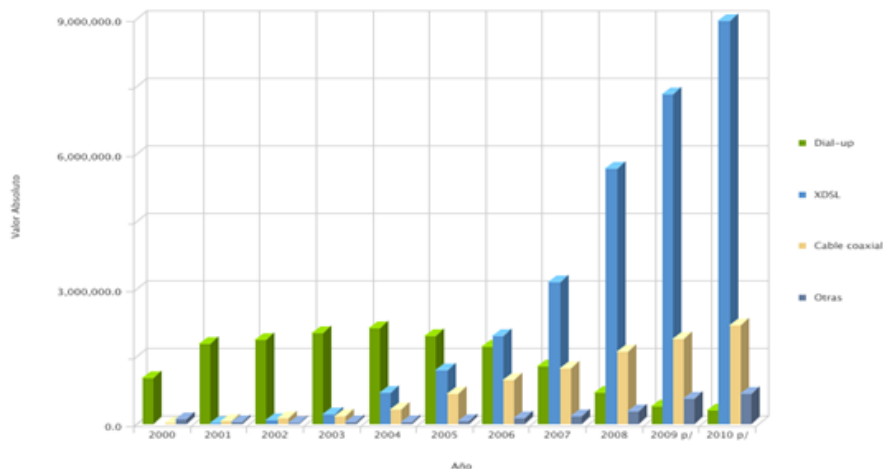
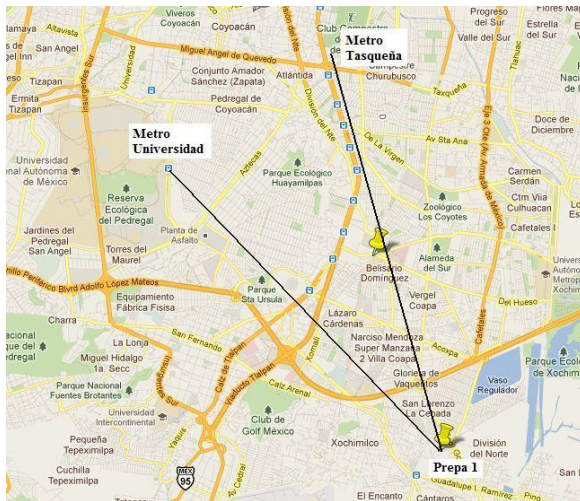


Figura 10 Suscripciones de Internet por tipo de tecnología en México [30]

Anexo B

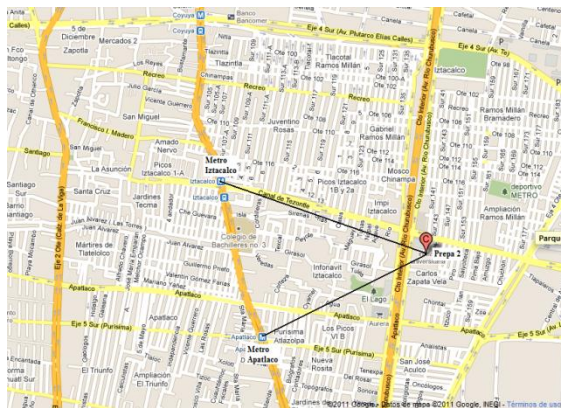
Distancias por línea de vista y terrestres de las Dependencias de la UNAM a las estaciones del metro (STC)

Escuela Nacional Preparatoria No. 1



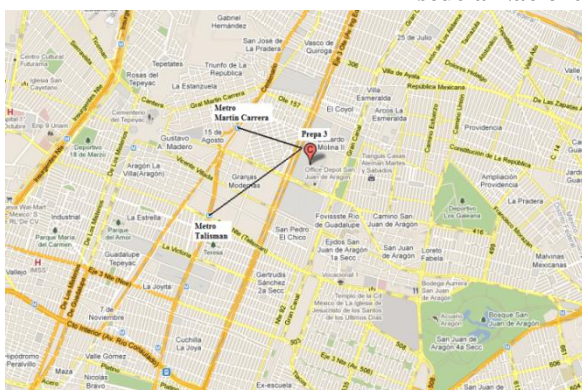
Metro	Distancia
Caminando Universidad	10.1km
Caminando Tasqueña	9.4km
Línea de Vista Universidad	7.98km
Línea de Vista Tasqueña	8.96km

Escuela Nacional Preparatoria No. 2



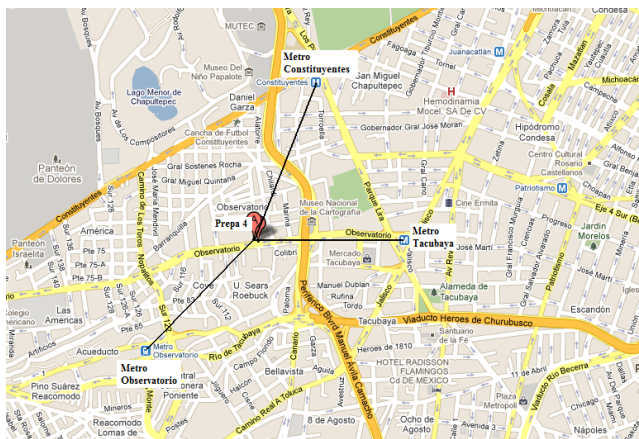
Metro	Distancia
Caminando Iztacalco	1.4km
Caminando Apatlaco	1.7km
Línea de Vista Iztacalco	1.33km
Línea de vista Apatlaco	1.09km

Escuela Nacional Preparatoria No. 3



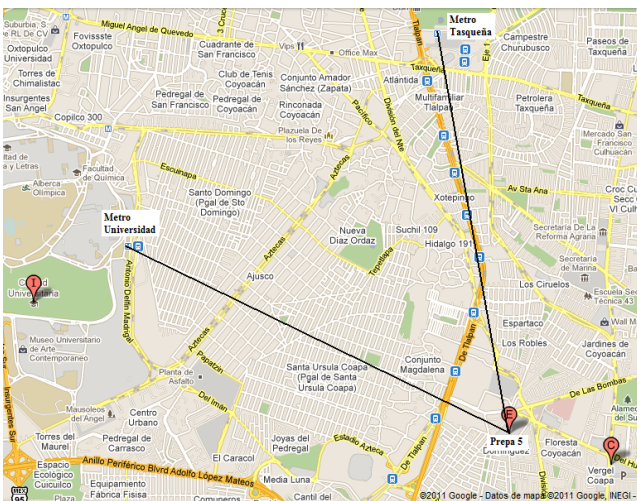
Metro	Distancia
Caminando Martín Carrera	1.2km
Caminando Talisman	2.3km
Línea de Vista Martín Carrera	980m
Línea de Vista Talisman	1.67km

Escuela Nacional Preparatoria No. 4



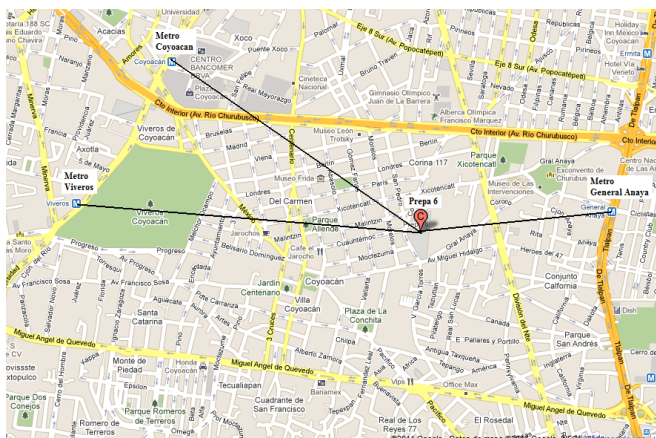
Metro	Distancia
Caminando Constituyentes	1.7km
Caminando Tacubaya	1.0km
Caminando Observatorio	1.2km
Línea de Vista Constituyentes	1.04km
Línea de Vista Tacubaya	970m
Línea de Vista Observatorio	760m

Escuela Nacional Preparatoria No. 5



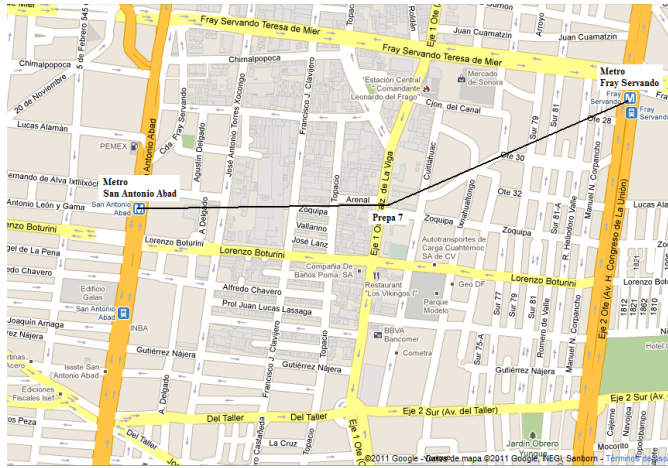
Metro	Distancia
Caminando Universidad	5.5km
Caminando Tasqueña	5.0km
Línea de Vista Universidad	4.56km
Línea de Vista Tasqueña	4.14km

Escuela Nacional Preparatoria No. 6



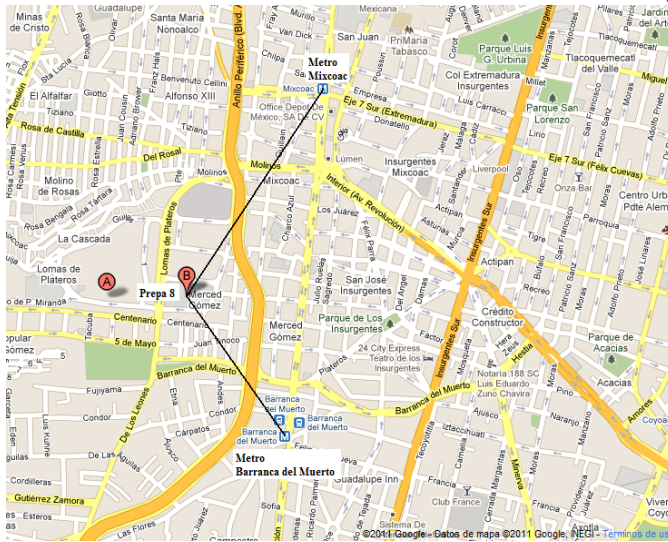
Metro	Distancia
Caminando Viveros	2.6km
Caminando Coyoacán	2.3km
Caminando General Anaya	1.6km
Línea de Vista Viveros	2.03km
Línea de Vista Coyoacán	1.78km
Línea de Vista General Anaya	1.25km

Escuela Nacional Preparatoria No. 7



Metro	Distancia
Caminando San Antonio Abad	1.2km
Caminando Fray Servando	950m
Línea de Vista San Antonio Abad	840m
Línea de Vista Fray Servando	730m

Escuela Nacional Preparatoria No. 8



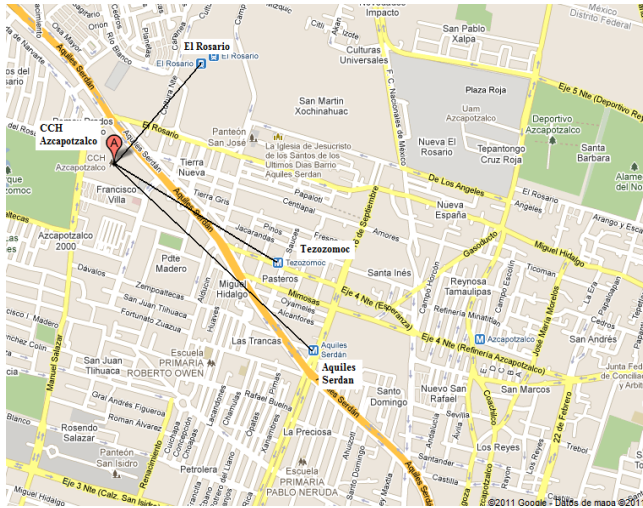
Metro	Distancia
Caminando Barranca del Muerto	1.1km
Caminando Mixcoac	1.7km
Línea de Vista Barranca del Muerto	920m
Línea de Vista Mixcoac	1.28km

Escuela Nacional Preparatoria No. 9



Metro	Distancia
Caminando Deportivo 18 de Marzo	220m
Caminando Lindavista	1.0km
Línea de Vista Deportivo 18 de Marzo	170m
Línea de Vista Lindavista	870m

Colegio de Ciencias y Humanidades Azcapotzalco



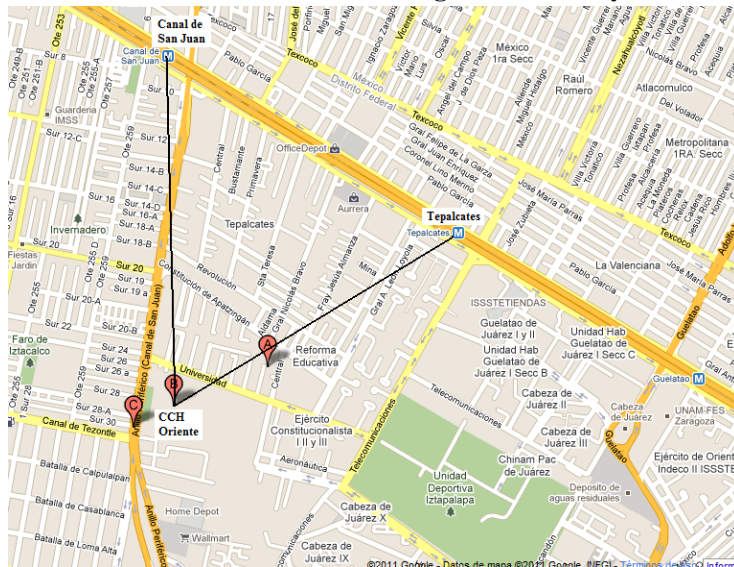
Metro	Distancia
Caminando Rosario	880m
Caminando Tezozomoc	1.1km
Línea de Vista Rosario	594m
Línea de Vista Tezozomoc	994m

Colegio de Ciencias y Humanidades Naucalpan



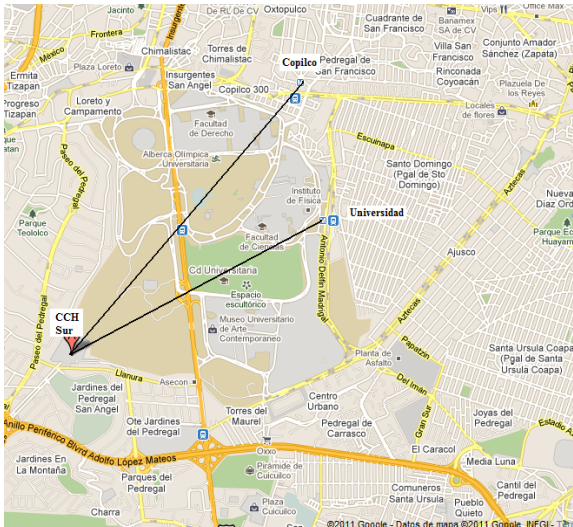
Metro	Distancia
Caminando Cuatro caminos	4.2km
Línea de Vista Cuatro Caminos	3.14km

Colegio de Ciencias y Humanidades Oriente



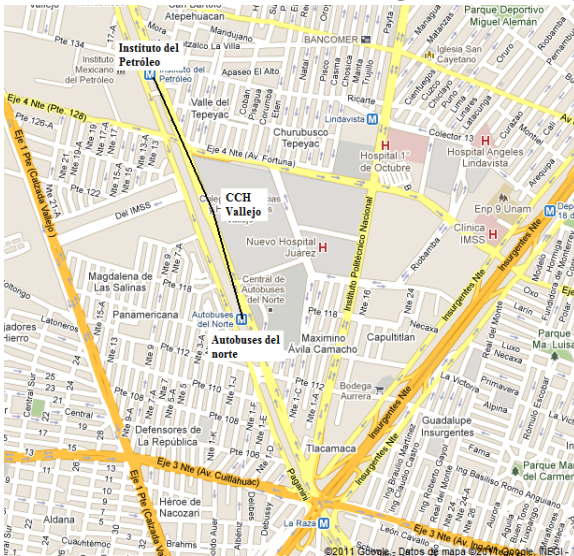
Metro	Distancia
Caminando Canal de San Juan	1.9km
Caminando Tepalcatines	1.8km
Línea de Vista Canal de San Juan	1.44km
Línea de Vista Tepalcatines	1.49km

Colegio de Ciencias y Humanidades Sur



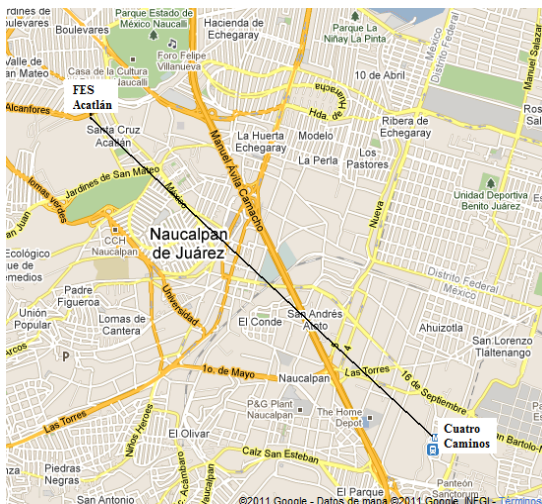
Metro	Distancia
Caminando Copilco	5.4km
Caminando Universidad	5.0km
Línea de Vista Copilco	3.65km
Línea de Vista Universidad	3.12km

Colegio de Ciencias y Humanidades Vallejo



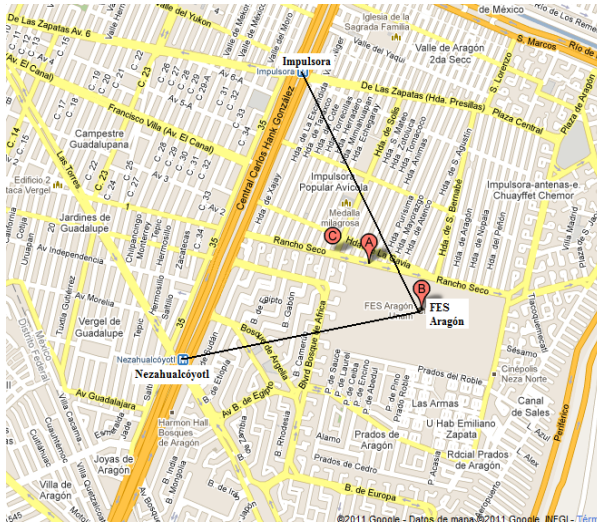
Metro	Distancia
Caminando Autobuses del Norte	400m
Caminando Instituto del Petróleo	850m
Línea de Vista Autobuses del Norte	400m
Línea de Vista Instituto del Petróleo	850m

FES Acatlán



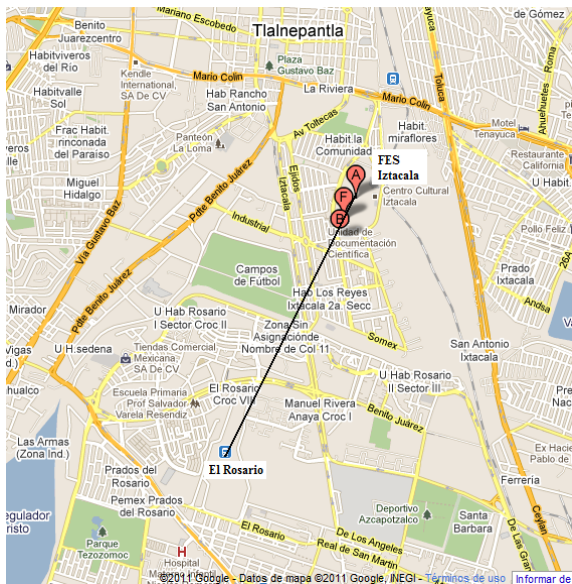
Metro	Distancia
Caminando Cuatro Caminos	5.4km
Línea de Vista Cuatro Caminos	4.38km

FES Aragón



Metro	Distancia
Caminando Impulsora	1.4km
Caminando Nezahualcoyotl	1.4km
Línea de Vista Impulsora	980m
Línea de Vista Nezahualcoyotl	1.06km

FES Iztacala



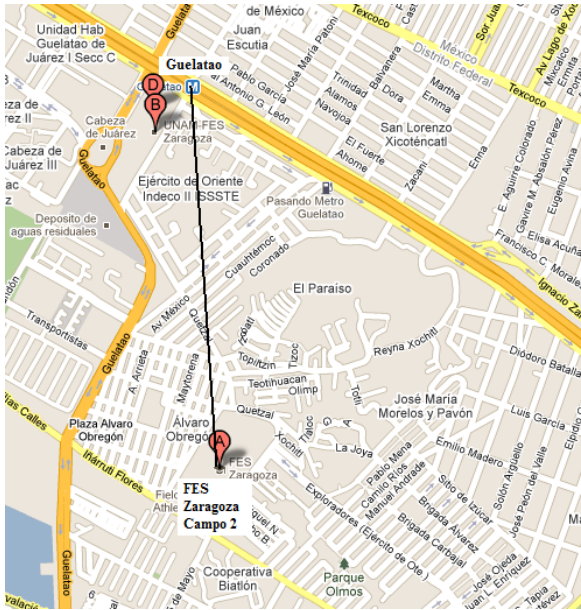
Metro	Distancia
Caminando El Rosario	3.4km
Línea de Vista El Rosario	2.53km

FES Zaragoza Campo 1



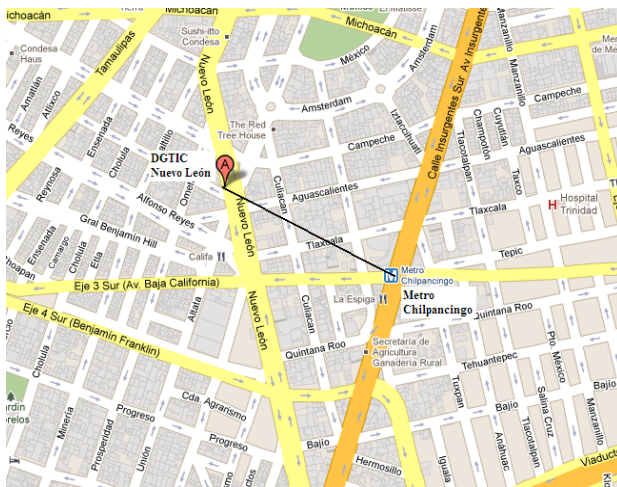
Metro	Distancia
Caminando Guelatao	88m
Línea de Vista Guelatao	100m

FES Zaragoza Campo 2



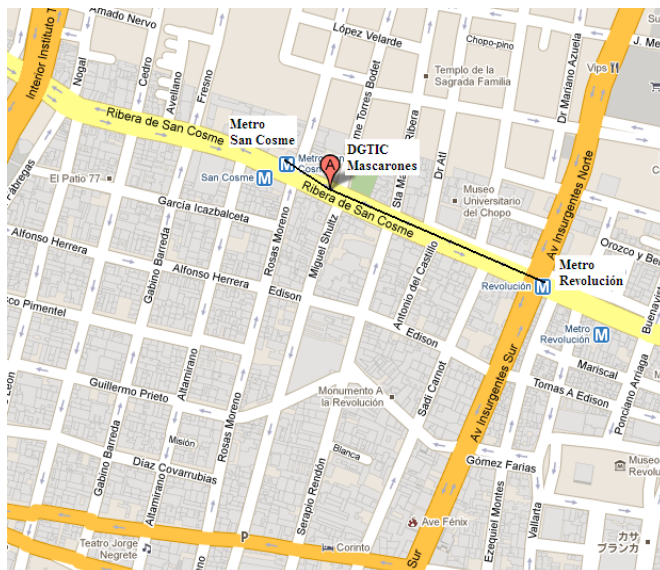
Metro	Distancia
Caminando Guelatao	1.8km
Línea de Vista Guelatao	1.51km

DGCTIC Nuevo León



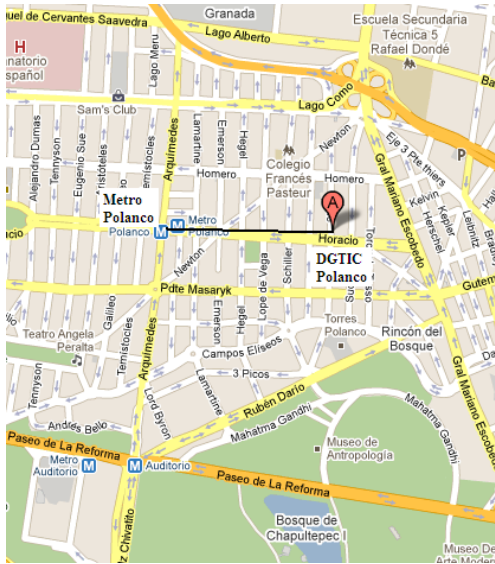
Metro	Distancia
Caminando Chilpancingo	700m
Línea de vista Chilpancingo	460m

DGCTIC Mascarones



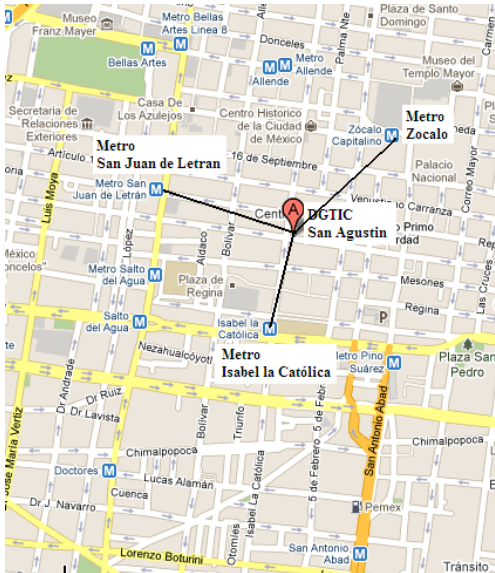
Metro	Distancia
Caminando San Cosme	50m
Caminando Revolución	550m
Línea de Vista San Cosme	50m
Línea de Vista Revolución	520m

DGCTIC Polanco



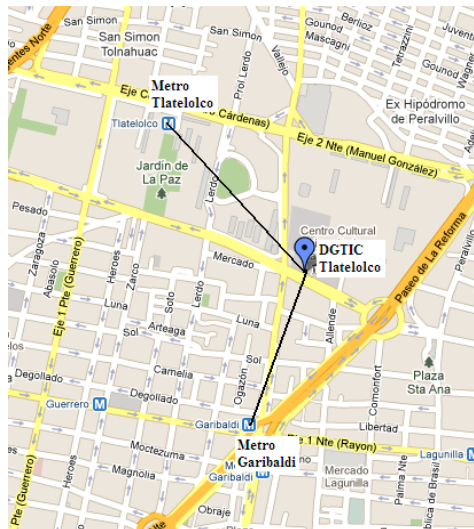
Metro	Distancia
Caminando Polanco	700m
Línea de vista Polanco	650m

DGCTIC San Agustín



Metro	Distancia
Caminando San Juan de Letrán	600m
Caminando Isabel la Católica	400m
Caminando Zócalo	750m
Línea de Vista San Juan de Letrán	510m
Línea de Vista Isabel la Católica	370m
Línea de Vista Zócalo	550m

DGCTIC Tlatelolco



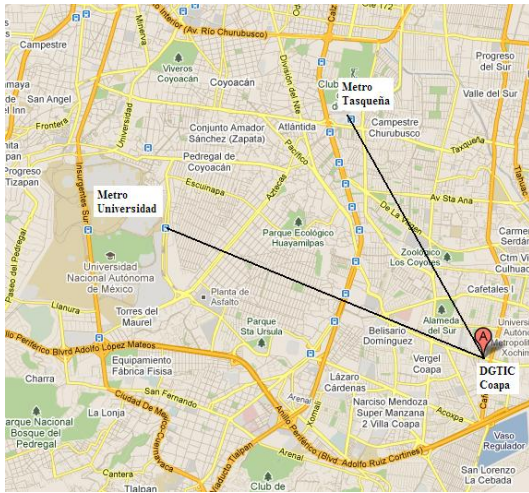
Metro	Distancia
Caminando Tlatelolco	1.0km
Caminando Garibaldi	1.0m
Línea de Vista Tlatelolco	730m
Línea de Vista Garibaldi	630m

DGCTIC Palacio de la Autonomía



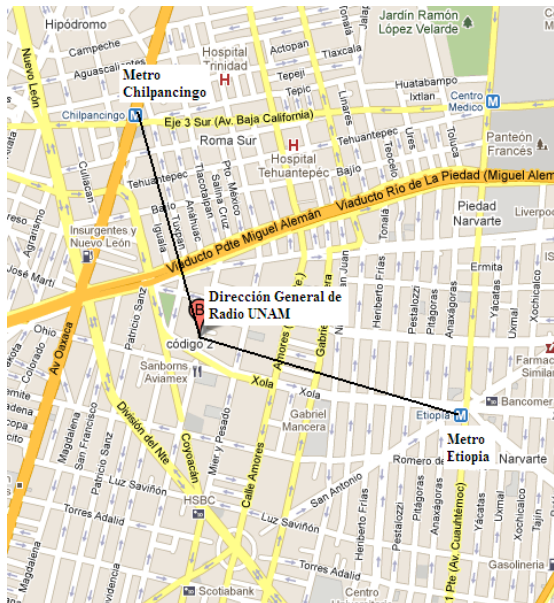
Metro	Distancia
Caminando Zócalo	300m
Línea de Vista Zócalo	270m

DGCTIC Coapa



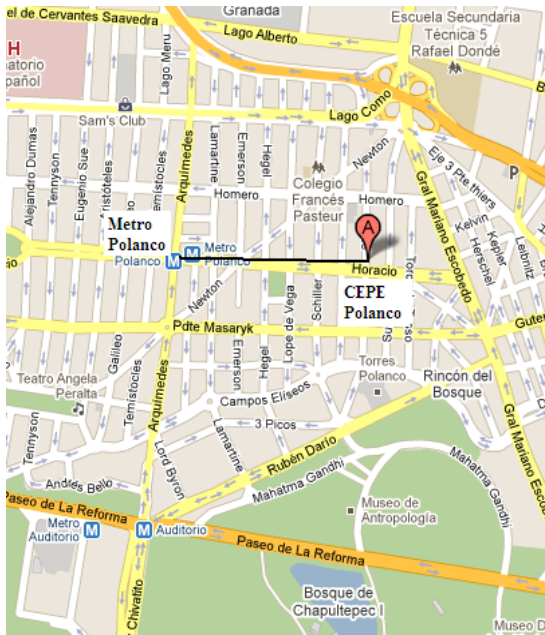
Metro	Distancia
Caminando Tasqueña	6.4km
Caminando Universidad	7.7km
Línea de Vista Tasqueña	5.58km
Línea de Vista Universidad	6.62km

Dirección General de Radio UNAM



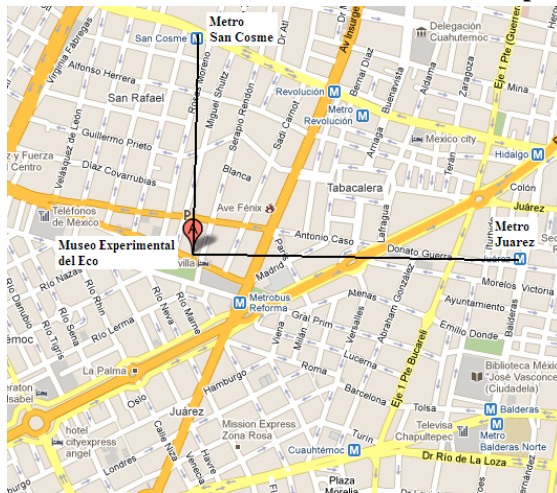
Metro	Distancia
Caminando Chilpancingo	1.1km
Caminando Etiopía	1.4km
Línea de Vista Chilpancingo	880m
Línea de Vista Etiopía	1.07km

CEPE Polanco



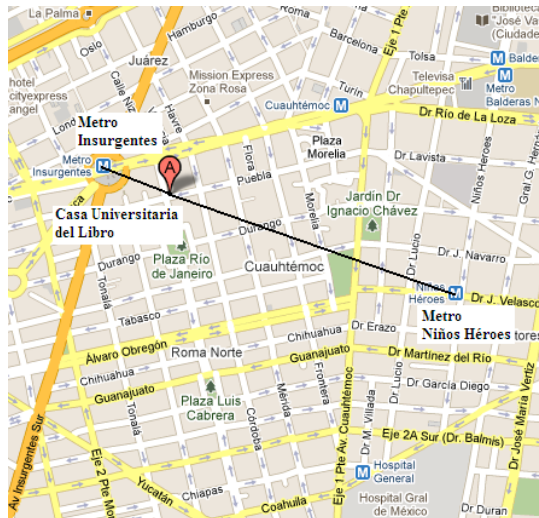
Metro	Distancia
Caminando Polanco	700m
Línea de Vista	650m

Museo Experimental del Eco



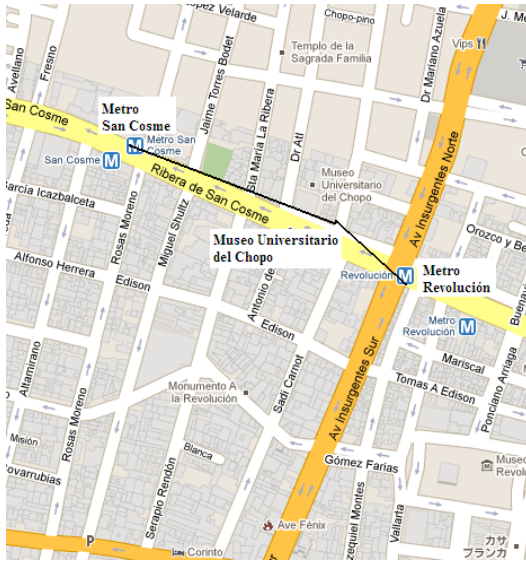
Metro	Distancia
Caminando Juárez	1.5km
Caminando San Cosme	1.1km
Línea de Vista San Cosme	970m
Línea de Vista Juárez	1.43km

Casa Universitaria del Libro



Metro	Distancia
Caminando Niños Héroes	1.6km
Caminando Insurgentes	280m
Línea de Vista Insurgentes	230m
Línea de Vista Niños Héroes	1.13km

Museo Universitario del Chopo



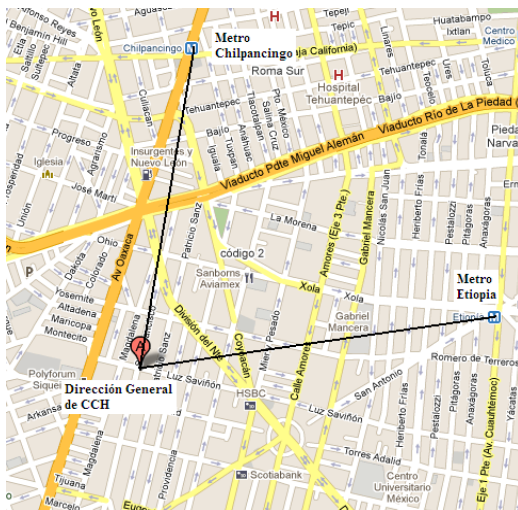
Metro	Distancia
Caminando Revolución	350m
Caminando San Cosme	700m
Línea de Vista San Cosme	490m
Línea de Vista Revolución	260m

Museo de Geología UNAM



Metro	Distancia
Caminando San Cosme	1.2km
Caminando Buenavista	900m
Línea de Vista San Cosme	990m
Línea de Vista Buenavista	670m

Dirección General de CCH



Metro	Distancia
Caminando Chilpancingo	1.7km
Caminando Etiopia	1.7km
Línea de Vista Chilpancingo	1.39km
Línea de Vista Etiopia	1.55km

Dirección General de Personal



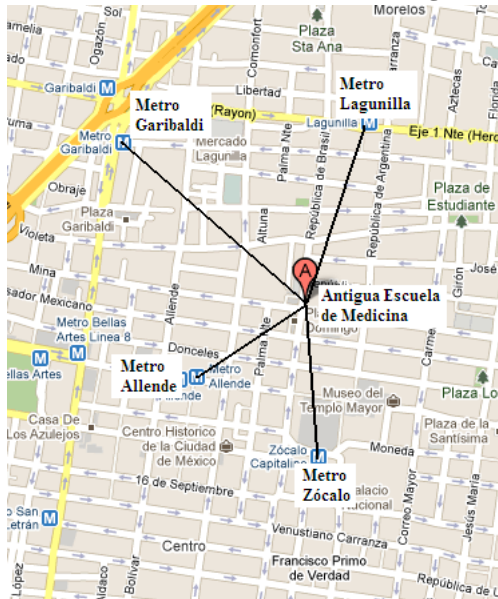
Metro	Distancia
Caminando División del Norte	130m
Línea de vista División del Norte	110m

Dirección General de ENP



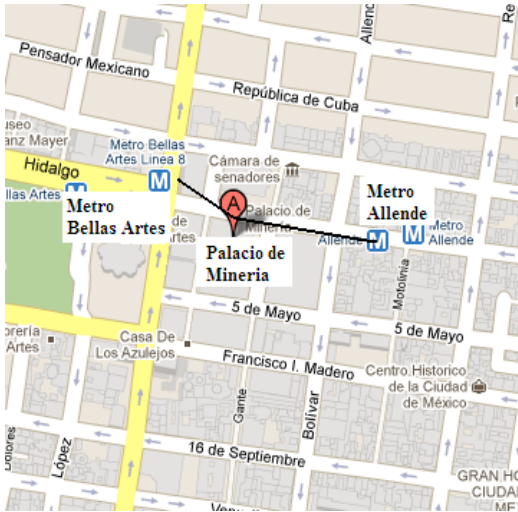
Metro	Distancia
Caminando Etiopia	1.6km
Caminando Eugenia	1.5km
Línea de vista Etiopia	1.42km
Línea de vista Eugenia	1.26km

Antigua Escuela de Medicina



Metro	Distancia
Caminando Lagunilla	750m
Caminando Garibaldi	1.3km
Caminando Allende	650m
Caminando Zócalo	600m
Línea de Vista Lagunilla	630m
Línea de Vista Garibaldi	940m
Línea de Vista Allende	440m
Línea de Vista Zócalo	500m

Palacio de Minería



Metro	Distancia
Caminando Bellas Artes	130m
Caminando Allende	270m
Línea de Vista Bellas Artes	110m
Línea de Vista Allende	270m

Academia de San Carlos



Metro	Distancia
Caminando Zócalo	400m
Línea de Vista Zócalo	430m

Antiguo Colegio de San Ildefonso



Metro	Distancia
Caminando Zócalo	450m
Caminando Allende	750m
Línea de Vista Zócalo	320m
Línea de Vista Allende	640m

Templo de San Agustín



Metro	Distancia
Caminando San Juan de Letrán	550m
Caminando Isabel la Católica	400m
Caminando Zócalo	800m
Línea de Vista San Juan de Letrán	540m
Línea de Vista Isabel la Católica	370m
Línea de Vista Zócalo	590m

Museo de la Luz



Metro	Distancia
Caminando Zócalo	700m
Línea de Vista Zócalo	460m

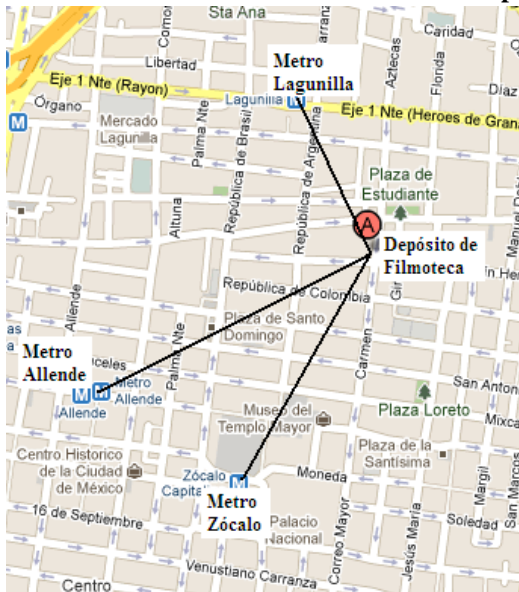
Palacio de Economía



Metro	Distancia
Caminando Allende	450m
Línea de Vista Allende	400m

Programa universitario de estudios sobre la ciudad

Metro	Distancia
Caminando Zócalo	210m
Línea de Vista Zócalo	170m

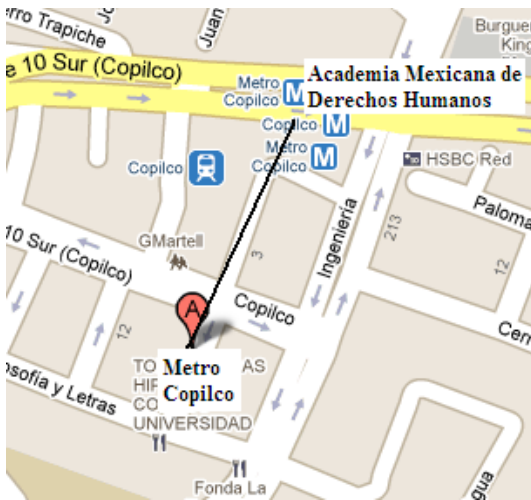
Depósito de Filmoteca

Metro	Distancia
Caminando Lagunilla	700m
Caminando Allende	1.3km
Caminando Zócalo	1.0km
Línea de Vista Lagunilla	510m
Línea de Vista Allende	900m
Línea de Vista Zócalo	750m

Estación Sismológica del Instituto de Geología

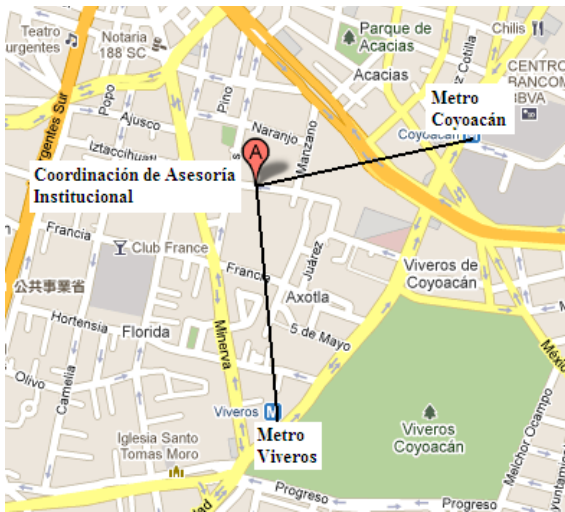
Metro	Distancia
Caminando Constituyentes	1.3km
Caminando Tacubaya	1.1km
Línea de Vista Constituyentes	850m
Línea de Vista Tacubaya	940m

Academia Mexicana De Derechos Humanos



Metro	Distancia
Caminando Copilco	180m
Línea de Vista Copilco	160m

Coordinación de Asesoría Institucional



Metro	Distancia
Caminando Coyoacán	1.0km
Caminando Viveros	1.1km
Línea de Vista Coyoacán	670m
Línea de Vista Viveros	700m

Coordinación de Programas Académicos



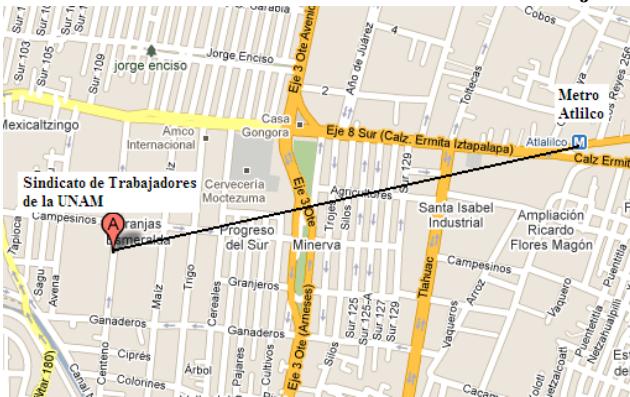
Metro	Distancia
Caminando Miguel Ángel de Quevedo	1.6km
Caminando Copilco	1.7km
Línea de Vista Miguel Ángel de Quevedo	1.4km
Línea de Vista Copilco	1.64km

Dirección General de Actividades Cinematográficas



Metro	Distancia
Caminando Miguel Ángel de Quevedo	1.4km
Caminando Copilco	2.3km
Línea de Vista Miguel Ángel de Quevedo	1.22km
Línea de Vista Copilco	1.80km

Sindicato de Trabajadores de la UNAM



Metro	Distancia
Caminando Atlalilco	2.6km
Línea de Vista Atlalilco	1.70km

Unidad Administrativa de Asuntos Estudiantiles



Metro	Distancia
Caminando Copilco	400m
Línea de Vista Copilco	370m

Protomedicato



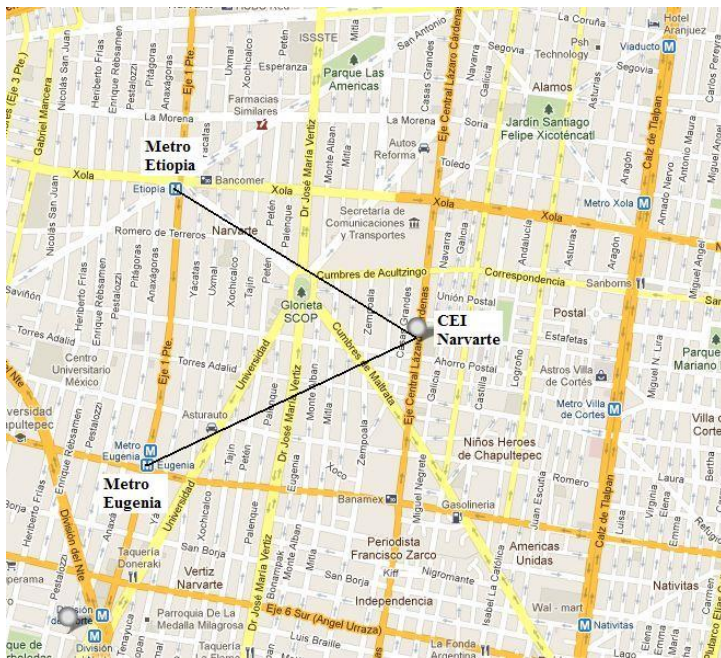
Metro	Distancia
Caminando Allende	700m
Caminando Zócalo	650m
Línea de Vista Allende	535m
Línea de Vista Zócalo	500m

Antigua Escuela de Jurisprudencia



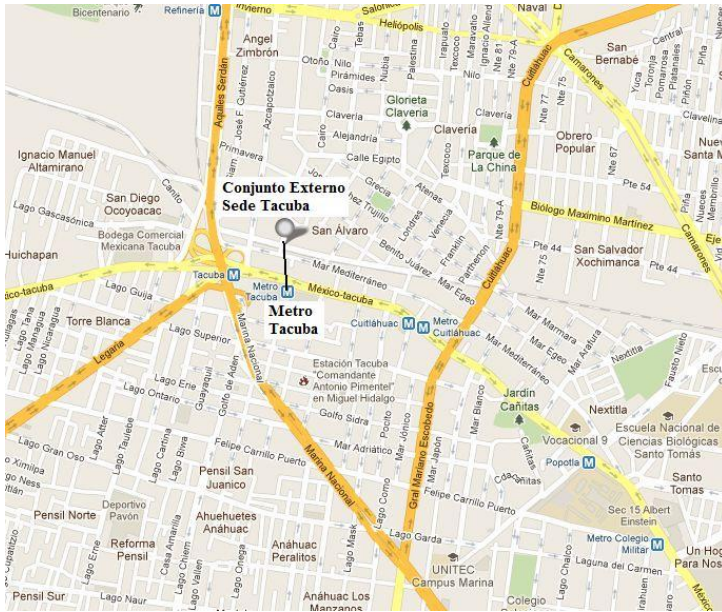
Metro	Distancia
Caminando Zócalo	500m
Línea de Vista Zócalo	460m

CEI Narvarte



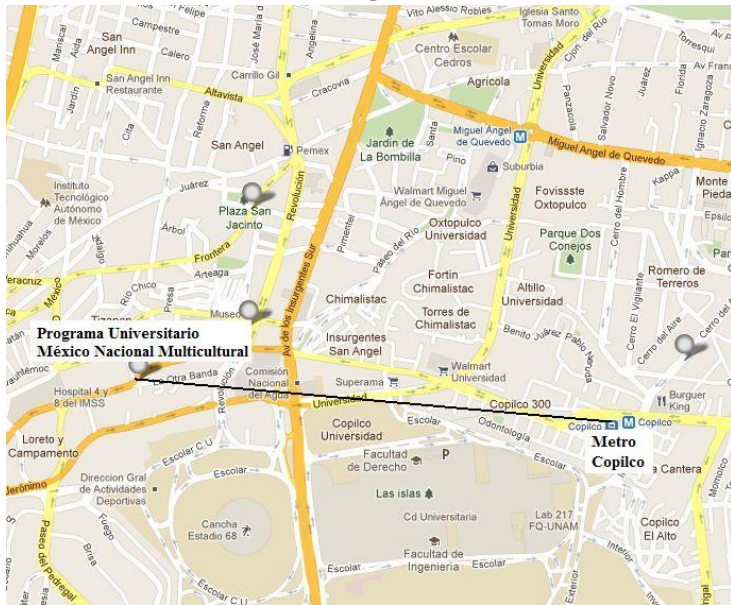
Metro	Distancia
Caminando Etiopia	1.7km
Línea de Vista Etiopia	1.19km

Conjunto Externo Cede Tacuba



Metro	Distancia
Caminando Tacuba	400m
Línea de Vista Tacuba	190m

Programa Universitario México Nación Multicultural



Metro	Distancia
Caminando Copilco	2.2km
Línea de Vista Copilco	2.05km

Resumen de distancias

Preparatoria	Distancia corta	Distancia larga	Línea de vista corta	Línea de vista larga
1	Tasqueña 9.4km	Universidad 10.1km	Tasqueña 8.96km	Universidad 7.98km
2	Iztacalco 1.4km	Apatlaco 1.7km	Apatlaco 1.09km	Iztacalco 1.33km
3	Martín Carrera 1.2km	Talismán 2.3km	Martín Carrera 980m	Talismán 1.67km
4	Tacubaya 1.0km	Observatorio 1.2km	Observatorio 760m	Tacubaya 970m
5	Tasqueña 5.0km	Universidad 5.5km	Tasqueña 4.14km	Universidad 4.56km
6	General Anaya 1.6km	Coyoacán 2.3km	General Anaya 1.25km	Coyoacán 1.78km
7	Fray Servando 950m	San Antonio Abad 1.2km	Fray Servando 760m*	San Antonio Abad 840m
8	Barranca del Muerto 1.1km	Mixcoac 1.7km	Barranca del Muerto 920m	Mixcoac 1.28km
9	Deportivo 18 de Marzo 220m	Lindavista 1.0km	Deportivo 18 de Marzo 170m	Lindavista 870m

Tabla 1 Resumen de distancias ENPs

CCH	Distancia corta	Distancia larga	Línea de vista corta	Línea de vista larga
Azcapotzalco	El Rosario 880m	Tezozomoc 1.1km	El Rosario 594m	Tezozomoc 994m
Naucalpan	Cuatro Caminos 4.2km	No aplica	Cuatro Caminos 3.14km	No aplica
Oriente	Tepalcates 1.8km	Canal de San Juan 1.9km	Canal de San Juan 1.44km	Tepalcates 1.49km
Sur	Universidad 5.0km	Copilco 5.4km	Universidad 3.12km	Copilco 3.65km
Vallejo	Autobuses del Norte 400m	Instituto del Petróleo 850m	Autobuses del Norte 400m	Instituto del Petróleo 850m

Tabla 2 Resumen de distancias ENPs

FES	Distancia corta	Distancia larga	Línea de vista corta	Línea de vista larga
Acatlan	Cuatro Caminos 5.4km	No aplica	Cuatro Caminos 4.38km	No Aplica
Aragón	Impulsora 1.4km	Nezahualcóyotl 1.4km	Impulsora 980km	Nezahualcóyotl 1.06km
Iztacala	El Rosario 3.4km	No Aplica	El Rosario 2.53km	No Aplica
Zaragoza Campo 1	Guelatao 88m	No Aplica	Guelatao 100m	No Aplica
Zaragoza Campo 2	Guelatao 1.8km	No Aplica	Guelatao 1.51km	No Aplica
Cuautitlán Campo 1	Estado de México	Estado de México	Estado de México	Estado de México
Cuautitlán Campo 4	Estado de México	Estado de México	Estado de México	Estado de México

Tabla 3 Resumen de distancias ENPs

DGCTIC	Distancia corta	Distancia larga	Línea de vista corta	Línea de vista larga
Nuevo León	Chilpancingo 700m	No Aplica	Chilpancingo 460m	No Aplica
Mascarones	San Cosme 50m	Revolución 550m	San Cosme 50m	Revolución 520m
Polanco	Polanco 700m	No Aplica	Polanco 650m	No Aplica
San Agustín	Isabel la Católica 400m	San Juan de Letrán 800m	Isabel la Católica 370m	San Juan de Letrán 510m
Tlatelolco	Garibaldi 1.0m	Tlatelolco 1.0km	Garibaldi 630m	Tlatelolco 730m
Palacio de la Autonomía	Zócalo 300m	No Aplica	Zócalo 270m	No Aplica
Coapa	Tasqueña 6.4km	Universidad 7.7km	Tasqueña 5.58km	Universidad 6.62km

Tabla 4 Resumen de distancias DGCTIC

Dependencia	Distancia corta	Distancia larga	Línea de vista corta	Línea de vista larga
Dirección General de Radio UNAM	Chilpancingo 1.0km	Etiopia 1.4km	Chilpancingo 880m	Etiopia 1.07km
CEPE Polanco	Polanco 700m	No aplica	Polanco 650m	No aplica
Museo Experimental del Eco	San Cosme 1.1km	Juárez 1.5km	San Cosme 970m	Juárez 1.43km
Casa Universitaria del Libro	Insurgentes 280m	Niños Héroes 1.6km	Insurgentes 230m	Niños Héroes 1.13km
Museo Universitario del Chopo	Revolución 350m	San Cosme 700m	Revolución 260m	San Cosme 490m
Museo de Geología UNAM	Buenavista 900m	San Cosme 1.2km	Buenavista 670m	San Cosme 990m
Dirección General de CCH	Chilpancingo 1.7km	Etiopia 1.7km	Chilpancingo 1.39km	Etiopia 1.55km
Dirección General de Personal	División del Norte 130m*	No Aplica	División del Norte 110m	No Aplica
Dirección General de ENP	Eugenia 1.5km	Etiopia 1.5km	Eugenia 1.26km	Etiopia 1.42km
Antigua Escuela de Medicina	Zócalo 600m	Allende 1.3km	Allende 440m	Garibaldi 500
Palacio de Minería	Bellas Artes 130m	Allende 270m	Bellas Artes 110m	Allende 270m
Academia de San Carlos	Zócalo 400m	No Aplica	Zócalo 430m	No Aplica
Antiguo Colegio de San Ildefonso	Zócalo 450m	Allende 750m	Zócalo 320m	Allende 640m
Templo de San Agustín	Isabel la Católica 400m	San Juan de Letrán 550m	Isabel la Católica 370m	San Juan de Letrán 590m
Museo de la Luz	Zócalo 700m	No Aplica	Zócalo 460m	No Aplica
Palacio de la Economía	Allende 450m	No Aplica	Allende 400m	No Aplica

Tabla 5 Resumen de distancias Dependencias UNAM

Dependencia	Distancia corta	Distancia larga	Línea de vista corta	Línea de vista larga
Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad	Zócalo 210m	No Aplica	Zócalo 170m	No Aplica
Depósito de Filmoteca	Lagunilla 700m	Zócalo 1.0km	Lagunilla 510m	Zócalo 750m
Estación Sismológica de Geología	Tacubaya 1.1km	Constituyentes 1.3km	Constituyentes 850m	Tacubaya 940m
Academia Mexicana de Derechos Humanos	Copilco 180m	No Aplica	Copilco 160m*	No Aplica
Coordinación de Asesoría Institucional	Coyoacán 1.0km	Viveros 1.1km	Coyoacán 670m	Viveros 700m
Coordinación de Programas Académicos	Miguel Ángel de Quevedo 1.6km	Copilco 1.7km	Miguel Ángel de Quevedo 1.4km	Copilco 1.64km
Dirección General de Actividades Cinematográficas	Miguel Ángel de Quevedo 1.4km	Copilco 2.3km	Miguel Ángel de Quevedo 1.22km	Copilco 1.80km
Sindicato de Trabajadores de la UNAM	Atlalilco 2.6km	No Aplica	Atlalilco 1.70km	No Aplica
Unidad Administrativa de Asuntos Estudiantiles	Copilco 400m	No Aplica	Copilco 370m	No Aplica
Protomedicato	Zócalo 650m	Allende 700	Zócalo 500m	Allende 535m
Antigua Escuela de Jurisprudencia	Zócalo 500m	No Aplica	Zócalo 460m	No Aplica
CEI Narvarte	Etiopia 1.7km	No Aplica	Etiopia 1.7km	No Aplica
Conjunto Externo Cede Tacuba	Tacuba 400m	No Aplica	Tacuba 190m	No Aplica
Programa Universitario México Nación Multicultural	Copilco 2.2km	No Aplica	Copilco 2.05m	No Aplica ¹⁴

Tabla 6 Resumen de distancias Dependencias UNAM (continuación)

¹⁴ No Aplica.- Distancia secundaria que excede a más del doble de la estación más cerca

Glosario

10G-PON	(10Gigabit Ethernet Passive Optical Network).- Tecnología en redes de acceso (última milla) que consta de fibra óptica pasiva. Está definida en la norma IEEE 802.3av.
ANSI	(American National Standards Institute).- Organización privada sin fines lucrativos que administra y coordina la normalización voluntaria y las actividades relacionadas a la evaluación de conformidad en los Estados Unidos.
APON	(ATM Passive Optical Network).- Tecnología en redes de acceso (última milla) que consta de fibra óptica pasiva y que fundamenta la transmisión en celdas ATM. Está definida en la recomendación UIT-T G.983.
ARIB	(Association of Radio Industries and Business).- Asociación que participa elaborando normas y grupos de trabajo en “Project management Tool overview” NGN de la UIT.
ASON	(Automatically Switched Optical Network).- Tecnología en redes de transporte que tiene la capacidad de conexión dinámica. Está definida en la recomendación UIT-T G.8080.
ATIS	(Alliance for Telecommunications Industry Solutions).- Alianza que participa elaborando normas y grupos de trabajo en “Project management Tool overview” NGN de la UIT.
ATM	(Asynchronous Transfer Mode).- Tecnología en redes de transporte que multiplexa y conmuta celdas de longitud fija, combinando los beneficios de la conmutación de circuitos con los de conmutación de paquetes. Está definida en la recomendación UIT-T I.361.
ATSC	(Advanced Television Systems Committee).- Comité que participa elaborando normas y grupos de trabajo en “Project management Tool overview” NGN de la UIT.
AUG	(Administrative Unit Group).- En redes SONET/SDH, son los grupos de unidades administrativas formados por la combinación de Contenedores C, Contenedores Virtuales VC y Unidades Tributarias TU.
AU-n	(Administrative Unit).- En redes SONET/SDH es la unidad formada por el puntero y el VC.
BB	(Backbone).- Término utilizado en telecomunicaciones para refiere a las principales conexiones troncales de una red.
BPON	(Broadband Passive Optical Network).- Tecnología en redes de acceso (última milla) que consta de fibra óptica pasiva y que describe una red de acceso flexible de fibra óptica que puede soportar los requisitos de ancho de banda de los servicios de banda estrecha y ancha. Está definida en la recomendación UIT-T G.983.
BRI	(Basic Rate Interface).- En redes ISDN, interfaz que se forma con dos canales B y un canal D.
CATV	(Community Antenna Television).- Arquitectura de red utilizada por la tecnología HFC.
CBS	(Committed Burst Size).- En Carrier Ethernet, tamaño de la información utilizada para obtener el CIR respectivo.

CCH	Colegio de Ciencias y Humanidades. Dependencia de la UNAM considerada para la interconexión en la RedUNAM Metropolitana.
CCI	(Connection Control Interface).- En redes ASON, interface de conexión localizada entre el Plano de Control y la Red de Transporte Óptica.
CE	(Customer Equipment).- En Carrier Ethernet, equipo representado por un ruteador o switch.
CINVESTAV	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. Forma parte de las tres instituciones que integran la Delta Metropolitana.
CIR	(Committed Information Rate).- En Carrier Ethernet, cantidad promedio de información que se ha transmitido, teniendo en cuenta los retardos, pérdidas, etc.
CLARA	Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas. Grupo de redes que busca integrar una red regional de telecomunicaciones de la más avanzada tecnología para interconectar a las redes académicas nacionales de la región.
C-n	(Container).- En redes SONET/SDH, los contenedores son la unidad básica de empaquetamiento para los canales tributarios de una señal STM-n.
CONACyT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Institución responsable de elaborar las políticas de ciencia y tecnología en México.
CSMA/CD	(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect).- Protocolo que define el funcionamiento de la tecnología IEEE 802.3.
CUDI	Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet. Promueve y coordina el desarrollo de una red de telecomunicaciones de alta tecnología y capacidad, enfocada al desarrollo científico y educativo en México.
CWDM	(Coarse Wavelength Division Multiplexing).- Técnica de multiplexación derivada de la tecnología WDM. Se distingue por tener menos canales de transmisión que DWDM.
DCN	(Data Communication Network).- En ASON, punto de comunicación entre dos OXC en el Plano de Control.
DeMeCAR	Delta Metropolitana de Cómputo de Alto Rendimiento. Proyecto entre las tres instituciones de educación pública más grandes del país: UAM, CINVESTAV y UNAM.
DGCTIC	Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación. Dependencia de la UNAM considerada para la interconexión en la RedUNAM Metropolitana.
DOCSIS	(Data Over Cable Service Interface Specification).- En HFC, norma comercial que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable.
DWDM	(Dense Wavelength Division Multiplexing).- Técnica de multiplexación derivada de la tecnología WDM. Se distingue por tener más canales de transmisión que CWDM.
DXC	(Digital Cross Connect).- En GMPLS, conmutadores digitales de señales multiplexadas en el tiempo.
E-Access	(Ethernet Access).- En Carrier Ethernet, servicio utilizado para normalizar y acelerar el abastecimiento de recursos cuando la red está fuera de los servicios Ethernet.

EBS	(Excess Burst Size).- En Carrier Ethernet, tamaño de información que se necesita para obtener el EIR determinado.
EDFA	(Erbium Doped Fiber Amplifier).- Amplificador que se basa en el dopaje con Erblio en una fibra óptica.
EFM	(Ethernet First Mile).- Concepto que se utiliza para referirse al uso Ethernet en la última milla.
EIR	(Excess Information Rate).- En Carrier Ethernet, EIR especifica la cantidad de información mayor o igual que el CIR, hasta la cual las tramas son transmitidas sin pérdidas.
E-LAN	(Ethernet LAN).- En Carrier Ethernet, servicio que proporciona conectividad multipunto a multipunto en una MEN.
E-Line	(Ethernet Line).- En Carrier Ethernet, servicio que brinda una EVC entre dos UNI.
EMBOSS	(European Molecular Biology Open Source Suite).- Posible aplicación a desarrollar en la RedUNAM Metropolitana.
E-NNI	(External-Node Network Interface).- En ASON, punto de referencia que representa un conjunto de servicios en el Plano de Gestión.
ENP	Escuela Nacional Preparatoria. Dependencia de la UNAM considerada para la interconexión en la RedUNAM Metropolitana
EPON	(Ethernet Passive Optical Network).- Tecnología en redes de acceso (última milla) que consta de fibra óptica pasiva y en fundamentar la transmisión en el uso de Ethernet. Está definida en la norma IEEE 802.3ah.
E-Tree	(Ethernet Tree).- En Carrier Ethernet, servicio que se basa en la operación de una sola red existente en una empresa, pero los suscriptores sólo pueden comunicarse con la sede, no entre sí.
ETSI	(European Telecommunications Standards Institute).- Instituto que participa elaborando normas y grupos de trabajo en “Project management Tool overview” NGN de la UIT.
EVC	(Ethernet Virtual Connection). En Carrier Ethernet, asociación de dos o más UNIs.
FAS	(Frame Alignment Signal).- En redes OTN, consiste en la secuencia de alineación de trama fija.
FDM	(Frequency Division Multiplexing).- Técnica de multiplexación de tipo analógico que se desarrolló a principios de los años 60’s alcanzando su plenitud en la telefonía y la radio.
FDM DP QPSK	(Frequency Division Multiplexing Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying).- Técnica de multiplexación utilizada en la tecnología IEEE 802.3ba (Ethernet 40/100Gbps).
FEC	(Forward Error Correction).- Mecanismo que permite la corrección en el receptor sin retransmisión de la información original.
FES	Facultad de Estudios Superiores. Dependencia de la UNAM considerada para la interconexión en la RedUNAM Metropolitana.
FO	(Fibra Óptica).- Medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos. Se caracteriza por ser un hilo muy fino de material transparente -vidrio o materiales

plásticos- por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir.

FTP	(File Transfer Protocol).- Protocolo de red para la transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red TCP.
GEPON	(Ethernet Passive Optical Network).- Nombre alternativo a la tecnología EPON.
GII	(Global Information Infrastructure).- Proyecto de la UIT que consiste en la normalización de las redes NGN.
GMPLS	(Generalized Multiprotocol Label Switching).- Tecnología en redes de transporte, la cual es un avance evolutivo de la tecnología MPLS. Está definida en el RFC 3471.
GPON	(Gigabit Passive Optical Network).- Tecnología en redes de acceso (última milla) que consta de fibra óptica pasiva y cuenta con capacidad Gigabit. Está definida en la recomendación UIT-T G.983.
GSM	(Global System for Mobile Communications).- Tecnología en redes de acceso (última milla) la cual es utilizada por dispositivos (teléfonos) móviles.
HDLC	(High Level Data Link Control).- Protocolo de comunicaciones de propósito general punto a punto y multipunto. Opera a nivel de la capa 2 del modelo OSI.
HFC	(Hybrid Fiber Coaxial).- Tecnología en redes de acceso (última milla) que consta de fibra óptica y cable coaxial. Es preferida por los operadores de telecomunicaciones para ofrecer a sus abonados, un sin número de servicios y aplicaciones cada vez más amplio (<i>triple play</i>). Está definida en la norma DOCSIS.
I-Ds	(Internet-Drafts).- Los Drafts son documentos hechos por un grupo activo de trabajo de la IETF, los cuales, en esencia, son borradores y no tienen carácter oficial; están sujetos a cambio o eliminación en cualquier momento. Después de cierto proceso, pueden convertirse en RFCs.
IEEE	(Institute of Electrical and Electronics Engineers).- Organización internacional abierta de normalización, que tiene como objetivos el contribuir a la ingeniería de Internet, actuando en diversas áreas, como transporte, enrutamiento y seguridad. También participa elaborando normas y grupos de trabajo en “Project management Tool overview” NGN de la UIT.
IETF	(Internet Engineering Task Force).- Grupo de trabajo que tiene la misión de hacer que Internet funcione mejor mediante la producción de documentos técnicos de alta calidad que participan en la forma de diseño del uso y gestión del Internet. También participa elaborando normas y grupos de trabajo en la herramienta descriptiva de gestión de proyectos NGN de la UIT “Project management Tool overview”.
I-NNI	(Internal-Node Network Interface).- En ASON, punto de referencia que representa un conjunto de servicios en el Plano de Gestión.
IPv4	(Internet Protocol versión 4).- Protocolo de Internet versión 4 que utiliza 32 bits para el direccionamiento. Definido en el RFC 791.
IPv6	(Internet Protocol versión 6).- Protocolo de Internet versión 6 que utiliza 128 bits para el direccionamiento. Definido en el RFC 2460.
ISDN	(Integrated Services Digital Network).- Tecnología en redes de transporte el cual es un complejo sistema de procesamiento de llamadas que permite el transporte de voz y de datos (textos, gráficas, videoconferencia, etc.) todo transmitido desde una única interfaz de red digital. Está definida en la recomendación UIT-T I.311.

ISO	(International Organization for Standardization).- Es la mayor desarrolladora mundial y editora de normas internacionales.
JC	(Justification Control).- En OTN, es uno de los campos pertenecientes al encabezado OPU-k.
Jitter	Variaciones de corta duración y no acumulativas de los instantes significativos de una señal digital con relación a las posiciones que teóricamente debieran ocupar en el tiempo.
LANCAD	Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño. Creado por las tres instituciones de educación pública más grandes del país: UAM, CINVESTAV y UNAM. Uno de los objetivos de este laboratorio es integrar muchas más instituciones académicas mexicanas, a fin de realizar proyectos conjuntos y contribuir así a que se desarrollen y fortalezcan
LER	(Label Edge Router).- En MPLS, nodos situados en la periferia que clasifican el tráfico que ingresa al dominio MPLS, siendo capaces de conectar un dominio MPLS con nodos externos al dominio.
LMDS	(Local Multipoint Distribution Service).- Tecnología en redes de acceso (última milla) la cual usa señales en bandas de microondas -banda Ka-.
LSP	(Label Switching Path).- En redes MPLS, camino unidireccional que se establece mediante conmutación de etiquetas en un dominio MPLS.
LSR	(Label Switching Router).- En redes MPLS, nodos internos de un dominio MPLS que conmutan los paquetes en función de la etiqueta.
MEN	(Metro Ethernet Network).- Concepto que define el uso de Ethernet en un área metropolitana.
MFAS	(Multiframe Alignment Signal).- En redes SONET/SDH, señal de alineación de multitrama.
MMDS	(Multichannel Multipoint Distribution Service).- Tecnología en redes de acceso (última milla) usada para el establecimiento de una red de banda ancha de uso general. Utiliza frecuencias microondas con rangos de 2 GHz a 3 GHz en gama.
MPI	(Message Passing Interface).- Norma que define la sintaxis y semántica de programas que exploten la existencia de múltiples procesadores.
MPLS	(MultiProtocol Label Switched).- Tecnología en redes de transporte MPLS que integran las características de la conmutación y el enrutamiento para proveer la mejor solución en la integración de voz, video y datos. Está definida en el RFC 3031.
MSOH	(Multiplex Section OverHead).- En redes SONET/SDH, campo que se aplica entre terminales de multiplexación en una trama STM.
NGN	(Next Generation Network).- Concepto de Redes de Próxima Generación que se ha introducido para tener en consideración las nuevas realidades en la industria de telecomunicaciones tales como: competencia entre operadores, explosión del tráfico digital, demanda creciente de nuevos servicios multimedia, demanda creciente de una movilidad general, convergencia de redes y servicios, etc.
NIBA	Red Nacional para el Impulso de la Banda Ancha. Proyecto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes que busca proporcionar conectividad de banda ancha a centros educativos, centros de salud, oficinas de gobierno, universidades, entidades de la federación y municipios de México.

NJO	(Negative Justification Opportunity).- En redes OTN, campo localizado en el encabezado OPU-k.
NMI-A	(Network Management Interface for ASON Control Plane).- En redes ASON, interface entre el Plano de Gestión y el Plano de Control.
NMI-T	(Network Management Interface for the Transport Network).- En redes ASON, interface entre el Plano de Gestión y la Red de Transporte Óptica.
NNI	(Network Node Interface).- Punto de referencia en redes de telecomunicaciones que se utiliza para manifestar la interfaces lógicas internas de red a red.
NTP	(Network Time Protocol).- Protocolo de Internet para sincronizar los relojes de los sistemas informáticos a través del ruteo de paquetes.
OADM	(Optical Add/Drop Multiplexer).- Técnica utilizada en la multiplexación WDM que extrae información de un canal óptico determinado e inserta nueva información reutilizando dicho canal.
OAM	(Operation, Administration and Maintenance).- En Carrier Ethernet, es un término general utilizado para describir los procesos, actividades, instrumentos, normas, etc., involucrados en la explotación, administración, gestión y mantenimiento de las redes.
OAM&P	(Operations, Administration, Maintenance and Provisioning).- En redes OTN, es un término general utilizado para describir los procesos, actividades, instrumentos, normas, etc., involucrados en la explotación, administración, gestión, mantenimiento y suministro de las redes.
OCC	(Optical Connection Controller).- En ASON, dispositivos que realizan la señalización, enrutamiento y asignación de direcciones.
OCh	(Optical Channel).- En redes OTN, conexión óptica entre dos usuarios que ocupa todo un camino óptico. Estos canales son multiplexados y transmitidos como una señal a través de una única fibra.
OC-n	(Optical Carrier).- Velocidades de transmisión óptica de la tecnología SONET. Algunos ejemplos son: OC-1, OC-3 y OC-12.
ODN	(Optical Distribution Network).- En redes PON, el ODN es la encargado de conectar del OLT a la ONU/ONT. Suele conocerse con el nombre de <i>splitter</i> .
ODU	(Optical Data Unit).- En redes OTN, unidad que encapsula la señal de cliente y la señal OPU.
OLT	(Optical Line Terminal).- En redes PON, dispositivo (ruteador o switch) que conecta la red de transporte con la red de última milla.
OMA	(Open Mobile Alliance).- Alianza que participa elaborando normas y grupos de trabajo en “Project management Tool overview” NGN de la UIT.
OMS	(Optical Multiplex Section).- En redes OTN, tramo entre un multiplexor y un demultiplexor sobre el que la señal es multiplexada.
ONT	(Optical Network Terminal).- En redes PON, es el dispositivo que conecta la ODN con el usuario final.
ONU	(Optical Network Unit).- En redes PON, dispositivo que conecta la ODN con el usuario final

OPFDM-RZ-DQPSK	(Orthogonal Polarized Frequency Division Multiplexed Return to Zero Differential Quadrature Phase Shift Keying).- Técnica de multiplexación utilizada en la tecnología IEEE 802.3ba (Ethernet 40/100Gbps).
OPU	(Optical Channel Payload Unit).- En redes OTN, unidad que encapsula la señal de cliente.
OSA	(Optical Spectrum Analyzer).- Equipo utilizado para medir la señal óptica en magnitud y frecuencias.
OSI	(Open System Interconnection).- Modelo de red descriptivo creado por la ISO. Es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.
OSNR	(Optical Signal to Noise Ratio).- Margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe.
OTN	(Optical Transport Network).- Tecnología en redes de transporte la cual consiste en un conjunto de elementos de red óptica conectados mediante fibra óptica, capaces de proveer transporte, multiplexación, enrutamiento, gestión y supervisión de las señales ópticas. Está definida en la recomendación UIT-T G.709.
OTS	(Optical Transmission Section).- En redes OTN, es el transporte entre dos puntos de acceso sobre la señal que es multiplexada y se transmite.
OTU	(Optical Transport Unit).- En redes OTN, nivel que añade mayor funcionalidad en estas redes.
OVSM	(Observatorio Virtual Solar Mexicano).- Posible aplicación a desarrollar en la RedUNAM Metropolitana.
OXC	(Optical Cross Connect).- En redes GMPLS, conmutadores de longitudes de onda con conversión electroóptica.
P2MP	(Point to Multipoint).- Término que se utiliza para la comunicación a través de un tipo de conexión a muchos, ofreciendo varias rutas de acceso desde una única ubicación en varias ubicaciones.
P2P	(Point to Point).- Comunicación a nivel de la capa de enlace TCP/IP entre dos computadoras.
PDH	(Plesiochronous Digital Hierarchy).- Tecnología en redes de transporte que es capaz de transmitir múltiples canales telefónicos digitales al mismo tiempo de manera plesiócrona. Está definida en la recomendación UIT-T G.702.
PDM-QPSK	(Polarization Division Multiplexing Differential Quadrature Phase Shift Keying).- Técnica de multiplexación utilizada en la tecnología IEEE 802.3ba (Ethernet 40/100Gbps).
PM	(Path Monitoring).- En redes OTN, campo que se encuentra dentro del encabezado ODU.
PMD	(Physical Medium Dependent).- En IEEE 802.3, subcapa física.
POH	(Path OverHead).- En redes SONET/SDH, encabezado que tiene como misión monitorear la calidad e indicar el tipo de los contenedores.
PON	(Passive Optical Network).- Tecnología en redes de acceso (última milla) que consta de fibra óptica pasiva permitiendo eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente sustituyéndolos por componentes ópticos

pasivos (*splitters*).

PPP	(Point to Point Protocol).- Protocolo que permite establecer una comunicación a nivel de la capa de enlace TCP/IP entre dos computadoras. Está normalizado en el RFC 1661.
PRI	(Primary Rate Interface).- En redes ISDN, interfaz que está pensada para usuarios con necesidades de capacidad mayores. Normalmente está formado para EUA por 23 canales B, además de un canal D.
PSI	(Payload Structure Identifier).- En redes OTN, campo localizado en el encabezado OPU-k.
PSTN	(Public Switch Telephone Network).- Tecnología en redes de transporte que consiste exclusivamente en la transmisión/recepción de señales de voz en forma de canales telefónicos digitales. Está definida en la recomendación UIT-T V.90.
PT	(Payload Type).- En redes OTN, campo localizado dentro del PSI.
PXC	(Photonic Cross Connect).- En redes GMPLS, conmutadores de longitudes de onda totalmente ópticos.
QAM	(Quadrature Amplitude Modulation).- Técnica de modulación digital avanzada que transporta datos, mediante la modulación de la señal portadora de información tanto en amplitud como en fase. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasando 90° la fase y la amplitud.
QoS	(Quality of Service).- Servicio que garantiza la transmisión de cierta cantidad de información <i>throughput</i> en un tiempo dado. Es especialmente importante para aplicaciones como la transmisión de voz o vídeo.
RFC	(Request for Comments).- Documentos oficiales publicados por el IETF. Muchos de ellos son normas en las cuales se forma el Internet. Le precede al RFC el I-Ds.
RI3	Red de Telecomunicaciones para Impulsar la Investigación en las Instituciones Académicas. Tiene como objetivo implementar una red de comunicaciones avanzada de investigación e innovación que permita a aquellas universidades públicas o privadas del país establecer contacto con otras universidades e institutos de investigación a nivel internacional y redes académicas internacionales.
RNIE	Redes Nacionales de Investigación y Educación. Permiten a académicos, científicos e investigadores, colaborar y compartir información y recursos a través de una serie de redes interconectadas. Son utilizadas para transferir datos, soportar los experimentos y aplicaciones que son cruciales para la investigación académica y la educación.
ROADM	(Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer).- Técnica utilizada en la multiplexación WDM que extrae información de manera dinámica de un canal óptico determinado e inserta nueva información reutilizando dicho canal.
ROI	(Return On Investment).- Valor que mide el rendimiento de una inversión para evaluar qué tan eficiente es el gasto que se realiza.
RSOH	(Regenerator Section Over Head).- En redes SONET/SDH, encabezado que se encarga de la regeneración de sección.
SC	(Set and Connect).- Conector de fibra óptica con un mecanismo de <i>push-pull</i> de enganche que proporciona una rápida inserción/remoción para así garantizar una buena conexión.

SCDMA	(Synchronous Code Division Multiple Access).- Técnica de modulación de espectro disperso por división de código.
SDH	(Synchronous Digital Hierarchy).- Tecnología en redes de transporte la cual es una evolución de la tecnología PDH utilizando transmisiones síncronas. Está definida en la recomendación UIT-T G.707.
SFP	(Small Form-Factor Pluggable).- También conocido como mini-GBIC, transceptor utilizado para las telecomunicaciones y aplicaciones de datos. Se conecta a un switch, router o algún dispositivo similar a un cable de cobre o de fibra óptica.
SLA	(Service Level Agreements).- Contrato escrito entre un proveedor de servicio y cliente con objeto de fijar el nivel acordado para la calidad de servicio.
SM	(Single Mode).- Tipo de fibra óptica que tiene el diámetro del núcleo entre 8 a 10µm. Sólo permite un modo de propagación
SNMP	(Simple Network Management Protocol).- Protocolo de la capa de aplicación del modelo OSI que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red. Permite a los administradores supervisar el funcionamiento de la red, buscar y resolver sus problemas.
SOH	(Section Over Head).- En redes SONET/SDH, encabezado que pertenece a la estructura de tramas STM.
SONET	(Synchronous Optical NETwork).- Tecnología en redes de transporte la cual es una evolución de la tecnología PDH utilizando transmisiones síncronas. Está definida en la norma ANSI T1.105.
Splitter	En redes PON, nombre alternativo al ODN.
SSH	(Secure Shell).- Protocolo utilizado para acceder a máquinas remotas a través de una red.
ST	(Set and Twist).- Conector de fibra óptica similar al SC, pero que requiere un giro del conector para su inserción, de modo similar a los conectores coaxiales.
STC	Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México. A través de su infraestructura está tendida la fibra óptica de la Delta Metropolitana.
STM-n	(Synchronous Transport Module).- Jerarquía de velocidades síncrona de la tecnología SONET. Algunos ejemplos son: OC-1, OC-3 y OC-12.
STS-n	(Synchronous Transport Signal).- Jerarquía de velocidades síncrona de la tecnología SDH. Algunos ejemplos son: STS-1, STS-3 y STS-12.
TAP	(Termination and Adaptation Performer).- En ASON, TAP es el ejecutante de terminación y adaptación del enlace. También proporciona una visión del plano de control de las conexiones.
TCM	(Tandem Connection Monitoring).- En redes OTN, es aquel campo que se encuentra dentro del encabezado ODU.
TCP	(Transmission Control Protocol).- Protocolo que garantiza que los datos serán entregados en su destino sin errores y en el mismo orden en que se transmitieron.
TDM	(Time Division Multiplexing).- Técnica de multiplexación digital capaz de intercalar cronológicamente muestras provenientes de varias fuentes.

TDMA	(Time Division Multiple Access).- Tecnología de cable módem de sistemas de comunicación que proporciona la transmisión de 10Mbps en ambas direcciones.
Throughput	Volumen de información que fluye en las redes de datos.
TIA	(Telecommunications Industry Association).- Asociación que participa elaborando normas y grupos de trabajo en “Project management Tool overview” NGN de la UIT.
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación. Agrupan los elementos y las técnicas usadas en el tratamiento y la transmisión de las informaciones, principalmente de informática, Internet y telecomunicaciones.
Triple Play	Tipo de servicios y contenidos de voz, datos y televisión sobre un mismo medio de transmisión, comúnmente fibra óptica.
TUG-n	(Tributary Units Group).- En redes SONET/SDH, unidades que realizan procesos de multiplexación por entrelazado de byte de conjuntos TU-n.
TU-n	(Tributary Unit).- En redes SONET/SDH, unidades tributarias.
UAM	Universidad Autónoma Metropolitana. Forma parte de las tres instituciones que integran la Delta Metropolitana.
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones. Encargada de atribuir el espectro radioeléctrico y las órbitas de satélite a escala mundial, elaborar normas técnicas que garantizan la interconexión continua de las redes y las tecnologías, y realizan un esfuerzo por mejorar el acceso a las TIC de las comunidades insuficientemente atendidas de todo el mundo.
UMTS	(Universal Mobile Telecommunications System).- Tecnología en redes de acceso (última milla) que es utilizada por los dispositivos móviles (teléfonos) de tercera generación
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México. Forma parte de las tres instituciones que integran la Delta Metropolitana.
UNI	(Unit Network Interface).- Punto de referencia en redes de telecomunicaciones para mostrar el punto de conexión entre el usuario y la red.
VC	(Virtual Channel).- En redes ATM, es un término genérico utilizado para describir una capacidad de comunicación unidireccional para el transporte de células ATM.
VCI	(Virtual Channel Identifier).- En redes ATM, identificador que asigna un valor específico cada vez que un VC se conmuta en la red se asigna un valor específico.
VC-n	(Virtual Container).- En redes SONET/SDH, son aquellos formados por contenedores C y encabezados de trayecto POH.
VESO	(Virtual Earth Sun Observatory).- Posible aplicación a desarrollar en la RedUNAM Metropolitana.
VP	(Virtual Path).- En redes ATM, término genérico utilizado para un haz de enlaces de canales virtuales.
VPC	(Virtual Path Connection).- En redes ATM, conexión de trayecto virtual.
VPLS	(Virtual Private LAN Service).- Servicio que permite a sitios geográficamente dispersos compartir un dominio de difusión Ethernet mediante la conexión de sitios.

VPN	(Virtual Private Network).- Red privada construida dentro de una infraestructura de red pública, como por ejemplo, Internet.
WAN	(Wide Area Network).- Redes de área extensa que permiten distancias de entre unos 100 hasta unos 1000km, proveyendo servicio a un país o un continente.
Wander	Variaciones de larga duración y no acumulativas de los instantes significativos de una señal digital con relación a las posiciones que teóricamente debieran ocupar en el tiempo.
WDM	(Wavelength Division Multiplexing).- Técnica de multiplexación que permite combinar múltiples portadoras ópticas en una misma fibra óptica.
WLAN	(Wireless Local Area Network).- Sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible, muy utilizado como alternativa a las redes de área local cableadas o como extensión de estas.
WII	(Wireless Local Loop).- Tecnología en redes de acceso (última milla) utiliza un enlace de comunicaciones inalámbricas para ofrecer servicios de telefonía e Internet de banda ancha a los usuarios
xDSL	(x Digital Subscriber Line).- Tecnología en redes de acceso (última milla) la cual es un término utilizado para referirse de forma global a todas las tecnologías que proveen una conexión digital sobre línea de abonado de la red telefónica básica o conmutada
XFP	(10 Gigabit Small Form Factor Pluggable).- Transceptor de red de computadoras de alta velocidad y enlaces de telecomunicaciones que utilizan la fibra óptica.
XG-PON	(Next Generation Passive Optical Network).- Tecnología en redes de acceso (última milla) que consta de fibra óptica pasiva y se caracteriza por contar con dos variantes: XG-PON1 y XG-PON2. Está definida en la recomendación UIT-T G.987.
ZMCM	La Zona Metropolitana de la Ciudad de México es el área formada por la Ciudad de México y los espacios conurbados a ella.
ZWPF	(Zero Water Peak Fiber).- Fibra óptica que elimina la alta atenuación originada por el pico de agua.

1.4 Referencias

- [1] REUNA Ciencia y Educación en Red. “Redes Internacionales”. Santiago de Chile
<http://www.reuna.cl/index.php/redes-internacionales>
- [2] CUDI Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet A.C. “Antecedentes”
<http://www.cudi.mx/antecedentes/antece.html>
- [3] Fernández De Jáuregui Ruiz Iván. “Estudio de sistemas ópticos WDM para su implantación en redes de alta velocidad”
- [4] Boletín Informativo Red CUDI “CUDI obtiene direcciones en IPv4, IPv6 y un ASN, para formar la Red Dorsal Nacional de Impulso a la Banda Ancha (RedNIBA)”
http://www.cudi.edu.mx/boletin/2010/02_boletin_febrero_01.html
- [5] Hans Ludwing Reyes Chávez “NOC-Red CUDI” 2011
http://www.cudi.edu.mx/otono_2011/presentaciones/noc.pdf
- [6] Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación “LANCAD”
<http://www.tic.unam.mx/pdfs/LANCAD.pdf>
- [7] Reunión CUDI Primavera 2011. “Laboratorio Nacional de Cómputo de Alta Desempeño (LANCAD)”
<http://documents.gisela-grid.eu/record/195>
- [8] Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación “Crearon Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño”
<http://www.tic.unam.mx/lancad.html>
- [9] Documentación “Delta Metropolitana” NetLab Laboratorio de Redes y Tecnologías Emergentes
- [10] REUNA Ciencia y Educación en Red. “Uso y Aplicaciones”. Santiago de Chile
<http://www.reuna.cl/index.php/es/redes-internacionales/uso-y-aplicaciones>
- [11] REUNA Ciencia y Educación en Red. “CLARA – Latinoamérica”. Santiago de Chile
- [12] REUNA Ciencia y Educación en Red. “Mapa de redes”. Santiago de Chile
- [13] Fibra Óptica Hoy. Sepa todo sobre la Fibra Óptica “Medios de Transmisión Electromagnéticos” Mayo 2011.
<http://www.fibraopticahoy.com/medios-de-transmision-electromagneticos/>
- [14] Moncada y Lorenzo “Fundamentos de Fibra Óptica” Marzo 2011
<http://moncadaylorenzo.blogspot.com/2011/03/fundamentos-de-fibra-optica-por.html>
- [15] Unión Internacional de telecomunicaciones UIT, Recomendación UIT-T G.652 “Características de las fibras y cables ópticos monomodo” Noviembre 2009
- [16] Unión Internacional de telecomunicaciones UIT, Recomendación UIT-T G.651.1 “Características de los cables de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 μm para la red de acceso óptico”
- [17] Sadiku, Matthew “Elementos de electromagnetismo” Editor Oxford University Press, 2003
- [18] Textos Científicos “Tipos de Fibra Óptica” 2005
<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/tiposfibra>
- [19] Científicos “Empalmes y Conexiones de Fibra Óptica” 2006
<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/empalmes-conexiones>

2.6 Referencias

- [1] Huidobro Moya, José Manuel. (1993). “Sistemas de Comunicaciones”. Madrid. Paraninfo.
- [2] Eugene Blanchard. Southern Alberta Institute of Technology “Introduction to networking and Data Communications” http://www.rigacci.org/docs/biblio/online/intro_to_networking/c4234.htm
- [3] Restrepo Ángulo, Jairo (2007). “Análisis de los procesos básicos de un sistema de comunicaciones”. Universidad de Medellín.
- [4] Santiago Galván Sánchez. “Aspectos físicos de la transmisión de datos” <http://es.scribd.com/doc/57327623/47/TDM-asincrono>
- [5] Keiser, Gerd. (2003). “Optical Communications Essentials”. McGraw-Hill
- [6] InfoCellar Computer Technology and Network Communications “Wave Division Multiplexing” <http://www.infocellar.com/networks/fiber-optics/wdm.htm>
- [7] Ramón Jesús Millan Tejedor “CWDM, el asalto de las redes metropolitanas” <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/cwdm.php>
- [8] Huidobro Moya, José Manuel y Millán Tejedor, Ramón Jesús. (2007) “Redes de Datos y Convergencia IP”. Madrid. Alfaomega
- [9] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT “CWDM Means” http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/1D/01/T1D010000030002PDFE.pdf
- [10] Recomendación UIT-T G.694.2 “Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de multiplexación por división aproximada de longitud de onda” 2003 <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2-200312-I/es>
- [11] Blog de Comunicación y tecnología “WDM y sus socios” <http://kunaytec.blogspot.com/2011/05/wdm-y-sus-socios.html>
- [12] Recomendación UIT-T G.694.1 “Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda densa” 2002 <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-200206-I/es>
- [13] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT “DWDM Means” http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/1D/01/T1D010000090001PDFE.pdf
- [14] Louay Eldada. SPIE Digital Library. “Optical add/drop multiplexing architecture for metro area networks” 2008 <http://spie.org/x19262.xml?pf=true&ArticleID=x19262>

Información complementaria

- [1] Aníbal R. Figueiras Vidal, Antonio Artés Rodríguez, Aníbal R. Figueiras Vidal. (2002) "Una panorámica de las telecomunicaciones". Pearson Educación
- [2] Recomendación ITU G.39 Transmission Systems And Media, Digital Systems And Networks Optical system design and engineering considerations (2006)
- [3] Carmen del Rocío Flores Llanos. 2007. Diseño de la Red de Transporte Alternativa para Tráfico Internacional de TRANSELECTRIC S.A. con Tecnología DWDM
- [4] Cisco Systems, “Introduction to DWDM Technology” <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/mels/dwdm/dwdm.pdf>
- [5] Antonio Rodríguez Ruiz y Carlos Vázquez López. WDM: Recomendaciones ITU <http://es.scribd.com/doc/38989950/Presentacion-WDM>

3.12 Referencias

- [1] Francisco González Piñones “Beneficios de una Red Jerárquica”
http://redesfran-cisco.blogspot.com/2010/05/beneficios-de-una-red-jerarquica_01.html
- [2] Universidad Pública de Navarra UPNA. Redes de Banda Ancha. Área de Ingeniería Telemática “Redes de Área Extensa WAN”
- [3] Recomendación UIT-T G.702 “Velocidades Binarias de la Jerarquía Digital” (1988-2011)
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.702-198811-I/es>
- [4] Tahoe Telecomunicaciones “Velocidades jerárquicas binaria en las redes digitales”
<http://www.tahoe.pl/eng/img/pdh.gif>
- [5] Recomendación UIT-T G.707 “Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)” (1988-2011)
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.707-200701-I/es>
- [6] Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Gonzalo David Cárdenas Carrera. “Integración de la Tecnología de Multiplexación DWDM con la Técnica de Transmisión SDH” 2010
- [7] Ramón Jesús Millán Tejedor “La tecnología líder en transporte óptico: SDH (II)”
http://www.ramonmillan.com/tutoriales/sdh_parte2.php
- [8] Ing. Colombo Valeria Caponetto. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza “ISDN Red Digital de Servicios Integrados”
<http://www.frm.utn.edu.ar/comunicaciones/isdn.html>
- [9] Sitio Oficial de Angelfire. Massachusetts “Redes ISDN”
<http://www.angelfire.com/wi/ociosonet/30.html>
- [10] NETS Pvt. Ltd. “What is ISDN: Fundamentals of ISDN Technology”
http://www.nets.net.pk/re_isdn.htm
- [11] Recomendación UIT-T I.321 “Modelo de Referencia de Protocolo RDSI-BA y su Aplicación” 1991-2011 Vigente
<http://www.itu.int/rec/T-REC-I.321-199104-I/es>
- [12] Recomendación UIT-T I.311 “Aspectos generales de red de la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA)” 1996- 2011 Vigente
<http://www.itu.int/rec/T-REC-I.311-199608-I/es>
- [13] Recomendación UIT-T I.361 “Especificación de la capa modo de transferencia asíncrono de la RDSI-BA” 1999-2011 Vigente
<http://www.itu.int/rec/T-REC-I.361-199902-I/es>
- [14] Recomendación UIT-T I.732 “Características funcionales del equipo del modo de transferencia asíncrono” 2000- 2011 Vigente
- [15] Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Daisy Elena Vásquez Vásquez “Estudio de Redes de Transporte Óptico (OTN), como plataforma para Redes Multiservicios”
- [16] Recomendación UIT-T G.709 “Interfaces para la red óptica de transporte” 2009- 2011 Vigente
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.709-200912-I/es>
- [17] Internet Engineering Task Force (IETF). Request for Comments RFC 3031 “Multiprotocol Label Switching Architecture”
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt>
- [18] Cisco Networking “MPLS”
http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_4-3/mpls.html

- [19] Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Mayra Alexandra Hinojosa López “Diseño de una Red MPLS Utilizando El Protocolo IPv6 para Proveedores de Servicios de Telecomunicaciones” 2009
- [20] Internet Engineering Task Force (IETF). Request for Comments RFC 3945 “Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture”
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3945.txt>
- [21] Ramón Jesús Millán Tejedor “Integración de redes ópticas e IP con GMPLS”
<http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gmpls.php>
- [22] Ángela Belda “Arquitectura GMPLS”
- [23] Recomendación UIT-T G.8080 “Arquitectura de la red óptica con conmutación automática” 2006- 2011 Vigente
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.8080-200606-I/es>
- [24] Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Rodríguez Rodríguez Eduardo Enrique. “Redes ASON e Integración con el Protocolo GMPLS y Diseño de la Red WAN (ASON)” 2010
- [25] Internet Engineering Task Force (IETF). DRAFT “A Framework for the Control of WSON”
<http://www.ietf.org/id/draft-ietf-ccamp-wson-impairments-07.txt>
- [26] Internet Engineering Task Force (IETF). “Routing and Wavelength Assignment Information Encoding”
<http://www.ietf.org/id/draft-ietf-ccamp-rwa-wson-encode-13.txt>
- [27] Fundación Proydesa. “Fast-Track CCNA v3.7”
<http://www.proydesa.org/portal/carreras/redes>
- [28] IEEE 802.3ba 40Gb/s and 100Gb/s Ethernet Task Force
<http://www.ieee802.org/3/ba/>
- [29] Louis-Vincent Perrinel “IPoDWDM Transport Solutions NGN CISCO” 2009
- [30] Alcatel-Lucent. José Ignacio Quintero “Fibras Ópticas y Caracterización para Redes de 40 y 100G” 2011
<http://es.scribd.com/doc/71966267/F-O-Caracterizacion-para-Redes-de-40-y-100G-EDC>
- [31] Ilango Ganga IEEE ComSoc SCV. “IEEE 802.3ba 40 and 100 Gigabit Ethernet Architecture” 2010
- [32] Matt Squire, Chief Technology Officer Overture Networks. “Carrier Ethernet & Business Services Seminar. México DF. Presentación08: The Technical Tutorial”
- [33] Luis Arroyo, Sales Engineer, ECI “Carrier Ethernet & Business Services Seminar. México DF. Presentación07: Carrier Ethernet Services Tutorial”
- [34] Thomas Mandeville Iometrix, MEF Authorized Lab “Carrier Ethernet & Business Services Seminar. México DF. Presentación09: Carrier Ethernet Certification Program”
- [35] Mannix O’ Connor, MRV Communications; Eric Doricko, Calix, MEF CALA Marketing Co-Chair; Fernando Lehnen, Calix; Emerson Moura, Cisco, MEF CALA Marketing Co-Chair “Carrier Ethernet & Business Services Seminar. México DF. Presentación10: Carrier Ethernet Tutorial”
- [36] Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. José Andrés Grajeda García “Configuración de Circuitos Ethernet sobre SDH en Equipos OMS”
- [37] Metro Ethernet Forum MEF “About MEF”
<http://metroethernetforum.org/AbouttheMEF>
- [38] Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Luis Eduardo Campos Jiménez. “Estudio y Diseño de una Red Portadora Metro Ethernet para la Ciudad de Quito con Tecnologías 802.3ah”

- [39] European Commission. Education & training. "Conexión por Línea Conmutada"
<http://ecolotrain.uni-saarland.de/index.php?id=1411&L=3>
- [40] Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Hernández García Alejandro "PDH"
http://profesores.fi-b.unam.mx/cintia/RESUMEN_PDH.pdf
- [41] Universidad Yacambu. Dirección General de Postgrado. Especialización en Redes Y Telecomunicaciones. Ing. Lesby Sánchez "Jerarquía Digital Síncrona"
http://www.geocities.ws/acrmpos/rt/trab1.html#_Toc149751033
- [42] Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Sandra Rodríguez Enríquez "Banda ancha aplicada a la red telefónica de Pacifictel: Evaluación del estado de la red de cobre"
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3247/1/5766.pdf>
- [43] AGESIC. Rogelio Alvez "Fundamentos de MPLS"
<http://www.cert.uy/historico/pdf/Presentaci%C3%B3n%201%20-%20MPLS%20base.pdf>
- [44] Microsoft TechNet "Ventajas de ATM"
<http://technet.microsoft.com/es-es/library/cc740081%28WS.10%29.aspx>
- [45] Siemens "Descripción de productos OTN" 2006
- [46] Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica. Martha Odilia Tapasco García "MPLS, el Presente de las Redes IP"
- [47] Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. María Beatriz Díaz Yánez. "Estudio de la Conmutación de Longitudes de Onda para Multiprotocolo (MPLS) en Redes ASON (Automatically Switched Optical Network)"
- [48] Recomendación UIT-T Y.2001 "Visión general de las redes de próxima generación" 2004
<http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2001-200412-I>
- [49] Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) "NGN Project Activities"
http://www.itu.int/ngnproject/main_table.aspx

Información complementaria:

- [1] CIENA "Carrier Ethernet Access Extending Ethernet into the First Mile"
- [2] ALTERA "Using 10Gbps Transceivers in 40G 100G Applications" 2010
- [3] Imagine ART "Ethernet Pasado, Presente, y futuro"
- [4] Julio Fernando Chacha Guevara "Estudio de la Tecnología Ethernet sobre SDH y Pruebas de Canalización"
- [5] John D'Ambrosia "40 Gigabit Ethernet and 100 Gigabit Ethernet Technology Overview" 2010
- [6] MEF "Carrier Ethernet Access Extending Ethernet into the First Mile" 2007
- [7] RAD Communications "Carrier Ethernet Managing the Service Lifecycle"
- [8] TELSAA "La evolución del Ethernet"
- [9] RAD Communications "Carrier Ethernet Reference Guide"
- [10] RAD Communications "Carrier Ethernet PartII Service levels and SLA"
- [11] RAD Communications "Carrier Ethernet PartIII Ethernet and IP VPNs, when to use it"
- [12] Conchi Aller Tomillo "Qué es Metro Ethernet"

- [13] Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. María Beatriz Díaz Yánez. *Trabajo Completo*. “Estudio de la Conmutación de Longitudes de Onda para Multiprotocolo (MPLS) en Redes ASON”
- [14] Escuela Politecnica Superior “Estándares de banda ancha”
- [15] Universidad de Extremadura. Grupo de investigación de Ingeniería Telemática Aplicada y Comunicaciones Avanzadas “Framework para el desarrollo del enrutamiento interdominio con QoS en PCE sobre MPLS”
- [16] Bernd Zeuner. Georg Lehr. "ASON Current Status of Standardization Work"
- [17] Dirk Schroetter, Consulting Systems Engineer Cisco. "GMPLS lambda aware"
- [18] Tell Labs. “IP vs. ATM: Choosing the Optimal Transport Protocol for GPON Deployments”
- [19] Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Jaramillo Rodriguez Sandra Elizabeth "Diseño para la Migración de una Red de Tecnología Metro Ethernet a la Tecnología MPLS"
- [20] Ivan Pepelnjak, Jim Guichard. Cisco Press “MPLS and VPN Architectures, CCIP Edition”
- [21] Carlos Hernán Freire Freire “MPLS y ATM”
- [22] Juan Sebastián Guevara Henao. “MPLS, GMPLS, ASON”
- [23] UPNA Ingeniería Telemática “Multiplexación SDH”
- [24] Rajiv Ramaswami “Optical Networks, A practical perspective”
- [25] Alejandro González. “Protocolos y estándares”
- [26] Ericsson y Nortel. “Qué es Redes Metro Ethernet”
- [27] Internet Engineering Task Force (IETF). Request for Comments RFC 3471 “GMPLS Signaling Functional Description”
- [28] Internet Engineering Task Force (IETF). Request for Comments RFC 2702 “MPLS Architecture”
- [29] Internet Engineering Task Force (IETF). Request for Comments RFC 3032 “MPLS Label Stack Encoding”
- [30] Internet Engineering Task Force (IETF). Request for Comments RFC 6163 “Framework for GMPLS and Path Computation Element (PCE) Control of Wavelength Switched Optical Networks (WSONs)”
- [31] Jordi Ferrer Martí. “Simulador para redes ópticas semitransparentes”
- [32] Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Fray Aguirre José Fernando “Análisis Diseño e Implementación de una Guía para la Administración de una Red de Cobre usada para Transmisión de Voz, Video y Datos”
- [33] UPNA Ingeniería Telemática “WANs, PDH, y SDH”
- [34] Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. ESIME-Zacatenco Sección de Estudios de Postgrado e Investigación. Ing. Luis Manuel Díaz Hernández "MPLS en la Red del IPN"
- [35] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT “Nacimiento de la banda ancha”
<http://www.itu.int/osg/spu/publications/birthofbroadband/faq-es.htm>

4.7 Referencias

- [1] Francisco Córdova “Tecnologías de acceso”
http://www.imaginar.org/iicd/tus_archivos/TUS6/2_tecnologia.pdf
- [2] Axel Iván González Bojorges “RedUNAM Metropolitana: Diseño, Pruebas y Pre licitación”
- [3] Scribd "Redes CATV Coaxiales"
<http://es.scribd.com/doc/6754446/Redes-CATV-Coaxiales-19491988>
- [4] Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Mauro Gonzalo Espinosa Villarreal “Análisis de la Integración de Redes HFC con Tecnologías Inalámbricas, bajo la Norma DOCSIS” 2008
- [5] Cable Labs “DOCSIS® – Project Primer”
<http://www.cablelabs.com/cablemodem/primer/>
- [6] Foro Banda Ancha. "DOCSIS 3 aumenta su capacidad a 320Mb en las redes de cable"
<http://bandaancha.eu/articulo/6284/docsis-3-aumenta-capacidad-320mb-redes-cable>
- [7] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. Recomendación UIT-T G.983.1 “Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas”
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1-200501-I/es>
- [8] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT “Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales”
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G/s>
- [9] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. Recomendación UIT-T G.983.3 “Sistema de acceso óptico de banda ancha con capacidad de servicio incrementada mediante la asignación de longitudes de onda”
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.3-200103-I/es>
- [10] Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica. José Luis Vásquez Venegas. “Estudio de las Redes Ópticas Pasivas de Banda Ancha (BPON) y sus Posibles Aplicaciones en el País”
- [11] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. Recomendación UIT-T G.984.1”Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics”
- [12] Ramón Jesús Millán Tejedor. “GPON (Gigabit Passive Optical Network)”
<http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>
- [13] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. Recomendación ITU-T G.984.2 “Amendment 1: New Appendix III – Industry best practice for 2.488Gbps downstream, 1.244Gbps upstream G-PON” 2008
- [14] Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Jorge Israel Logroño Gómez. “Integración de las Redes Ópticas Pasivas Ethernet EPON/GPON con la Tecnología WiMAX”
- [15] Steve Gorshe. PCM Sierra "Introduction to IEEE 802.3av 10Gbits Ethernet Passive Optical Networks 10G EPON"
- [16] Metro Ethernet Forum “Ethernet Passive Optical Network (EPON): A Tutorial”
- [17] Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE “IEEE 802.3ah Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications”
- [18] Telefónica del Sur “Implementación de Redes FTTH”
- [19] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. Recomendación ITU-T G.987.2 “10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification” 2010
- [20] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. Recomendación ITU-T G.987.1 “10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements”

- [21] TELDAT “WDM-PON: La tecnología de acceso a la red del futuro”
<http://tecnoticiasuc.blogspot.com/2011/04/wdm-pon-la-tecnologia-de-acceso-la-red.html>
- [22] Huawei "WDM PON: Systems and Technologies"
- [23] University of California. Amitabha Banerjee “Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access: a review”
- [24] LightWave. Stephen Hardy “where FTTH is going”
- [25] Protel “FTTx La única tecnología capaz de satisfacer las necesidades del futuro”
- [26] Fiber To The Home Council Europe “FTTH Handbook 2011-V4.1” 2011
- [27] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT “Medición de la sociedad de la información 2011, texto completo”
http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/2011/Material/MIS_2011_without_annex_5.pdf
- [28] Unión Internacional de Telecomunicaciones “Measuring the Information Society UIT”
http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2011/31.aspx
- [29] Fiber To The Home Council Europe “The Growth of Fiber to the Home”
<http://www.ftthcouncil.org/en/content/the-growth-of-fiber-to-the-home>
- [30] Secretaría de Comunicaciones y Transportes. COFETEL. “Estadísticas”
<http://siemt.cft.gob.mx/SIEM/#!/prettyPhoto/82/>
- [31] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT “Telecomunicaciones de Banda Ancha en Latinoamérica”

Información complementaria:

- [1] Asis Rodríguez "Consideraciones sobre conectorización y balance óptico en la construcción de una red FTTH que sea flexible y garantice su futuro (I)" 2011
<http://www.fibraopticahoy.com/consideraciones-sobre-conectorizacion-y-balance-optico-en-la-construccion-de-una-red-ftth-que-sea-flexible-y-garantice-su-futuro-i/>
- [2] Asis Rodríguez "Consideraciones sobre conectorización y balance óptico en la construcción de una red FTTH que sea flexible y garantice su futuro (II)" 2011
<http://www.fibraopticahoy.com/consideraciones-sobre-conectorizacion-y-balance-optico-en-la-construccion-de-una-red-ftth-que-sea-flexible-y-garantice-su-futuro-ii/>
- [3] Asis Rodríguez "Consideraciones sobre conectorización y balance óptico en la construcción de una red FTTH que sea flexible y garantice su futuro (III)" 2011
<http://www.fibraopticahoy.com/consideraciones-sobre-conectorizacion-y-balance-optico-en-la-construccion-de-una-red-ftth-que-sea-flexible-y-garantice-su-futuro-y-iii/>
- [4] Irene Oñate “¿Qué es posible hacer con una capacidad de ancho de banda extraordinaria?”
<http://www.fibraopticahoy.com/%C2%BFque-es-posible-hacer-con-una-capacidad-de-ancho-de-banda-extraordinaria/>
- [5] FibraÓpticaHoy “La Fibra óptica vuelve obsoleto el acceso y velocidad ADSL”
<http://www.fibraopticahoy.com/la-fibra-optica-vuelve-obsolete-el-acceso-y-velocidad-a-internet-por-ads/>
- [6] Ramón Jesús Millán Tejedor. “Tecnologías de banda ancha por fibra óptica”
<http://www.ramonmillan.com/tutoriales/bandaanchafibraoptica.php>
- [7] IETF Draft “Multisegment Pseudowires in Passive Optical Networks” Sep 2011-Abr 2012
<http://tools.ietf.org/html/draft-li-pwe3-ms-pw-pon-06>
- [8] Asis Rodríguez “Cables para FTTX”
<http://www.fibraopticahoy.com/cables-para-fttx/>

- [9] AXTEL “Nuestra tecnología. Fibra Óptica”
http://www.axtel.mx/nuestra_empresa/axtel/nuestra_tecnologia
- [10] Foro Banda Ancha.eu “DOCSIS 3 y los 50 megas”
<http://bandaancha.eu/operador/ono>
- [11] CISCO “Fiber Fuels Rising Broadband Speeds”
http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns524/ns562/ns577/white_paper_c11-554027.html
- [12] Lior Khernosh. PMC Sierra. "10G EPON Brings Advantages to the Fiber Access Network"
- [13] Europe Conciul. "FTTH Business Guide"
- [14] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT "SG 15 documents pertaining to FTTx networks"
- [15] Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Diana Patricia Pabón Taco. “Diseño de una Red de Acceso GPON para proveer Servicios Triple Play (Tv, Internet Y Telefonía) en el Sector de La Carolina a través de la Red del Grupo TVCable”
- [16] Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica. González Velasco Jorge Antonio. "Diseño de una Red de Acceso que utiliza Tecnología FTTB con VDSL2 en el sector “La Mariscal” de la Ciudad de Quito"
- [17] Blog Internet para todos. “Telefónica elige Valencia para cubrir con FTTH el 100% de la ciudad durante este año”
http://www.internetparatodos.es/index.php?option=com_content&view=article&id=11116:telefonica-elige-valencia-para-cubrir-con-ftth-el-100-de-la-ciudad-durante-este-ano&catid=36:general-blogs-portales&Itemid=56
- [18] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT “G-PON means”
http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/1D/01/T1D010000050004PDFE.pdf
- [19] Stephen Hardy "Active Ethernet FTTH offers PON alternative"
<http://www.lightwaveonline.com/about-us/lightwave-issue-archives/issue/active-ethernet-ftth-offers-pon-alternative-54891177.html>
- [20] Huawei, Calix, PMC Sierra, Teknovus, Motorola, Tellabs, Alcatel "An introduction to PON technologies"
http://www.sis.pitt.edu/~dtipper/2011/PON_Tutorial.pdf
- [21] Hiroyuki Kenmotsu. “B-PON FTTH System For Ethernet Data Service In Japan”
http://www.mblast.com/files/companies/89960/Document/11%20FSAN_WS_hitachi_0318.pdf
- [22] Raj Jain. “Broadband Access using Ethernet in the First Mile (EFM)”
http://www.cse.wustl.edu/~jain/talks/ftp/icbn04_efm.pdf
- [23] Marcelo Abreu. “Características Generales de una red de FO al hogar FTTH”
http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_179_CaractersticageneralesredfibrapticaalhogarFTTH.-VVAA.pdf
- [24] Ericsson. “Deep Fiber Access”
<http://www.ericsson.com/ourportfolio/telecom-operators/ericsson-deep-fiber-access?nav=marketcategory003>
- [25] FTTH Council. “Definition of Terms”
http://www.techaya.com/wp/Fiber_To_The_Home.pdf
- [26] International Engineering Consortium IEC. “Fiber To The Home”
http://www.techaya.com/wp/Fiber_To_The_Home.pdf
- [27] CISCO. “Fiber-to-the-Home PON Solution for DOCSIS-Based Operators”
<http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/video/ps8806/ps8862/ps10444/G1717A-DPON-whitepaper.pdf>

[28] PowerNET. “FTTC Fibre to the Cabinet”
<http://www.power.net.uk/other/docs/fttc.pdf>

[29] EXFO “FTTP PON The Critical Components”
<http://documents.exfo.com/appnotes/anote110-ang.pdf>

[30] Anritsu “FTTx PON Resource Guide”
http://www.anritsu.com/en-GB/Media-Room/Newsletters/files/fttx_guidev2.pdf

[31] Ericsson. “Infrastructure For Deep Fiber Access”
<http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=28701-LZT1089807&Lang=EN&rev=A>

[32] Universidad Politécnica de Catalunya. Jordi Ros Martí. “Integración de servicios triple-play virtualizados para entornos multiusuario de acceso con fibra hasta el hogar”

[33] PMC Sierra. “Introduction to IEEE 802.3av 10Gbits EPON (10G EPON)”

[34] JDSU. “Metro-PON OTDR Module”
<http://www.jdsu.com/News-and-Events/news-releases/Pages/new-jdsu-otdr-module-for-tberd-mts4000-speeds-for-metro-and-pon.aspx>

[35] Ericsson. “Point-To-Multipoint Deep Fiber Access”
<http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=43/28701-FGD101040&Lang=EN&HighestFree=Y>

[36] Ericsson. “Point-To-Point Deep Fiber Access”
<http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=28701-LZT1089805&Lang=EN&HighestFree=Y>

[37] SunTelecom. “Product Catalog”
http://suntelecommunication.cn/pdf/SUNTELECOM%20Brochure%20_English_.pdf

[38] NeoPhotonics. “Product Guide FTTH”

[39] Zhone. “Product Guide FTTx”
<http://www.zhone.com/solutions/docs/zti-pg-fttx.pdf>

[40] Lightwave. “Testing Broadband Access Connectivity made easy”
<http://www.lightwaveonline.com/webcasts/Testing-Broadband-Access-Connectivity-Made-Easy.html>

[41] Agilent Technologies. “Testing ethernet passive optical network”
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-4070EN.pdf>

[42] Onn Haran. PMC Sierra. “The Importance of Dynamic Bandwidth Allocation in GPON Networks”
<http://www.pmc-sierra.com/cgi-bin/document.pl?docnum=2072146>

5.9 Referencias

[1] Universidad Nacional Autónoma de México UNAM “Qué es la UNAM”
<http://www.unam.mx/acercaunam/es/unam/index.html>

[2] Secretaria Administrativa UNAM. Dirección general de Obras y Conservación. “Zona metropolitana. La ciudad de México”