

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO DEL BACKBONE DE LA RED ÓPTICA METROPOLITANA CON TECNOLOGÍA MPLS PARA UN PROVEEDOR DE SERVICIOS DE INTERNET (ISP) DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

REUTER PROAÑO ANETT NICOL

anett_nicol7@hotmail.com

DIRECTORA: ING. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ, MSc.

maria.jimenez@epn.edu.ec

Quito, Noviembre 2012

DECLARACIÓN

Yo, Anett Nicol Reuter Proaño, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Anett Nicol Reuter Proaño

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Anett Nicol Reuter Proaño, bajo mi supervisión.

MSc. María Soledad Jiménez
DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Lourdes y Bernardo, por su constante apoyo, por su amor, por sus consejos y por estimularme cada día para terminar con éxito esta etapa de mi vida.

A Ramiro, por ser mi soporte en los momentos difíciles, por su paciencia y por ayudarme cuando no sabía cómo continuar.

A mis tías, Mónica y Mercedes, por los continuos cuidados y atenciones que han tenido conmigo.

A mi directora de tesis, MSc. María Soledad Jiménez, por su acertada guía, por sus recomendaciones y por el tiempo dedicado a este proyecto de titulación.

Al Ing. Danny Morales, por su guía, por su ayuda con información requerida en el desarrollo de este proyecto y por el conocimiento compartido.

A mis amigos, por la alegría brindada en todo el tiempo que compartimos juntos.

DEDICATORIA

A Ramiro Nicolás, mi bebé, que siendo tan pequeñito es capaz de inspirar los sentimientos más grandes en mi corazón, que con una sonrisa puede llenar de luz el día más oscuro y con su inocente mirada me motiva a superarme cada día.

CONTENIDO

CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN	XVI
PRESENTACIÓN.....	XVII
 CAPÍTULO 1	
FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA MPLS, FIBRA ÓPTICA Y TÉCNICAS PARA SU INSTALACIÓN.....	1
1.1 MPLS.....	1
1.1.1 <i>INTRODUCCIÓN</i>	1
1.1.2 <i>DEFINICIÓN</i>	2
1.1.3 <i>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</i>	3
1.1.4 <i>DISTRIBUCIÓN EN PLANOS DE LA ARQUITECTURA MPLS</i>	4
1.1.4.1 Plano de Control MPLS.....	4
1.1.4.1.1 Tabla de enrutamiento RIB (Routing Information Base).....	6
1.1.4.1.2 LIB (Label Information Base).....	6
1.1.4.2 Plano de Datos MPLS.....	6
1.1.4.2.1 FIB (Forwarding Information Base).....	7
1.1.4.2.2 LFIB (Label Forwarding Information Base).....	7
1.1.5 <i>COMPONENTES FÍSICOS DE UNA RED MPLS</i>	7
1.1.5.1 LSR (<i>Label Switching Router</i>).....	9
1.1.5.2 Edge LSR.....	9
1.1.6 <i>COMPONENTES FUNCIONALES</i>	10
1.1.6.1 FEC (<i>Forwarding Equivalence Class</i>).....	10
1.1.6.2 LSP (<i>Label Switched Path</i>).....	11
1.1.6.2.1 Enrutamiento salto a salto (hop-by-hop).....	12
1.1.6.2.2 Enrutamiento explícito.....	13
1.1.7 <i>ETIQUETAS MPLS</i>	13
1.1.7.1 Formato del encabezado MPLS.....	13
1.1.7.1.1 Etiqueta.....	14
1.1.7.1.2 EXP o experimental.....	15
1.1.7.1.3 S o (Stack).....	15
1.1.7.1.4 TTL (Time To Live).....	15
1.1.7.2 Encapsulación de etiquetas MPLS.....	16
1.1.7.2.1 Frame Mode MPLS.....	16
1.1.7.2.2 Cell Mode MPLS.....	17

1.1.7.3	Stack de etiquetas.....	17
1.1.7.4	Asignación y distribución de etiquetas	19
1.1.7.4.1	Downstream Bajo Demanda (Downstream On Demand)	21
1.1.7.4.2	Downstream No Solicitado (Unsolicited Downstream).....	22
1.1.7.5	Retención de las etiquetas	22
1.1.7.5.1	Modo Conservador de Retención de Etiquetas (Conservative Label Retention Mode)	23
1.1.7.5.2	Modo Liberal de Retención de Etiquetas (Liberal Label Retention Mode)...	23
1.1.7.6	Control de las etiquetas.....	24
1.1.7.6.1	Modo Ordenado (Ordered Control)	24
1.1.7.6.2	Modo Independiente (Independent Control)	25
1.1.8	<i>FUNCIONAMIENTO DE MPLS</i>	25
1.1.8.1.1	Convergencia de una red MPLS	25
1.1.8.1.2	Propagación de paquetes a través de una red MPLS	30
1.1.9	<i>PROTOS DE DISTRIBUCIÓN DE ETIQUETAS</i>	32
1.1.9.1	Protocolo LDP (<i>Label Distribution Protocol</i>).....	33
1.1.9.1.1	Mensajes LDP	33
1.1.9.1.2	Etapas de LDP	34
1.1.9.2	RSVP-TE (<i>Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering</i>)	36
1.1.9.2.1	Funcionamiento del Protocolo RSVP-TE	38
1.1.9.3	CR-LDP (<i>Constraint-Based Routing LDP</i>)	39
1.1.9.3.1	Funcionamiento del protocolo CR-LDP.....	40
1.1.10	<i>APLICACIONES MPLS</i>	41
1.1.10.1	Redes Privadas Virtuales (VPN, <i>Virtual Private Networks</i>)	41
1.1.10.1.1	VPN MPLS	42
1.1.10.2	Ingeniería de Tráfico (TE, <i>Traffic Engineering</i>)	47
1.1.10.2.1	Ingeniería de Tráfico sobre MPLS (MPLS TE).....	49
1.1.10.3	Clase de Servicio (CoS)	50
1.1.10.4	Calidad de Servicio (QoS).....	50
1.1.10.4.1	Arquitecturas para la implementación de QoS.....	52
1.2	FIBRA ÓPTICA.....	57
1.2.1	<i>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA FIBRA ÓPTICA</i>	57
1.2.2	<i>TIPOS DE FIBRA ÓPTICA</i>	59
1.2.2.1	Fibra Óptica multimodo	60
1.2.2.1.1	Fibra multimodo de índice escalonado.....	61
1.2.2.1.2	Fibra multimodo de índice gradual	62
1.2.2.2	Fibra Óptica Monomodo.....	64
1.2.2.2.1	Fibra Óptica monomodo estándar (SSMF, Standard Single-Mode Fiber: norma ITU-T G.652)	65

1.2.2.2.2	Fibra Óptica monomodo de dispersión desplazada (DSF, Dispersion Shifted Fiber: ITU-T G.653)	66
1.2.2.2.3	Fibra Óptica monomodo de dispersión desplazada de mínima atenuación (ITU-T G.654)	68
1.2.2.2.4	Fibra Óptica monomodo de dispersión desplazada no nula (NZ-DSF, Non Zero-Dispersion Shifted Fiber: norma ITU-T G.655).....	68
1.2.3	ESTRUCTURAS DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA	70
1.2.3.1	Cable de estructura holgada	70
1.2.3.1.1	Cable Figura en 8.....	72
1.2.3.1.2	Cable Todo Dieléctrico Autosoportado (ADSS, All Dielectric Self Supporting)	72
1.2.3.1.3	Cable compuesto tierra-óptico (OPGW, Optical Ground Wire).....	73
1.2.3.1.4	Cable blindado.....	74
1.2.3.2	Cable de estructura ajustada	75
1.3	ALTERNATIVAS PARA LA INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA	77
1.3.1	TENDIDO AÉREO	77
1.3.1.1	Instalación en el cable de guarda.....	77
1.3.1.2	Instalación de cable autosoportado.....	77
1.3.2	TENDIDO SUBTERRÁNEO	77
1.3.2.1	Canalización por Zanjas	78
1.3.2.2	Canalización por Microzanjas	78
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS – CAPÍTULO 1	86

CAPÍTULO 2

	DISEÑO DE LA RED ÓPTICA METROPOLITANA CON TECNOLOGÍA MPLS (MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING)	91
2.1	INTRODUCCIÓN	91
2.2	SITUACIÓN ACTUAL DEL ISP	92
2.2.1	<i>DESCRIPCIÓN DE LOS NODOS</i>	94
2.3	CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DEL BACKBONE.....	99
2.4	MODELO JERÁRQUICO DE TRES CAPAS	101
2.4.1	<i>CAPA NÚCLEO O CORE</i>	102
2.4.2	<i>CAPA DISTRIBUCIÓN</i>	103
2.5	ANÁLISIS DE TRÁFICO DE LOS NODOS	104
2.6	DIMENSIONAMIENTO DEL BACKBONE MPLS	114
2.6.1	<i>REQUERIMIENTOS GENERALES DE LOS EQUIPOS</i>	114
2.6.2	<i>DIMENSIONAMIENTO DE INTERFACES</i>	115
2.7	CALIDAD DE SERVICIO	117
2.7.1	<i>SERVICIOS Y APLICACIONES DEL ISP</i>	122
2.7.2	<i>CLASES DE SERVICIO DEL ISP</i>	125

2.7.3	ASIGNACIÓN DE VALORES DSCP A LAS CLASES DE SERVICIO	125
2.7.4	MÉTODOS DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS) SOBRE MPLS	126
2.7.4.1	E-LSP (EXP-inferred-PHB Scheduling Class LSP).....	127
2.7.4.2	L-LSP (Label-only-inferred LSP)	128
2.7.4.3	Elección del método de Calidad de Servicio sobre MPLS	129
2.7.4.4	Mapa de correspondencias entre los valores DSCP y el campo EXP.....	130
2.8	DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS	131
2.8.1	REQUERIMIENTOS DE LOS EQUIPOS DEL NÚCLEO (LSRS)	131
2.8.1.1	Comparación entre diferentes marcas de equipos para el núcleo.....	132
2.8.2	REQUERIMIENTOS DE LOS EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN (EDGE LSRS).....	136
2.8.2.1	Comparación entre diferentes marcas de equipos para la distribución	137
2.9	PERFIL DE LA RUTA DE FIBRA ÓPTICA.....	141
2.9.1	SELECCIÓN DE LA RUTA DE FIBRA ÓPTICA	141
2.9.1.1	Topología Física	143
2.9.2	SELECCIÓN DE LA FIBRA.....	150
2.9.3	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE INSTALACIÓN Y DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA.....	154
2.9.3.1	Tendido aéreo	154
2.9.3.1.1	En el cable de guarda	154
2.9.3.1.2	Con Cable Autosoportado	155
2.9.3.2	Tendido subterráneo	157
2.9.3.2.1	Canalización por Zanjas	157
2.9.3.2.2	Canalización por Microzanjas	157
2.9.3.2.3	Renta de ductos	161
2.9.4	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DEL ENLACE DE FIBRA ÓPTICA.....	161
2.9.5	ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE ($A_{máx}$).....	166
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS – CAPÍTULO 2	167

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE COSTOS	171	
3.1	INTRODUCCIÓN	171
3.2	COSTO DEL EQUIPAMIENTO MPLS.....	172
3.3	COSTO DE LOS ELEMENTOS ÓPTICOS.....	174
3.4	COSTO DE LICENCIAS Y PERMISOS.....	176
3.4.1	LICENCIA LMU-40	177
3.4.2	ARRENDAMIENTO DE POSTES	177
3.5	COSTO TOTAL DEL PROYECTO	178
3.6	PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL BACKBONE ÓPTICO MPLS.....	179
3.6.1	APROBACIÓN DEL PROYECTO	181
3.6.2	PROCESO DE COMPRA.....	182

3.6.2.1	Liberación del RFP (<i>Request for Propousal</i> o Solicitud de Propuestas) ...	182
3.6.2.2	Preguntas y Aclaraciones.....	183
3.6.2.3	Recepción de Ofertas.....	183
3.6.2.4	Proceso de Calificación.....	184
3.6.2.5	Ronda de Convalidaciones	185
3.6.2.6	Entrega del Informe de Calificación Técnica.....	186
3.6.2.7	Adjudicación del Proyecto	186
3.6.3	EJECUCIÓN DEL PROYECTO	186
3.6.3.1	Visitas Técnicas (Survey).....	187
3.6.3.2	Ejecución de Obras Civiles	187
3.6.3.3	Fabricación del Equipamiento	187
3.6.3.4	Transporte del Equipamiento	187
3.6.3.5	Proceso de Desaduanización.....	188
3.6.3.6	Tendido de Fibra Óptica.....	188
3.6.3.7	Instalación del Equipamiento	189
3.6.3.8	Pruebas de Aceptación	190
3.6.4	CAPACITACIÓN TEÓRICO PRÁCTICA	191
3.6.5	PROCESO DE MIGRACIÓN	192
3.6.5.1	Planificación de la Migración.....	192
3.6.5.2	Identificación de Riesgos de Migración.....	194
3.6.5.3	Migración	194
3.6.5.3.1	Interconexión Backbone MPLS-Red existente del ISP.....	194
3.6.5.3.2	Migración de Clientes	195
3.6.6	SUSCRIPCIÓN DEL ACTA DE RECEPCIÓN PROVISIONAL	195
3.6.7	MONITOREO Y TRAINING ON THE JOB	196
3.6.8	SUSCRIPCIÓN DEL ACTA DE RECEPCIÓN DEFINITIVA	196
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS – CAPÍTULO 3.....	197
CAPÍTULO 4		
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	199
4.1	CONCLUSIONES.....	199
4.2	RECOMENDACIONES	202
ANEXO 1 ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO CISCO SERIE 3900¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
ANEXO 2 ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
	PROCEDIMIENTO Y REQUISITOS PARA CONSEGUIR LA LMU 40 Y EL ARRENDAMIENTO DE POSTES DE LA EEQ (EMPRESA ELÉCTRICA QUITO).....¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	

ANEXO 3 ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO CISCO 7604...¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ANEXO 4 ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO CISCO ME 6524 ETHERNET SWITCH ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

ANEXO 5 ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO HUAWEI SX600-8¡ERROR! MARCADOR NO
DEFINIDO.

ANEXO 6 ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO HUAWEI CX300 A¡ERROR! MARCADOR NO
DEFINIDO.

ANEXO 7 ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO ZTE ZRX10 M6000-3S¡ERROR! MARCADOR NO
DEFINIDO.

ANEXO 8 ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO ZTE ZXR10 5928E-FI¡ERROR! MARCADOR NO
DEFINIDO.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1:

FIGURA 1.1: PLANO DE CONTROL MPLS.....	5
FIGURA 1.2: PLANO DE DATOS MPLS.....	6
FIGURA 1.3: COMPONENTES DE UNA RED MPLS.....	8
FIGURA 1.4: REPRESENTACIÓN DEL FEC.....	10
FIGURA 1.5: LSP (CAMINO CONMUTADO DE ETIQUETAS).....	12
FIGURA 1.6: FORMATO DEL ENCABEZADO MPLS EN UN PAQUETE MPLS.....	14
FIGURA 1.7: FUNCIONAMIENTO DEL CAMPO TTL.....	15
FIGURA 1.8: OPERACIÓN DEL CAMPO TTL EN PRESENCIA DE UN BUCLE.....	16
FIGURA 1.9: FRAME MODE MPLS.....	17
FIGURA 1.10: CELL MODE MPLS.....	17
FIGURA 1.11: STACK DE ETIQUETAS MPLS.....	18
FIGURA 1.12: ASIGNACIÓN DE UNA ETIQUETA LOCAL A UNA RED DESTINO.....	19
FIGURA 1.13: DISTRIBUCIÓN DE UNA ETIQUETA.....	20
FIGURA 1.14: LSR UPSTREAM Y LSR DOWNSTREAM.....	20
FIGURA 1.15: ASIGNACIÓN DOWNSTREAM.....	20
FIGURA 1.16: ASIGNACIÓN DOWNSTREAM BAJO DEMANDA.....	21
FIGURA 1.17: ASIGNACIÓN DOWNSTREAM NO SOLICITADO.....	22
FIGURA 1.18: MODO CONSERVADOR DE RETENCIÓN DE ETIQUETAS.....	23
FIGURA 1.19: MODO LIBERAL DE RETENCIÓN DE ETIQUETAS.....	24
FIGURA 1.20: CONSTRUCCIÓN DE LA TABLA DE ENRUTAMIENTO (RIB).....	26
FIGURA 1.21: ASIGNACIÓN INDEPENDIENTE DE ETIQUETAS LOCALES.....	27
FIGURA 1.22: DISTRIBUCIÓN DE ETIQUETAS MEDIANTE LDP.....	28
FIGURA 1.23: CREACIÓN DE LAS TABLAS LIF, FIB Y LFIB.....	29
FIGURA 1.24: CREACIÓN DEL CAMINO LSP.....	30
FIGURA 1.25: PROPAGACIÓN DE PAQUETES A TRAVÉS DE UNA RED MPLS.....	30
FIGURA 1.26: EXTRACCIÓN DE ETIQUETA EN EL EDGE LSR DE SALIDA.....	31
FIGURA 1.27: EXTRACCIÓN DE ETIQUETAS EMPLEANDO PHP.....	32
FIGURA 1.28: DESCUBRIMIENTO DE VECINOS LDP.....	35
FIGURA 1.29: ESTABLECIMIENTO DE LA CONEXIÓN TCP.....	35
FIGURA 1.30: NEGOCIACIÓN DE LA SESIÓN LDP.....	36

FIGURA 1.31: INTERCAMBIO DE MENSAJES PATH Y RESV.....	37
FIGURA 1.32: FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO RSVP-TE.	38
FIGURA 1.33: INTERCAMBIO DE MENSAJES LABEL REQUEST Y LABEL MAPPING.	40
FIGURA 1.34: CONFORMACIÓN DE UNA DIRECCIÓN VPNV4	43
FIGURA 1.35: ARQUITECTURA DE UNA VPN MPLS.	43
FIGURA 1.36: ROUTER CE (CUSTOMER EDGE).	44
FIGURA 1.37: ROUTER PE (PROVIDER EDGE).....	45
FIGURA 1.38: ROUTER P (PROVIDER).....	45
FIGURA 1.39: REENVÍO DE PAQUETES VPN A TRAVÉS DE LA RED MPLS.....	47
FIGURA 1.40: INGENIERÍA DE TRÁFICO VS. MEJOR RUTA DEL IGP.	48
FIGURA 1.41: REEMPLAZO DEL CAMPO TOS POR EL CAMPO DS.....	54
FIGURA 1.42: REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN EN UNA FIBRA ÓPTICA.	57
FIGURA 1.43: ESTRUCTURA DE LA FIBRA ÓPTICA.	59
FIGURA 1.44: TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.....	60
FIGURA 1.45: PERFILES DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN.	61
FIGURA 1.46: PERFIL DE REFRACCIÓN DE UNA FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO.	61
FIGURA 1.47: PROPAGACIÓN Y DISPERSIÓN DE LA LUZ EN UNA FIBRA DE ÍNDICE ESCALONADO.	62
FIGURA 1.48: PERFIL DE REFRACCIÓN DE UNA FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL.	62
FIGURA 1.49: MÚLTIPLES REFRACCIONES DENTRO DEL NÚCLEO DE UNA FIBRA MULTIMODO GRADUAL.	63
FIGURA 1.50: PROPAGACIÓN Y DISPERSIÓN DE LA LUZ EN UNA FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL.....	63
FIGURA 1.51: PROPAGACIÓN DE LA LUZ EN UNA FIBRA MONOMODO.	64
FIGURA 1.52: DISPERSIÓN EN UNA FIBRA SSMF.	65
FIGURA 1.53: DISPERSIÓN Y PERFIL DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN PARA UNA FIBRA DSF.....	67
FIGURA 1.54: DISPERSIÓN DE UNA FIBRA NZDSF.....	69
FIGURA 1.55: ESTRUCTURA DE UN CABLE HOLGADO.....	70
FIGURA 1.56: COMPOSICIÓN DE UN TUBO EN UN CABLE DE ESTRUCTURA HOLGADA.....	71
FIGURA 1.57: ESTRUCTURA DE UN CABLE FIGURA EN 8.....	72
FIGURA 1.58: ESTRUCTURA DE UN CABLE ADSS.	73
FIGURA 1.59: ESTRUCTURA DE UN CABLE OPGW.	74
FIGURA 1.60: ESTRUCTURA DE UN CABLE BLINDADO.	75
FIGURA 1.61: ESTRUCTURA DE UN CABLE AJUSTADO.....	75
FIGURA 1.62: CANALIZACIÓN POR ZANJAS.....	78
FIGURA 1.63: MICRODUCTOS	79
FIGURA 1.64: ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE CABLES EN MICROZANJAS.	79

FIGURA 1.65: ESTRUCTURA DEL CABLE HEADROW.....	80
FIGURA 1.66: ESTUDIO DEL SUELO CON GEORADARES.....	80
FIGURA 1.67: CORTE DEL ASFALTO.	81
FIGURA 1.68: LIMPIEZA DE LA MICROZANJA CON AGUA A PRESIÓN.	81
FIGURA 1.69: TENDIDO DEL MICRODUCTO Y/O DEL CABLE.	82
FIGURA 1.70: SELLADO Y ASPECTO FINAL DE LA MICROZANJA.	82

CAPÍTULO 2:

FIGURA 2.1: INTERCONEXIÓN ACTUAL DE LOS NODOS DEL ISP.....	93
FIGURA 2.2: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL NODO PRINCIPAL Y DE LOS NODOS SECUNDARIOS NIVEL 1.....	95
FIGURA 2.3: MODELO JERÁRQUICO DE TRES CAPAS.....	101
FIGURA 2.4: TOPOLOGÍA EN ANILLOS DE LOS NODOS DEL NÚCLEO.....	103
FIGURA 2.5: TOPOLOGÍA DE LOS NODOS DE DISTRIBUCIÓN.....	104
FIGURA 2.6: TRÁFICO DEL NODO PRINCIPAL BBL.....	107
FIGURA 2.7: TRÁFICO DEL NODO SECUNDARIO 1 ATU.....	107
FIGURA 2.8: TRÁFICO DEL NODO SECUNDARIO 1 CAS.....	108
FIGURA 2.9: TRÁFICO DEL NODO SECUNDARIO 1 MNJ.....	108
FIGURA 2.10: PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO EN TRÁFICO DEL NODO BBLD.....	109
FIGURA 2.11: PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO EN TRÁFICO DEL NODO ATU.....	109
FIGURA 2.12: PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO EN TRÁFICO DEL NODO CAS.....	110
FIGURA 2.13: PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO EN TRÁFICO DEL NODO MNJ.....	110
FIGURA 2.14: TRATAMIENTO DE UN PAQUETE DENTRO DE UN E-LSP.....	128
FIGURA 2.15: TRATAMIENTO DE UN PAQUETE DENTRO DE UN L-LSP.....	129
FIGURA 2.16: TOPOLOGÍA FÍSICA DE LOS ENLACES DE FIBRA ÓPTICA.	143
FIGURA 2.17: TRAZADO DE LAS RUTAS DE FIBRA ÓPTICA.....	145
FIGURA 2.18: MICRODUCTO 3/12.	159
FIGURA 2.19: MICRODUCTO 3/96.	159
FIGURA 2.20: MICRODUCTO 2/144.	160
FIGURA 2.21: MINI CABLES DE FIBRA 2-12 UNIDADES.....	160
FIGURA 2.22: ELEMENTOS ÓPTICOS EN UN TRAMO DE FIBRA.	163

CAPÍTULO 3:

FIGURA 3.1: CRONOGRAMA Y DIAGRAMA DE GANTT	180
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1:

TABLA 1.1: ACCIONES DE UN LSR	8
TABLA 1.2: VALORES DE ETIQUETAS RESERVADAS.	14
TABLA 1.3: SUB-CATEGORÍAS DE LA RECOMENDACIÓN G.652.	66
TABLA 1.4: SUB-CATEGORÍAS DE LA RECOMENDACIÓN G.653.	67
TABLA 1.5: SUB-CATEGORÍAS DE LA RECOMENDACIÓN G.654.	68
TABLA 1.6: SUB-CATEGORÍAS DE LA RECOMENDACIÓN G.655.	70
TABLA 1.7: COMPARACIÓN ENTRE CABLE DE ESTRUCTURA HOLGADA Y AJUSTADA.....	76
TABLA 1.8: COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE INSTALACIÓN DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA.....	85

CAPÍTULO 2:

TABLA 2.1: NODOS DEL ISP	99
TABLA 2.2: INFORMACIÓN DE TRÁFICO DE LOS ÚLTIMOS 5 AÑOS.....	106
TABLA 2.3: ECUACIONES PARA LA PROYECCIÓN DE TRÁFICO DE CADA NODO.....	111
TABLA 2.4: VALORES PARA REEMPLAZAR EN LAS ECUACIONES.....	111
TABLA 2.5: TRÁFICO PROYECTADO PARA EL NODO BBLD.....	112
TABLA 2.6: TRÁFICO PROYECTADO PARA EL NODO ATU.....	112
TABLA 2.7: TRÁFICO PROYECTADO PARA EL NODO CAS.....	112
TABLA 2.8: TRÁFICO PROYECTADO PARA EL NODO MNJ.....	113
TABLA 2.9: PROYECCIÓN DE TRÁFICO PARA 5 AÑOS.	113
TABLA 2.10: NÚMERO DE INTERFACES POR NODO.	116
TABLA 2.11: INTERFACES REQUERIDAS POR EQUIPO.	116
TABLA 2.12: PARÁMETROS TÍPICOS DE UN SLA.....	118
TABLA 2.13: CÓDIGOS PARA EL CLASS-SELECTOR PHB	120
TABLA 2.14: VALORES DSCP CORRESPONDIENTES A ASSURED FORWARDING.....	120
TABLA 2.15: SIGNIFICADO DE LAS CLASES DEL DSCP.	121
TABLA 2.16: CLASIFICACIÓN DE LAS APLICACIONES DENTRO DE LAS CLASES DE SERVICIO (COS).	125
TABLA 2.17: ASIGNACIÓN DE VALORES DSCP A LAS CLASES DE SERVICIO DEL ISP.....	126
TABLA 2.18: MAPA DE CORRESPONDENCIAS ENTRE EL CAMPO DSCP Y EL CAMPO EXP.	130
TABLA 2.19: COMPARACIÓN DE EQUIPOS LSRS DE DIFERENTES FABRICANTES.....	135
TABLA 2.20: COMPARACIÓN DE EQUIPOS EDGE LSRS DE DIFERENTES FABRICANTES.....	139
TABLA 2.21: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS NODOS DEL BACKBONE MPLS.....	144
TABLA 2.22: RUTA DE FIBRA ÓPTICA DEL TRAMO 1.....	146
TABLA 2.23: RUTA DE FIBRA ÓPTICA DEL TRAMO 2.....	147
TABLA 2.24: RUTA DE FIBRA ÓPTICA DEL TRAMO 4.....	149

TABLA 2.25: DISTANCIAS DE LOS ENLACES DE FIBRA ÓPTICA.....	150
TABLA 2.26: COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES TIPOS DE FIBRA ÓPTICA	152
TABLA 2.27: COMPARACIÓN DE FIBRA ÓPTICA ITU G.652D ENTRE TRES FABRICANTES.	153
TABLA 2.28: COMPARACIÓN DEL CABLE AÉREO FIGURA 8 ENTRE TRES FABRICANTES.	156
TABLA 2.29: PREMISAS PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS ENLACES DE FIBRA ÓPTICA.....	164
TABLA 2.30: VALORES USADOS PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE POTENCIA DE LOS ENLACES.....	165
TABLA 2.31: PÉRDIDAS DE POTENCIA EN CADA TRAMO.....	165

CAPÍTULO 3:

TABLA 3.1: EQUIPAMIENTO GENERAL PARA EL BACKBONE MPLS.	172
TABLA 3.2: COSTO DEL EQUIPAMIENTO MPLS DE LA MARCA CISCO.	173
TABLA 3.3: ELEMENTOS ÓPTICOS NECESARIOS POR CADA TRAMO.	175
TABLA 3.4: COSTO DE LOS ELEMENTOS PARA LA INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA	176
TABLA 3.5: DISTANCIA DEL TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA POR TRAMO Y ZONAS.	177
TABLA 3.6: COSTO TOTAL DE LA LMU-40	177
TABLA 3.7: COSTO POR ARRENDAMIENTO DE POSTES.....	178
TABLA 3.8: COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	179
TABLA 3.9: EJEMPLO DE CALIFICACIÓN DE UNA OFERTA.	185

RESUMEN

A este proyecto de titulación denominado “DISEÑO DEL *BACKBONE* DE LA RED ÓPTICA METROPOLITANA CON TECNOLOGÍA MPLS PARA UN PROVEEDOR DE SERVICIOS DE INTERNET (ISP) DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”, con la finalidad de abarcar la parte conceptual de la tecnología MPLS y de la Fibra Óptica, la parte del diseño de la red y del análisis de costos, se lo ha dividido en cuatro capítulos:

En el primer capítulo se realiza una introducción a la tecnología MPLS (*MultiProtocol Label Switching*), analizando conceptos básicos, características, ventajas y desventajas, además del funcionamiento en general y las aplicaciones más usuales de esta tecnología. En este capítulo también se estudian los principios y componentes principales de una fibra óptica, así como un análisis de los diferentes tipos de fibra existentes. Todo esto con la finalidad de tener un conocimiento más amplio sobre la tecnología y medio transmisión que se utilizarán en el proyecto.

En el segundo capítulo se analiza la situación actual del ISP, se realizan proyecciones de tráfico para dimensionar la nueva red del Proveedor de Servicios de Internet, se selecciona el equipamiento MPLS, el cable de fibra óptica y se efectúa el trazado de las rutas de fibra que permitirán interconectar los equipos de la misma.

En el tercer capítulo se realiza un presupuesto referencial del equipamiento MPLS escogido para formar parte de la red y de los elementos ópticos necesarios para la implementación de las rutas de fibra óptica. Además se realiza un esquema tentativo que se podría tomar como base para una futura implementación de la red.

En el capítulo cuatro se plantean las conclusiones que se obtuvieron una vez finalizado el proyecto y se proveen recomendaciones sobre el mismo.

PRESENTACIÓN

En el mundo que se vive hoy en día, el acelerado crecimiento de nuevas aplicaciones que cada vez requieren mayor velocidad, mayor ancho de banda y tienen exigencias más grandes de Calidad de Servicio, como las de “tiempo real”, demanda a los Proveedores de Servicios de Internet a contar con estructuras de redes cada vez más estables, confiables, de mayor rendimiento y altamente escalables que permitan satisfacer las necesidades actuales de sus clientes.

El ISP para el cual se desarrolla este proyecto, considera que para continuar compitiendo en el mercado y no detener su crecimiento en clientes, necesita contar con una red propia que le permita alcanzar las funcionalidades, capacidades, estabilidad y escalabilidad necesarias para brindar los servicios y aplicaciones que requieren sus clientes. Además, el ISP podría arrendar su nueva infraestructura de red MPLS a otros ISPs que no cuenten con una red de transporte propia.

El presente proyecto se realiza con la finalidad de proponer al ISP una alternativa para el desarrollo de su propia Red Óptica MPLS, la cual le permitirá ampliarse en el mercado de clientes aumentando el tráfico cursado, reduciendo tiempos de procesamiento y brindando Calidad de Servicio a aplicaciones que lo requieran.

Para el diseño del *Backbone* Óptico se escoge la tecnología MPLS gracias a las ventajas que presenta frente a otras, entre éstas, el mejoramiento en el desempeño de las redes IP, reducción de los tiempos de latencia y un direccionamiento más rápido porque no se examina completamente la cabecera IP del paquete, sino específicamente su etiqueta. Además, esta tecnología permite ofrecer varias aplicaciones, como son: Ingeniería de Tráfico, Calidad de Servicio, y Redes Privadas Virtuales.

Considerando la importancia actual del factor económico, se realizará un presupuesto referencial que le permita al ISP tener una idea del capital que necesitará invertir cuando decida implementar su propio *Backbone* Óptico con tecnología MPLS.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA MPLS, FIBRA ÓPTICA Y TÉCNICAS PARA SU INSTALACIÓN

1.1 MPLS

1.1.1 INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento en la demanda de servicios de telecomunicaciones y de aplicaciones comerciales, educativas y de investigación donde se transmite voz, datos y video, establece la necesidad de contar con una tecnología fiable, de gran rendimiento y altamente escalable que permita cumplir con todos los requerimientos de ancho de banda que los usuarios soliciten.

Esta tecnología, además necesita que los servicios de voz, datos y video sean transmitidos sobre una misma plataforma con parámetros de Calidad de Servicio como: tiempo máximo de retardo, ancho de banda mínimo requerido, número de paquetes que se pueden descartar sin afectar la calidad de la transmisión, para así solventar no solo la gestión y operación independientes de redes paralelas que generan un aumento innecesario de recursos y costos de la red, sino también que sea posible la transmisión de aplicaciones que requieren gran ancho de banda y transmisión en “tiempo real” como el video y la voz.

MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) es una tecnología que actualmente ocupa un lugar preponderante dentro de las redes de transporte, gracias a que permite ofrecer una gran variedad de servicios dentro de una red unificada, consiguiendo con esto que los costos de una empresa de telecomunicaciones disminuyan y ésta tenga mayor competitividad.

La característica más destacable de MPLS es que basa el reenvío de paquetes en etiquetas adosadas a cada paquete, las cuales se ubican entre los encabezados de capa 2 y capa 3 logrando que los dispositivos de entrada y salida sean los

únicos en la red que realizan funciones de enrutamiento, de esta forma se tiene mayor rapidez en el tratamiento de los paquetes porque los elementos del interior de la red solo realizan una conmutación en base a la etiqueta de cada paquete.

Las principales motivaciones para el desarrollo de MPLS son la Ingeniería de Tráfico, la diferenciación en Clases de Servicio (CoS, *Class of Service*)¹, las Redes Privadas Virtuales (VPNs, *Virtual Private Network*)², y la Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*)³, que tienen entre sus funciones: seleccionar caminos para evitar la sobre utilización de ciertos enlaces, clasificar paquetes dentro de clases existentes, garantizar ciertos parámetros de calidad, reducción de costos en la transferencia de datos de un lugar a otro con seguridad y confidencialidad , entre otras.

1.1.2 DEFINICIÓN ^{[22] [36] [33]}

MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) es una tecnología orientada a superar los retos actuales que plantea el envío de paquetes IP, empezó a desarrollarse en el año 1997 y fue estandarizada en el año 1998 por el organismo IETF (*Internet Engineering Task Force*), se encuentra definida en la RFC 3031.

Se puede considerar a MPLS como una tecnología híbrida que combina características de la conmutación de capa 2 (capa de enlace) y del enrutamiento de capa 3 (capa de red), aprovechando de la capa 2 la velocidad de la conmutación y de la capa 3 el control del enrutamiento, esto es posible gracias a la efectiva separación de la función de conmutación de la de enrutamiento.

¹ CoS (*Class of Service*): La Clase de Servicio permite diferenciar el tipo de tráfico de una red, para así agrupar flujos de paquetes con requisitos semejantes en cuanto a parámetros como: latencia, ancho de banda, pérdida de paquetes, etc., y gestionar eficientemente diferentes clases de flujos.

² VPN (*Virtual Private Network*): Una Red Privada Virtual es una red que utiliza una infraestructura pública, como Internet, para proporcionar a oficinas remotas o usuarios individuales acceso seguro a la red de su organización.

³ QoS (*Quality of Service*): La Calidad de Servicio permite que en una red se pueda asegurar de manera confiable el cumplimiento de los requerimientos específicos de aplicaciones como el *streaming* de video, voz sobre IP (VoIP), video conferencia, transacciones financieras seguras, aplicaciones comerciales, etc., sin necesidad de sobredimensionar los elementos de la red.

El término Multiprotocolo de MPLS indica que esta tecnología puede soportar el envío de cualquier tipo de protocolo de capa 3 y además puede operar sobre cualquier tecnología a nivel de capa 2 (*Frame Relay*, ATM, *Ethernet*, PPP), facilitando de esta forma la migración a redes ópticas de próxima generación.

MPLS permite un envío eficiente de paquetes a través de una red mediante el uso de etiquetas adosadas a los paquetes IP, estas etiquetas se encuentran dentro del encabezado MPLS de 4 bytes, ubicado entre el encabezado de capa 2 y el de capa 3.

El uso de etiquetas permite reducir de manera considerable el procesamiento de paquetes, necesario cada vez que un paquete ingresa a un enrutador en la red, gracias a que el análisis del encabezado de capa 3 se realiza exclusivamente cuando el paquete ingresa o sale del *dominio MPLS*⁴, lo que le otorga la ventaja de que al interior del dominio MPLS los paquetes sean reenviados hacia el siguiente dispositivo mediante una simple inspección de las etiquetas que éstos tienen asignadas, consiguiendo una mejora en el desempeño de los dispositivos y en la red en general.

1.1.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES ^[12]

Entre las principales características de MPLS se encuentra que:

- La flexibilidad de MPLS permite soportar varios protocolos de capa 3 y desarrollarse sobre varias tecnologías de capa 2.
- Cuenta con medios para la asignación de etiquetas de longitud fija a los paquetes IP sin modificar su contenido de capa 3, estas etiquetas facilitan el reenvío de paquetes hasta sus destinos.
- No reemplaza el enrutamiento IP, debido a que se basa en los Protocolos IGP⁵ (*Interior Gateway Protocol*) para formar el camino por el que se distribuyen las etiquetas.

⁴ Dominio MPLS: Conjunto contiguo de nodos que tienen funcionalidad MPLS y que pertenecen a un mismo dominio de encaminamiento IP.

⁵ Protocolos IGP: Son protocolos de enrutamiento usados dentro de un Sistema Autónomo, pueden ser: RIP, EIGRP, OSPF o IS-IS.

- Cada conexión transita por un camino virtual extremo a extremo (LSP, *Label Switched Path*), el cual se establece según el estado de la red y las necesidades de la conexión.
- Gracias a las VPNs presenta total independencia con las redes de los clientes.
- Mediante la aplicación de la Ingeniería de Tráfico puede elegir el camino óptimo para el envío de paquetes.

1.1.4 DISTRIBUCIÓN EN PLANOS DE LA ARQUITECTURA MPLS ^[36] [5]

La arquitectura MPLS está compuesta por dos planos específicos: el plano de control (*Control Plane*) y el plano de datos (*Data Plane*)

1.1.4.1 Plano de Control MPLS

El plano de control es el encargado de intercambiar la información de enrutamiento y las etiquetas entre los dispositivos adyacentes dentro de una red MPLS.

El plano de control construye la tabla de enrutamiento (RIB, *Routing Information Base*) y la mantiene actualizada, mediante la utilización de la información de enrutamiento que proveen los protocolos IGP, ver Figura 1.1. Es necesario un protocolo IGP que proporcione un conocimiento completo de la topología de la red, es decir que construya una base de datos de la topología (*Data Base Topology*), entre estos protocolos se encuentra OSPF⁶ (*Open Shortest Path First*, Primero la Ruta más Corta) e IS-IS⁷ (*Intermediate System to Intermediate System*, Sistema Intermedio a Sistema Intermedio).

Dentro del plano de control se encuentra definido un protocolo encargado de crear y mantener internamente las etiquetas y de intercambiarlas con otros dispositivos,

⁶ OSPF: Es un protocolo de enrutamiento de estado de enlace desarrollado como reemplazo del protocolo de enrutamiento vector distancia RIP. Utiliza el concepto de *áreas* para realizar la escalabilidad y el ancho de banda como métrica. Presenta rápida convergencia y escalabilidad en implementaciones de redes grandes.

⁷ IS-IS: Es un protocolo de estado de enlace, que maneja una especie de mapa que se elabora a medida que converge la red. Está pensado para soportar el enrutamiento en grandes dominios consistentes en combinaciones de muchos tipos de subredes.

ver Figura 1.1. Actualmente existen varios protocolos que se pueden utilizar para este fin y si bien la arquitectura MPLS no especifica ninguno de éstos en particular, recomienda su elección dependiendo de los requerimientos específicos de la red, entre éstos están: LDP (*Label Distribution Protocol*, Protocolo de Distribución de Etiquetas), BGP (*Border Gateway Protocol*) usado por VPN MPLS, RSVP (*Resource Reservation Protocol*, Protocolo de Reservación de Recursos) usado por MPLS TE y CR-LDP (*Constraint Based Routing Label Distribution Protocol*) para brindar QoS en MPLS. Siendo LDP el protocolo que generalmente se utiliza.

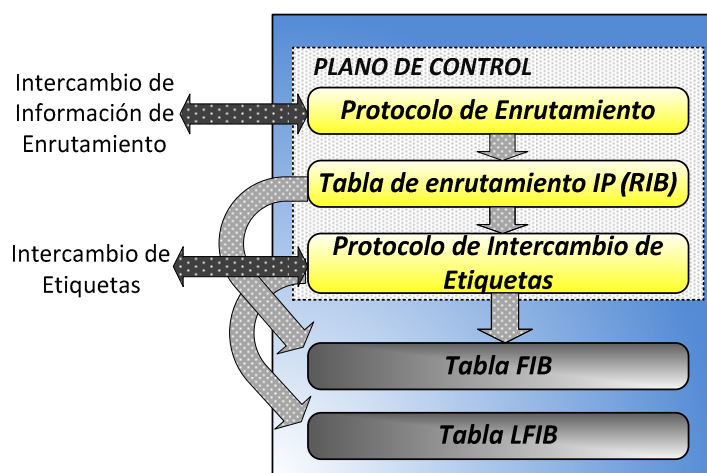


Figura 1.1: Plano de Control MPLS ^[5]

El plano de control construye dos tablas, aunque éstas no se guardan, ni se utilizan en este plano:

1. FIB (*Forwarding Information Base*), en base a la información de la tabla de enrutamiento RIB.
2. LFIB (*Label Forwarding Information Base*), en base al LDP y a la RIB.

En el plano de control se encuentran las siguientes tablas:

- Tabla de enrutamiento RIB (*Routing Information Base*)
- LIB (*Label Information Base*)

1.1.4.1.1 Tabla de enrutamiento RIB (Routing Information Base)

Esta tabla proporciona información de las rutas hacia una red destino en particular y contiene información sobre la topología de la red. Su construcción depende primordialmente de los protocolos de enrutamiento IGP.

1.1.4.1.2 LIB (Label Information Base)

La LIB es una tabla utilizada por LDP, en donde a un prefijo IP se le asigna una etiqueta de significado local asociada a una etiqueta de siguiente salto (*next-hop label*) enviada por un vecino *downstream* (*downstream neighbor*).

1.1.4.2 Plano de Datos MPLS

El plano de datos es el encargado de conmutar los paquetes entrantes en base a direcciones destino y a etiquetas. A este plano también se lo conoce como plano de reenvío.

A este plano se lo puede considerar como un simple mecanismo de reenvío de paquetes, que es independiente del protocolo de enrutamiento y del protocolo de intercambio de etiquetas que se use. El plano de datos reenvía los paquetes hacia la interfaz apropiada en base a la información contenida en las tablas LFIB o FIB, ver Figura 1.2.

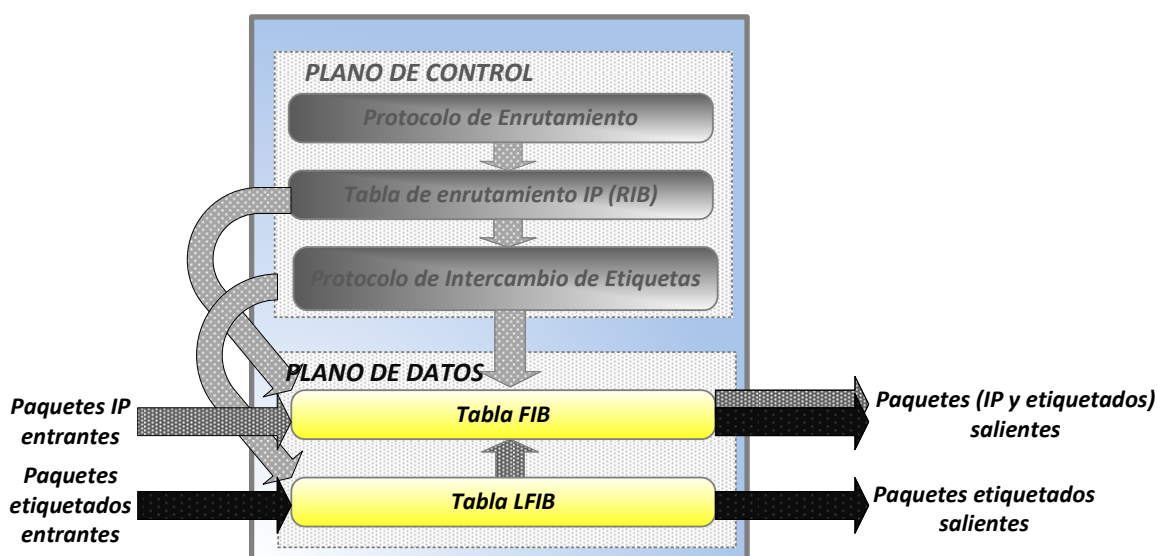


Figura 1.2: Plano de Datos MPLS.^[5]

En el plano de datos se encuentran las siguientes tablas:

- FIB (*Forwarding Information Base*)
- LFIB (*Label Forwarding Information Base*)

1.1.4.2.1 FIB (*Forwarding Information Base*)^[35]

Es la tabla que contiene la información necesaria para reenviar los paquetes IP no etiquetados. El paquete IP es etiquetado siempre y cuando exista una etiqueta de siguiente salto para un destino de red específico, caso contrario el paquete reenviado no se etiqueta.

Esta tabla contiene el identificador de interfaz y la información del siguiente salto (*next hop*) para cada destino alcanzable.

1.1.4.2.2 LFIB (*Label Forwarding Information Base*)

Esta tabla se usa para reenviar los paquetes etiquetados. Almacena sólo las etiquetas que están siendo usadas durante el proceso de reenvío de paquetes.

Las etiquetas locales que previamente se han publicado a los vecinos *upstream*, son asociadas a una etiqueta de siguiente salto, previamente recibida de un vecino *downstream*.

1.1.5 COMPONENTES FÍSICOS DE UNA RED MPLS^{[5] [14] [36]}

Existen dos tipos de dispositivos, ver Figura 1.3, que forman parte de una red MPLS, los LSR (*Label Switching Router*) y los *edge* LRS. Ambos dispositivos están en capacidad de realizar tanto la conmutación de etiquetas como el enrutamiento IP, diferenciando sus nombres por la posición que tienen dentro de un dominio MPLS, así el *edge* LSR se ubica en el borde de la red y el LSR en el interior.

Físicamente pueden considerarse como si se tratara del mismo dispositivo, un *router* o un *switch* que incorpora *software* MPLS, siendo el administrador de la red quien los configura para uno u otro modo de trabajo.

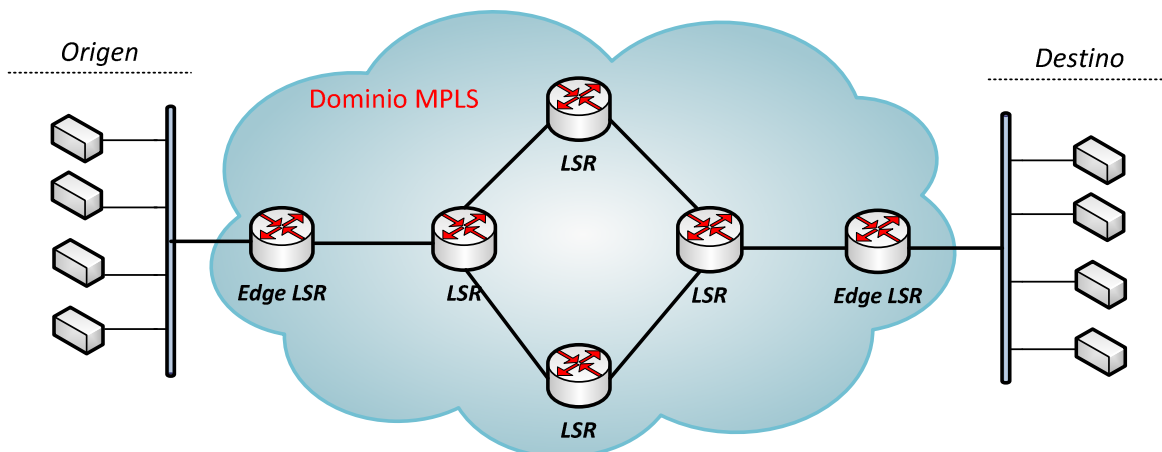


Figura 1.3: Componentes de una Red MPLS ^[19]

En la Tabla 1.1, se describen las acciones que un LSR puede realizar sobre un paquete.

Acción	Descripción
Push	Inserta una etiqueta o <i>stack</i> de etiquetas al ingreso a un dominio MPLS.
Swap	Reemplaza la etiqueta superior con la etiqueta del siguiente salto o con un <i>stack</i> de etiquetas, dentro de un dominio MPLS.
Pop	Remueve la etiqueta superior del <i>stack</i> y transmite la carga remanente, sea ésta un paquete etiquetado o un paquete IP.
Aggregate	Remueve la etiqueta del tope de la pila y realiza una búsqueda de capa 3.
Untag	Remueve la etiqueta del tope de la pila y envía el paquete IP a la dirección del próximo salto especificado.

Tabla 1.1: Acciones de un LSR ^[36]

1.1.5.1 LSR (*Label Switching Router*)

Los routers conmutadores de etiquetas, LSRs, están ubicados en el núcleo de una red MPLS, implementan procedimientos de distribución de etiquetas y principalmente se encargan del reenvío de paquetes dentro del dominio MPLS en base al análisis de la(s) etiqueta(s) adosada a cada paquete, considerando hasta la capa 2.

Los LSRs son dispositivos que tienen todas sus interfaces habilitadas para MPLS, cuando reciben un paquete en una interfaz, el LSR lee el valor de la etiqueta, busca en la tabla de conmutación (FIB) la etiqueta del siguiente salto y la interfaz de salida, intercambia la etiqueta por la del siguiente salto y reenvía el paquete por el camino predefinido (LSP).

Un LSR puede retirar la etiqueta MPLS en el penúltimo salto (PHP, *Penultimate Hop Popping*)⁸, cuando detecta que debe enviar un paquete a un *edge* LSR de salida, reduciendo así cabeceras que el *edge* LSR de salida no necesita debido a que no realiza conmutación de paquetes.

1.1.5.2 Edge LSR

Los *edge* LSRs son dispositivos ubicados en los extremos de un dominio MPLS, que se encargan de insertar etiquetas a los paquetes IP para que sean enviados dentro del dominio MPLS o de removerlas para enviarlos fuera del mismo hacia dispositivos que no son MPLS.

Al ser dispositivos que operan en los extremos de una red MPLS, tienen interfaces que no necesariamente están habilitadas para MPLS, las cuales por lo general sirven para interconectarse con la red de acceso o con redes diferentes a MPLS como Ethernet, Frame Relay o ATM.

⁸ PHP (*Penultimate Hop Popping*): Con este procedimiento se remueve la etiqueta en el LSR anterior al *edge* LSR de salida del dominio MPLS, reduciendo de esta forma la carga de procesamiento en el *edge* LSR de salida.

El *edge* LSR de entrada está encargado de examinar los paquetes IP que ingresan al dominio MPLS considerando hasta la capa 3, luego añade la etiqueta MPLS que identifica el camino que seguirá el paquete y reenvía el paquete etiquetado por una interfaz habilitada para MPLS hacia un LSR.

El *edge* LSR de salida es el encargado de retirar las etiquetas adosadas a los paquetes IP y enviarlos fuera del dominio MPLS.

1.1.6 COMPONENTES FUNCIONALES

1.1.6.1 FEC (*Forwarding Equivalence Class*)^{[21] [36]}

El FEC, ver Figura 1.4, es la representación de un conjunto de paquetes con características parecidas o idénticas, que se pueden transmitir de manera similar (es decir, pueden estar ligados a la misma etiqueta MPLS) y sobre un mismo camino (LSP) aunque sus destinos finales sean diferentes.

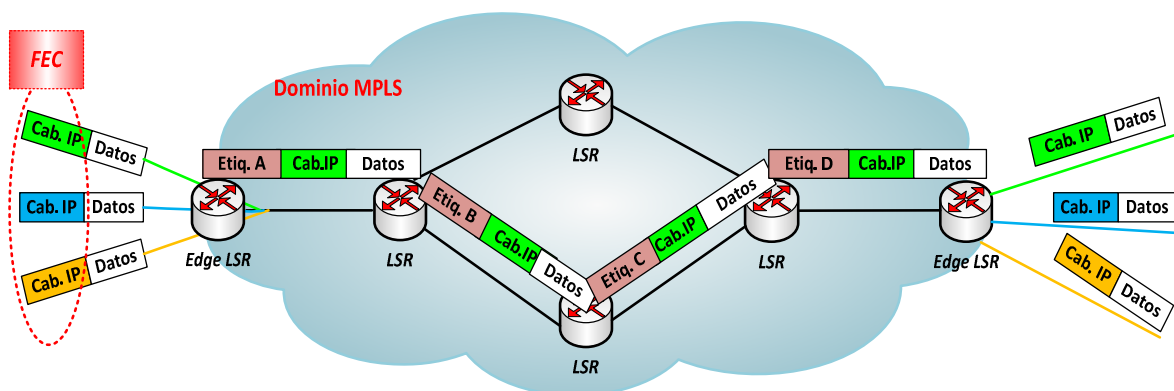


Figura 1.4: Representación del FEC^[42]

Un FEC puede corresponder no solo a una red destino, sino también a cualquier tipo de tráfico que el *edge* LSR considere significativo, es decir, todo tráfico con un cierto valor de importancia IP puede constituir un FEC.

En el ingreso de la red MPLS, los paquetes son clasificados y asignados a un FEC específico mediante el uso de una etiqueta. Una vez que han sido asignados a un FEC en particular no se realiza ninguna otra clasificación de

paquetes en la red MPLS, con lo que la asignación de un paquete a un FEC se realiza una sola vez.

Cada FEC tiene un camino definido a través de los LSR de la red, lo cual otorga a MPLS la capacidad de convertir las redes IP sin conexión en redes orientadas a conexión.

Al interior de la red MPLS, todos los paquetes definidos con un FEC particular son reenviados usando la dirección del siguiente salto asignada a ese FEC. El valor de la etiqueta cambia a medida que el paquete atraviesa la red. Cuando un paquete es enviado de un LSR al siguiente, la etiqueta adosada a ese paquete es la misma que el LSR del siguiente salto asignó para representar el FEC del paquete.

Gracias a la agrupación de los paquetes, el valor de un FEC en el paquete se puede utilizar para brindar mayor prioridad a unos FECs que a otros. Por ejemplo, mediante los FECs se puede dar soporte a operaciones eficientes de Calidad de Servicio (QoS), asociando FECs de alta prioridad a tráfico de voz en tiempo real, de baja prioridad a correo, etc.

1.1.6.2 LSP (*Label Switched Path*)^[5]

Se puede considerar al LSP como el camino específico que siguen todos los paquetes etiquetados, pertenecientes a un mismo FEC, a través de un conjunto de LSRs para alcanzar su destino, el cual es establecido antes de que empiece la transmisión de datos, ver Figura 1.5.

Los LSPs son caminos unidireccionales que se forman mediante la conmutación de etiquetas en un dominio MPLS. Al ser unidireccionales, los paquetes respuesta deben usar un LPS diferente para su retorno (normalmente se encuentra sobre los mismo LSRs pero en dirección contraria).

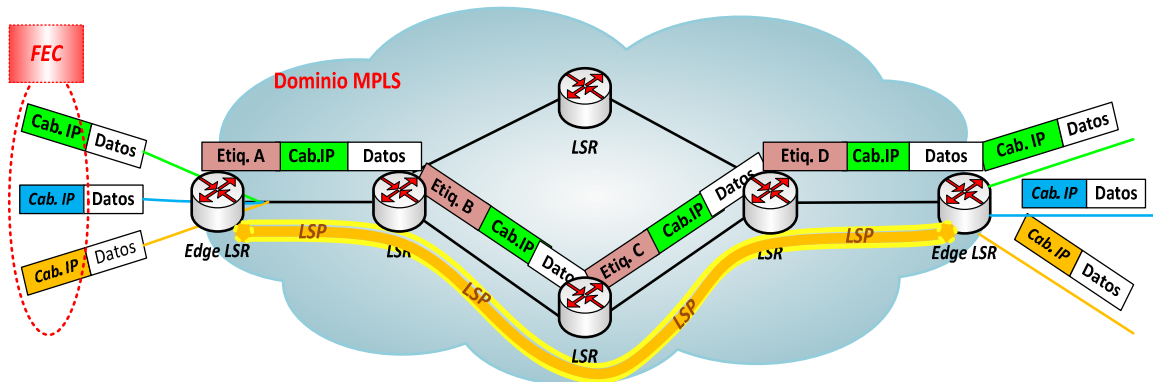


Figura 1.5: LSP (Caminos Conmutados de Etiquetas) ^[42]

Para la construcción de un LSP se necesita del protocolo IGP y del LDP:

- El protocolo IGP se encarga de propagar las tablas de enrutamiento en todos los LSRs del dominio MPLS y de seleccionar el camino más corto hacia una red destino.
- El LDP se encarga de propagar las etiquetas de esas redes y de construir el LSP sobre el camino más corto que seleccionó el IGP.

Para la creación de los LSPs existen dos opciones:

1. Enrutamiento salto a salto (*hop-by-hop*)
2. Enrutamiento explícito

1.1.6.2.1 Enrutamiento salto a salto (*hop-by-hop*)

En el enrutamiento salto a salto, cada LSR selecciona el siguiente salto (*next hop*) independientemente de los demás LSRs, en base a un protocolo de enrutamiento que puede ser OSPF.

Con este tipo de enrutamiento no se puede proveer Ingeniería de Tráfico ni políticas de enrutamiento para el manejo de Calidad de Servicio (QoS).

1.1.6.2.2 Enrutamiento explícito

En el enrutamiento explícito el LSR de entrada o de salida especifica los nodos por los que pasará el LSP de un FEC determinado. Además permite que a lo largo del camino se puedan reservar recursos para asegurar Calidad de servicio (QoS) y para facilitar la Ingeniería de Tráfico a través de la red.

1.1.7 ETIQUETAS MPLS ^[5] ^[36]

Una etiqueta MPLS (encabezado MPLS) es un identificador corto y de longitud fija (4 *bytes*) utilizado por los LSRs del núcleo de una red para realizar decisiones de envío de un paquete. Sirve para identificar el camino que debe atravesar un paquete asociado a un FEC determinado. Se puede decir que la etiqueta adosada a un paquete representa el FEC al cual ese paquete está asignado.

Las etiquetas MPLS solo tienen significado local, es decir que cada LSR en una red realiza una decisión independiente respecto al valor de la etiqueta que empleará para representar un FEC. A la asociación entre una etiqueta y un FEC se la conoce como *label binding*. Cada LSR informa a sus vecinos sobre los *label binding* que ha realizado.

1.1.7.1 Formato del encabezado MPLS

El encabezado MPLS, ver Figura 1.6, se inserta entre el encabezado de capa 2 y el encabezado de capa 3 (encabezado IP) y está formado por 32 bits distribuidos en los siguientes cuatro campos:

- Etiqueta
- EXP o experimental
- S (*Stack*)
- TTL (*Time To Live*)

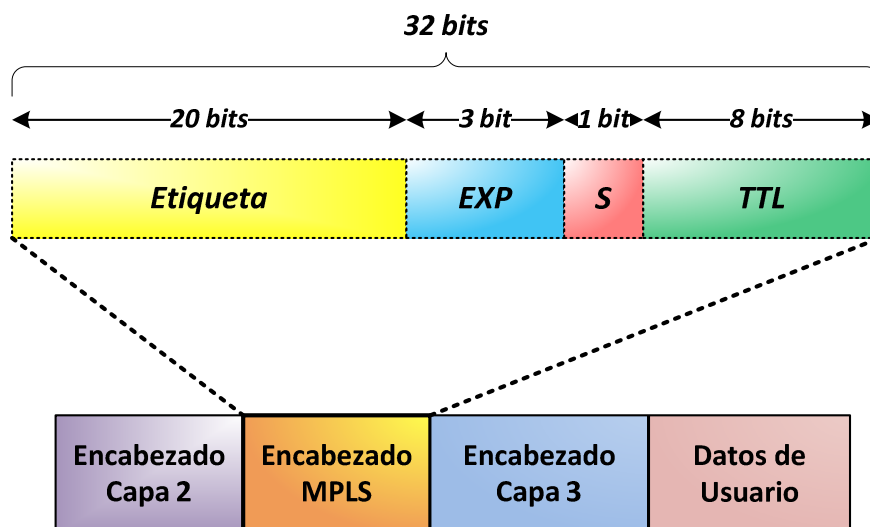


Figura 1.6: Formato del encabezado MPLS en un paquete MPLS. ^[13]

1.1.7.1.1 Etiqueta

Éste es un campo conformado por 20 bits, en el que se encuentra el valor de la etiqueta asignada, que se intercambia en cada LSR. La Tabla 1.2 contiene los valores de etiquetas reservadas.

Valor de etiqueta	Descripción
0	Etiqueta nula explícita de una red IPv4. Indica el fondo de la pila, y la extracción de la etiqueta de pila para el envío del paquete basado en el encabezado IP (IPv4).
1	Etiqueta de alerta al router. Este valor es permitido en cualquier parte de la pila excepto al fondo de la misma.
2	Etiqueta nula explícita de IPv6. Indica el fondo de la pila, y la extracción de la etiqueta de pila para el envío del paquete basado en el encabezado IP (IPv6).
3	Etiqueta nula implícita. Un nodo MPLS puede asignar y distribuir este valor pero no aparece en el encapsulado. Se emplea para la remoción de etiqueta en el penúltimo salto (PHP).
4 – 15	Reservadas para uso futuro.

Tabla 1.2: Valores de etiquetas reservadas. ^[36]

1.1.7.1.2 EXP o experimental

Este campo está compuesto por 3 bits y normalmente se usa para identificar la Clase de Servicio (CoS) que requiere un paquete.

1.1.7.1.3 S o (Stack)

Este campo consta de 1 bit, dado que en MPLS es posible la inserción de múltiples etiquetas, este bit determina si esa etiqueta es la última en el paquete.

- Si S = 1, significa que es la última etiqueta.
- Si S = 0, significa que existen más etiquetas añadidas al paquete.

1.1.7.1.4 TTL (Time To Live)

Este campo está formado por 8 bits y su función es prevenir que los paquetes ingresen en un lazo indefinido (bucle).

Como se observa en la Figura 1.7, cuando un paquete ingresa a un *edge* LSR del dominio MPLS, éste decreuenta el valor del TTL IP y copia este valor (TTL = 4) al TTL MPLS.

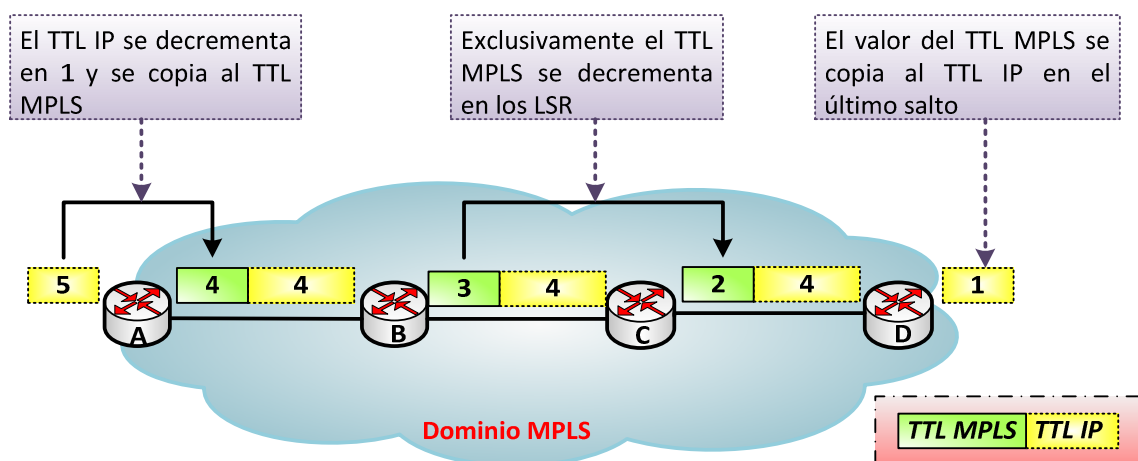


Figura 1.7: Funcionamiento del campo TTL. [5]

Los demás LSRs decrementan exclusivamente el campo TTL MPLS, sin modificar el TTL IP, el cual solo se cambia cuando se remueve la última etiqueta y se copia el valor del TTL MPLS al TTL IP.

La Figura 1.8 muestra un lazo (bucle) entre los LSRs B y C. El paquete que está dentro del bucle se elimina cuando el valor del campo TTL MPLS llega a cero.

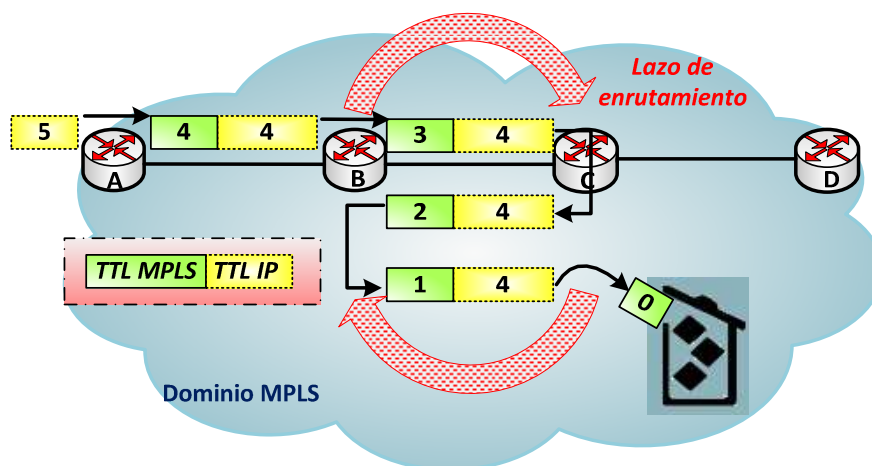


Figura 1.8: Operación del campo TTL en presencia de un bucle ^[5]

1.1.7.2 Encapsulación de etiquetas MPLS ^[5]

En MPLS existen dos formas para encapsular las etiquetas, que dependen de la tecnología de capa 2 que se use, éstas son:

- *Frame Mode MPLS*
- *Cell Mode MPLS*

1.1.7.2.1 *Frame Mode MPLS*

El *Frame Mode* (modo trama) MPLS es el modo más utilizado debido a que la mayoría de tecnologías de capa 2 se basan en tramas. En este modo los 32 bits de la etiqueta MPLS son insertados entre los encabezados de la capa 2 y la capa 3 como un *shim header* (encabezado adicional), ver Figura 1.9.

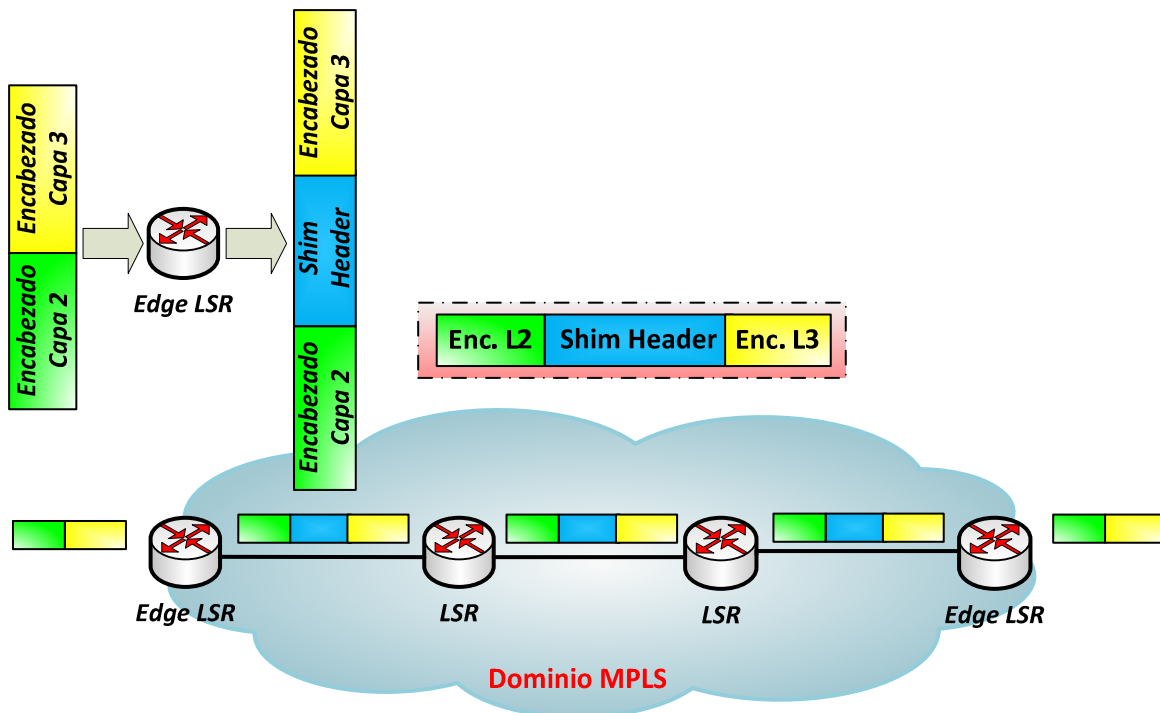


Figura 1.9: Frame Mode MPLS. ^[5] ^[16]

1.1.7.2.2 Cell Mode MPLS

En *Cell Mode* (modo celda) se usan los campos VPI / VCI (identificador de ruta virtual / identificador de circuito virtual) de la cabecera ATM como etiquetas, ver Figura 1.10.

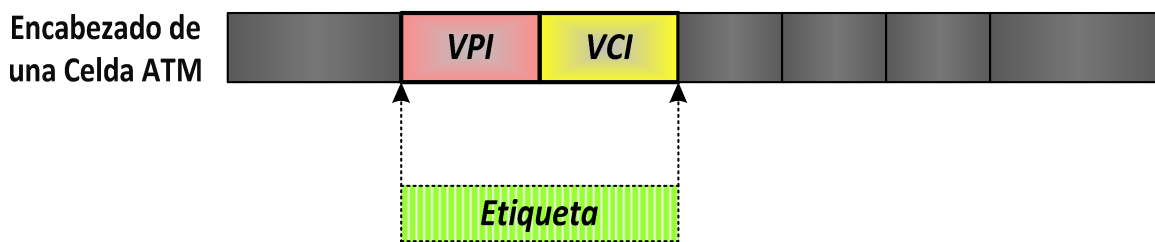


Figura 1.10: Cell Mode MPLS. ^[18]

1.1.7.3 Stack de etiquetas

De manera general MPLS utiliza una sola etiqueta adosada a un paquete, sin embargo también posee la capacidad de soportar múltiples etiquetas asignadas a un paquete. A este conjunto de etiquetas se las denomina *stack* de etiquetas (*Label Stack*), las cuales son anidadas en un paquete IP mediante el método LIFO

(*Last-In First-Out*, Último en Entrar Primero en Salir), de tal forma que la etiqueta de la cima (*top label*) del *stack* de etiquetas aparece al inicio del paquete, y la etiqueta inferior (*bottom label*) aparece al final.

Existen varias aplicaciones que pueden producir un *stack* de etiqueta, entre éstas:

- MPLS VPNs genera dos etiquetas, la etiqueta superior (*top label*) señala al edge LSR de salida, y la segunda etiqueta identifica la VPN.
- MPLS TE (*Traffic Engineering*) genera dos o más etiquetas, la etiqueta superior señala el fin del túnel TE y la segunda etiqueta apunta al destino.
- MPLS VPNs combinado con MPLS TE genera tres o más etiquetas.

La Figura 1.11 indica el formato de un *stack* de etiquetas MPLS, donde el bit S (*stack*) indica si la etiqueta es la última del *stack* de etiquetas. Cabe recalcar que el LSR que recibe el paquete etiquetado solo usa la etiqueta superior para su tratamiento.

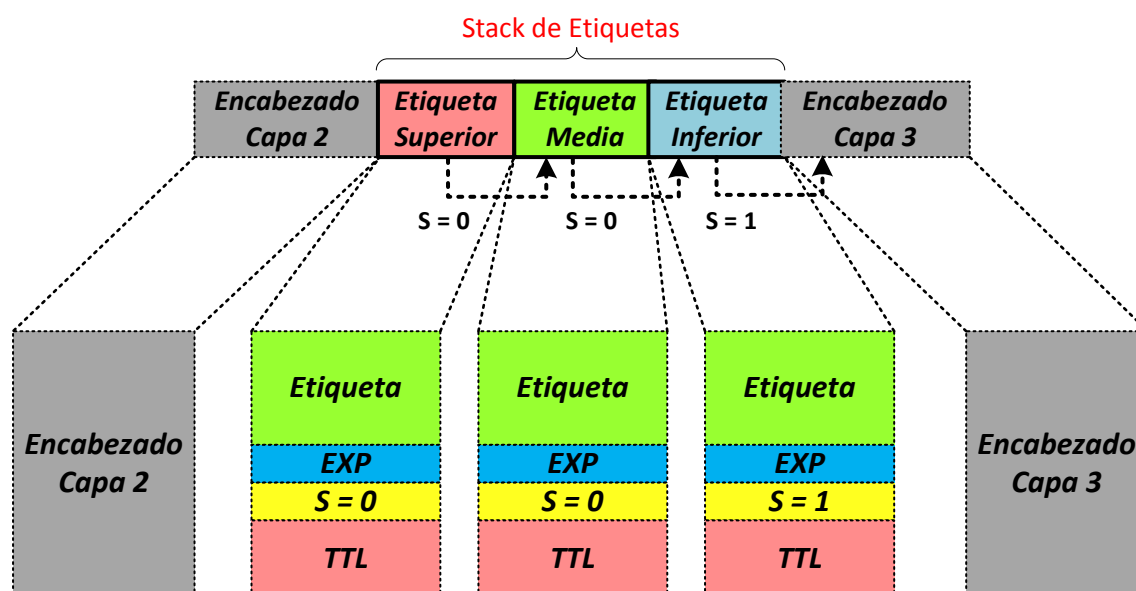


Figura 1.11: Stack de etiquetas MPLS. ^{[5] [19]}

1.1.7.4 Asignación y distribución de etiquetas

Para la asignación y distribución de etiquetas dentro de una red MPLS un LSR debe seguir los siguientes pasos:

1. Construir la tabla de enrutamiento IP mediante los protocolos de enrutamiento.
2. Asignar independientemente una etiqueta a cada uno de los destinos que se encuentran en la tabla de enrutamiento IP.
3. Anunciar a sus LSRs vecinos sobre las etiquetas asignadas.
4. Construir las tablas LIB, LFIB y FIB en base a las etiquetas recibidas de sus LSRs vecinos.

En la Figura 1.12 se observa que el LSR B genera una etiqueta, independientemente de los demás LSRs, con valor 21 y la asigna a la red X.

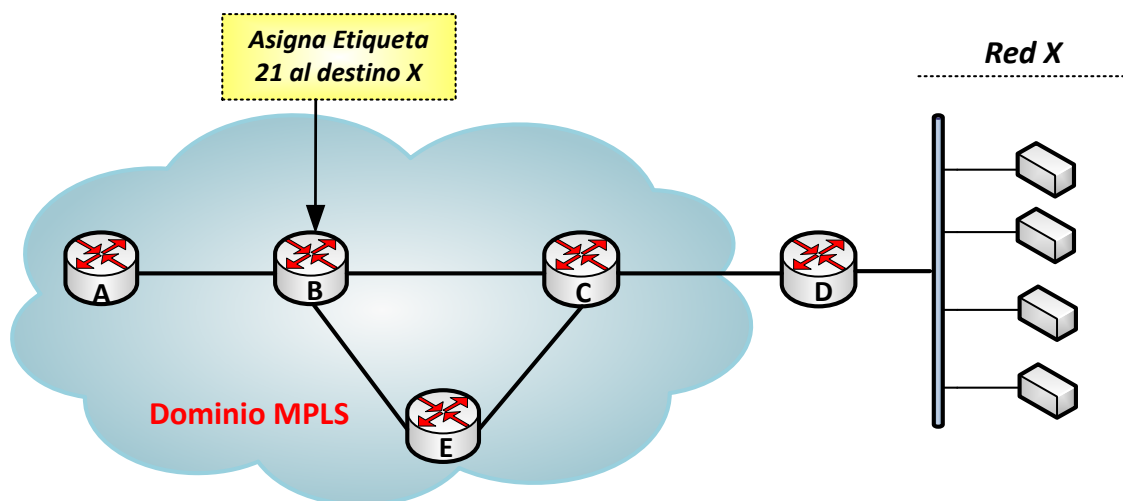


Figura 1.12: Asignación de una etiqueta local a una red destino. ^[5]

El LSR B anuncia la etiqueta de valor 21 a todos sus vecinos, sin importar si son *upstream* o *downstream*, ver Figura 1.13. Los demás LSRs realizan la misma acción luego de que en sus tablas de enrutamiento se encuentre la red X.

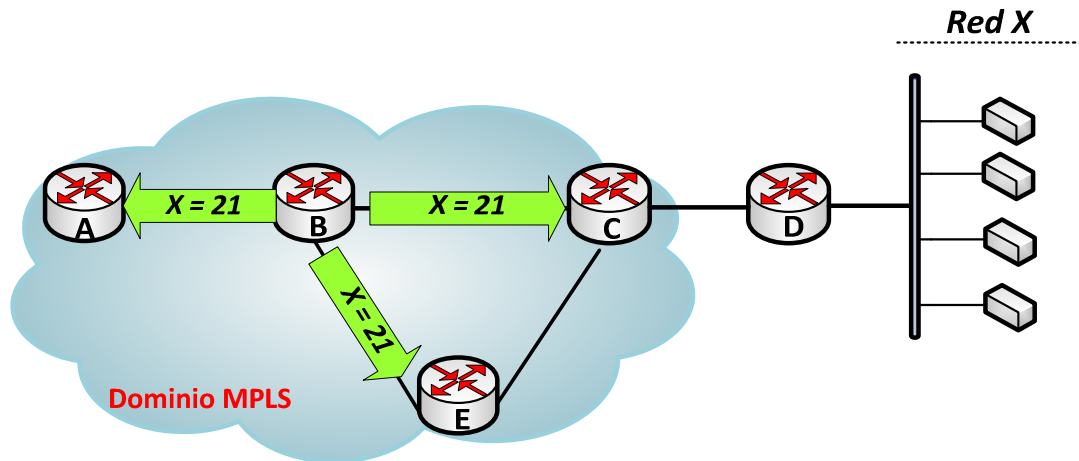


Figura 1.13: Distribución de una etiqueta. ^[5]

Considerando las posiciones relativas de dos LSR para un determinado FEC, se los clasifica de la siguiente manera, ver Figura 1.14:

- LSR *Upstream*, al que se encarga de enviar los paquetes
- LSR *Downstream*, al que los recibe.



Figura 1.14: LSR upstream y LSR downstream. ^[11]

En MPLS la asociación entre una etiqueta y un FEC particular (*binding*) es realizada por el LSR *downstream* (asignación *downstream*), de tal forma que el LSR *downstream* informe de esta asociación al LSR *upstream*, con lo que se tiene que las etiquetas son asignadas de forma descendente y las asociaciones de etiquetas (*label binding*) son distribuidas en dirección ascendente, ver Figura 1.15.



Figura 1.15: Asignación downstream. ^[13]

Existen dos formas para la asignación *downstream* de etiquetas entre LSR vecinos:

- *Downstream* bajo demanda (*Downstream on demand*)
- *Downstream* no solicitado (*Unsolicited Downstream*)

1.1.7.4.1 *Downstream Bajo Demanda (Downstream On Demand)* ^{[22][111]}

Permite que un LSR haga una petición a su vecino *downstream* (siguiente salto) de la etiqueta que debe usar para un determinado FEC.

En la Figura 1.16 se indica el proceso para la asignación de etiquetas *downstream* bajo demanda.

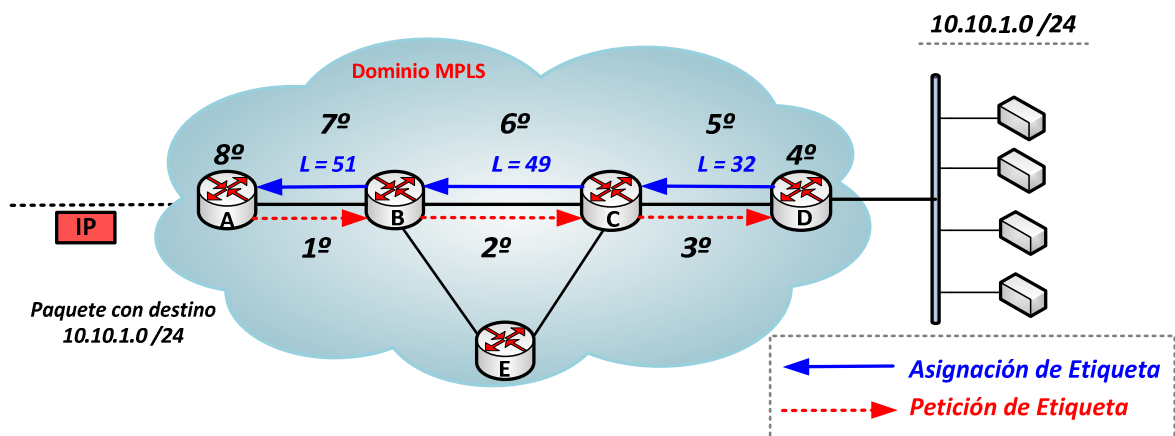


Figura 1.16: Asignación downstream bajo demanda. ^[22]

1. El edge LSR de entrada A solicita una etiqueta para los paquetes destinados a la dirección 10.10.1.0/24.
2. Como el LSR B no es el edge LSR de salida, realiza una petición a su vecino de siguiente salto (LSR C) y le envía la dirección 10.10.1.0/24.
3. Como el LSR C no es el edge LSR de salida, realiza lo mismo que el LSR B pero envía al edge LSR de salida D.
4. El edge LSR de salida D recibe la petición de etiqueta del LSR C y confirma que es el edge LSR de salida.

5. El *edge* LSR de salida D asigna la etiqueta 32 para los paquetes dirigidos a la dirección 10.10.1.0/24.
6. El LSR C acepta el valor 32 como etiqueta de siguiente salto, genera una etiqueta local de valor 49 y la comunica al LSR B.
7. El LSR B acepta el valor 49 como etiqueta de siguiente salto, genera una etiqueta local de valor 51 y la comunica al *edge* LSR de entrada A.
8. El *edge* LSR de entrada A acepta el valor 51 y lo utiliza para etiquetar los paquetes dirigidos a la dirección 10.10.1.0/24.

1.1.7.4.2 Downstream No Solicitado (*Unsolicited Downstream*)^{[11][22]}

Permite que un LSR *downstream* asigne una etiqueta sin que haya recibido una petición explícita. Es decir que las asociaciones entre una etiqueta y un FEC, la reciben todos los nodos inclusive sin haberla pedido, ver Figura 1.17. De esta forma se mantienen actualizadas todas las tablas de todos los LSR, facilitando la creación de nuevos FECs, pero con el inconveniente de un incremento de tráfico en la red.

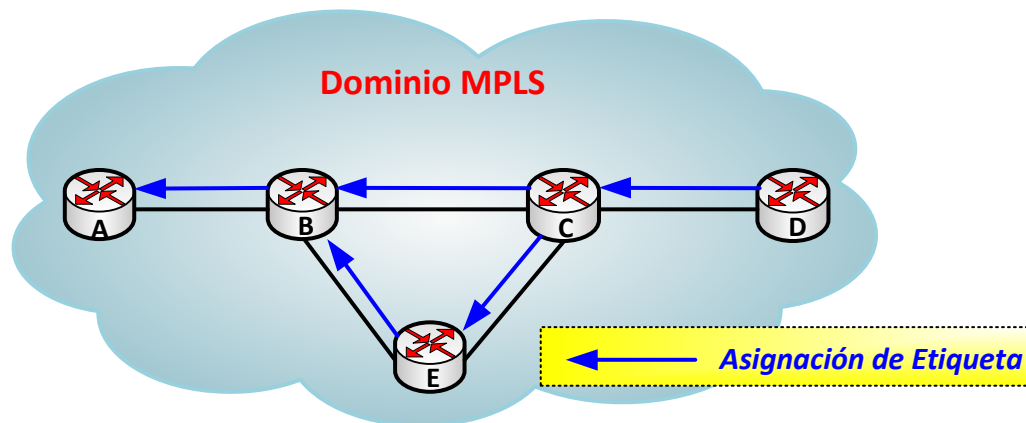


Figura 1.17: Asignación downstream no solicitado.^[13]

1.1.7.5 Retención de las etiquetas

MPLS puede adoptar dos estrategias distintas para la retención de las etiquetas recibidas de LSRs vecinos que no sean el siguiente salto para un determinado FEC:

- Modo Conservador de Retención de Etiquetas (*Conservative Label Retention Mode*).
- Modo Liberal de Retención de Etiquetas (*Liberal Label Retention Mode*).

1.1.7.5.1 Modo Conservador de Retención de Etiquetas (*Conservative Label Retention Mode*)

En este modo de operación se descartan todas las asociaciones (*bindings*) entre una etiqueta y un FEC recibidas de los LRSs vecinos que no son el siguiente salto para un determinado FEC, conservando en la tabla LIB exclusivamente las asociaciones de etiquetas provenientes del LSR del siguiente salto, ver Figura 1.18.

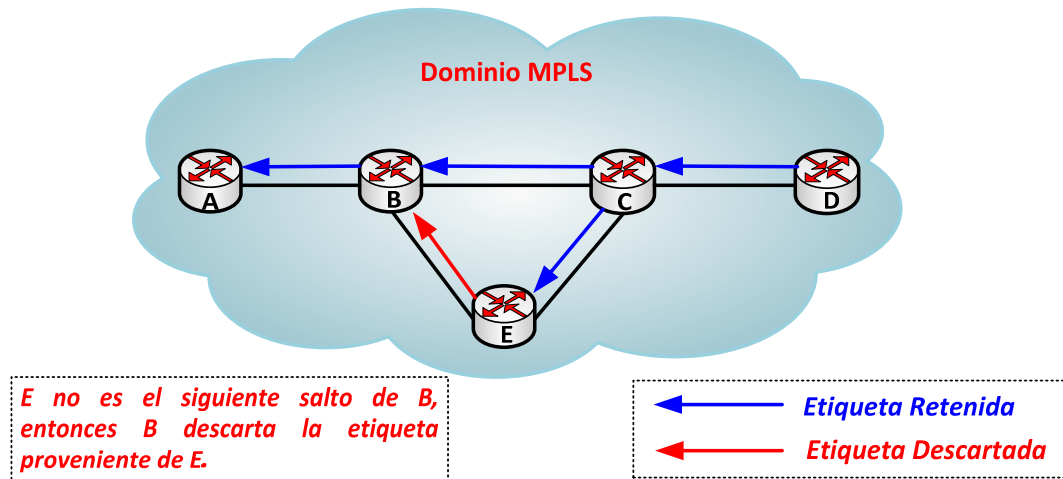


Figura 1.18: Modo conservador de retención de etiquetas. ^[13]

El inconveniente que presenta este modo de operación es que cuando el LSR del siguiente salto cambia, es necesario repetir el procedimiento de asignación de etiquetas (*binding*) con el nuevo LSR del siguiente salto. Por otro lado la ventaja que presenta es que se mantienen sólo las etiquetas que están en uso, con lo que se dispone de mayor cantidad de etiquetas libres.

1.1.7.5.2 Modo Liberal de Retención de Etiquetas (*Liberal Label Retention Mode*)

Este modo de operación conserva indefinidamente en la tabla LIB todas las asociaciones de etiquetas, sean éstas provenientes del LSR del siguiente salto o de los demás LSRs vecinos como se muestra en la Figura 1.19.

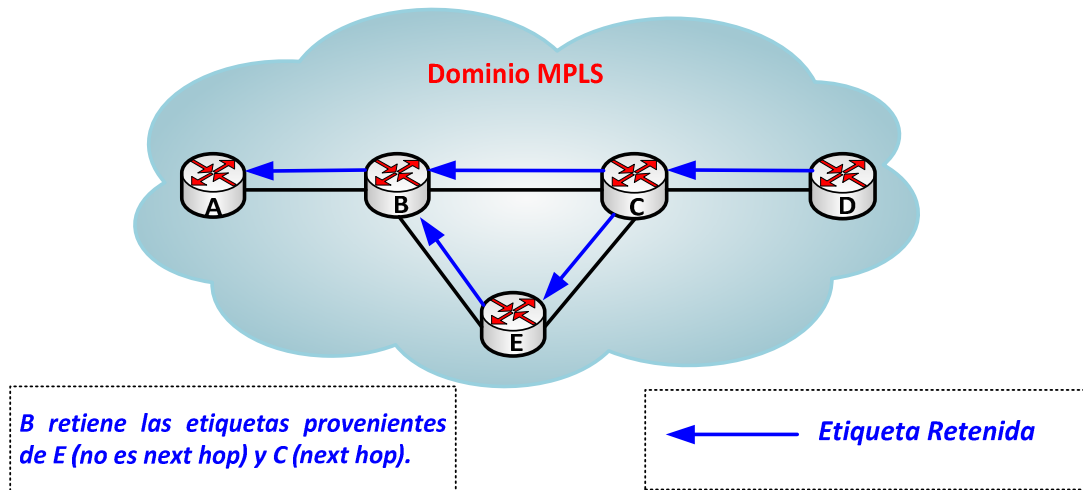


Figura 1.19: Modo liberal de retención de etiquetas. ^[13]

Presenta el inconveniente de alto consumo de etiquetas, pero se compensa con la rapidez para adaptarse a cambios de topología, esto se debe a que no necesita realizar nuevamente el proceso de petición de asociación de etiquetas a los LSRs vecinos porque ya tiene almacenadas todas esas etiquetas, con lo que se consigue identificar de forma rápida el nuevo LSR del siguiente salto y conmutar el tráfico hacia otros LSPs.

1.1.7.6 Control de las etiquetas

En MPLS se tienen dos métodos que permiten el control en la distribución de etiquetas hacia LSRs vecinos, éstos son:

- Modo Ordenado (*Ordered Control*)
- Modo Independiente (*Independent Control*)

1.1.7.6.1 Modo Ordenado (*Ordered Control*)

En este modo de control, un LSR asocia una etiqueta a un FEC y la publica al LSR *upstream* sólo si ha recibido una etiqueta para ese FEC desde el LSR *downstream*. El primer dispositivo que realiza la asignación de etiquetas a un FEC es el *edge* LSR de salida, que inmediatamente distribuye estas etiquetas hacia sus vecinos *upstream*, este proceso se da en sentido contrario al direccionamiento de paquetes.

Ofrece ventajas como la prevención de lazos de enrutamiento (*loops*), mejor ingeniería de tráfico y mayor control de la red, sin embargo la convergencia es más lenta debido a que para conseguir el establecimiento de un LSP requiere que las asociaciones (*bindings*) se propaguen a través de todos los LSRs, tiempo en el cual se pueden descartar algunos paquetes incrementando la carga de procesamiento en los LSRs.

1.1.7.6.2 Modo Independiente (Independent Control)

Este modo de control normalmente se usa en combinación con el método de asignación de etiquetas no solicitado (*Unsolicited Downstream*). En este método un LSR puede enviar una etiqueta al LSR *upstream* incluso si no tiene una etiqueta asociada a ese FEC en la tabla LFIB.

Cada LSR que usa este modo de control debe realizar una decisión independiente para asignar una etiqueta a un FEC, por lo que debe contar con capacidades y recursos para realizar búsquedas de capa 3. El establecimiento del LSP dependerá de la convergencia del protocolo de enrutamiento escogido.

1.1.8 FUNCIONAMIENTO DE MPLS ^[5]

Dentro del funcionamiento de MPLS se consideran dos aspectos:

- Convergencia de una red MPLS
- Propagación de paquetes a través de una red MPLS

1.1.8.1.1 Convergencia de una red MPLS

Para conseguir la convergencia y correcto funcionamiento en una red MPLS, se siguen los siguientes pasos:

1. Construcción de la tabla de enrutamiento (RIB) en cada uno de los LSR del dominio MPLS mediante los protocolos de enrutamiento (OSPF, IS-IS).
2. Asignación independiente (por cada LSR) de etiquetas a cada una de las redes destino que se encuentran en la tabla de enrutamiento IP (RIB).

3. Publicación de las etiquetas asignadas a los LSRs vecinos mediante el protocolo LDP.
4. Construcción de las tablas de intercambio de etiquetas (LIB, FIB, LFIB) en base a las etiquetas recibidas de los LSRs vecinos.
5. Creación de los caminos LSP.

En el siguiente ejemplo se ilustra cada uno de los pasos.

1. Se usan los protocolos de enrutamiento (OSPF o IS-IS) para construir las tablas de enrutamiento (RIB) en todos los LSRs del dominio MPLS. En la Figura 1.20 se observa que todos los LSRs conocen la existencia de la red X.

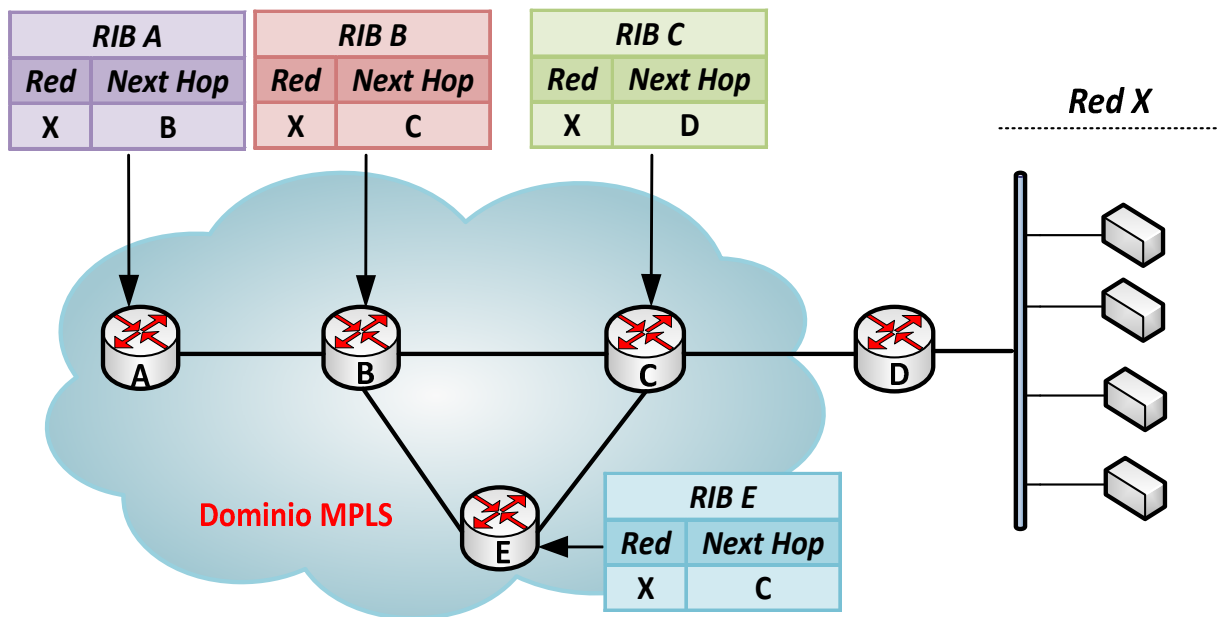


Figura 1.20: Construcción de la tabla de enrutamiento (RIB).^[5]

2. Cada uno de los LSR del dominio MPLS genera una etiqueta local, independientemente de los demás LSRs, y la asigna a la red X.

En la Figura 1.21 se observa que:

- El edge LSR A genera una etiqueta local con valor 32 y la asigna a la red X.
- El LSR B genera una etiqueta local con valor 21 y la asigna a la red X.
- El LSR E genera una etiqueta local con valor 67 y la asigna a la red X.
- El edge LSR C genera una etiqueta local con valor 54 y la asigna a la red X.

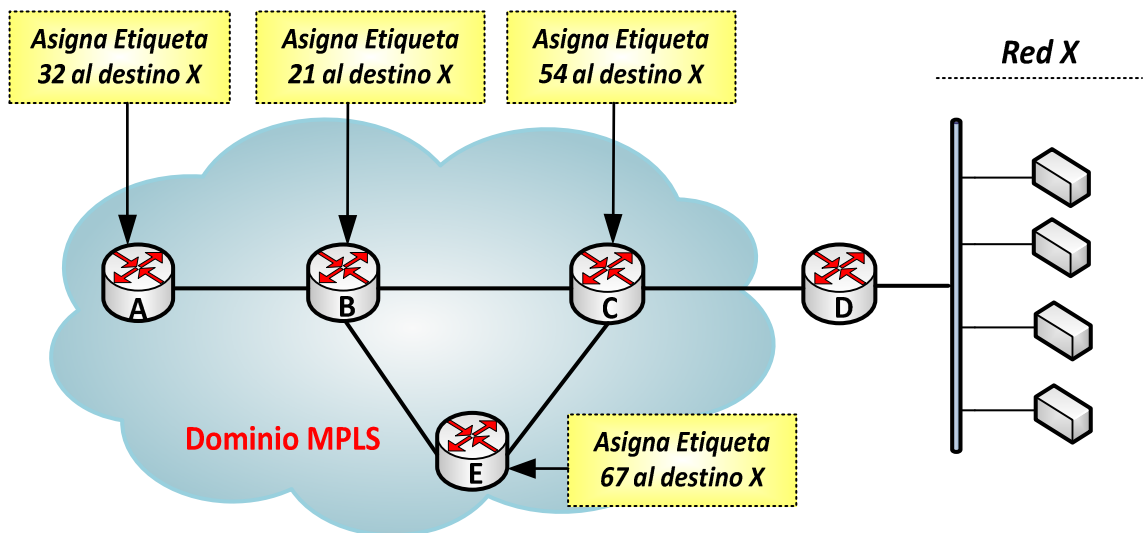


Figura 1.21: Asignación independiente de etiquetas locales. ^[5]

3. Luego de que se generan las etiquetas locales en cada uno de los LSR para la red destino X, estas etiquetas son publicadas a todos los vecinos adyacentes por medio del protocolo LDP.

En la Figura 1.22 se observa que cada LSR propaga su etiqueta local a todos sus vecinos adyacentes para que la puedan usar como etiqueta de siguiente salto, así:

- El edge LSR A propaga la etiqueta 32.
- El LSR B propaga la etiqueta 21.

- El LSR E propaga la etiqueta 67.
- El *edge* LSR C propaga la etiqueta 54.

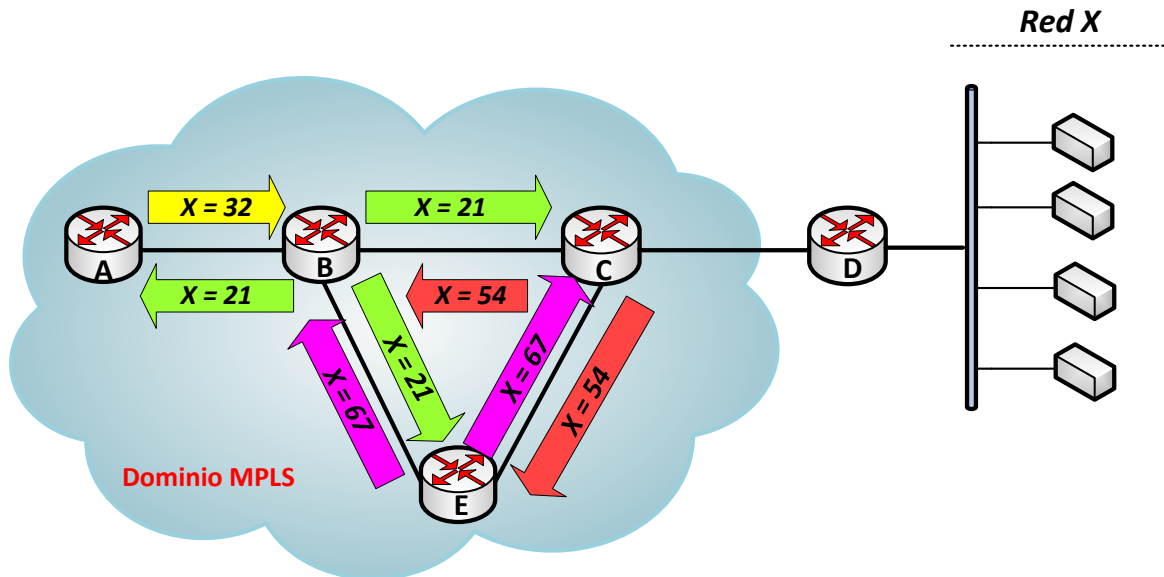


Figura 1.22: Distribución de etiquetas mediante LDP. ^[5]

- Una vez que todos los LSR reciben la actualización LDP con la información de las etiquetas de sus vecinos, cada LSR puede construir sus tablas de intercambio de etiquetas (LIB, FIB y LFIB).

En la Figura 1.23 se observa que:

- Cada LSR almacena todas las etiquetas recibidas de sus vecinos adyacentes en su tabla LIB.
- Los LSRs que reciben una etiqueta de un vecino que es su siguiente salto, además de almacenar la etiqueta en la tabla LIB también la almacenan en la tabla FIB.
- Cada LSR almacena en su tabla LFIB la etiqueta local mapeada con la etiqueta del siguiente salto (distribuida por su vecino de siguiente salto).

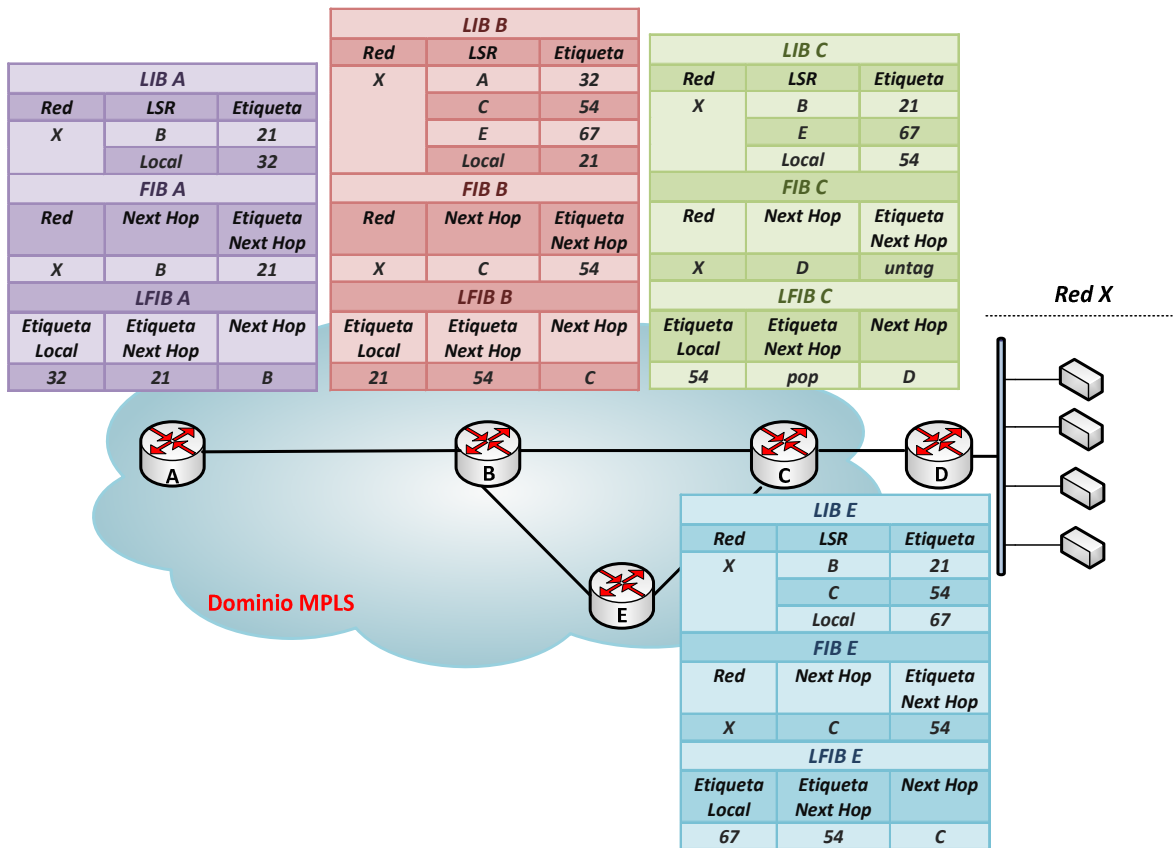


Figura 1.23: Creación de las tablas LIF, FIB y LFIB. ^[5]

- Luego de que todos los LSR de un dominio MPLS distribuyen sus etiquetas, se crea el camino LSP para la red X, desde el LSR A hacia el LSR C.

En la Figura 1.24 se observa que:

- En el edge LSR A la red X está mapeada con la etiqueta de siguiente salto de valor 21 (LSR B).
- En el LSR B la etiqueta 21 está mapeada con la etiqueta de siguiente salto de valor 54 (LSR C).
- El edge LSR C no tiene una etiqueta de siguiente salto. Por lo tanto la etiqueta 54 se mapea con *pop* y se envía un paquete no etiquetado hacia el router D.

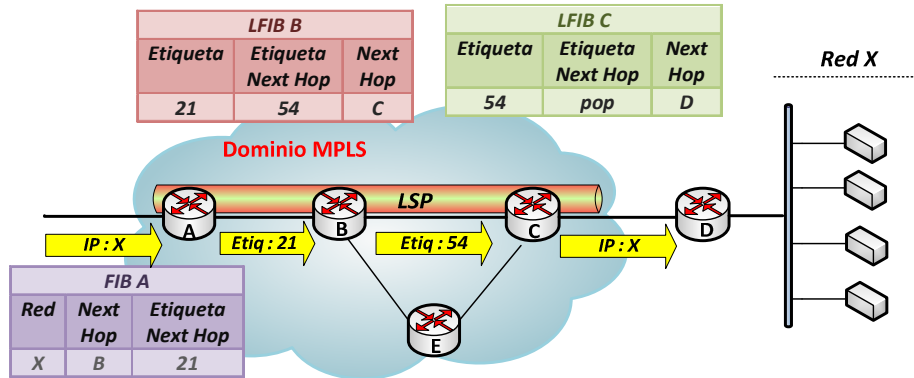


Figura 1.24: Creación del camino LSP. [5]

1.1.8.1.2 Propagación de paquetes a través de una red MPLS

Los paquetes que atraviesan una red MPLS siguen los siguientes pasos:

1. El edge LSR de entrada examina el paquete IP hasta el nivel 3, lo etiqueta y lo envía al LSR del siguiente salto (LSR interno). Para esto utiliza la tabla FIB.
2. Los LSRs internos conmutan los paquetes mediante el intercambio de etiquetas. Estos LSRs realizan la conmutación utilizando la tabla LFIB.
3. El edge LSR de salida extrae la etiqueta y entrega el paquete IP al destino.

La Figura 1.25 muestra cómo los paquetes IP se propagan a través de un dominio MPLS.

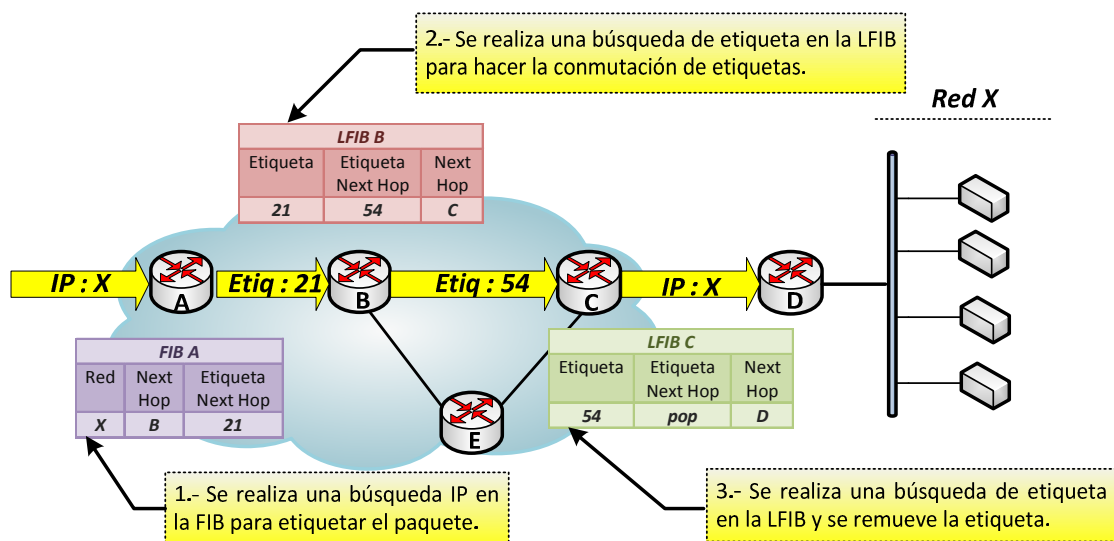


Figura 1.25: Propagación de paquetes a través de una red MPLS. [5]

1. El *edge* LSR de entrada A etiqueta el paquete IP, con destino a la red X, con la etiqueta de siguiente salto (21).
2. El LSR B intercambia la etiqueta 21 con la etiqueta 54 y reenvía el paquete al *edge* LSR de salida C.
3. El *edge* LSR de salida C remueve la etiqueta y reenvía el paquete al router D.

Para la extracción de la etiqueta existen dos métodos:

1. Extracción de etiquetas en el *edge* LSR de salida.
2. Extracción de etiquetas empleando PHP (*Penultimate Hop Popping*).

1. Extracción de etiquetas en el *edge* LSR de salida.

En la Figura 1.26 se observa la propagación de las etiquetas en una red MPLS. Las marcas (✓) indican la tabla que se usa en cada LSR. En este caso el *edge* LSR de salida debe realizar dos búsquedas:

- Una en la tabla LFIB para determinar si la etiqueta debe ser removida.
- Otra en la tabla FIB para reenviar el paquete IP en base a la dirección IP del siguiente salto.

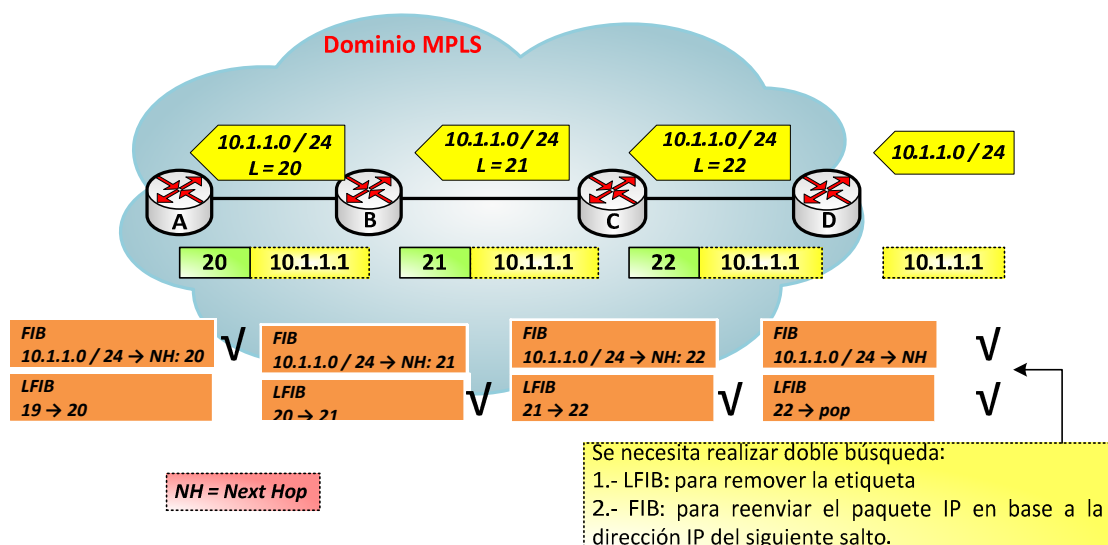


Figura 1.26: Extracción de etiqueta en el *edge* LSR de salida. [5]

2. Extracción de etiquetas empleando PHP (*Penultimate Hop Popping*).

Con el método PHP, la extracción de la etiqueta se realiza en el LSR anterior al *edge* LSR de salida, optimizando el rendimiento de MPLS debido a que se prescinde de la última búsqueda en la tabla LFIB.

Cuando un LSR publica la etiqueta *pop* o *implicit null* a otro LSR vecino, se usa un valor reservado según se indicó en la Tabla 1.2.

En la Figura 1.27 se observa cómo la etiqueta *pop* es anunciada por el *edge* LRS de salida en el último salto. El término “*pop*” implica la remoción de la etiqueta superior del *stack* de etiquetas en lugar de intercambiarla con la etiqueta del siguiente salto. El LSR anterior al *edge* LSR de salida es el encargado de remover la etiqueta superior.

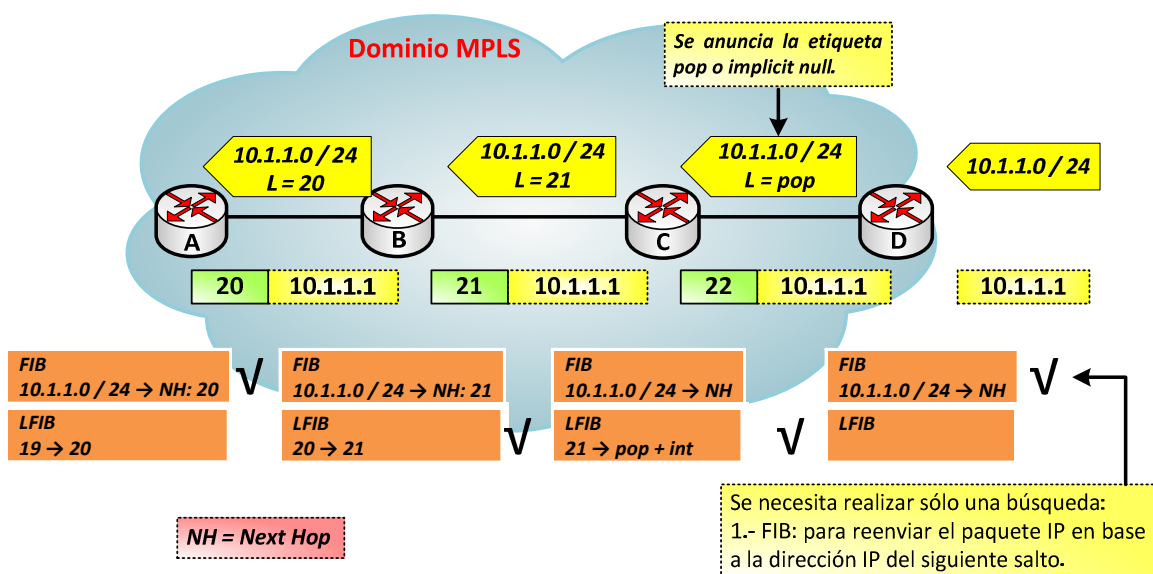


Figura 1.27: Extracción de etiquetas empleando PHP ^[5]

1.1.9 PROTOCOLOS DE DISTRIBUCIÓN DE ETIQUETAS ^[13]

Para que un paquete etiquetado pueda alcanzar un destino dentro de un dominio MPLS, es necesaria la utilización de protocolos que permitan distribuir etiquetas entre los LSRs. En las especificaciones actuales no se impone ningún protocolo en particular, por lo que existen varias opciones:

Protocolo de enrutamiento implícito: permite establecer LSPs pero no ofrece características de Ingeniería de Tráfico.

- LDP (*Label Distribution Protocol*)

Protocolos de enrutamiento explícitos: se utilizan normalmente para ofrecer Ingeniería de Tráfico y Calidad de Servicio (QoS). Entre éstos se encuentran:

- RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering*)
- CR-LDP (*Constraint Protocol LDP*)

1.1.9.1 Protocolo LDP (*Label Distribution Protocol*)^[5]

LDP es un protocolo que proporciona un conjunto de procedimientos y mensajes que son intercambiados por los LSRs vecinos para facilitar el establecimiento de caminos LSP dentro de un dominio MPLS.

LDP permite que los LSRs puedan distribuir a sus vecinos la información de los *bindings*⁹ que han realizado, esto se hace mediante la utilización del protocolo TCP, con el que se obtiene confiabilidad en el reparto de la información LDP, control de flujo robusto y mecanismos de control de congestión.

1.1.9.1.1 Mensajes LDP

Dentro del funcionamiento del protocolo LDP se pueden diferenciar cuatro tipos de mensajes LDP:

1. **Mensajes de descubrimiento (*Discovery*):** son los que permiten que los LSRs anuncien su presencia en la red. Estos mensajes funcionan sobre el protocolo UDP y emplean paquetes *hello multicast*¹⁰ para descubrir otros LSRs directamente conectados.

⁹ *Binding*: Se denomina de esta forma a la asociación entre una etiqueta y un FEC.

¹⁰ *Hello Multicast*: Es un paquete UDP enviado por todas las interfaces que tienen habilitado MPLS. Dentro de este mensaje se encuentra la dirección IP destino multicast (224.0.0.2) y el puerto destino (646).

2. **Mensajes de sesión (*Session*):** son los que se usan para iniciar (mediante el mensaje *INICIALIZATION*), mantener (mediante mensajes *KEEPALIVE* enviados periódicamente entre vecinos) y terminar las sesiones LDP. Estos mensajes de sesión funcionan sobre el protocolo TCP.
3. **Mensajes de anuncio de etiquetas (*Label Advertisement*):** son los que se usan para crear, modificar y liberar los *bindings*, es decir, se usan para las operaciones relacionadas con el manejo de etiquetas entre LSRs.
4. **Mensajes de notificación (*Notification*):** son los encargados de transportar la información de aviso y señales de error entre LSRs.

1.1.9.1.2 Etapas de LDP

Se establecen tres etapas:

1. Descubrimiento LDP
2. Establecimiento de la sesión LDP
3. Distribución de etiquetas.

1. Descubrimiento LDP

En esta etapa se descubren los vecinos LDP de un LSR, mediante el intercambio de mensajes *Hello* LDP, para posteriormente establecer una comunicación entre ellos.

Los mensajes *Hello LDP* son enviados periódicamente cada 5 segundos a todos los LSR o *edge* LSR en una subred. Se envían como paquetes UDP (*User Datagram Protocol*) con dirección destino *multicast* 224.0.0.2 y puerto destino 646.

En la Figura 1.28 todos los LSR envían mensajes *hello* LDP periódicamente a todos sus vecinos para ver si alguno quiere establecer una conexión LDP.

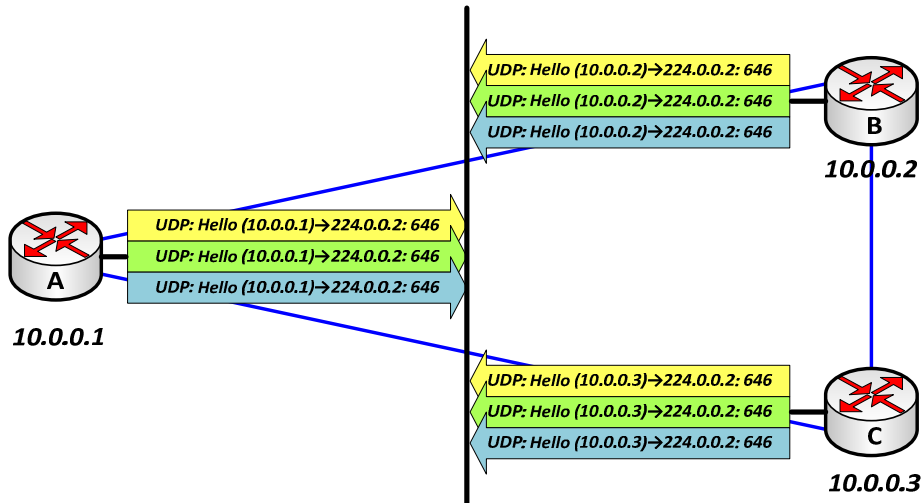


Figura 1.28: Descubrimiento de vecinos LDP. ^[5]

2. Establecimiento de la sesión LDP

- *Establecimiento de la conexión TCP*

Luego del envío de mensajes *hello* LDP, si algún LSR receptor está interesado en establecer una sesión LDP, abrirá una conexión TCP con el puerto destino 646, y los dos LSRs empiezan a establecer una sesión LDP a través de la conexión TCP *unicast*.

Si varios de los LSRs receptores quieren establecer una sesión LDP, entonces los LSRs con la dirección IP más alta¹¹ inician la conexión TCP, ver Figura 1.29.

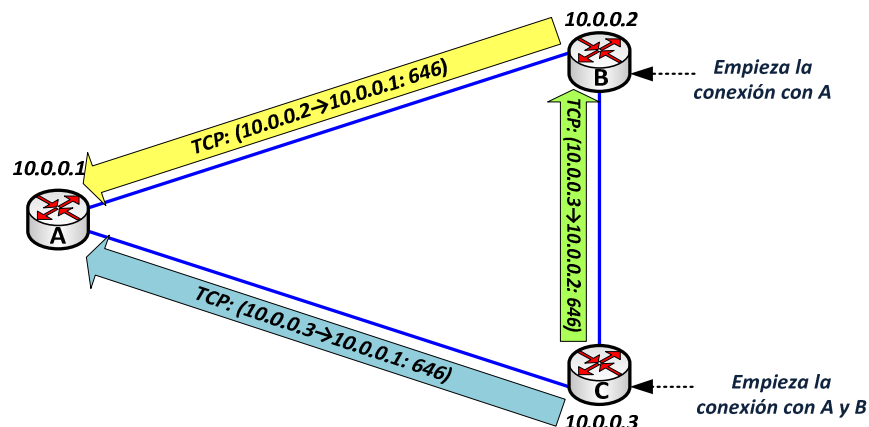


Figura 1.29: Establecimiento de la conexión TCP. ^[5]

¹¹ Las direcciones de las interfaces *loopback* de un LSR también participan en la inicialización de la conexión TCP.

- *Negociación de la sesión LDP*

En este punto la conexión TCP ya se encuentra establecida, por lo que para iniciar la negociación de la sesión LDP se realiza lo siguiente, ver Figura 1.30:

- Intercambio de mensajes *INITIALIZATION*.
- Intercambio de mensajes *KEEPALIVE*, que se envían cada 60 segundos.

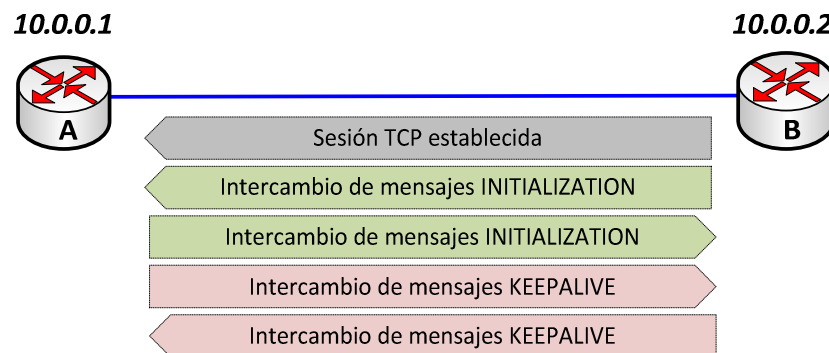


Figura 1.30: Negociación de la sesión LDP.^[5]

3. Distribución de etiquetas

Luego del establecimiento de la sesión LDP se puede empezar con el intercambio de etiquetas entre LSRs vecinos.

1.1.9.2 RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering*)^{[10] [34]}

El protocolo de señalización RSVP permite la reservación de recursos de la red, solicitados por un flujo específico de datos, en todos los nodos de un camino determinado. La capacidad de reservar recursos permite garantizar QoS (Calidad de Servicio).

RSVP cuenta con dos tipos de mensajes, ver Figura 1.31:

1. **Mensajes *PATH***: son enviados por los *edge* LSR de entrada para solicitar el establecimiento de un LSP con un determinado *edge* LSR de salida.

Estos mensajes distribuyen información de los emisores a los receptores y llevan características de la ruta.

2. **Mensajes RESV:** cuando un LSR recibe este mensaje puede realizar la reservación de recursos necesaria. Los mensajes *RESV* se distribuyen desde el *edge* LSR de salida hasta el *edge* LSR de entrada, por el camino utilizado por el mensaje *PATH*.

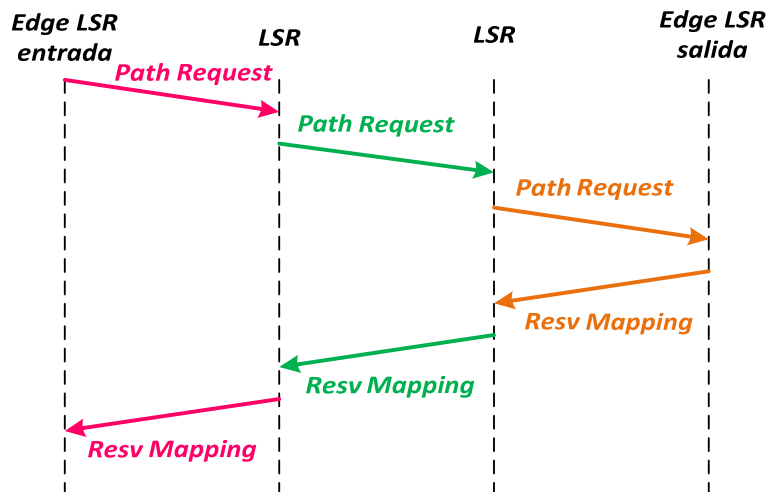


Figura 1.31: Intercambio de mensajes Path y Resv. ^[10]

El protocolo RSVP-TE es una extensión del RSVP original, que permite la creación de túneles LSP. Posee características como la creación de rutas explícitas con o sin reserva de recursos y el re-enrutamiento después de fallas.

Una ruta explícita es una cadena de saltos determinada desde un *edge* LSR de ingreso hasta un *edge* LSR de salida, y es independientemente del camino seleccionado por el protocolo de enrutamiento IGP. ^[21]

El re-enrutamiento después de fallas permite solucionar caídas en la red, congestión y cuellos de botella, debido a que se puede crear una nueva ruta considerando un salto diferente en un LSR.

RSVP-TE utiliza el protocolo UDP tanto para el establecimiento del LSP como para la petición y asignación de etiquetas, debido a que UDP no es un protocolo confiable presenta vulnerabilidades y desventajas, necesitando refrescar periódicamente el estado del LSP para asegurar que no existan pérdidas de

mensajes entre LSRs o que un LSR continúe funcionando. Las acciones de recuperación pueden tardar varios segundos o minutos, dependiendo de la configuración, debido a que con este protocolo una conexión fallida se detecta específicamente cuando no se recibe un determinado mensaje de refresco. [37]

Para establecer un túnel LSP, el protocolo RSVP-TE emplea para la distribución de etiquetas el método *downstream on demand*, es decir que la petición para establecer el *binding* (asociación entre un FEC y una etiqueta) para la creación del túnel LSP es iniciada por el *edge* LSR de entrada. Para conseguir esto se añade el objeto *LABEL_REQUEST* al mensaje *PATH* del RSVP original.

Para facilitar la gestión de tráfico en un dominio MPLS el protocolo RSVP original debe soportar el encaminamiento explícito (*explicit routing*). Por lo que se añade el objeto *EXPLICIT_ROUTE* en los mensajes *PATH*. Este objeto encapsula la secuencia de nodos que forman la ruta explícita que deben seguir los paquetes.

Como la asignación de etiquetas se realiza desde el *edge* LSR de salida hacia el *edge* LSR de entrada (sentido contrario al flujo de paquetes), se necesita añadir el objeto *LABEL* al mensaje *RESV*, el cual permitirá transportar la información requerida para la creación de túneles LSP.

1.1.9.2.1 Funcionamiento del Protocolo RSVP-TE [7][11]

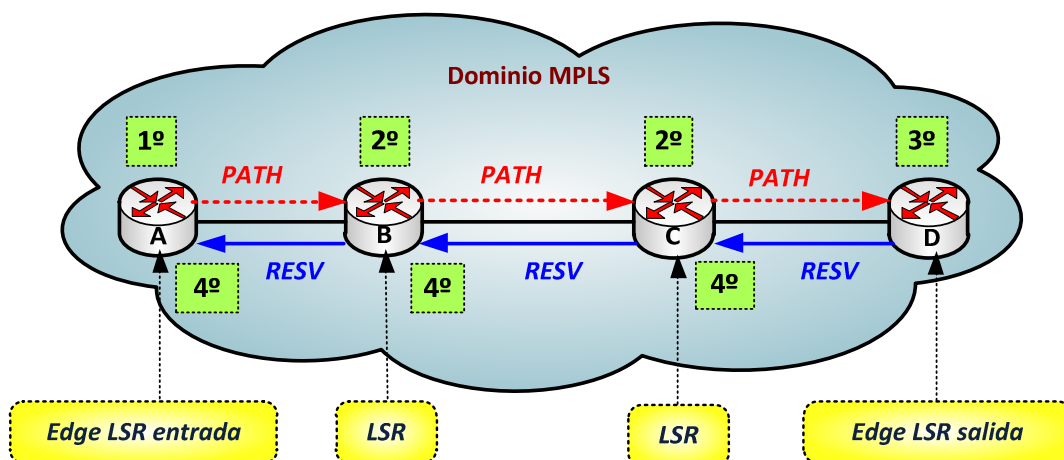


Figura 1.32: Funcionamiento del Protocolo RSVP-TE. [11]

1. Cuando un *edge* LSR de entrada necesita establecer un camino LSP, éste envía un mensaje *PATH* al siguiente LSR de la ruta explícita, que no necesariamente coincide con la ruta calculada por el protocolo de enrutamiento.
2. Cuando los LSRs reciben el mensaje *PATH*, lo procesan y si no son el último nodo (*edge* LSR de salida) de la ruta, lo transmiten hacia el siguiente LSR.
3. Cuando el mensaje *PATH* alcanza el *edge* LSR de salida, éste reserva los recursos internos necesarios, asigna una etiqueta para utilizar en ese LSP y la propaga hacia el anterior LSR mediante un mensaje *RESV*.
4. Cuando los LSRs reciben el mensaje *RESV*, proceden a reservar los recursos internos necesarios y asignan una etiqueta para ese flujo, luego la propagan hacia el siguiente LSR con el mensaje *RESV*. Este proceso se repite hasta alcanzar el *edge* LSR de entrada, que también reserva los recursos internos pero no asigna ninguna etiqueta ni la propaga.

1.1.9.3 CR-LDP (*Constraint-Based Routing LDP*)^{[13] [22] [37]}

El CR-LDP se basa en el protocolo de distribución de etiquetas LDP, pero con algunas extensiones para que pueda soportar el enrutamiento basado en restricciones (CR¹², *Constraint-based Routing*). Presenta la ventaja de manejar rutas explícitas con las se pueden reservar recursos de diversas características.

Al igual que el protocolo LDP, en CR-LDP se utilizan conexiones TCP entre vecinos LSR, con lo que se consigue mayor seguridad y confiabilidad en las mismas. Gracias a las notificaciones propias de TCP se pueden detectar fallas de manera rápida y por consiguiente aplicar las medidas correctivas oportunamente.

CR-LDP cuenta con cinco tipos de mensajes, que son:

¹² CR (*Constraint-based Routing*): Es un enrutamiento basado en restricciones que se fundamenta en el cálculo de trayectos que están sujetos a ciertas restricciones, como: ancho de banda, calidad de servicio, retardo, jitter, etc.

1. **Mensajes LABEL_REQUEST:** se usa para realizar una petición de establecimiento del LSP y permite especificar explícitamente qué rutas van a ser utilizadas
2. **Mensajes LABEL_MAPPING:** cuando un LSR recibe este mensaje realiza el establecimiento del camino LSP.
3. **Mensajes RELEASE:** indica que un LSP establecido ha sido liberado.
4. **Mensajes NOTIFICATION:** informa de los eventos que suceden en el intercambio de mensajes.
5. **Mensajes ERROR:** sirve para indicar si se ha producido algún error durante el intercambio de mensajes.

1.1.9.3.1 Funcionamiento del protocolo CR-LDP ^[7]

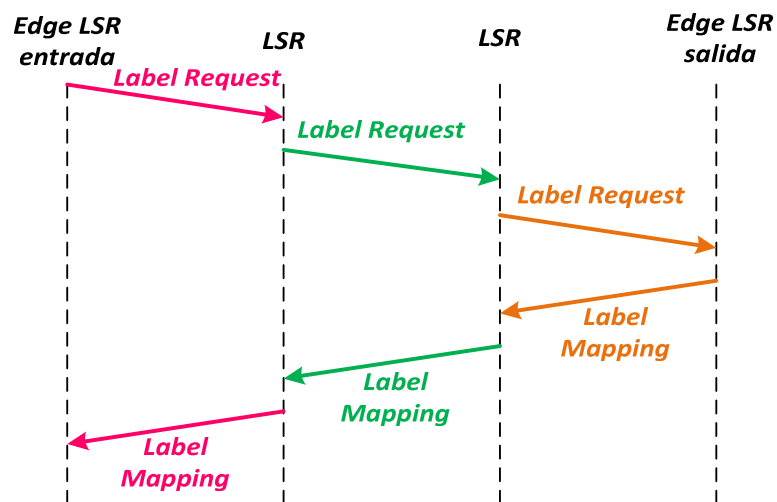


Figura 1.33: Intercambio de mensajes Label Request y Label Mapping. ^[10]

1. Si un edge LSR de entrada quiere establecer un nuevo LSP, entonces debe reservar los recursos que necesita y enviar un mensaje *LABEL_REQUEST* con la ruta explícita hacia el edge LSR de salida y con los parámetros de tráfico que requiera la sesión.
2. Cada LSR de la ruta que reciba el mensaje reserva los recursos y determina si es el edge LSR de salida para ese LSP, si no lo es, continua

enviando el mensaje *LABEL_REQUEST* hasta alcanzar el *edge* LSR de salida.

3. Cuando llega al *edge* LSR de salida, éste realiza cualquier negociación final sobre los recursos y hace la reserva. Asigna una nueva etiqueta al nuevo LSP y la distribuye en un mensaje *LABEL_MAPPING* que contiene los parámetros de tráfico finales reservados para el LSP.
4. Cuando un LSR intermedio recibe el mensaje *LABEL_MAPPING*, realiza sus respectivas restricciones interiores, asigna una etiqueta para el LSP y la envía en otro mensaje *LABEL_MAPPING*.
5. Cuando el mensaje *LABEL_MAPPING* llega al *edge* LSR de entrada se establece el LSP.

1.1.10 APLICACIONES MPLS ^{[5] [19] [21] [23]}

La tecnología MPLS se puede utilizar en diversas aplicaciones, entre éstas se encuentran:

- Redes Privadas Virtuales (VPNs, *Virtual Private Networks*)
- Ingeniería de Tráfico (TE, *Traffic Engineering*)
- Diferenciación de Clases de Servicio (CoS, *Class of Service*)
- Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*)

1.1.10.1 Redes Privadas Virtuales (VPN, *Virtual Private Networks*)

Una red privada virtual es una red privada que se puede extender a sitios remotos sobre una infraestructura pública, como la Internet. La interconexión a través de la infraestructura pública es transparente para el usuario, aparentando una conexión dentro de un mismo segmento de red por usuarios que en realidad se encuentran en redes distintas, es decir, los usuarios perciben que sus datos se envían a través de su red LAN.

El objetivo de las VPNs es soportar aplicaciones *intranet*¹³ y *extranet*¹⁴, mediante la integración de aplicaciones de voz, datos y video sobre redes eficaces y rentables.

Las VPNs constituyen una solución importante para las empresas, debido a que reducen significativamente el costo de transferencia de datos de un lugar a otro y otorgan seguridad, confidencialidad e integridad para el intercambio de datos entre oficinas centrales y sucursales de una empresa.

Desde el punto de vista del usuario las principales ventajas de las VPNs son la seguridad y la privacidad que ofrecen. La seguridad permite el aislamiento de los datos, de tal forma que no sean accesibles al resto del mundo y la privacidad permite que el usuario sienta que los enlaces utilizados están específicamente dedicados para él. ^[11]

1.1.10.1.1 VPN MPLS ^[36]

Las VPNs que operan sobre MPLS (VPNs MPLS) se aplican sobre el *backbone* del proveedor MPLS. Las VPN MPLS garantizan escalabilidad gracias a que se pueden configurar múltiples VPNs para diferentes clientes sin la necesidad de crear cientos de circuitos virtuales.

Las VPNs MPLS permiten que los clientes puedan utilizar cualquier tipo de protocolo de enrutamiento dentro de sus redes y la dirección IP que deseen (*overlapping* de direcciones) dentro de su red sin afectar de ninguna forma a otros clientes ni al *backbone* MPLS.

El *overlapping* de direcciones se hace posible mediante la utilización de un prefijo de red de 64 bits, denominado RD (*Route Distinguishers*), que transforma la

¹³ *Intranet*: Es una red privada que interconecta sitios geográficamente separados de una organización y permite tener aplicaciones en las que los clientes internos puedan utilizar adecuadamente la información.

¹⁴ *Extranet*: Es una red privada que utiliza protocolos de Internet, protocolos de comunicación e infraestructura pública de comunicación para compartir de forma segura parte de la información propia de una organización con proveedores, compradores, socios, clientes o cualquier otra organización.

dirección IP no única del cliente, de 32 bits, en una dirección única de 96 bits (dirección VPNv4), ver Figura 1.34.

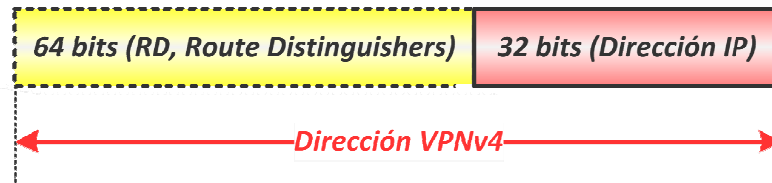


Figura 1.34: Conformación de una dirección VPNv4. [5]

Arquitectura de una VPN MPLS.

Dentro de la arquitectura de una VPN/MPLS se pueden diferenciar dos porciones de red, ver Figura 1.35:

1. **Red-C:** es la porción de red controlada por el cliente. Aquí se ubican los dispositivos del cliente, como el router CE (*Customer Edge*).
2. **Red-P:** es la porción de red controlada por el proveedor. Aquí se ubican los dispositivos del proveedor, como los *edge* LSRs (PE, *Provider Edge*) y los LSR (P, *Provider*).

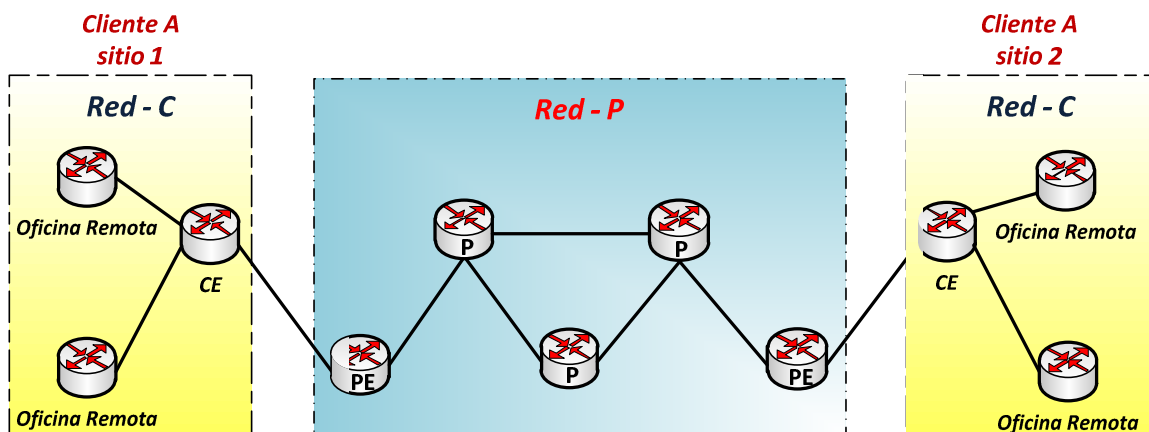


Figura 1.35: Arquitectura de una VPN MPLS. [5]

A continuación se describen los dispositivos que conforman la arquitectura de una VPN MPLS.

- **Router del cliente, CE (Customer Edge)**

- Permite que los clientes se conecten a la red del proveedor (Red-P), a través del router PE.
- Pueden manejar protocolos de enrutamiento como OSPF, RIP, EIGRP y Rutas Estáticas.
- Intercambian actualizaciones de enrutamiento con el router PE.
- La utilización de MPLS es totalmente transparente para estos equipos, es decir que los routers P están ocultos a la vista del cliente, ver Figura 1.36.

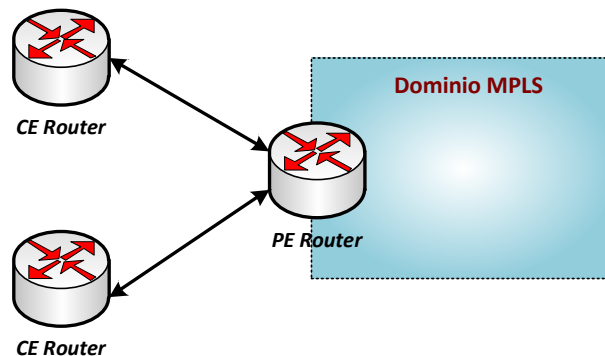


Figura 1.36: Router CE (Customer Edge).^{15]}

- **Router PE (Provider Edge) o edge LSR.**

- Este dispositivo está ubicado en el borde de la red MPLS.
- Tiene conexión directa con los routers del cliente CE.
- Internamente asigna una tabla virtual de enrutamiento independiente a cada cliente, denominada VRF¹⁵. Además posee una tabla de enrutamiento global que permite el enrutamiento a través del *backbone* (routers P) del proveedor.

¹⁵ VRF (Virtual Routing and Forwarding Table): Es una tabla de enrutamiento, que permite tener varias tablas de rutas independientes en un solo router. Pueden existir múltiples VRFs en los PEs para aislar las tablas de enrutamiento de distintos clientes.

- Estos routers realizan el intercambio de información de enrutamiento IPv4 con routers CE mediante las VRF, el intercambio de información de enrutamiento de VPNv4 con otros routers PE mediante el protocolo MP-IBGP¹⁶ y el intercambio de información de enrutamiento de las rutas internas del *backbone* MPLS con routers P mediante el protocolo IGP, ver Figura 1.37.

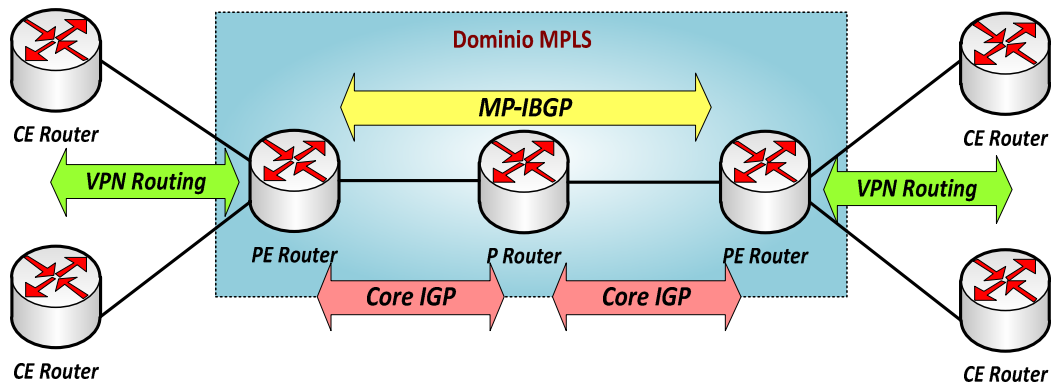


Figura 1.37: Router PE (Provider Edge).^[5]

- **Router P (Provider) o LSR**

- Son los routers del núcleo de la red MPLS que proveen exclusivamente el transporte de datos a través de la red del proveedor. No tienen clientes en sus interfaces y no manejan rutas de clientes.
- No tienen conocimiento de las VPN MPLS, por lo que no participan en su enrutamiento, ver Figura 1.38.

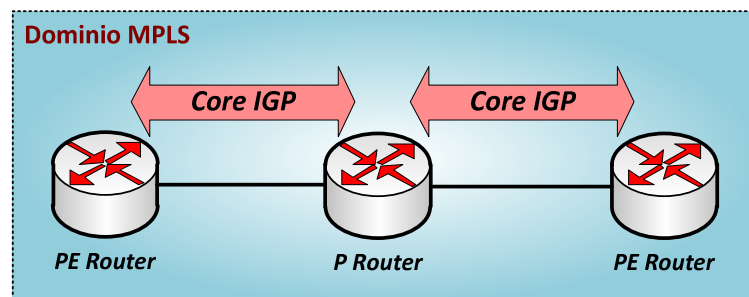


Figura 1.38: Router P (Provider).^[5]

¹⁶ MP-IBGP (*MultiProtocol-Internal Border Gateway Protocol*): Es una extensión del protocolo BGP que permite propagar las direcciones VPNv4 entre routers PE.

- Manejan específicamente el protocolo IGP y los caminos LSP e intercambian información sobre los enlaces internos del núcleo.

Propagación de las VPN MPLS a través de la Red-P.

Para propagar las VPN MPLS se usa el protocolo de enrutamiento MP-IBGP (*MultiProtocol-Internal Border Gateway Protocol*) en los routers PE, los cuales realizan el intercambio de todas las rutas de los clientes sin involucrar a los routers P.

El protocolo de enrutamiento MP-IBGP es altamente escalable y permite manejar un número muy amplio de rutas. Este protocolo es una extensión de BGP que soporta direcciones VPNv4 en lugar de direcciones IPv4 y se lo considera como protocolo interno debido a que generalmente las VPN MPLS son usadas dentro del mismo Sistema Autónomo (*AS, Autonomous System*¹⁷).

Reenvío de paquetes VPN a través de la red MPLS

Para el reenvío de paquetes VPN a través de una red MPLS es necesaria la utilización de dos etiquetas:

- La etiqueta superior (etiqueta LDP) permite realizar la conmutación de etiquetas en los Ps del dominio MPLS hasta alcanzar el PE de salida, donde esta etiqueta es removida. El valor de esta etiqueta cambia en el paso por los dispositivos Ps, ver Figura 1.39.
- La segunda etiqueta permite identificar a qué VPN pertenece el paquete. El *edge* LSR de salida utiliza esta etiqueta para reenviar el paquete hacia el router CE (*Customer Edge*).

¹⁷ Sistema Autónomo: Es un conjunto de redes y dispositivos que se encuentran administrados por una sola entidad, se puede considerar como una Internet en pequeño. Los Sistemas Autónomos se comunican entre ellos mediante routers e intercambian información de enrutamiento mediante el protocolo BGP.

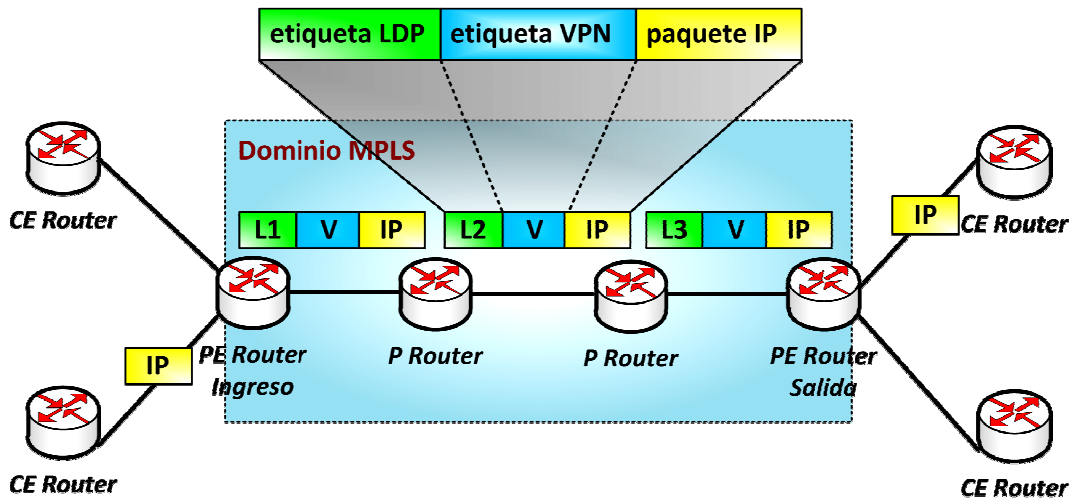


Figura 1.39: Reenvío de paquetes VPN a través de la red MPLS. [5]

1.1.10.2 Ingeniería de Tráfico (TE, *Traffic Engineering*) [5]

La ingeniería de tráfico implica un conjunto de mediciones y análisis realizados al flujo de tráfico de una red, para que mediante funciones probabilísticas se puedan realizar pronósticos y proyecciones futuras en base al tráfico actual y a los recursos con los que cuenta una red.

En las redes que utilizan protocolos de enrutamiento IGP, los paquetes son enviados por la ruta de menor costo (mejor ruta) seleccionada por el protocolo IGP en base a su métrica, encontrada para cada destino. Este método funciona bien en muchas redes, pero existen algunas en las que se presenta el problema de sobre-utilización de algunos enlaces y subutilización de otros. Este desbalance puede ocurrir cuando existen varias rutas para alcanzar un cierto destino, debido a que el IGP selecciona una de éstas como la mejor y utiliza sólo esa ruta para el envío de los paquetes, por lo que en caso de existir un volumen muy grande de tráfico algunos paquetes se eliminarán debido a la congestión del enlace.

Una alternativa a este problema sería aumentar el ancho de banda del enlace congestionado y reducir el del subutilizado, sin embargo realizar estos ajustes no es la solución definitiva debido a que si el enlace alternativo es un camino de *backup*, éste debe estar en capacidad de cursar la mayor parte del tráfico que normalmente atraviesa por el camino primario, además los costos para

incrementar el ancho de banda del enlace primario podrían ser demasiado elevados.

Una solución que permite un rendimiento óptimo de la red es la ingeniería de tráfico, que de manera general consiste en trasladar parte del tráfico del enlace congestionado (elegido como mejor ruta por el protocolo IGP) a otros menos congestionados o sub-utilizados, aunque estén fuera de la ruta más corta, ver Figura 1.40.

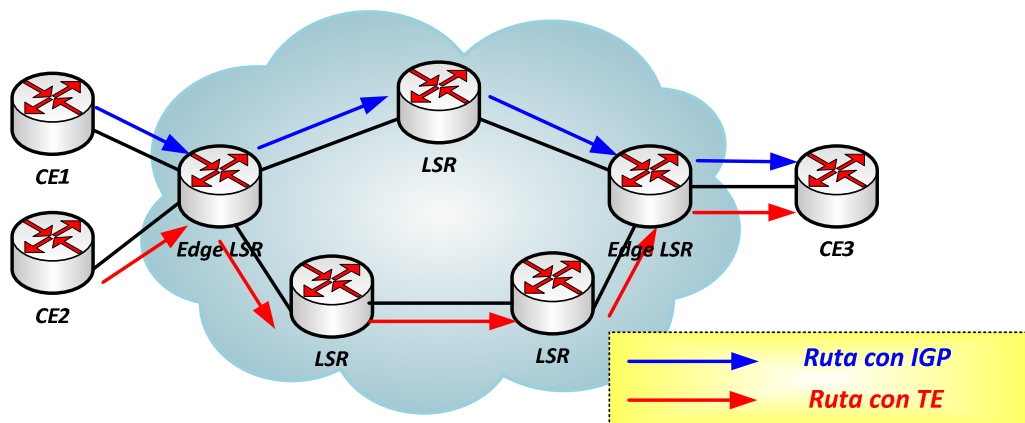


Figura 1.40: Ingeniería de Tráfico vs. mejor ruta del IGP. ^[5]

La ingeniería de tráfico es un mecanismo que permite utilizar los recursos de ancho de banda de una red de manera óptima, distribuyendo el tráfico de acuerdo a su disponibilidad y evitando de esta forma que algunas partes de la red estén sobre utilizadas, con puntos congestionados y cuellos de botellas, mientras otras están sin utilizar.

La Ingeniería de tráfico no solventa la congestión generada por la cantidad insuficiente de recursos de red, ni la congestión temporal causada por ráfagas de tráfico, sino la ocasionada por una ineficiente distribución del tráfico en los recursos, donde una parte de la red sufre congestión permanente, mientras que otra parte de la red tiene capacidad de reserva.

Gracias a la utilización eficiente de recursos se consigue reducir los costos generales de operación de la red, lo que a su vez ayuda a que los proveedores de servicios tengan mayor competitividad dentro del mercado actual. La reducción de

costos es uno de los principales motivos que han impulsado el desarrollo y utilización de la ingeniería de tráfico.

Otra ventaja de utilizar Ingeniería de tráfico, es que permite crear túneles de respaldo que proveen protección contra fallas en enlaces o nodos. Además, cuando se combina con calidad de servicio (QoS) se obtienen mejores SLAs (*Service Level Agreements*)¹⁸.

1.1.10.2.1 Ingeniería de Tráfico sobre MPLS (MPLS TE)

En la implementación de ingeniería de tráfico con MPLS se puede etiquetar ciertos paquetes para otorgarles prioridad de tal forma que lleguen al destino de forma más rápida, con esto se consiguen aplicaciones en tiempo real y con retardos bajos.

Cuando se realiza ingeniería de tráfico con MPLS se puede:

- Establecer rutas explícitas: permite especificar exactamente los nodos que seguirá el LSP.
- Obtener estadísticas de uso LSP: permite analizar la congestión de un enlace, para realizar una planificación de la red y proyectar futuras expansiones.
- Realizar enrutamiento basado en restricciones (CR, *Constraint-based Routing*): permite seleccionar un LSP apropiado de tal forma que cumpla con ciertos requisitos, como: retardo, ancho de banda, pérdida de paquetes, etc. y así garantizar la calidad de servicio (QoS) necesaria para la implementación de servicios especiales.

Los paquetes involucrados en ingeniería de tráfico sobre MPLS, tienen un *stack* de dos etiquetas insertadas por el *edge* LSR de ingreso. La etiqueta superior identifica un camino LSP específico que seguirá el paquete y la segunda etiqueta indica lo que debe hacer el router del otro extremo del LSP con el paquete.

¹⁸ SLA (*Service Level Agreement*): Es un contrato escrito entre un proveedor de servicio y su cliente con objeto de fijar el nivel acordado para la calidad de dicho servicio.

1.1.10.3 Clase de Servicio (CoS)

La Clase de Servicio (CoS) es un término que se usa para identificar o diferenciar el tipo de tráfico de una red. Gracias a esta diferenciación se pueden agrupar flujos de paquetes con requisitos semejantes en cuanto a parámetros como: latencia, ancho de banda, pérdida de paquetes, etc., permitiendo la gestión de diferentes clases de flujos de datos de forma eficaz.

La Clase de Servicio (CoS), a diferencia de la Calidad de Servicio (QoS), no garantiza ancho de banda o latencia, pero permite solicitar prioridades para los distintos flujos en base a su importancia, de tal forma que el tráfico considerado crítico siempre fluya por la red sin importar el ancho de banda demandado por aplicaciones de menor importancia.

1.1.10.4 Calidad de Servicio (QoS) ^[36]

En la actualidad se utilizan aplicaciones y servicios tales como el *streaming* de video, voz sobre IP (VoIP), video conferencia, transacciones financieras seguras, aplicaciones comerciales, etc., que requieren una asignación estricta de recursos de red para que puedan funcionar sin inconvenientes. Cada una de estas aplicaciones tiene necesidades específicas en cuanto a:

- **Retardo (*Delay*):** es el tiempo que necesita un paquete para ser transportado por la red hasta el destino. Es una característica que se hace muy evidente en aplicaciones como la video conferencia y VoIP.
- **Variación de retardo (*Jitter*):** se da cuando los paquetes que originalmente fueron transmitidos con un espaciado de tiempo constante entre ellos, no llegan a su destino en el orden correcto o con la base de tiempo determinada, debido a una fluctuación en el espaciado de los paquetes.
- **Ancho de Banda (*Bandwidth*):** es una medida de la capacidad de transmisión de datos e indica la capacidad máxima teórica de una conexión, la que se ve disminuida por factores negativos como el retardo

de transmisión, que puede causar un deterioro en la calidad. El operador garantiza un ancho de banda mínimo al usuario dentro de su red.

- **Pérdida de paquetes (*packet loss*):** máximo de paquetes perdidos para que las aplicaciones no sufran ningún tipo de degradación, siempre y cuando el usuario no exceda la tasa garantizada.
- **Disponibilidad (*Availability*):** tiempo mínimo que el operador asegura que la red esté en funcionamiento.

La Calidad de Servicio es el mecanismo que permite que una red pueda asegurar de manera confiable el cumplimiento de los requerimientos específicos de cada una de estas aplicaciones, sin necesidad de sobredimensionar los elementos de la red.

La Calidad de Servicio garantiza que las aplicaciones o servicios más críticos no se vean afectados por los demás, siendo el cliente quien determina el tipo de tráfico (datos, voz o video) que es más crítico para él. En caso de una congestión, el tráfico seleccionado como crítico dispone de mayor prioridad para ser cursado a través de la red.

Los proveedores de servicio y los clientes establecen un contrato denominado SLA (*Service Level Agreement*), en el que se describen las responsabilidades de prestación, recepción y las compensaciones que se aplicarán en caso de que no se cumpla con los niveles de servicio pactados.

En redes MPLS, cada LSP se encuentra especificado de acuerdo a los requerimientos de un servicio o una aplicación. Por ejemplo, un servicio de video sobre una red MPLS utilizará un LSP con un ancho de banda mayor y que siga una ruta más corta, para así disminuir el retardo y entregar una imagen nítida y en tiempo real. El camino de este servicio de video será diferente al tomado por otras aplicaciones que tendrán requerimientos diferentes para su normal funcionamiento.

1.1.10.4.1 Arquitecturas para la implementación de QoS

La IETF ha definido dos modelos para la implementación de QoS:

1. Servicios Integrados o *IntServ (Integrated Services)*

En el modelo *IntServ*, el usuario final solicita previamente los recursos que necesita. De tal forma que todos los dispositivos en ese trayecto están informados de la reservación de ancho de banda y de recursos que deben realizar.

Para ofrecer Calidad de Servicio a un flujo de datos determinado se utiliza el protocolo RSVP, que permite reservar recursos a lo largo de un camino. La reservación de recursos permitirá asegurar la QoS solicitada, siempre y cuando la red cuente con los recursos suficientes.

El hecho de reservar la capacidad solicitada por un flujo, en todos los dispositivos del camino, requiere guardar información de estado en cada uno de estos dispositivos, con el consecuente consumo de memoria que esto implica. Además, como cada flujo de tráfico debe tener una reservación específica de recursos, mantener estas reservaciones a gran escala genera costos elevados de la red, ocasionando grandes problemas de escalabilidad, razón por la cual no se utiliza este modelo en redes MPLS.

2. Servicios Diferenciados o *DiffServ (Differentiated Services)*

El modelo *DiffServ* se fundamenta en la asignación de un determinado nivel de prioridad a los paquetes. Simplemente se marcan los paquetes con la prioridad deseada y no se realiza reservación de recursos, ni mantenimiento de información de estado en los dispositivos, consiguiendo que la información de Calidad de Servicio (QoS) no esté en los dispositivos de la red sino en la cabecera IP de cada paquete, en la que se designa la calidad que debe recibir.

En lugar de distinguir flujos individuales, este modelo permite clasificar los paquetes en diferentes clases de servicio (según el tipo de servicio solicitado),

cada una de ellas con prioridades distintas. Esta clasificación se consigue mediante la definición de comportamientos específicos para cada clase de tráfico entre dispositivos de interconexión.

Todos los paquetes que pertenecen a una misma clase de servicio pueden agruparse fácilmente y recibir un mismo trato por parte de la red.

Como el número de clases de servicio es limitado e independiente del número de flujos o usuarios, se tiene una complejidad constante, no proporcional al número de usuarios, permitiendo que este modelo resuelva el problema de escalabilidad presentado por *IntServ*, de tal forma que se puede usar en redes MPLS.

El proceso de Calidad de Servicio (QoS) en *DiffServ* comprende las siguientes etapas:

1) **Clasificación**

Los paquetes son elegidos por un determinado patrón como protocolo de transporte, puerto, IP, etc., luego se los clasifica.

2) **Marcado** ^[45] ^[46]

Una vez clasificados, los paquetes son marcados con un código denominado DSCP (*Differentiated Services Code Point*)¹⁹. El DSCP se transporta dentro del campo denominado Servicios Diferenciados (DS, *Differentiated Services*)²⁰, el cual reemplaza al campo ToS (*Type of Service*)²¹ de la cabecera del paquete IP, ver Figura 1.41.

¹⁹ DSCP (*Differentiated Services Code Point*): Se utiliza para diferenciar el nivel de calidad de servicio que quieren los datos que se transportan por una red. Utiliza los 6 bits superiores del campo DS.

²⁰ DS (*Differentiated Services*): Es un campo de 8 bits establecido para los Servicios Diferenciados que sustituye las definiciones existentes para el campo ToS (*Type of Service*) de la cabecera IPv4.

²¹ ToS (*Type of Service*): Es un campo de 8 bits dentro de la cabecera IPv4, que fue usado normalmente para proveer Calidad de Servicio en redes IP, sin embargo desde la llegada del modelo *DiffServ* ha sido reemplazado para la implementación del campo DS.

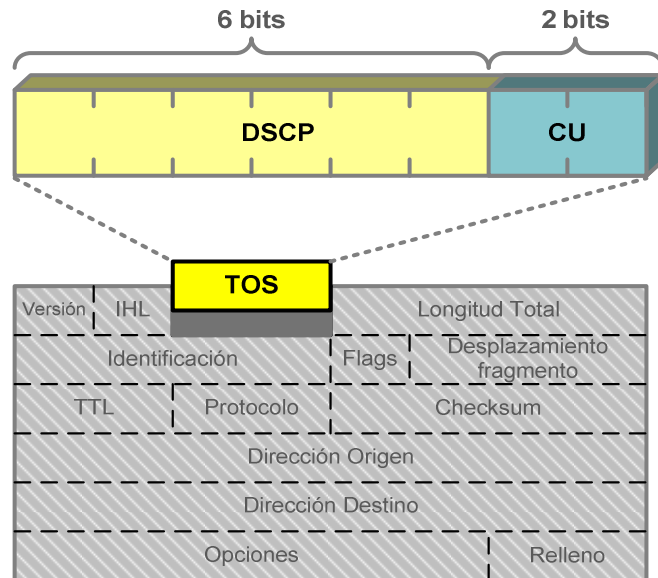


Figura 1.41: Reemplazo del Campo ToS por el Campo DS. ^[46]

En la Figura 1.41 se puede observar que el campo DS de *DiffServ* está conformado a más del campo DSCP por un campo de dos bits denominado CU (*Currently Unused*), que actualmente se usa para control de congestión.

3) **Encolado** ^[24]

A cada marcado se le asignará una cola para el despacho de los paquetes. Cada cola estará manejada por políticas que pueden ser distintas para cada tipo de servicio disponible y tendrá prioridades distintas en función de la Calidad de Servicio que se quiera ofrecer para cada servicio.

Mediante la creación de colas se puede controlar la congestión que se produce cuando una interfaz de salida no puede enviar paquetes al medio físico tan rápidamente como le llegan. Para controlar la congestión existen cinco tipos de encolamiento:

- ***First-In, First-Out (FIFO)***

Se basa en que el primer paquete en entrar es el primero en salir, es el método más simple de encolamiento y presenta como ventaja que

requiere pocos recursos del *router*, la desventaja es que no permite asignar prioridades al tráfico.

- ***Weighted Fair Queueing (WFQ)***

Este tipo de encolamiento es adecuado cuando se requiere brindar un buen tiempo de respuesta, tanto para usuarios que tengan un elevado uso de la red, como para los que hagan un uso más leve, sin añadir ancho de banda adicional.

WFQ es un algoritmo de cola basado en flujos, que realiza dos tareas simultáneamente y de forma automática: a) Organiza el tráfico (de tiempo real), poniéndolo al principio de la cola, reduciendo así el tiempo de respuesta y b) Comparte equitativamente el ancho de banda remanente, entre el resto de tráfico de alta prioridad.

WFQ asegura que las colas no mueran de inanición por falta de ancho de banda. Los flujos de tráfico de bajo volumen reciben un servicio preferencial, transmitiendo toda su carga en el momento oportuno. Los flujos de tráfico de alto volumen comparten entre ellos la capacidad excedente proporcionalmente.^[24]

WFQ presenta como problema la falta de escalabilidad dentro de una red grande, debido a que a medida que el tráfico por enlace aumenta debe analizar una cantidad numerosa de flujos hasta que termina colapsando. Este inconveniente se soluciona con CBWFQ (*Class Based WFQ*), que es un método de encolamiento basado en clases, donde cada clase tiene una cola separada y todos los paquetes que cumplen con ciertos criterios establecidos para una clase en particular son asignados a esa cola.

En el encolamiento WFQ por clases se puede definir específicamente el ancho de banda o profundidad de la cola para cada clase y si una cola no utiliza su ancho de banda asignado, otras pueden hacerlo.

- **Custom Queueing (CQ)**

CQ fue diseñado para permitir que varias aplicaciones compartieran la red, y que además tuvieran asignado un ancho de banda mínimo asegurado, y valores aceptables en cuanto a retrasos.

En este método el ancho de banda se reparte proporcionalmente entre las diferentes clases de servicio en forma de *round-robin*²², sin dejar tráfico fuera de servicio, además permite especificar qué porcentaje de ancho de banda se dedica a cada tipo de tráfico.

- **Priority Queueing (PQ)**

Este tipo de encolamiento presenta cuatro colas posibles, diferenciadas entre sí de acuerdo a su prioridad en: alta, media, normal y baja. Cada una de estas colas es servida (despachada) en riguroso orden conforme a su prioridad definida, por lo que existe el problema de que una clase de prioridad inferior sea servida a una velocidad muy por debajo de la necesaria debido a que siempre hay un pequeño tráfico de mayor prioridad esperando ser servido.

- **Low Latency Queueing (LLQ)**

LLQ es una mezcla entre los métodos PQ y CBWFQ, por lo que cuenta con colas de prioridad personalizada basadas en clases de tráfico y con una cola de prioridad. Si existe tráfico en la cola de prioridad ésta es atendida primero, caso contrario se procede a atender las demás colas según su prioridad. Debido a este comportamiento se requiere la configuración de un ancho de banda límite para la cola de prioridad, para así evitar la inanición del resto de colas.

Este método es recomendado para la transmisión de aplicaciones de voz IP y telefonía IP, que requieren bajo retardo y *jitter*.

²² *round-robin*: Es un método que asigna a cada proceso una porción de tiempo equitativa y en un orden racional, tratando a todos los procesos con la misma prioridad. Una vez agotada esta porción de tiempo el proceso es interrumpido e inmediatamente continua con el siguiente proceso de la cola. La cola de procesos se estructura como una cola circular FIFO.

1.2 FIBRA ÓPTICA

1.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA FIBRA ÓPTICA ^[17]

La fibra óptica es un medio de transmisión compuesto por filamentos finos, flexibles y transparentes que pueden ser de vidrio o plástico, por los que se envían pulsos de luz que portan la información a transmitir.

Para que la luz pueda propagarse dentro de una fibra óptica se deben cumplir dos condiciones, ver Figura 1.42:

1. El índice de refracción²³ del núcleo (n_1) debe ser mayor al del manto (n_2), ($n_1 > n_2$).
2. El ángulo de incidencia (θ_1) debe ser mayor al ángulo crítico (θ_c), ($\theta_1 > \theta_c$).

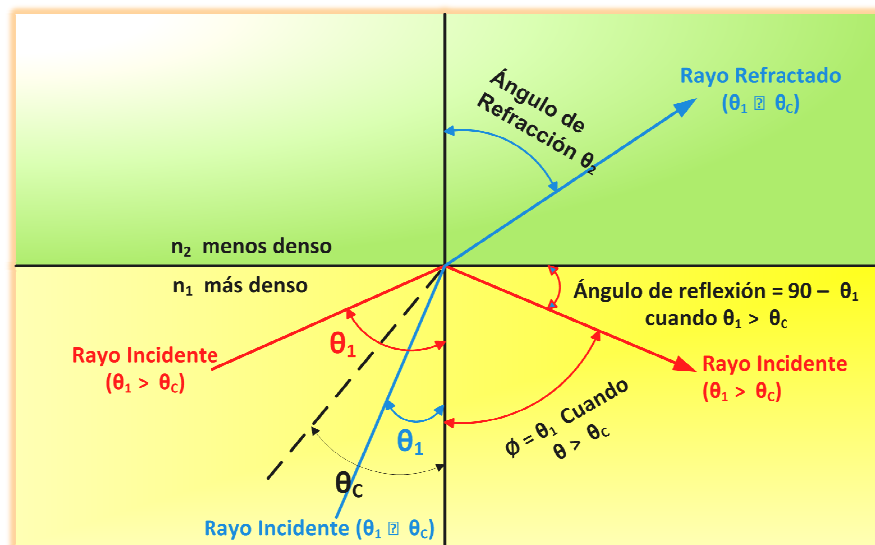


Figura 1.42: Reflexión y Refracción en una fibra óptica. ^[17]

El cumplimiento de estas condiciones permite que cualquier rayo de luz se refleje en su totalidad (Reflexión Interna Total) en el interior del núcleo de la fibra y pueda propagarse a través del mismo hasta su destino.

²³ Índice de Refracción de un material (n): Cociente entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío (c) y la velocidad de propagación (V_p) de la luz en dicho material (). La velocidad de la luz en un medio es tanto menor cuanto más denso sea éste.

La fibra óptica presenta características favorables que han permitido su amplia utilización en medios de comunicación como el gran ancho de banda que posee, atenuación pequeña que permite transmisiones a mayor distancia sin repetidores o regeneradores, inmunidad a la interferencia electromagnética²⁴ y estática²⁵; además puede operar sobre un amplio rango de temperaturas (-55 °C a +85 °C) con un funcionamiento uniforme y sin degradación de sus características; mediante la telemetría se puede detectar rápidamente el lugar de una avería en la fibra óptica simplificando su mantenimiento y reparación. ^[17]

Con la fibra óptica se facilita el descubrimiento de una intromisión fraudulenta debido a que en el receptor se aprecia un debilitamiento de la energía luminosa, con lo que se obtiene seguridad en la transmisión de la información. ^[1]

Sin embargo debido a que la fibra óptica es un medio extremadamente frágil se la debe proteger de agresiones externas y ambientes hostiles, y debe estar cubierta con un material de índice de refracción menor al del núcleo para que la luz se pueda transmitir. Una fibra óptica está compuesta por varias capas, ver Figura 1.43:

- Núcleo o *core* ^[28]

Es la parte más interna de la fibra por donde circulan los pulsos de luz. Está fabricado de un material dieléctrico²⁶, normalmente de vidrio de sílice (SiO₂).

- Cubierta, manto o *Cladding* ^[17]

Es un material que envuelve al núcleo y presenta un índice de refracción menor que éste, de esta forma la luz queda confinada en el interior del núcleo y puede viajar a través de él.

²⁴ Interferencia electromagnética: Se presenta en los cables metálicos debido a la inducción magnética.

²⁵ Interferencia estática: Es causada por relámpagos, motores eléctricos, luces fluorescentes y otras fuentes de ruido eléctrico.

²⁶ Dieléctricos: Son materiales que no conducen electricidad y pueden usarse como aislantes.

El manto le proporciona a la fibra protección contra rayaduras, huellas y contacto con otros núcleos.

- Revestimiento protector o *Jacket*

El revestimiento protector se encuentra cubriendo al manto, por lo general está fabricado de plástico y su función principal es brindar una protección frente a esfuerzos mecánicos²⁷ de la fibra y a factores del medio ambiente.

- Envoltura de protección o *Sheath*

Se utiliza como una protección externa para recubrir la fibra que va a ser instalada en ambientes hostiles donde el revestimiento protector no es suficiente. Esta envoltura debe resistir factores ambientales como la radiación ultravioleta, cambios de temperatura y humedad. Además de brindar protección mecánica a la fibra.

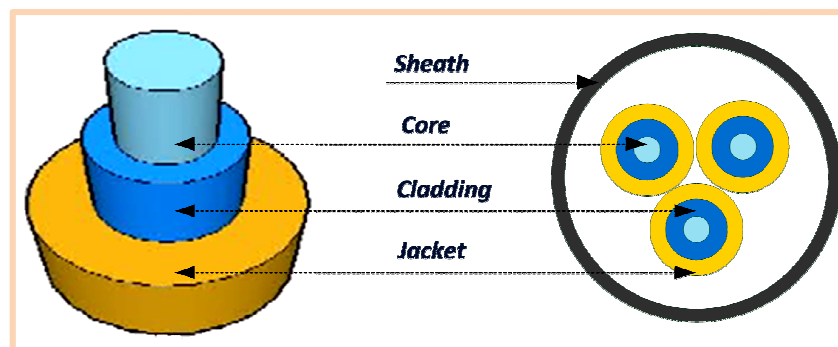


Figura 1.43: Estructura de la Fibra Óptica.^[28]

1.2.2 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA^{[17] [28]}

De acuerdo al número de rayos de luz (modos) que toma la luz dentro de la fibra, ésta se clasifica en dos tipos, según el esquema de la Figura 1.44:

- Fibra óptica multimodo: cuando existe más de un rayo de luz.
- Fibra óptica monomodo: cuando existe un solo rayo de luz.

²⁷ Esfuerzos mecánicos: Pueden ser: sensibilidad a la curvatura, resistencia mecánica, fatiga estática, entre otros.

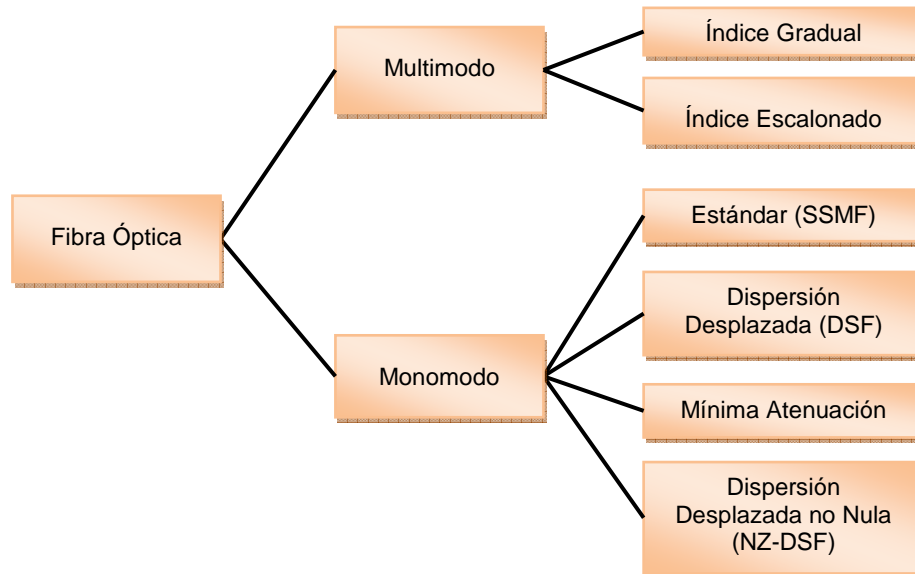


Figura 1.44: Tipos de Fibra Óptica. ^[28]

1.2.2.1 Fibra Óptica multimodo

Las fibras multimodo son aquellas que transmiten múltiples rayos de luz de manera simultánea, donde cada rayo tiene diferente modo²⁸ de propagación. El número de modos que puede tener una fibra depende principalmente del diámetro del núcleo, de la apertura numérica²⁹ (AN) y de la longitud de onda de la luz que se propaga. ^[17]

En las fibras multimodo el diámetro del núcleo de la fibra puede variar entre 50 y 200 [μm] y el diámetro del manto entre 125 y 240 [μm]. Trabajan en las ventanas³⁰ de longitud de onda de 850 y 1300 [nm].

Estas fibras son usadas normalmente en sistemas de comunicaciones de corta distancia y baja velocidad debido a que presentan problemas de dispersión modal³¹, que es una función directamente proporcional a la longitud de la fibra.

²⁸ Modo: Es la trayectoria que sigue un rayo de luz dentro de la fibra óptica.

²⁹ Apertura Numérica: Es un parámetro que determina la cantidad de luz que puede aceptar una fibra. Determina el rango de ángulos a la entrada (cono de aceptación) para los cuales la fibra acepta rayos de luz incidentes desde el exterior.

³⁰ Ventanas de Transmisión: Son zonas que presentan mínima atenuación y que contienen longitudes de onda habituales para trabajar con fibras. Existen 5 ventanas de transmisión con sus respectivas longitudes de onda centrales: 1^{era} ($\lambda = 850$ nm), 2^{da} ($\lambda = 1310$ nm), 3^{era} ($\lambda = 1550$ nm), 4^{ta} ($\lambda = 1625$ nm), 5^a ($\lambda = 1470$ nm).

Considerando el perfil del índice de refracción³², las fibras multimodo se clasifican en dos tipos, ver Figura 1.45:

- Fibras multimodo de índice escalonado.
- Fibras multimodo de índice gradual.

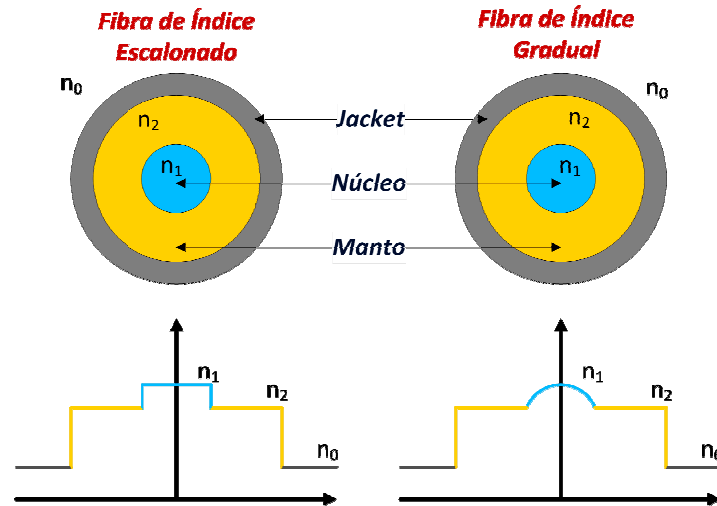


Figura 1.45: Perfiles del Índice de Refracción. [17]

1.2.2.1.1 Fibra multimodo de índice escalonado

En una fibra multimodo de índice escalonado el índice de refracción n_1 se mantiene constante en toda la sección del núcleo y el índice n_2 del manto ($n_1 > n_2$) también se mantiene constante. El nombre de este tipo de fibras se debe a que el índice de refracción se incrementa en forma de escalón debido a que sufre un cambio abrupto en la unión núcleo-manto, ver Figura 1.46.

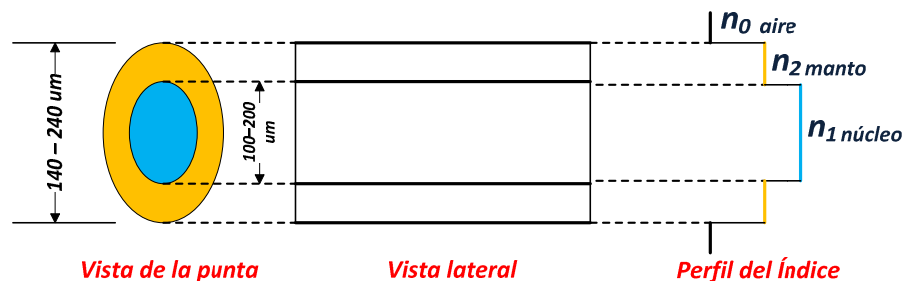


Figura 1.46: Perfil de refracción de una fibra multimodo de índice escalonado. [17] [28]

³¹ Dispersión modal: Es causada por la presencia de los múltiples modos dentro de la fibra que siguen diferentes trayectorias de transmisión, como consecuencia cada rayo recorre distancias distintas y por lo tanto llega al otro extremo en un tiempo diferente.

³² Perfil del Índice de Refracción: Es una representación gráfica del valor del índice de refracción (n), de acuerdo a la variación del mismo en sentido radial.

Dentro del núcleo de este tipo de fibras los rayos de luz se propagan con velocidad constante () pero con trayectorias distintas, lo que ocasiona que lleguen al otro extremo en tiempos diferentes produciendo un ensanchamiento en tiempo de los pulsos (dispersión modal). El problema de la dispersión modal en las fibras de índice escalonado es más considerable que en las de índice gradual, ver Figura 1.47. ^[17]

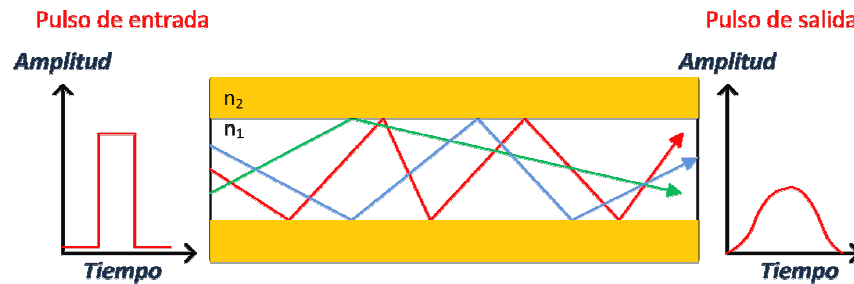


Figura 1.47: Propagación y dispersión de la luz en una fibra de índice escalonado. ^[28]

Típicamente éstas fibras presentan diámetros de núcleo entre 100 y 200 [μm] y de manto entre 140 y 240 [μm].

1.2.2.1.2 Fibra multimodo de índice gradual

En una fibra multimodo de índice gradual el índice de refracción del núcleo varía gradualmente, disminuyendo a medida que se aleja del eje de la fibra y se acerca al manto, ver Figura 1.48, causando que el rayo de luz se refracte³³ múltiples veces mientras viaja por el núcleo formando una trayectoria curva, ver Figura 1.49. El índice de refracción del manto se mantiene constante.

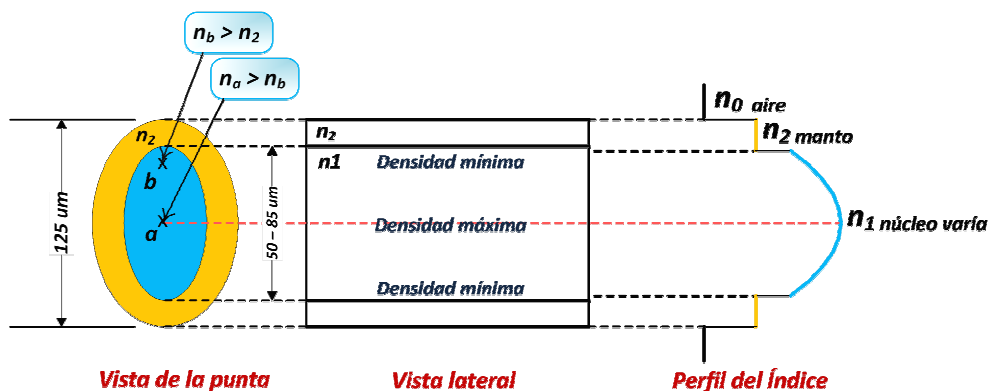


Figura 1.48: Perfil de Refracción de una fibra multimodo de índice gradual. ^{[17] [20]}

³³ Refracción: Es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro, donde cada medio tiene un índice de refracción diferente.

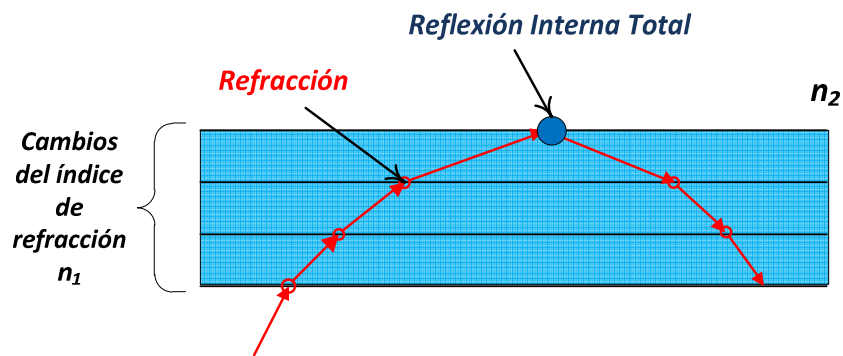


Figura 1.49: Múltiples refracciones dentro del núcleo de una fibra multimodo gradual. ^[17]

Debido a que el índice de refracción del núcleo no es constante, los rayos de luz se propagan con velocidades diferentes dentro del núcleo de la fibra, mientras más alejado del eje de la fibra se encuentre un rayo (el valor de n_1 es menor), mayor será su velocidad (si n_1 disminuye, la velocidad de propagación V_p aumenta, porque $V_p = c/n_1$), y a pesar de que su trayectoria sea más larga llegará al otro extremo de la fibra aproximadamente al mismo tiempo que los demás rayos de luz, reduciendo de esta forma la dispersión modal, ver Figura 1.50. ^[17]

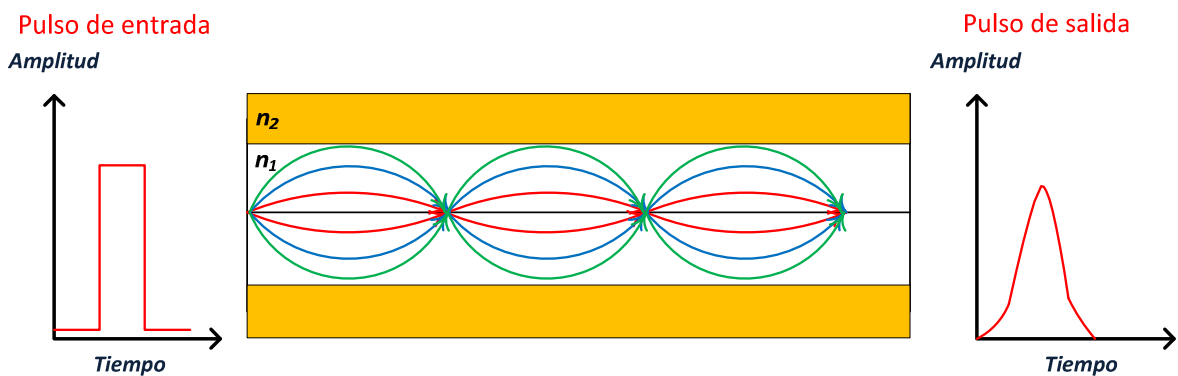


Figura 1.50: Propagación y dispersión de la luz en una fibra multimodo de índice gradual. ^[17]

La fibra de índice gradual presenta mejores características que la de índice escalonado, como mayor ancho de banda, menor distorsión y aumento en la velocidad de transmisión.

Valores típicos de diámetro de núcleo/manto en fibras multimodo de índice gradual son: 50/125, 62.5/125 y 85/125 [μm].

1.2.2.2 Fibra Óptica Monomodo

La fibra óptica monomodo se caracteriza por tener un diámetro de núcleo muy delgado, entre 4 a 10 [μm], por el que se propaga un solo rayo de luz en línea recta sin reflexión (sin rebotar), ver Figura 1.51. Trabaja en las ventanas de longitud de onda de 1310 y 1550 [ηm].

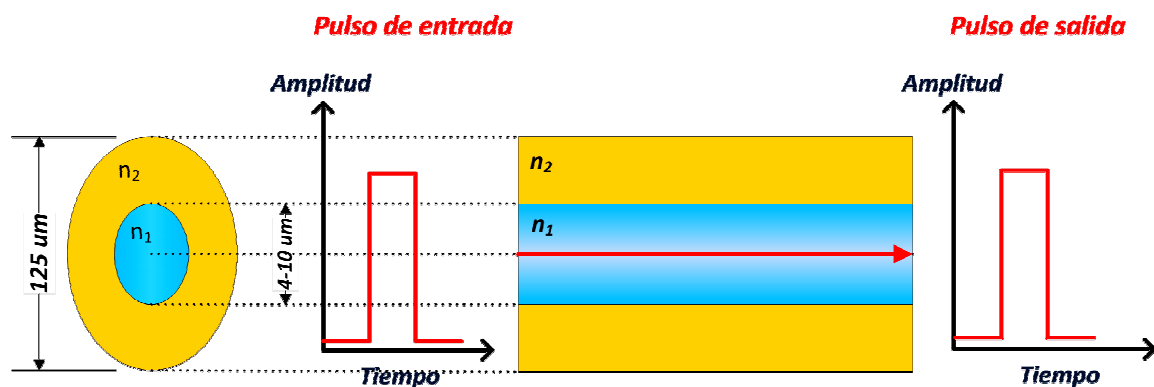


Figura 1.51: Propagación de la luz en una fibra monomodo. ^[3]

En este tipo de fibras no se presenta el problema de ensanchamiento de pulsos por dispersión modal, que se originaba por la coexistencia de varios modos, por lo que tiene características de ancho de banda superiores a las fibras multimodo, se pueden emplear en aplicaciones de larga distancia porque su atenuación es muy baja y con mayores velocidades de transmisión.

Los tipos de fibras ópticas monomodo son:

- Fibra estándar (ITU-T G.652).
- Fibra de dispersión desplazada (ITU-T G.653).
- Fibra de mínima atenuación (ITU-T G.654).
- Fibra de dispersión desplazada no nula (ITU-T G.655).

1.2.2.2.1 Fibra Óptica monomodo estándar (SSMF, Standard Single-Mode Fiber: norma ITU-T G.652) ^[29]

Esta fibra se caracteriza por presentar una atenuación entre 0,35 y 0,4 [dB/Km] y una dispersión cromática (suma de la dispersión del material³⁴ con la dispersión de guía de onda³⁵) alta, en el orden de las decenas, cuando se trabaja en la ventana de 1550 [nm]. Presenta dispersión cromática nula trabajando a una longitud de onda cercana a 1310 [nm] pero con un ligero incremento en la atenuación (entre 0,4 y 0,5 [dB/Km]), ver Figura 1.52.

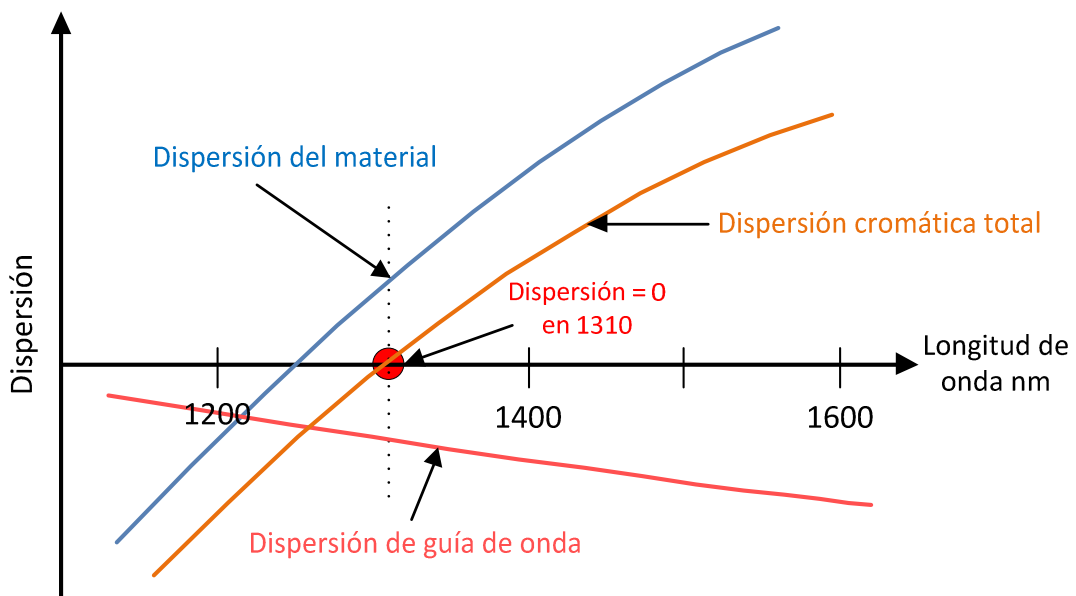


Figura 1.52: Dispersión en una fibra SSMF. ^[17]

Existen cuatro sub-categorías de la recomendación ITU-T G.652 que se detallan a continuación en la Tabla 1.3:

³⁴ Dispersión cromática del material: Ocurre debido a que el índice de refracción cambia con la longitud de onda, como las fuentes de luz (Láser o LED) producen un rango de longitudes de onda, cada una de estas longitudes viajará a diferente velocidad experimentando diferentes retardos y produciendo por lo tanto un ensanchamiento de los pulsos.

³⁵ Dispersión cromática de guía de onda: Se da debido a que aproximadamente el 80% de la luz se propaga por el núcleo (n_1) y el 20% se propaga a través del manto (n_2), como n_2 es menor que n_1 , entonces en el manto se tendrá una velocidad de propagación mayor a la del núcleo, produciendo una dispersión propia de la fibra que no está relacionada con la longitud de onda utilizada. Esta dispersión tiene signo contrario a la dispersión del material, por lo que se suele usar para contrarrestarla.

Norma	Características	Longitud de Onda	Aplicación
G.652 A	Fibra Monomodo	1310 [nm] y 1550 [nm] (banda O y C) ³⁶	Es la más extendida, permite altas tasas de transmisiones de datos como 10 [Gbps] hasta 40 [Km], STM-16 (2,5 [Gbps]) y STM-256 (40 [Gbps]).
G.652 B	Fibra Monomodo	1310 [nm] y 1550 [nm] y 1625 [nm] (banda O y C+L)	Soporta aplicaciones de altas tasas como STM-64 (10 [Gbps]) y STM-256 (40 [Gbps])
G.652 C	Fibra Monomodo, LWP ³⁷ . Semejante a la G.652.A	De la banda O a la banda C	Permite transmisiones de 1360 [nm] a 1530 [nm], ideal para CWDM ³⁸ .
G.652 D	Fibra Monomodo, LWP. Semejante a la G.652.B	De la banda O a la banda L	Permite transmisiones en las bandas O, E, S, C, L ideal para CWDM

Tabla 1.3: Sub-categorías de la recomendación G.652.

1.2.2.2.2 Fibra Óptica monomodo de dispersión desplazada (DSF, Dispersion Shifted Fiber: ITU-T G.653)^[30]

Las fibras DSF están diseñadas para presentar dispersión cromática nula a una longitud de onda de 1550 [nm] en la que la atenuación de la fibra es mínima, para conseguir esto se incrementa la dispersión de guía de onda cambiando el perfil del índice de refracción del núcleo para que la dispersión cromática sea cero en longitudes de onda diferentes a 1310 [nm], ver Figura 1.53.^[17]

³⁶ Banda O: 1270–1365 [nm]; Banda E: 1370–1465 [nm]; Banda S: 1470–1530 [nm]; Banda C: 1530–1565 [nm]; Banda L: 1570–1610 [nm]

³⁷ LWP (*Low Water Peak*): Son fibras ópticas especialmente diseñadas para minimizar las pérdidas ocasionadas por la presencia de iones hidroxilo OH⁻, los cuales constituyen impurezas ocasionadas por partículas de vapor de agua atrapadas en el vidrio durante el proceso de fabricación. Este fenómeno produce tres picos de pérdidas, siendo el de mayor consideración el de longitudes de onda cercanas a 1400 [nm].

³⁸ CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación por división de longitudes de onda gruesa): Permite que diferentes señales compartan una sola fibra óptica, lo cual se consigue haciendo que cada señal se transmita utilizando diferentes longitudes de onda. La separación de los canales en este tipo de multiplexación es de 20 [nm] (2500 GHz).

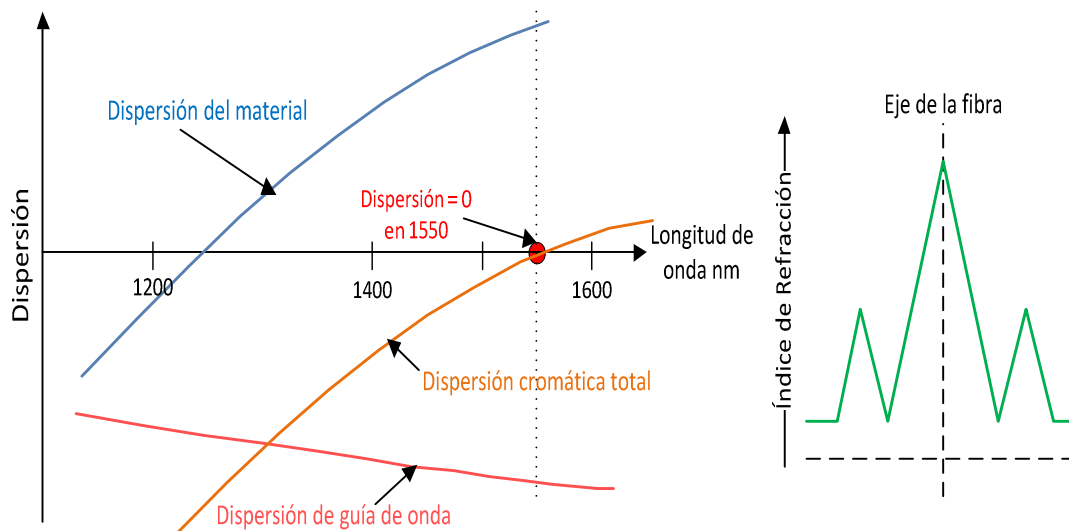


Figura 1.53: Dispersión y perfil de índice de refracción para una fibra DSF. ^[17]

Estas fibras presentan una baja atenuación, de 0.25 [dB/Km], trabajando a una longitud de onda de 1550 [nm].

Existen dos sub-categorías de la recomendación ITU-T G.653 que se detallan en la Tabla 1.4:

Norma	Características	Longitud de Onda	Aplicación
G.653 A	Dispersión cromática cero y atenuación de 0,35 [dB/Km] a 1550 [nm]. $Max PMD = 0,5 ps/\sqrt{Km}$	1550 [nm] (banda C)	Soporta altas tasas de transmisiones para largas distancias en 1550 [nm].
G.653 B	Igual que G.653 A, pero $Max PMD = 0,2 ps/\sqrt{Km}$	1550 [nm] (banda C)	Presenta un coeficiente de PMD ³⁹ bajo. Soporta tasas de transmisiones más altas que G.653 A, como STM-64 para distancias mayores a 400 [Km].

Tabla 1.4: Sub-categorías de la recomendación G.653.

³⁹ PMD (*Polarization Mode Dispersion*, Dispersión por Modo de Polarización): Las componentes de un modo (horizontal y vertical) se desplazan con diferente velocidad, debido a que cada componente ve diferentes valores de índice de refracción, y por tanto llegan al otro extremo de la fibra en distintos tiempos, ensanchando y distorsionando los pulsos; esto es el resultado de las asimetrías del núcleo, es decir, no se tiene exactamente el mismo índice de refracción ni el mismo diámetro en las dos direcciones perpendiculares de cada componente. Este fenómeno se produce exclusivamente en las fibras monomodo y es relevante en sistemas de alta velocidad (≥ 10 Gbps) y larga distancia.

1.2.2.2.3 Fibra Óptica monomodo de dispersión desplazada de mínima atenuación (ITU-T G.654)^[31]

Existen tres sub-categorías de la recomendación ITU-T G.654 que se explican en la Tabla 1.5:

Norma	Características	Longitud de Onda	Aplicación
G.654 A	Dispersión cromática cero a 1550 [nm].	1550 [nm] (banda C)	Presenta baja atenuación a 1550 [nm]
G.654 B	Dispersión cromática cero a 1550 [nm].	1550 [nm] (banda C)	Para aplicaciones de largo alcance en la región de longitud de onda de 1550 [nm]. Se puede utilizar para sistemas WDM de mayor longitud y mayor capacidad.
G.654 C	PMD reducido	1550 [nm] (banda C)	Similar que G.654 A, pero soporta aplicaciones de mayor alcance y mayor velocidad.

Tabla 1.5: Sub-categorías de la recomendación G.654.

1.2.2.2.4 Fibra Óptica monomodo de dispersión desplazada no nula (NZ-DSF, Non Zero-Dispersion Shifted Fiber: norma ITU-T G.655)^[32]

En este tipo de fibras el punto de dispersión cromática nula es desplazado a longitudes de onda por arriba o por debajo de 1550 [nm] para evitar el problema de la mezcla de cuatro ondas (FWM⁴⁰, *Four Wave Mixing*). En la Figura 1.54 se puede observar que la dispersión cromática no es cero para la longitud de onda de trabajo (1550 nm), pero permanece relativamente baja a esa longitud de onda.

⁴⁰ Mezcla de cuatro ondas (FWM): Consiste en la creación de nuevas frecuencias a partir de las frecuencias de los canales transmitidos en un sistema WDM. Si tres canales de frecuencias se propagan por la misma fibra, por efecto FWM se producirá una nueva componente de frecuencia. Este proceso depende inversamente de la dispersión de la fibra, mientras menor sea la dispersión mayor será el efecto FWM

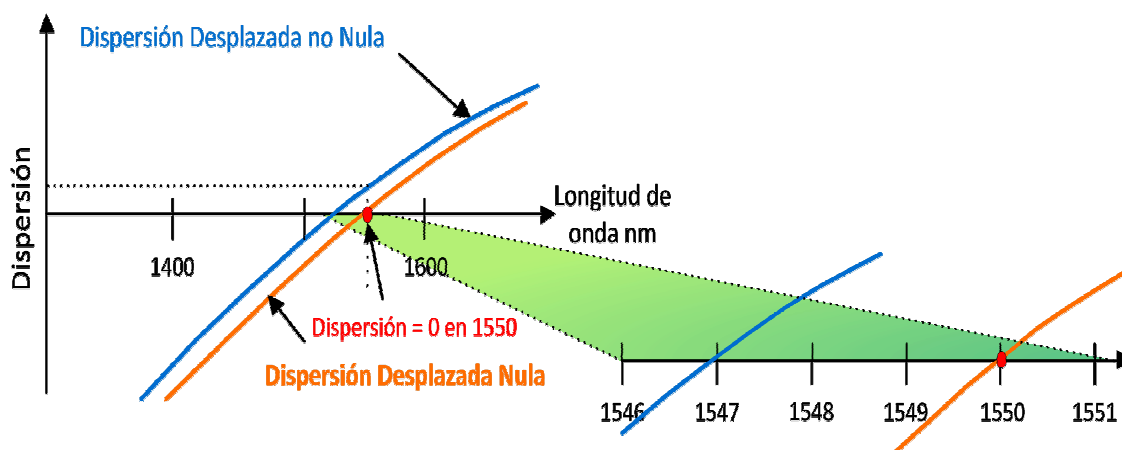


Figura 1.54: Dispersión de una fibra NZDSF. ^[17]

Existen cinco sub-categorías de la recomendación ITU-T G.655 que se detallan en la Tabla 1.6:

Norma	Características	Longitud de Onda	Aplicación
G.655 A	NZ-DSF, fibra de dispersión desplazada no nula	1550 [nm] (banda C)	Soporta DWDM ⁴¹ en la banda C, con canales espaciados 200 GHz (1,6 [nm])
G.655 B	NZ-DSF, fibra de dispersión desplazada no nula	Regiones 1550 [nm] y 1625 [nm] (banda C+L)	Soporta DWDM en la banda C+L, con canales espaciados 100 GHz (0,8 [nm])
G.655 C	NZ-DSF, fibra de dispersión desplazada no nula	De la banda O a la banda C	Similar a G.655 B pero permite transmisiones en aplicaciones como STM-64 para distancias de 2000 [Km]. También permite STM-256

⁴¹ DWDM (*Dense WDM*, Multiplexación por división en longitudes de onda densas): Mediante este tipo de multiplexación se consigue multiplexar más canales por fibra óptica. Utiliza la tercera ventana de transmisión con un espaciado entre canales que va de 0,2 [nm] (25 GHz) a 0,4 [nm] (50 GHz).

G.655 D	NZ-DSF, fibra de dispersión desplazada no nula	Valores entre 1460 [nm] y 1625 [nm]	Presenta dispersión positiva a frecuencias superiores a 1530 [nm], soporta aplicaciones DWDM. En canales de 1471 [nm] y superiores soporta aplicaciones CWDM.
G.655 E	NZ-DSF, fibra de dispersión desplazada no nula	Valores entre 1460 [nm] y 1625 [nm]	Presentan valores más elevados de dispersión cromática. Generalmente se utiliza en aplicaciones submarinas.

Tabla 1.6: Sub-categorías de la recomendación G.655.

1.2.3 ESTRUCTURAS DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA ^[17]^[41]

La estructura y características de un cable de fibra óptica están determinadas por la aplicación a la que va a ser destinado.

Una fibra posee dos revestimientos principales: el revestimiento primario y el revestimiento secundario, los cuales determinan la estructura de cable a elegir. Existen dos estructuras básicas que se diferencian en la forma como se constituye el revestimiento secundario: estructura holgada y estructura ajustada.

1.2.3.1 Cable de estructura holgada

Este tipo de cable está conformado por varios tubos (revestimiento secundario) que rodean un elemento central de refuerzo, los cuales a su vez están envueltos por una cubierta protectora, ver Figura 1.55.

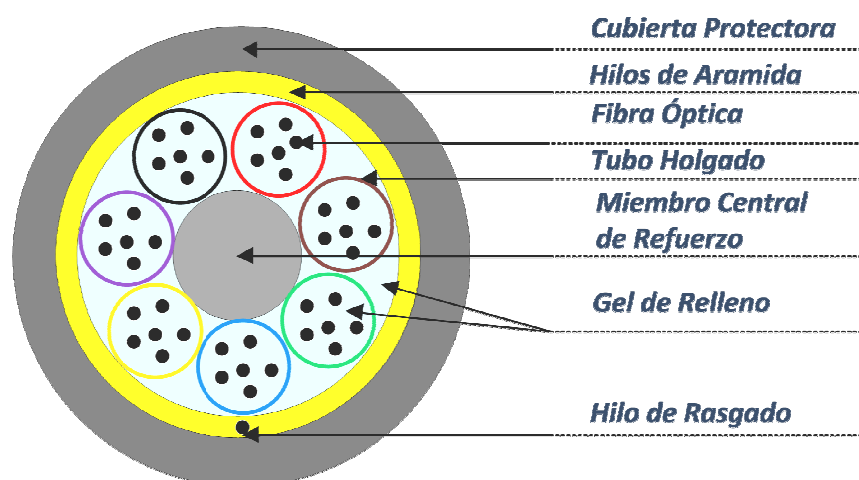


Figura 1.55: Estructura de un cable holgado. ^[41]

Cada tubo tiene un diámetro de dos a tres milímetros por el que pasan varias fibras ópticas que descansan holgadamente, ver Figura 1.56. Cada fibra está rodeada de un revestimiento primario de unos 6 [μm] de espesor y de 150 - 250 [μm] de diámetro.

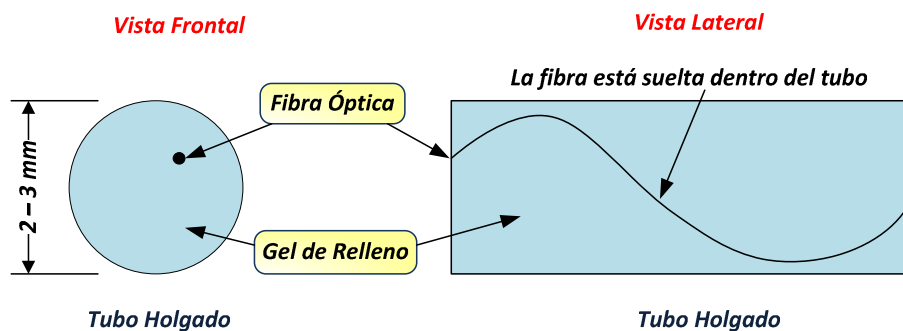


Figura 1.56: Composición de un tubo en un cable de estructura holgada. ^[41]

Los tubos pueden ser huecos o estar llenos de un gel hidrófugo (gel resistente al agua) que actúa como protector anti-humedad impidiendo que el agua entre en la fibra. El tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que se ejerzan sobre el cable, es muy resistente a deformaciones, envejecimiento y a la degradación.

El centro del cable contiene un elemento de refuerzo, que puede ser acero, Kevlar⁴² o un material similar que proporciona refuerzo y soporte al cable durante las operaciones de tendido y en las posiciones de instalación permanente.

Los hilos de fibra tienen una sobre-longitud que varía entre 0,05 % y 0,10 % respecto al tubo que las contiene, permitiendo que el cable se pueda estirar bajo cargas de tensión sin que las fibras se deterioren.

La cubierta protectora puede ser de polietileno⁴³, de armadura o coraza de acero⁴⁴, goma o hilos de aramida⁴⁵.

⁴² Kevlar: Es el nombre de una marca de aramida, por lo que presenta características como: resistencia, buenas propiedades mecánicas, soporta altas temperaturas, no le afecta la corrosión y es liviano.

⁴³ Polietileno: Tiene buenas propiedades de resistencia a la intemperie y humedad. Es un aislante muy bueno y tiene propiedades dieléctricas estables. Combinado con compuestos adecuados puede ser un buen material ignífugo.

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. Este cable no se recomienda para instalaciones en recorridos muy verticales, porque existe la posibilidad de que el gel interno fluya o que las fibras se muevan.

1.2.3.1.1 Cable Figura en 8.

Es un cable utilizado en instalaciones aéreas, que presenta una estructura holgada con un cable fiador o mensajero adosado al cable de fibra, ver Figura 1.57. El cable fiador es típicamente un alambre de acero que ofrece una resistencia superior para alta tracción, cuando el cable se instala cerca de las líneas de alta tensión el “mensajero” puede ser de material dieléctrico, además constituye el miembro de soporte que se utiliza en las instalaciones aéreas.

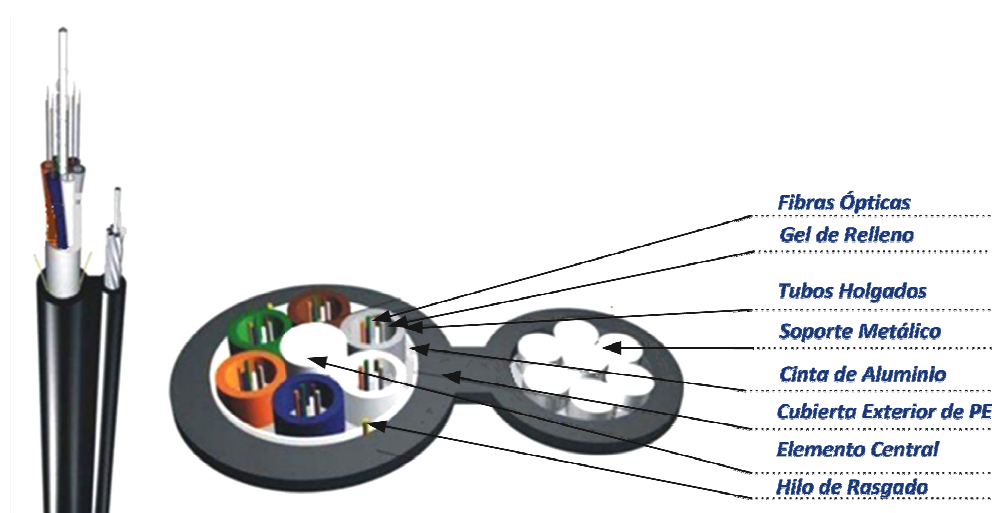


Figura 1.57: Estructura de un cable Figura en 8. ^[2]

1.2.3.1.2 Cable Todo Dieléctrico Autosoportado (ADSS, All Dielectric Self Supporting)

Estos son cables para instalación aérea que carecen de elementos metálicos por lo que son inmunes a interferencias de las redes eléctricas y a la caída de rayos.

⁴⁴ Coraza de acero: Se usa en cables sometidos a condiciones extremas de presión o frecuentes aplastamientos. Para cables enterrados proporciona resistencia a la compresión y es a prueba de roedores. Los cables con coraza de acero deben conectarse a tierra porque son conductores.

⁴⁵ Aramida: Es una fibra artificial que posee muy buenas propiedades mecánicas. Normalmente se usa como elemento de tracción, pero depositada longitudinalmente, confiere al cable una gran resistencia mecánica sin apenas incrementar su peso y manteniendo una buena flexibilidad.

Son de estructura holgada y su núcleo está constituido por una varilla dieléctrica de elevada resistencia mecánica para ser utilizada como elemento de tracción central, ver Figura 1.58.

Los pares de fibras ópticas con su revestimiento primario se alojan dentro de diferentes tubos holgados, ubicados alrededor del núcleo dieléctrico. El interior de los tubos holgados tiene un gel repelente de humedad que rellena la totalidad del espacio entre fibras.

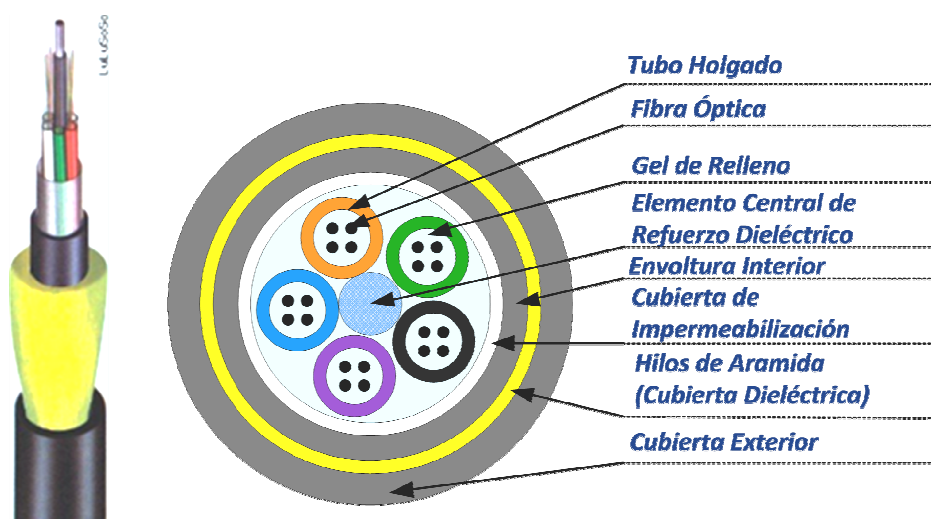


Figura 1.58: Estructura de un cable ADSS. ^[2]

Una cubierta interior envuelve al núcleo dieléctrico y a los tubos holgados, sobre la cual se coloca la armadura dieléctrica para conseguir la resistencia mecánica necesaria para soportar los esfuerzos de tracción provenientes de la instalación y del suspendido permanente posterior.

La cubierta exterior es de polietileno con alto grado de elasticidad, resistente a la radiación UV y no propagante de llamas.

1.2.3.1.3 Cable compuesto tierra-óptico (OPGW, Optical Ground Wire)^{[15] [25]}

Este cable aéreo es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión, reemplazando el cable de guarda existente en la red de transmisión eléctrica.

El cable OPGW está conformado por dos partes principales, ver Figura 1.59:

1. Núcleo óptico

Está formado un grupo de tubos holgados reunidos y sujetos convenientemente alrededor del soporte central dieléctrico mediante una cinta de protección. Cada tubo contiene varias fibras y está relleno de un gel hidrófugo.

2. Envoltente metálica

Está constituida por un tubo de aluminio extruido que impide el paso de la humedad y que proporciona alta conductividad eléctrica, necesaria para la disipación de las descargas atmosféricas o cortocircuitos accidentales y por una corona con hilos de acero recubierto de aluminio que proporciona al cable las características mecánicas necesarias.

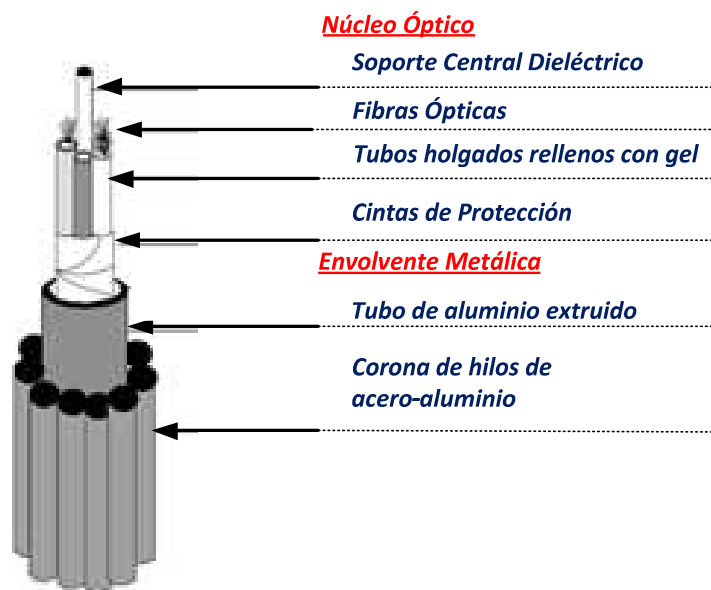


Figura 1.59: Estructura de un cable OPGW. ^[15]

1.2.3.1.4 Cable blindado

Tienen una coraza protectora o armadura de acero debajo de la cubierta de polietileno, lo que proporciona al cable una resistencia excelente frente a aplastamiento y protección frente a roedores, ver Figura 1.60. Normalmente se usa en aplicaciones de enterramiento directo o para instalaciones en entornos de industrias pesadas. Generalmente este cable se encuentra disponible en estructura holgada.

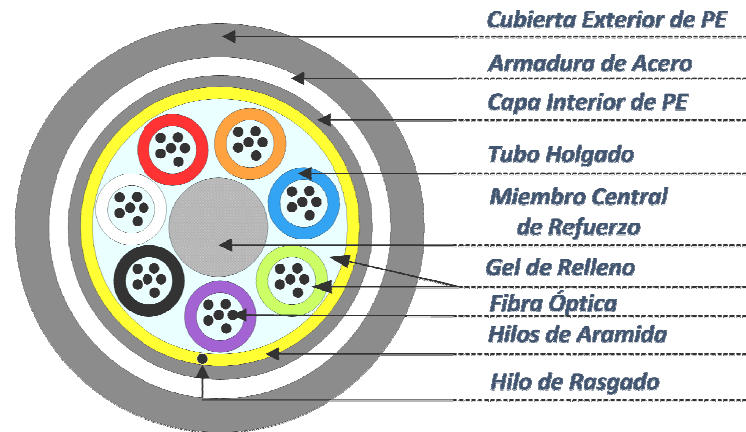


Figura 1.60: Estructura de un cable blindado. ^[41]

1.2.3.2 Cable de estructura ajustada

Este tipo de cable contiene varias fibras con revestimiento secundario que rodean un elemento central de refuerzo, y todo ello cubierto de una protección exterior común. El revestimiento secundario tiene un diámetro que varía entre 0,5 a 1 mm y se encuentra rodeando al revestimiento primario de la fibra óptica. El revestimiento secundario se coloca sobre el primario por extrusión⁴⁶, ver Figura 1.61.

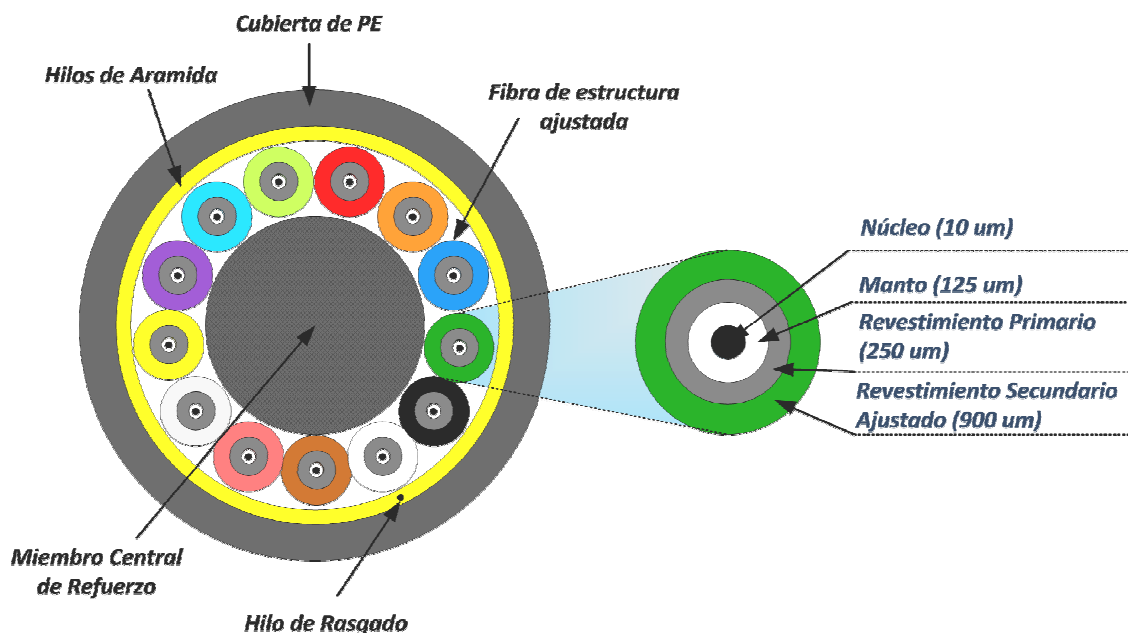


Figura 1.61: Estructura de un cable ajustado. ^[41]

⁴⁶ Extrusión: Dar forma a una masa plástica, haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta, es decir que la masa plástica pasa mediante presión a través de una hilera.

La protección secundaria proporciona una protección adicional frente al entorno y provee un soporte físico que permite a la fibra ser conectada directamente, con lo que se pueden reducir los costos de instalación y las bandejas de empalmes.

Un cable de estructura ajustada es más sensible a la tracción que uno de estructura holgada y puede que las pérdidas por microcurvaturas⁴⁷ se incrementen. Por otro lado es más flexible y tiene un radio de curvatura más pequeño que uno de estructura holgada. Este tipo de cables está diseñado para instalaciones interiores en edificios y puede usarse en tendidos verticales más elevados debido al soporte individual que dispone cada fibra.

En la Tabla 1.7 se realiza una comparación entre los cables de estructura holgada y los de estructura ajustada.

Características	Estructura Holgada	Estructura ajustada
<i>No. de fibras en revestimiento secundario</i>	Varias	Una
<i>Protección contra humedad</i>	Gel	Ninguna
<i>Flexibilidad</i>	Poca	Alta
<i>Conexionado de las fibras</i>	Laborioso	Fácil
<i>Diámetro del cable</i>	Pequeño	Grande
<i>Resistencia a golpes y presiones</i>	Menor	Mayor
<i>Comportamiento con la temperatura</i>	Peor	Mejor
<i>Densidad de fibras</i>	Alta	Baja
<i>Radio de curvatura</i>	Grande	Pequeño
<i>Sensibilidad a la tracción</i>	Menor	Mayor

Tabla 1.7: Comparación entre cable de estructura holgada y ajustada. ^[17]

⁴⁷ Pérdidas por microcurvaturas: Son ocasionadas por irregularidades entre el núcleo y la cubierta de la fibra, variaciones en el diámetro de la fibra (error de elipticidad) y fundamentalmente tortuosidades en el eje de la fibra (error de concentricidad).

1.3 ALTERNATIVAS PARA LA INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA

Para el tendido de fibra óptica se consideran dos alternativas: aérea y subterránea.

1.3.1 TENDIDO AÉREO ^[38]

El tendido aéreo se realiza haciendo uso de los postes de alumbrado público y las redes de alta tensión, puede dividirse en:

1. Instalación en el cable de guarda
2. Instalación de cable autoportado

1.3.1.1 Instalación en el cable de guarda

Utiliza el cable de guarda, necesario en las instalaciones de líneas eléctricas, como envoltorio para los hilos de fibra óptica. Para su instalación se necesita interrumpir el servicio eléctrico. Se puede emplear el cable OPGW que presenta características adecuadas para este fin.

1.3.1.2 Instalación de cable autoportado

Se caracteriza por su simplicidad al momento de la instalación, ya que permite su tendido en zonas del poste más accesibles y no requiere el corte del suministro eléctrico. La desventaja que presenta esta forma de instalación es que como el cable de fibra queda en la parte más baja del poste está susceptible a condiciones que podrían implicar su corte, deterioro o robo. Se puede emplear el cable ADSS y el Figura en 8.

1.3.2 TENDIDO SUBTERRÁNEO

Este tipo de tendido consiste en enterrar el cable de fibra óptica directamente bajo tierra o a través de un conducto enterrado con protecciones contra roedores, fuego y humedad. Para lo cual se pueden abrir zanjas, microzanjas o bien utilizar la tecnología *trenchless* (sin zanjas) de la perforación horizontal dirigida.

1.3.2.1 Canalización por Zanjas ^[40]

La canalización por zanjas consiste en realizar una zanja en el pavimento de la carretera con profundidad de 45 [cm] hasta 55 [cm], según condiciones del terreno, y con un ancho entre 25 [cm] y no superior a 2 metros, ver Figura 1.62.

El cable puede ir directamente enterrado o colocado en el interior de conductos, es conveniente aprovechar la renovación o tendido de nuevos servicios (alcantarillas, tuberías, carreteras), para reducir los costos que implica la realización de zanjas, caso contrario los costos de instalación se incrementan y muchas veces es necesaria la compartición de infraestructuras por parte de varios operadores.

Este tipo de canalización generalmente es realizado por las autoridades locales debido al gasto que implica, a la necesidad de realizar cortes de calles y de tráfico, solicitud de permisos y además se corre el riesgo de dañar servicios ya operativos (agua, luz, etc).



Figura 1.62: Canalización por zanjas. ^{[43] [44]}

1.3.2.2 Canalización por Microzanjas

La canalización por microzanjas es una técnica creada como una alternativa para reducir el impacto que presenta la canalización por zanjado convencional en entornos urbanos al momento de realizar el tendido de fibra.

Consiste en realizar una ranura de tamaño reducido, de 10 a 15 [mm] de ancho dependiendo de la configuración del microducto⁴⁸, ver Figura 1.63, y de 10 a 25 [cm] de profundidad dependiendo de estándares municipales predefinidos, sobre asfalto o concreto para canalizar uno o más cables de manera rápida y económica.

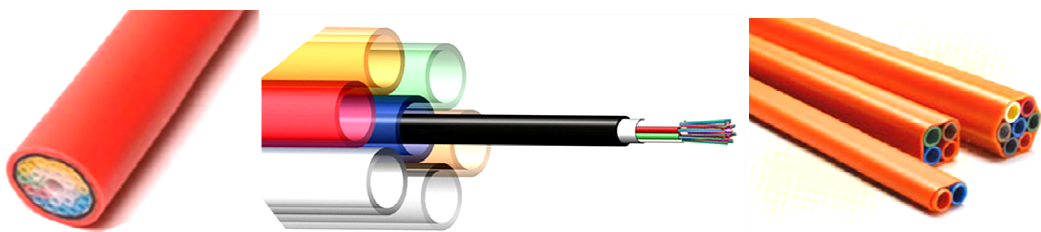


Figura 1.63: Microductos ^{[8] [9] [27]}

Las microzanjas permiten diversas arquitecturas, ver Figura 1.64:

- Uno o varios cables de fibra óptica (Cable *Headrow*⁴⁹, ver Figura 1.65) directamente enterrados.
- Uno o varios microductos vacíos para posteriormente y bajo demanda tender fibra mediante técnicas de soplado.

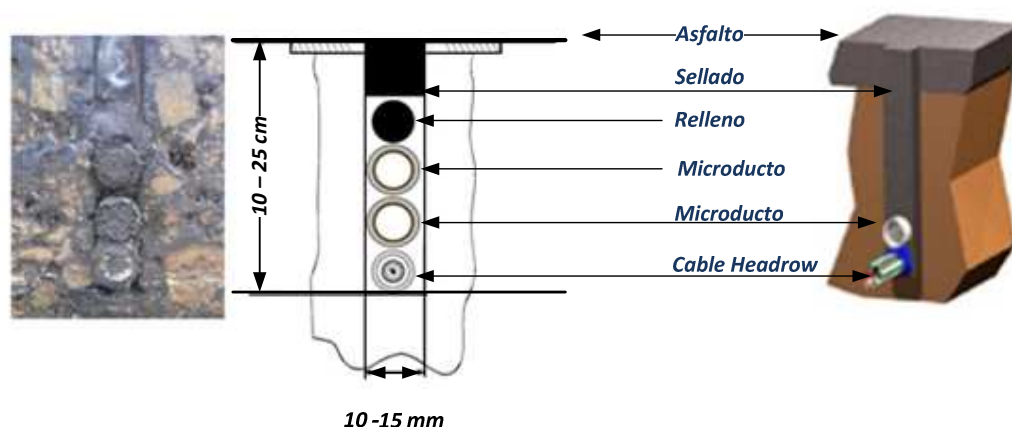


Figura 1.64: Esquema de instalación de cables en microzanjas. ^[9]

⁴⁸ Microductos: Están compuestos por varios microtubos entre 3 y 8 mm de diámetro, por los que se pasa fibra mediante técnicas de soplado.

⁴⁹ Cable *Headrow*: Tiene diámetro reducido adecuado para microzanjas. Está formado por varios tubos que contienen las fibras los cuales están rodeados por un tubo de aluminio extruido. Posee una barrea ante la penetración de agua, resistencia a aplastamiento y rotura, antioedores. Este cable proporciona una excelente protección de las fibras por lo que es adecuado para instalaciones en ambientes hostiles que requieren alta resistencia.

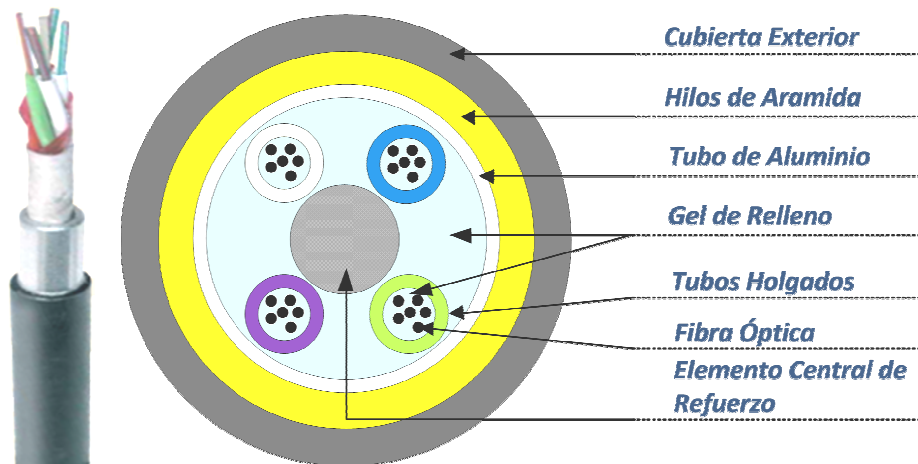


Figura 1.65: Estructura del cable Headrow. ^[26]

Para la construcción de las microzanjas se siguen los siguientes pasos:

1. Estudiar el suelo sobre el que se va a realizar el microzanjado. Mediante georadares se puede conocer la trayectoria de servicios (agua, electricidad, comunicaciones, etc) que se encuentran en el subsuelo urbano, y así seleccionar la mejor ruta.



Figura 1.66: Estudio del suelo con georadares. ^[9]

2. Corte del asfalto por donde se insertará la fibra óptica, este corte no debe exceder los 50 [cm] de profundidad, para que el mantenimiento sea más barato y no afecte a otros servicios.



Figura 1.67: Corte del asfalto. ^[9] ^[39]

3. Limpieza de la microzanja con agua a presión, para permitir que entren más cables de fibra óptica y para evitar posteriores averías.



Figura 1.68: Limpieza de la microzanja con agua a presión. ^[9]

4. Tendido del microducto y/o los cables por las microzanjas.



Figura 1.69: Tendido del microducto y/o del cable. ^[9]

5. Sellado de la microzanja.



Figura 1.70: Sellado y aspecto final de la microzanja. ^{[9] [40]}

Esta técnica presenta como ventajas:

- Reducción en los costos de instalación (la microzanja tiene un costo de hasta 1/3 el de una canalización óptica normal)
- Menor afección a tráfico y a usuarios.
- Rápida de instalar.

- Escasa producción de escombros.
- Baja penetración en el subsuelo, con lo que se evita afectar a otros servicios.
- El material de sellado resiste la degradación ocasionada por la intemperie y por efecto del tráfico rodado, no se agrieta a bajas temperaturas ni fluye a altas temperaturas.

Como desventajas presenta:

- Exposición del cable a vibraciones ocasionadas por la circulación de tráfico.
- Los cables diseñados específicamente para este tendido resultan más costosos.
- Susceptible a sufrir daños en tareas de mantenimiento de otros servicios, ya que la instalación se realiza a poca profundidad.

En la Tabla 1.8 se realiza un resumen comparativo entre las alternativas para instalación de cables de fibra óptica.

Tipo	Características	Ventajas	Desventajas
A É R E O	<p><u>En el cable de guarda</u></p> <p>El cable OPGW reemplaza al cable de guarda en las torres de alta tensión.</p> <p>Los hilos de Fibra Óptica se encuentran embutidos en el cable de guarda OPGW.</p> <p>Es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Permite un doble uso, aprovechando los recursos de la torre de transmisión eléctrica. • Es la mejor solución técnica para la transmisión digital dadas la buena protección del cable y la alta disponibilidad del sistema que puede obtenerse. • Cuando se instala una línea eléctrica nueva presenta ventajas en la instalación, dado que se aprovecha la instalación del nuevo hilo de guarda y a su vez se instala la fibra óptica con el cable OPGW. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para su instalación se necesita interrumpir el servicio eléctrico. • Es realizada específicamente por las compañías Eléctricas. • Se debe analizar el efecto sobre las estructuras de soporte de la línea, debido a que existen diferencias de peso, tiro y efectos agregados entre el cable tradicional de guarda y el cable OPGW. • Deben fijarse mayores exigencias para la amortiguación de vibraciones, pues los hilos de fibra óptica son sensibles a las microcurvaturas producidas durante las oscilaciones. • El costo es elevado.
	<p><u>Con cable autoportado</u></p> <p>Se caracteriza por su simplicidad al momento de la instalación, ya que permite su tendido en zonas del poste más accesibles. Se puede emplear el cable ADSS y el Figura en 8.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El cable utilizado es más liviano que el OPGW • No requiere el corte del suministro eléctrico. • Menor tiempo de instalación. • Menor costo que la instalación del cable OPGW y las instalaciones subterráneas. • La zona de instalación en el poste es más accesible. 	<ul style="list-style-type: none"> • El cable es susceptible a roturas ocasionadas por accidentes en los que se afectan los postes. • Puede verse afectado por el crecimiento de árboles. • Como el cable de fibra queda en la parte más baja del poste está susceptible a condiciones que podrían implicar su corte, deterioro o robo. • Existen áreas donde por disposición de las autoridades locales no está permitido realizar este tipo de instalación.

Tipo	Características	Ventajas	Desventajas
SUBTERRÁNEO	<p><u>Canalización por Zanjas</u></p> <p>Consiste en realizar una zanja en el pavimento con profundidad de 45 cm hasta 55 cm y con un ancho entre 25 cm y no superior a 2 metros.</p> <p>El cable puede ir directamente enterrado o colocado en el interior de conductos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suele ser una opción razonable cuando la zanja ya está abierta, y ahí se aprovecha para la instalación de la fibra. • Una vez realizada la instalación por parte de las autoridades locales se puede arrendar los hilos de fibra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es uno de los métodos más costosos. • Generalmente es realizada por las autoridades locales debido al gasto que implica y a las molestias que ocasiona. • Requiere levantar la vía pública durante un tiempo, pedir permiso de obra a las autoridades locales y puede causar desperfectos a otros servicios ya operativos (luz, agua, etc).
	<p><u>Canalización por Microzanjas</u></p> <p>Consiste en realizar una ranura de tamaño reducido, de 10 a 15 mm de ancho y de 10 a 25 cm de profundidad sobre el asfalto o concreto para canalizar uno o más cables de manera rápida y económica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de instalación mucho menores que el de una canalización normal. • Rápida de instalar, una microzanja puede estar finalizada en 3 días. • Escasa producción de escombros. • Baja penetración en el subsuelo con lo que se evita el riesgo de afectar a servicios operativos como agua, electricidad, etc. • Fibra óptica adicional puede ser soplada en cualquier momento permitiendo un control completo en las demandas de crecimiento futuro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposición del cable a vibraciones ocasionadas por la circulación de tráfico. • Utilización de cables diseñados específicamente para éste tendido, que aumentan los costos de instalación. • Susceptible a ser dañado en tareas de mantenimiento de otros servicios, ya que la instalación se realiza a poca profundidad.

Tabla 1.8: Comparación entre diferentes métodos de instalación de cable de fibra óptica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS – CAPÍTULO 1

- [1] ALBUJA MERCEDES, “*Estudio de las Tecnologías EPON (Ethernet Passive Optical Networks) / GEPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Networks) como tecnologías de última milla para el transporte de voz, datos y video, aplicado a una zona residencial del Distrito Metropolitano de Quito*”, Escuela Politécnica Nacional, Enero 2010.
- [2] ALIBABA, “*Cable Figura en 8*”
<http://spanish.alibaba.com/product-free-img/figure-8-self-supporting-fiber-optic-cable-gyftc8y--273618280.html>
- [3] CHUQUITARCO VICTOR, “*Técnicas y Tecnologías CDMA aplicadas en Fibra Óptica*”, Escuela Politécnica Nacional, Enero 2009.
- [4] CISCO SYSTEMS, “*Deploying Large Scale VPN with MPLS*”, Sesión RTS-230.
- [5] CISCO SYSTEMS, “*Implementing Cisco MPLS*”, Volume 1, Version 2.2, Student Guide 2006.
www.cisco.com
- [6] CISCO SYSTEMS, “*Implementing Cisco MPLS*”, Volume 2, Version 2.2, Student Guide 2006.
www.cisco.com
- [7] FERRER MARÍA DOLORES, “*Multiprotocol Label Switching (MPLS)*”
www.uv.es/montanan/redes/trabajos/MPLS.doc
- [8] FLICKR, “*Microcables de Fibra para Redes Ópticas*”
<http://www.flickr.com/photos/noticiasit/4365547604/>
- [9] FOC - FIBRA Y SISTEMAS, S.L, “*Soluciones Técnicas para la Instalación de Redes Ópticas de Acceso en Entorno Urbano*”, Noviembre 2005.
<http://www.aetg.org/files/public/ftth/FOC,FTTH.pdf>

- [10] GARCÍA ADOLFO, “*MPLS–Multiprotocol Label Switching V Foro Tecnológico de Banda Ancha y su Entorno*”, Palacio de Congreso Madrid, Octubre 2002.
- <http://www.ccapitalia.net/netica/teleco/mpls-v3.pdf>
- [11] GARCÍA J., RAYA J., RAYA V., “*Alta velocidad y calidad de servicios en Redes IP*”, Alfaomega Grupo Editor, México 2002.
- [12] GONZÁLEZ AGUSTÍN J., “*Introducción a MPLS (Multi-Protocol Label Switching)*”, Universidad de Maryland.
- [13] HINOJOSA M., HERRERA F., “*Diseño de una Red MPLS utilizando el Protocolo IPv6 para Proveedores de Servicios de Telecomunicaciones*”, Escuela Politécnica Nacional, Julio 2009.
- [14] HUIDOBRO J., MILLAN R., “MPLS (MultiProtocol Label Switching)”
- <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/mpls.php>
- [15] IBERDROLA, “*Cable Compuesto Tierra-Óptico (OPGW)*”
- [http://www2.iberdrola.es/DIEFI/928Norm.nsf/0/72240ccaeea6015dc1256a01002ebae6/\\$FILE/33-26-31\(2-0\)nw.pdf](http://www2.iberdrola.es/DIEFI/928Norm.nsf/0/72240ccaeea6015dc1256a01002ebae6/$FILE/33-26-31(2-0)nw.pdf)
- [16] IXIA, “*Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Conformance and Performance Testing*”, 2004.
- http://www.ixiacom.com/pdfs/library/white_papers/mpls.pdf
- [17] JIMÉNEZ MARÍA S., “*Comunicaciones Ópticas*”, Escuela Politécnica Nacional, Quito 2010.
- [18] KUMAR REDDY, “*Building MPLS-Based Broadband Access VPNs*”, Cisco Systems, United States of America, Noviembre 2004.
- <http://www.atslog.dp.ua/toc.html>
- [19] LATACUNGA CINTIA, “*Estudio de los Mecanismos de Protección y Restauración de las Redes de Nueva Generación basadas en MPLS*”, Escuela Politécnica Nacional, Febrero 2009.

- [20] LLUMIQUINGA D., MULLO C., “*Análisis y Diseño del Sistema Redundante de Fibra Óptica Quito-Guayaquil para la Red de TELCONET S.A.*”, Escuela Politécnica Nacional, Febrero 2008.
- [21] MARCHÁN J., YÁNEZ D., “*Estudio y diseño para la migración de un Red Gigabit Ethernet de datos de una empresa portadora de servicios a la tecnología MPLS (Multiprotocol Label Switching)*”, Escuela Politécnica Nacional, Abril 2008.
- [22] MORALES LUIS, “*Investigación de Redes VPN con Tecnología MPLS*”, Universidad de las Américas Puebla, México 2006.
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/morales_d_l/capitulo2.pdf
- [23] NARANJO M., PAREDES S., “*Estudio y Diseño de MPLS para una empresa de Telecomunicaciones Celular*”, Escuela Politécnica Nacional, Junio 2008.
- [24] NIETO P. LUISANA B., “*Diseño y configuración de Calidad de Servicio en la tecnología MPLS para un Proveedor de Servicios de Internet*”, Escuela Politécnica Nacional, Mayo 2010.
- [25] PIRELLI Cables y Sistemas, “*Sistema de cableado OPGW*”
- http://www.pimasa.com/shop_image/product/ffa6105c9d59add6c22dee803c0cd9a6.pdf
- [26] PRYSMIAN Cables and Systems, “*Cable Headrow*”
- http://www.prysmian.com/attach/pdf/telecom/Headrow_cable.pdf
- [27] QUIMINET
- http://www.quiminet.com/sh1/sh_p_1_AAassadvRSDfvcD.htm
- [28] RAMÍREZ DAVID, “*Diseño y comparación de una Red utilizando Laser Free Space y Fibra Óptica, para la comunicación entre el edificio de oficinas y el edificio de bodegas de QUIFATEX*”, Escuela Politécnica Nacional, Marzo 2010.
- [29] RECOMENDACIÓN UIT-T G.652, “*Características de las Fibras y Cables Ópticos Monomodo*”

- [30] RECOMENDACIÓN UIT-T G.653, "*Características de los Cables y Fibras Ópticas Monomodo con Dispersión Desplazada*"
- [31] RECOMENDACIÓN UIT-T G.654, "*Características de los Cables de Fibra Óptica Monomodo con Corte Desplazado*"
- [32] RECOMENDACIÓN UIT-T G.655, "*Características de Fibras y Cables Ópticos Monomodo con Dispersión Desplazada No Nula*"
- [33] RFC 3031, "*Multiprotocol Label Switching*"
<http://tools.ietf.org/html/rfc3031>
- [34] RFC 3209, "*RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels*"
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3209.txt>
- [35] RFC 3222, "*Terminology for Forwarding Information Base (FIB) based Router Performance*"
<http://www.faqs.org/rfcs/rfc3222.html>
- [36] RODRÍGUEZ DAMIÁN, "*Transmisión de voz, video y datos en Redes Privadas Virtuales VPN/MPLS*", Universidad de Belgrano, Noviembre 2008.
http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/259_rodriguez.pdf
- [37] SALAS W., ULLOA J., "*Análisis y Diseño de una Subred de Comunicaciones Metro Ethernet basada en la Tecnología MPLS aplicada al estudio de la Integración de Servicios*", Escuela politécnica Nacional, Marzo 2007.
- [38] *Técnicas Aéreas para la Instalación de Cables de Fibra Óptica*
<http://es.scribd.com/doc/7360498/044-Instalacion-de-Cable-de-Fibra-optica-aerea>
- [39] TELEX, *Especialistas en tendido de Fibra Óptica por Microzanja*
<http://www.telexsa.com/es/novedades/telex-especialistas-en-tendido-de-fibra-optica-por-microzanja/>
- [40] TELNET, *Redes Inteligentes*

<http://www.telnet-ri.es/soluciones/cable-fibra-optica-y-componentes-pasivos/microzanjas-para-la-instalacion-de-fibra-optica/>

[41] TEXTOS CIENTÍFICOS.com, “*Tipos de Fibras Ópticas*”

<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/tiposfibra>

[42] <http://www.slideshare.net/Sarah17/transparencias-mpls>

[43] <http://es.wikipedia.org/wiki/Zanja>

[44] http://es.wikitel.info/wiki/Obras_de_transporte_y_acceso_en_v%C3%ADas_urbanas

[45] <http://bogpeople.com/networking/dscp.shtml>

[46] <http://www.dsi.uclm.es/asignaturas/42650/PDFs/Tema4b.pdf>

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE LA RED ÓPTICA METROPOLITANA CON TECNOLOGÍA MPLS (MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING)

2.1 INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo del diseño del *Backbone* óptico con tecnología MPLS se realizó la recopilación de la información necesaria, considerando datos históricos de la empresa desde octubre de 2007 hasta junio de 2011. La información fue facilitada por el Departamento de Planificación y por el personal de la empresa. Se debe hacer hincapié en que la información obtenida es de uso confidencial, y por Políticas de Seguridad de la Empresa no podrá ser publicada en su totalidad.

La empresa referida es un Proveedor de Servicios de Internet (ISP, *Internet Service Provider*) con proyecciones a convertirse en una empresa portadora de servicios. Se encuentra dedicada a ofrecer servicios de acceso a Internet y transmisión de datos exclusivamente a clientes corporativos, entre los que se encuentran instituciones bancarias, instituciones educativas, empresas hoteleras, entidades públicas, consultoras jurídicas, industrias florícolas, concesionarias automovilísticas, constructoras, entre otras.

El Proveedor de Servicios de Internet tiene presencia en el país desde el año 2003, cuenta con una infraestructura tecnológica y humana que le permite atender el mercado de telecomunicaciones garantizando los mejores estándares de calidad requeridos por sus clientes.

Para la interconexión de los nodos que conformarán el *Backbone* MPLS, se planea utilizar fibra óptica, debido a que sus características permiten manejar altas velocidades de transmisión, lo cual es fundamental en el núcleo de la red.

Además, se realizará el trazado de las rutas de fibra óptica, considerando aspectos como: la selección del camino de menor distancia, evitando avenidas principales y considerando la Ordenanza Municipal LMU-40, de la cuál dependerá el tipo de tendido que se pueda implementar, debido a que en esta ordenanza se establecen cinco zonas con un tipo específico de tendido permitido, sea aéreo o subterráneo.

Asimismo se realizará un cálculo de pérdidas de potencia, para los tramos de fibra óptica que se trazarán, y de esta forma establecer la atenuación total de cada enlace, y determinar si es o no necesario la utilización de amplificadores, regeneradores o elementos ópticos de mayor potencia de transmisión o mayor sensibilidad.

2.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL ISP

La empresa Proveedora de Servicios de Internet aproximadamente cuenta con 300 clientes corporativos entre los que se tiene un estimado de 440 enlaces, de éstos alrededor del 33% tienen una capacidad de 1 [Mbps], el 17% una capacidad de 2 [Mbps], 31% capacidades inferiores a 1 [Mbps] y el 13% capacidades superiores a 2 [Mbps].

El ISP al presente cuenta con doce nodos distribuidos a lo largo y ancho del Distrito Metropolitano de Quito, los que se encuentran interconectados mediante enlaces de radio o mediante fibra óptica, como se muestra en la Figura 2.1.

Cada nivel de los nodos secundarios (nivel 1, nivel 2 y nivel 3) indica el tráfico concentrado por ese nodo; el nivel 1 es el de mayor concentración debido a que agrega el tráfico de sus clientes directamente conectados y el proveniente de los nodos nivel 2; el nivel 2 soporta el tráfico de sus clientes directamente conectados y el de los nodos nivel 3; y el nivel 3 es el que soporta la menor cantidad de tráfico porque maneja específicamente el tráfico proveniente de sus clientes directamente conectados.

En la Figura 2.1 se puede observar que todo el tráfico de la red se concentra en un Nodo Principal (NP), su equipamiento está ubicado en el *Data Center*⁵⁰ del ISP, donde cuenta con las condiciones requeridas para el correcto funcionamiento de los equipos, además de encontrarse en el Centro de Monitoreo de la Red⁵¹.

Los nodos AMZ y TLH son nodos implementados recientemente por lo que todavía no cursan tráfico. El motivo para la creación de estos nodos fue que formarán parte del núcleo de la red en un futuro próximo.

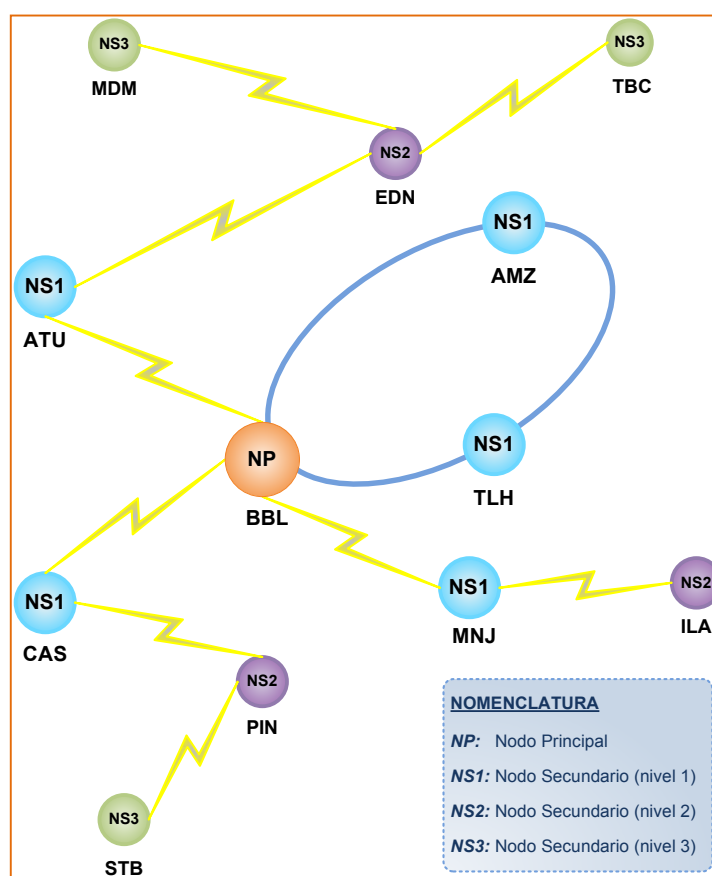


Figura 2.1: Interconexión Actual de los nodos del ISP.

⁵⁰ *Data Center*: Un *Data Center* es una sala de gran tamaño que se usa para mantener gran cantidad de equipamiento electrónico con la adecuada protección física, para ello, estas salas están provistas de acometidas eléctricas dobles, aire acondicionado, medidas de seguridad en caso de incendio o inundaciones, suelos y techos falsos, generadores eléctricos, alarmas, control de temperatura y de humedad, facilidad de acceso, cámaras de seguridad, tarjetas de identificación, etc.

⁵¹ Centro de Monitoreo de la Red: Es el lugar donde se cuenta con monitores que permiten observar el desempeño de los nodos, en caso de fallas se despliegan alarmas sonoras y visuales para alertar al personal de que existe un problema. Además, desde aquí se puede manejar remotamente a los nodos.

El ISP dispone de una conexión de fibra óptica de 12 hilos entre el Nodo Principal (BBL) y el Nodo Secundario de Nivel 1 (AMZ), fibra óptica de 12 hilos entre el nodo (AMZ) y el Nodo Secundario de Nivel 1 (TLH) y fibra óptica de 6 hilos entre el Nodo Principal BBL y el nodo TLH, formando de esta manera un anillo de fibra óptica entre estos nodos.

A nivel de equipos el ISP dispone en sus Nodos Secundarios Nivel 1 (NS1) routers CISCO de la serie 3900. Sus especificaciones técnicas se detallan en el ANEXO 1. Estos equipos se conectan con el Nodo Principal BBL y con los Nodos Secundarios Nivel 2 correspondientes.

El ISP no dispone de una Red de *Backbone* propia, por lo que debe arrendar este servicio a otra empresa que por motivos de confidencialidad no es posible presentar su nombre. El *Backbone* arrendado maneja la tecnología MPLS y como medio de interconexión utiliza fibra óptica.

Para la salida internacional el ISP se conecta desde su Nodo Principal con tres proveedores que son: Telefónica, TRANSNEXA y la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), obteniendo de esta forma redundancia en la salida a Internet.

2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS NODOS

El ISP cuenta con doce nodos distribuidos estratégicamente dentro del Distrito Metropolitano de Quito, los cuales cubren zonas comerciales, industriales, financieras, educativas, entre otras.

En la Figura 2.2 se muestra la ubicación geográfica del Nodo Principal (NP) y de los cinco Nodos Secundarios de Nivel 1 (NS1) del ISP, los cuales concentran el tráfico proveniente de nodos más pequeños, como se indicó en el diagrama de la Figura 2.1.



Figura 2.2: Ubicación Geográfica del Nodo Principal y de los Nodos Secundarios Nivel 1.

A continuación se realiza una descripción de los doce nodos del ISP, considerando su ubicación e infraestructura actual.

1. Nodo Principal BBL

Éste es un nodo de gran importancia para la Red del ISP debido a que en él se concentra el tráfico de los once nodos restantes. Se conecta directamente mediante enlaces de radio con los Nodos Secundarios de Nivel 1 (NS1), como se muestra en la Figura 2.1.

Este nodo presenta clientes directamente conectados a él por lo que se planea separarlos y conectarlos a un nuevo nodo específicamente dedicado a los clientes de este sector (BBLd)⁵², de esta forma se conseguiría un mejor rendimiento del core de la red, ya que es recomendable que los LSRs no realicen procesamiento IP sino exclusivamente de etiquetas.

Este nodo está ubicado en el interior de un Data Center con espacio disponible para un posterior crecimiento de equipos y con condiciones de seguridad física que garantizan el correcto funcionamiento de los equipos ahí instalados.

2. Nodos Secundarios de Nivel 1 (NS1)

Los nodos ATU (Atucucho), CAS (Casas) y MNJ (Monjas) son Nodos Secundarios de Nivel 1 debido a que concentran el tráfico proveniente de seis nodos más pequeños, ver Figura 2.1. Se conectan directamente mediante enlaces de radio con el Nodo Principal BBL (Banco Bolivariano) y adicionalmente presentan otros enlaces de radio de respaldo, los cuales entran en funcionamiento cinco minutos después de producirse una falla en los enlaces principales.

Los equipos de estos nodos se encuentran instalados en domicilios de personas particulares, en los que el ISP dispone de cuartos alquilados

⁵² En el Backbone MPLS se diferenciarán los nodos BBLn y BBLd por la capa jerárquica a que pertenezcan, de tal forma que BBLn se encontrará en la capa núcleo y BBLd en la de distribución.

donde están instalados los equipos, aunque el espacio físico es limitado todavía existe lugar disponible para futuros crecimientos de la empresa.

Otros nodos que se encuentran dentro de esta clasificación son los nodos AMZ y TLH, los cuales si bien al momento no cursan tráfico serán los que conjuntamente con el nodo principal (NP) formarán el núcleo de la red. Estos nodos se enlazan con el nodo principal y entre ellos mediante fibra óptica, formando un anillo.

3. Nodos Secundarios de Nivel 2 (NS2) y Nodos Secundarios de Nivel 3 (NS3)

El ISP cuenta con tres Nodos Secundarios de Nivel 2, que son: EDN (Eden), PIN (Pinos) e ILA (Ilaló) y con tres Nodos Secundarios de Nivel 3, que son: MDM (Mitad del Mundo), TBC (Tabacundo) y STB (Santa Bárbara). Estos nodos permiten ampliar el área de cobertura del ISP gracias a su ubicación estratégica dentro de la ciudad, consiguiendo que el ISP brinde sus servicios a un mayor número de clientes en un área más grande.

Como se muestra en la Figura 2.1 estos nodos se conectan directamente mediante enlaces de radio con sus respectivos Nodos Secundarios de Nivel 1 o Nodos Secundarios de Nivel 2. De tal forma que:

- El nodo EDN se conecta con el nodo ATU
- El nodo PIN se conecta con el nodo CAS
- El nodo ILA se conecta con el nodo MNJ
- El nodo MDM y TBC se conectan con el nodo EDN
- El nodo STB se conecta con el nodo PIN

En la Tabla 2.1 se resumen las características más sobresalientes de cada nodo.

Nodo	Nombre	Tipo	Ubicación Aproximada	Características
BBL	Banco Bolivariano	Nodo Principal (NP)	Av. Naciones Unidas, entre Shyris y Japón	<p>Conexión con la salida internacional.</p> <p>Concentra todo el tráfico de la red.</p> <p>Se conecta mediante radio enlace con los nodos (NS1) ATU, CAS y MNJ.</p> <p>Se conecta mediante fibra óptica con los nodos (NS1) AMZ y TLH.</p>
ATU	Atucucho	Nodo Secundario Nivel 1 (NS1)	Atucucho, entre la calle I y calle 25	<p>Concentra el tráfico proveniente del nodo (NS2) EDN.</p> <p>Se conecta mediante radio enlace con el nodo principal y con el nodo (NS2) EDN.</p>
CAS	Casas	Nodo Secundario Nivel 1 (NS1)	Pasaje Alonso Pena y Gualberto Arcos	<p>Concentra el tráfico proveniente del nodo (NS2) PIN.</p> <p>Se conecta mediante radio enlace con el nodo principal y con el nodo (NS2) PIN.</p>
MNJ	Monjas	Nodo Secundario Nivel 1 (NS1)	San Francisco de Miravalle calle principal	<p>Concentra el tráfico proveniente del nodo (NS2) ILA.</p> <p>Se conecta mediante radio enlace con el nodo principal y con el nodo (NS2) ILA.</p>
AMZ	Amazonas	Nodo Secundario Nivel 1 (NS1)	Av. Amazonas y Villalengua esquina.	<p>Actualmente no cursa tráfico.</p> <p>Se conecta mediante fibra óptica con el nodo principal y con el (NS1) TLH, formando un anillo.</p>
TLH	Teleholding	Nodo Secundario Nivel 1 (NS1)	Pinta y Rábida esquina	<p>Actualmente no cursa tráfico.</p> <p>Se conecta mediante fibra óptica con el nodo principal y con el nodo (NS1) AMZ, formando un anillo.</p>
EDN	Edén	Nodo Secundario Nivel 2 (NS2)	Calle D y Anagaes (sector Edén)	<p>Concentra el tráfico proveniente de los nodos (NS3) MDM y TBC.</p> <p>Se conecta mediante radio enlace con el nodo (NS1) ATU y con los nodos (NS3) MDM y TBC.</p>

Nodo	Nombre	Tipo	Ubicación Aproximada	Características
PIN	Pinos	Nodo Secundario Nivel 2 (NS2)	Barrio Rancho los Pinos, Nueva Vía Oriental vía Aloag	Concentra el tráfico proveniente del nodo (NS3) STB. Se conecta mediante radio enlace con el nodo (NS1) CAS y con el nodo (NS3) STB.
ILA	Ilaló	Nodo Secundario Nivel 2 (NS2)	Sector comuna central, ingreso al barrio Tumbaco Alto.	Se conecta mediante radio enlace con el nodo (NS1) MNJ.
MDM	Mitad del Mundo	Nodo Secundario Nivel 3 (NS3)	Mitad del mundo	Se conecta mediante radio enlace con el nodo (NS2) EDN.
TBC	Tabacundo	Nodo Secundario Nivel 3 (NS3)	Comunidad San José Alto, sector Cacuango	Se conecta mediante radio enlace con el nodo (NS2) EDN.
STB	Santa Bárbara	Nodo Secundario Nivel 3 (NS3)	Santa Bárbara Alta, vía Lloa calle Tachina	Se conecta mediante radio enlace con el nodo (NS2) PIN.

Tabla 2.1: Nodos del ISP

2.3 CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DEL BACKBONE

- El *Backbone* MPLS propuesto debe ser escalable, confiable, robusto y flexible, por lo que se deben seleccionar equipos que permitan obtener estas particularidades, tanto en los LSRs como en los *edge* LSRs.
- El *Backbone* MPLS debe permitir servicios de voz, datos y video, por lo que se considera que debe poseer alta capacidad de transporte para

que el tráfico sensible como el de las aplicaciones de voz y video sea transportado por la red sin sufrir retardo.

- Con el *Backbone* MPLS propuesto se pretende cubrir gran parte del Distrito Metropolitano de Quito, situado a 2850 [m] sobre el nivel del mar, cuyas dimensiones aproximadas son de 50 [Km] de longitud en dirección de sur a norte y entre 3 y 5 [Km] de ancho de este a oeste, conformando un área aproximada de 300 [Km²].^[32]
- Para el diseño propuesto se empleará el modelo jerárquico que comprende las capas Núcleo, Distribución y Acceso, pero para este proyecto se diseñará exclusivamente las capas Núcleo y Distribución que formarán parte del *Backbone* MPLS, de acuerdo a lo descrito en el Plan del Proyecto de Titulación aprobado.
- Para el diseño propuesto se utilizarán siete nodos, de los cuales tres estarán destinados a comportarse como LSRs y serán los que conformen la capa núcleo de la red y los cuatro restantes funcionarán como *edge* LSRs y conformarán la capa distribución. Estos nodos estarán ubicados de tal forma que consigan la captación del mayor número de clientes en los sectores comerciales, bancarios, educativos, industriales, médicos, entidades públicas, etc.
- Los nodos que conformarán el *Backbone* MPLS son aquellos que actualmente concentran mayor cantidad de tráfico proveniente de nodos más pequeños y a su vez los que dispongan de espacio físico adecuado para la implementación de equipos MPLS.
- El *Backbone* MPLS propuesto debe tener alta disponibilidad (*High Availability*) para garantizar que los usuarios puedan acceder a la red la mayor parte del tiempo, por lo que el diseño propuesto debe contar con sistemas redundantes.

2.4 MODELO JERÁRQUICO DE TRES CAPAS^[13]

Para el diseño propuesto se utilizará el modelo jerárquico, ver Figura 2.3, el cuál divide una red en tres capas donde cada una de ellas tiene funcionalidades específicas. Separar una red en tres niveles o capas concede varias ventajas como: reducción de la complejidad de la red, facilidad en la administración, en la resolución de problemas, en la implementación y en la escalabilidad, además de hacerla más confiable.^[25]

Las capas o niveles que constituyen el modelo jerárquico son, ver Figura 2.3:

1. Capa Núcleo
2. Capa Distribución
3. Capa Acceso

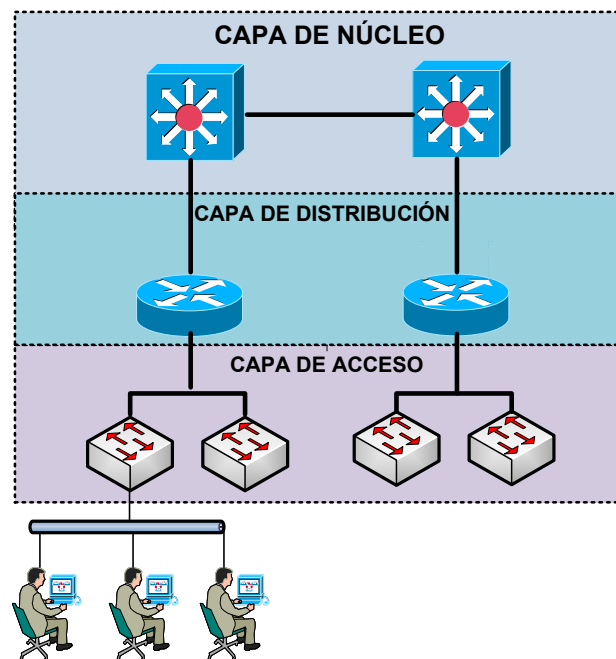


Figura 2.3: Modelo Jerárquico de Tres Capas. ^[25]

En el presente proyecto se realizará específicamente el diseño de la Capa Núcleo y la Capa Distribución, quedando fuera del alcance del mismo el diseño de la Capa Acceso.

2.4.1 CAPA NÚCLEO O CORE^[26]

La función específica y primordial de esta capa es conmutar el tráfico de la forma más rápida que sea posible para transportar grandes cantidades de tráfico de manera confiable y veloz. Por este motivo factores como la latencia y la velocidad son de gran importancia y deben considerarse en esta capa.

El núcleo de una red debe tener gran tolerancia a fallas, debido a que el tráfico que se transporta en esta capa es común a la mayoría de los usuarios y en caso de una falla todos se verían afectados. Por lo que el objetivo de esta capa sería, de ser posible, proporcionar un 100% de tiempo de actividad de la red para lo que se debe considerar la implementación de enlaces redundantes y así garantizar que los dispositivos de red puedan encontrar caminos alternos para enviar los datos en caso de falla.

Como la velocidad es un factor importante, es recomendable que en esta capa no se realicen funciones que puedan aumentar la latencia, como: listas de acceso (*access-list*⁵³) o filtrado de paquetes.

En el diseño propuesto los nodos del núcleo o *core* físicamente se conectarán con fibra óptica formando una topología en anillo⁵⁴, como se indica en la Figura 2.4, el tendido de fibra entre estos nodos ya se encuentra activo, de tal forma que entre el nodo BBLn y TLH se tiene fibra óptica de 6 hilos, entre el nodo BBLn y AMZ se tiene fibra de 12 hilos y entre el nodo TLH y AMZ se tiene fibra de 12 hilos, con estos tendido de fibra óptica se pueden habilitar dos hilos para la interconexión del anillo, de tal forma que uno de los hilos quede como respaldo en caso de que exista algún problema con la fibra principal.

⁵³ Listas de Acceso (*Access-list*): Es una herramienta que permite controlar el tráfico que entra y sale de una red, mediante su implementación en routers o switches. Su principal objetivo es filtrar tráfico, permitiendo o denegando el tráfico de red de acuerdo a alguna condición.

⁵⁴ Topología en anillo: Es una topología de red en la que cada equipo se conecta al siguiente y el último se conecta al primero.

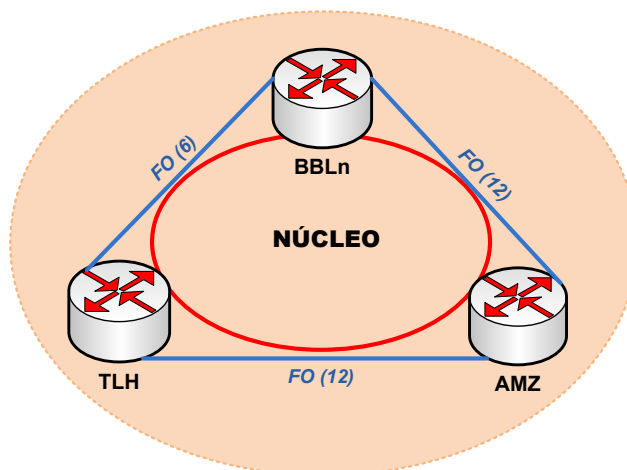


Figura 2.4: Topología en anillos de los nodos del Núcleo.

Los equipos LSRs se ubicarán en la capa núcleo o *core* de la red y por lo tanto se encargarán de conmutar el tráfico en dicha capa, al encontrarse en el núcleo de la red deben contar con un alto rendimiento para soportar el tráfico proveniente de los edge LSRs.

2.4.2 CAPA DISTRIBUCIÓN ^[25]

La capa distribución determina el punto medio entre la capa de acceso y núcleo de una red. Las funciones principales de esta capa son proveer enrutamiento, filtrado de paquetes y determinar qué paquetes deben llegar al núcleo de la red.

En esta capa se implementan políticas de red como: enrutamiento, filtrado de paquetes, colas de espera, *access-list*, seguridad, etc.

Los equipos ubicados en la capa distribución concentran el tráfico proveniente de la capa acceso, por lo que deben tener alto rendimiento para soportar el tráfico de los equipos de acceso conectados a él.

En el diseño propuesto la capa de distribución estará conformada por los *edge* LSRs, los cuales se ubicarán en sitios donde el ISP refleja mayor concentración de tráfico. El *Backbone* MPLS estará conformado por cuatro *edge* LSRs: BBLd, ATU, MNJ y CAS, los cuales se interconectarán con los LSRs del núcleo mediante fibra óptica, de acuerdo a la Figura 2.5.

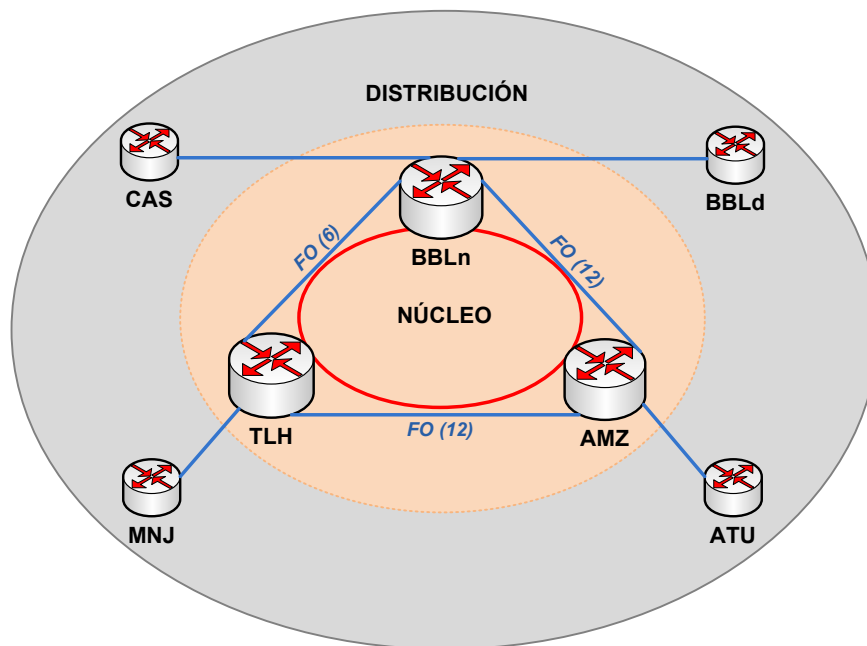


Figura 2.5: Topología de los nodos de Distribución.

Los cuatro *edge* LSRs se ubicarán geográficamente en el Distrito Metropolitano de Quito al interior de los cuartos alquilados donde actualmente el ISP cuenta con la infraestructura física para sus nodos, ver Figura 2.2.

En la Figura 2.5 se puede observar que la topología entre los *edge* LSRs de la capa distribución y los LSRs de la capa núcleo es del tipo *Hub and Spoke*⁵⁵, de tal forma que el LSR que es el sitio central intercambie el tráfico entre los *edge* LSRs. Mediante esta topología el ISP puede en un futuro agregar más equipos a la capa de distribución conectándolos con el LSR del núcleo que esté menos cargado.

2.5 ANÁLISIS DE TRÁFICO DE LOS NODOS

Para el diseño del *Backbone* se analizará el comportamiento del tráfico en la Red del ISP de los últimos cinco años y de esta forma se podrá determinar el crecimiento anual y realizar la proyección de tráfico para los próximos cinco años. Los datos proyectados que se obtengan permitirán realizar el dimensionamiento de los equipos y de los enlaces.

⁵⁵ Topología en estrella (*Hub and Spoke*): Es una topología centralizada, en la que todos los equipos se conectan directamente a un nodo central (*hub*) y todas las comunicaciones se hacen necesariamente a través de éste.

El periodo de cinco años establecido para realizar la proyección de tráfico y el dimensionamiento de los equipos, se considera para que el ISP consiga recuperar el capital a ser invertido en el eventual desarrollo e implementación de la red; producir rentabilidad sobre la inversión realizada y finalmente porque es un tiempo prudencial antes de que se inicie el proceso denominado “ciclo de fin de vida del producto”⁵⁶ del equipamiento seleccionado.⁵⁷

La Tabla 2.2 contiene información de tráfico del ISP desde octubre del 2007 hasta junio del 2011, la cual es referente a los cuatro nodos que concentran la mayor cantidad de tráfico y al tráfico total que cursa la red. Esta información de tráfico fue proporcionada por el Departamento de Planificación del ISP.

Año	Mes	Tráfico BBL (Mbps)	Tráfico ATU (Mbps)	Tráfico CAS (Mbps)	Tráfico MNJ (Mbps)	Tráfico TOTAL (Mbps)
2007	<i>Octubre</i>	43	40	35	26	144
	<i>Noviembre</i>	45	34	29	25	133
	<i>Diciembre</i>	48	35	32	26	141
2008	<i>Enero</i>	50	39	28	25	142
	<i>Febrero</i>	52	37	30	27	146
	<i>Marzo</i>	55	40	32	37	164
	<i>Abril</i>	60	44	36	36	176
	<i>Junio</i>	68	65	41	37	211
	<i>Julio</i>	55	55	32	35	177
	<i>Octubre</i>	62	56	33	36	187
	<i>Diciembre</i>	70	53	44	37	204
2009	<i>Enero</i>	69	53	44	37	203
	<i>Febrero</i>	71	57	54	41	223

⁵⁶ *End of Product Life Cycle*: Este proceso se compone de una serie de hitos técnicos, comerciales y de actividades que, una vez terminadas, hacen que un producto sea considerado obsoleto. Una vez obsoleto el producto no se vende, fabrica, mejora, repara, mantiene ni soporta.

⁵⁷ Información provista por el Departamento de Planificación del ISP.

Año	Mes	Tráfico BBL (Mbps)	Tráfico ATU (Mbps)	Tráfico CAS (Mbps)	Tráfico MNJ (Mbps)	Tráfico TOTAL (Mbps)
	<i>Marzo</i>	80	56	57	44	237
	<i>Abril</i>	71	64	54	48	237
	<i>Mayo</i>	73	71	57	45	246
	<i>Junio</i>	65	78	57	44	244
	<i>Julio</i>	72	81	65	54	272
	<i>Agosto</i>	71	91	59	61	282
	<i>Septiembre</i>	71	88	64	57	280
	<i>Octubre</i>	75	89	65	64	293
	<i>Noviembre</i>	65	82	63	61	271
2010	<i>Enero</i>	68	85	79	75	307
	<i>Febrero</i>	70	91	76	76	313
	<i>Marzo</i>	74	99	79	82	334
	<i>Abril</i>	81	83	71	75	310
	<i>Mayo</i>	84	78	81	83	326
	<i>Julio</i>	90	106	75	56	327
	<i>Agosto</i>	90	106	75	71	342
	<i>Septiembre</i>	90	108	83	71	352
	<i>Octubre</i>	86	109	103	81	379
2011	<i>Enero</i>	106	134	127	123	490
	<i>Febrero</i>	117	138	132	123	510
	<i>Marzo</i>	123	150	140	125	538
	<i>Abril</i>	129	162	150	124	565
	<i>Mayo</i>	130	175	152	126	583
	<i>Junio</i>	129	173	153	124	579

Tabla 2.2: Información de Tráfico de los últimos 5 años.

Con los datos de tráfico de la Tabla 2.2 se generan gráficas, ver Figura 2.6, Figura 2.7, Figura 2.8 y Figura 2.9, en las que se puede apreciar respectivamente el crecimiento de los nodos: BBL, ATU, CAS y MNJ, desde octubre del 2007 hasta junio del 2011.

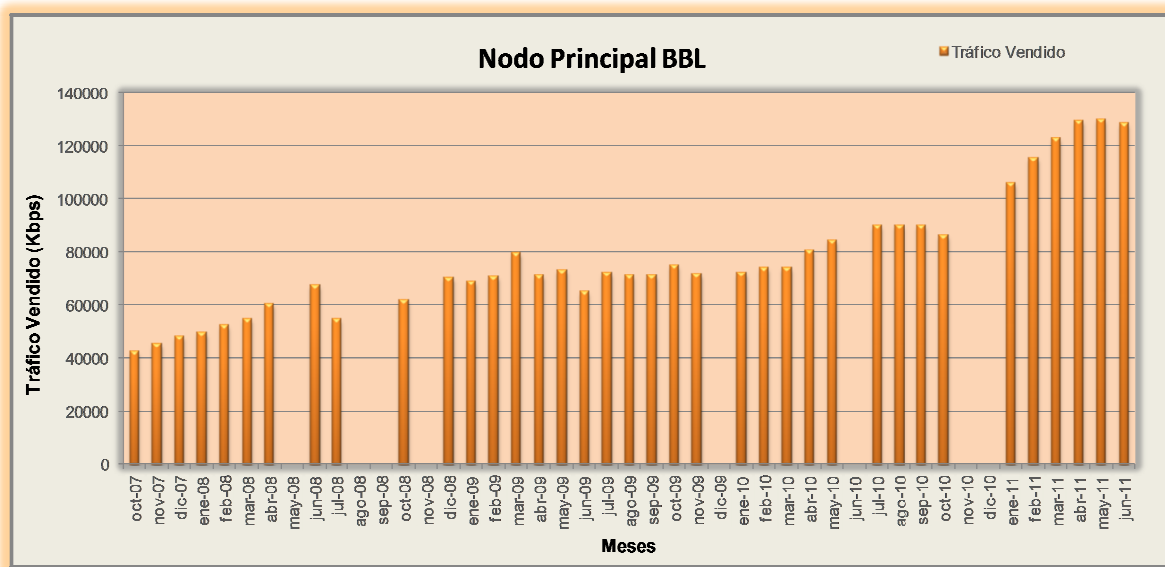


Figura 2.6: Tráfico del Nodo Principal BBL.

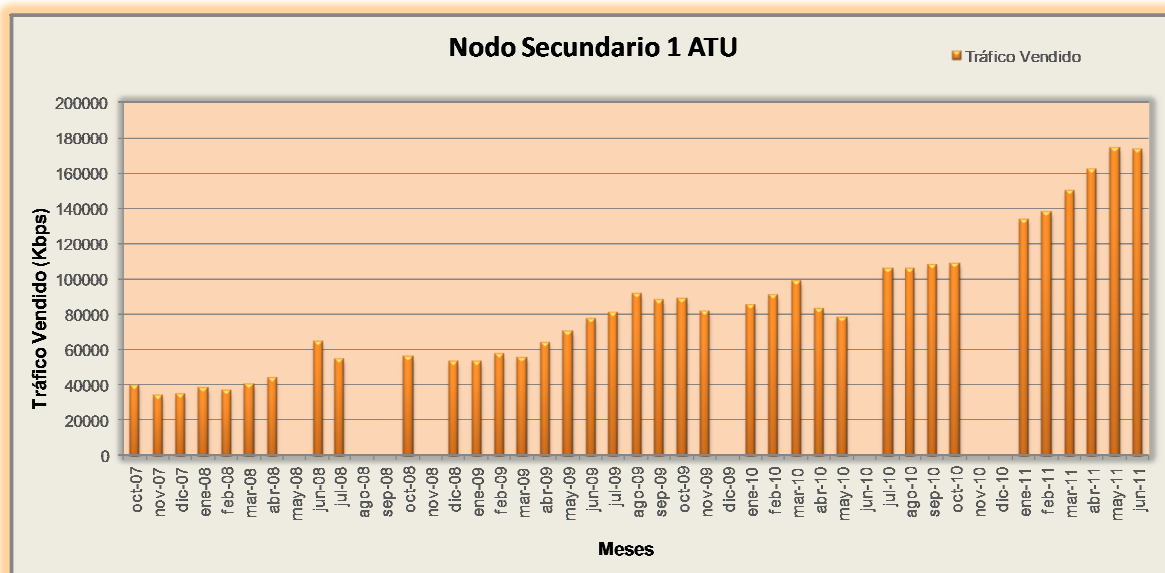


Figura 2.7: Tráfico del Nodo Secundario 1 ATU.

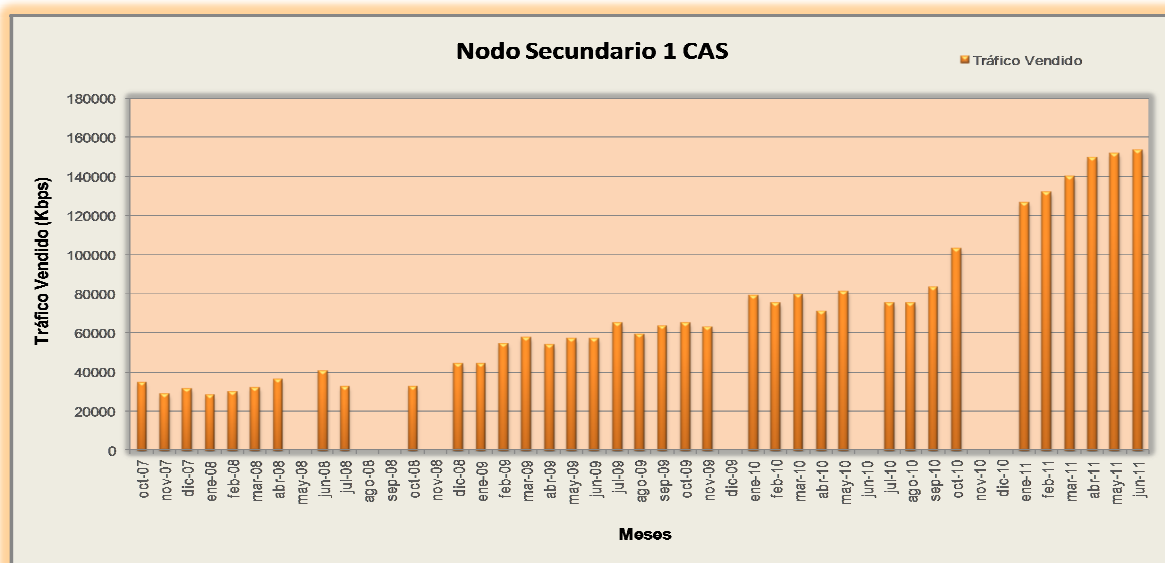


Figura 2.8: Tráfico del Nodo Secundario 1 CAS.

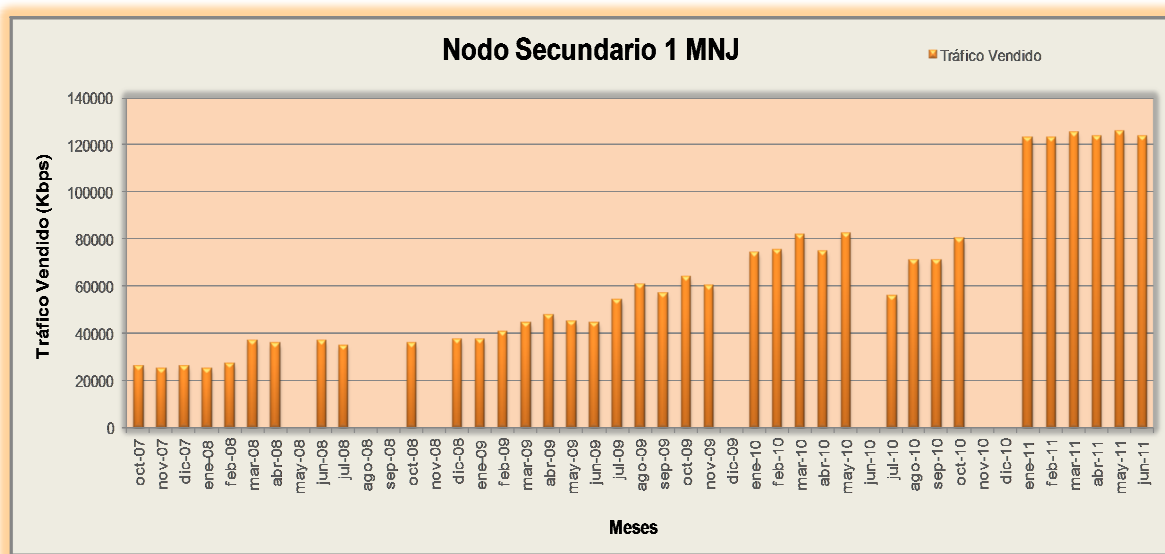


Figura 2.9: Tráfico del Nodo Secundario 1 MNJ.

Los datos proporcionados por el ISP en la Tabla 2.2 permitirán obtener ecuaciones que ayuden a realizar la proyección de tráfico para los próximos cinco años. Estas ecuaciones se consiguen mediante una aplicación de las Líneas de Tendencia de la herramienta Excel, en donde se considera los datos de tráfico existentes y el tiempo al que se desea proyectar. En el caso de los cuatro nodos

de mayor concentración de tráfico del ISP, la Línea de Tendencia que mejor se ajustó a los datos fue la exponencial, con la que se generó una gráfica de la proyección de crecimiento del tráfico para cada nodo, tal como se observa en la Figura 2.10, Figura 2.11, Figura 2.12 y Figura 2.13.

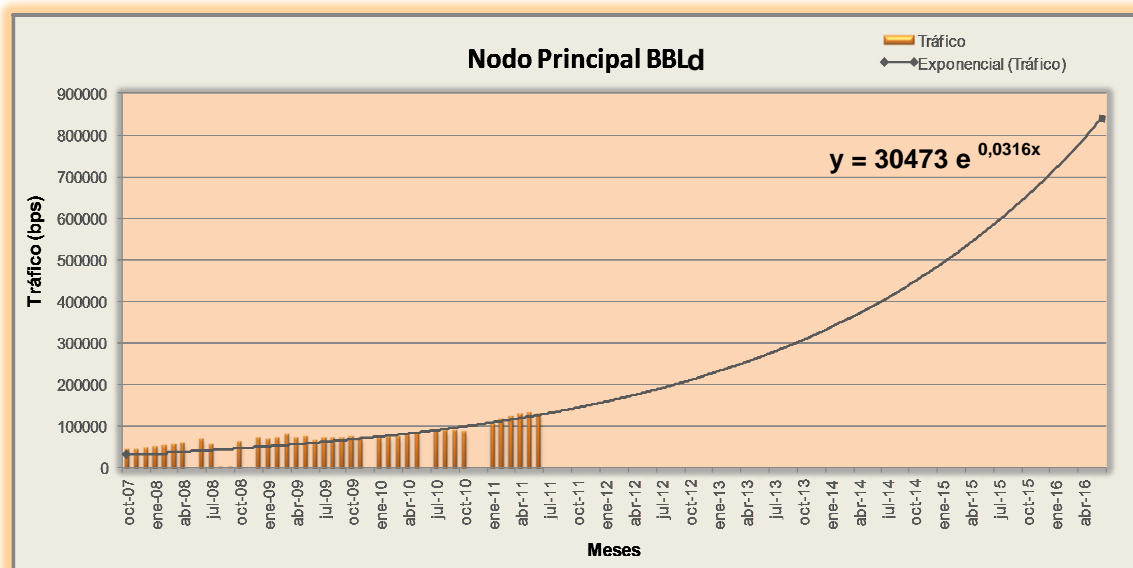


Figura 2.10: Proyección de crecimiento en tráfico del Nodo BBLd.

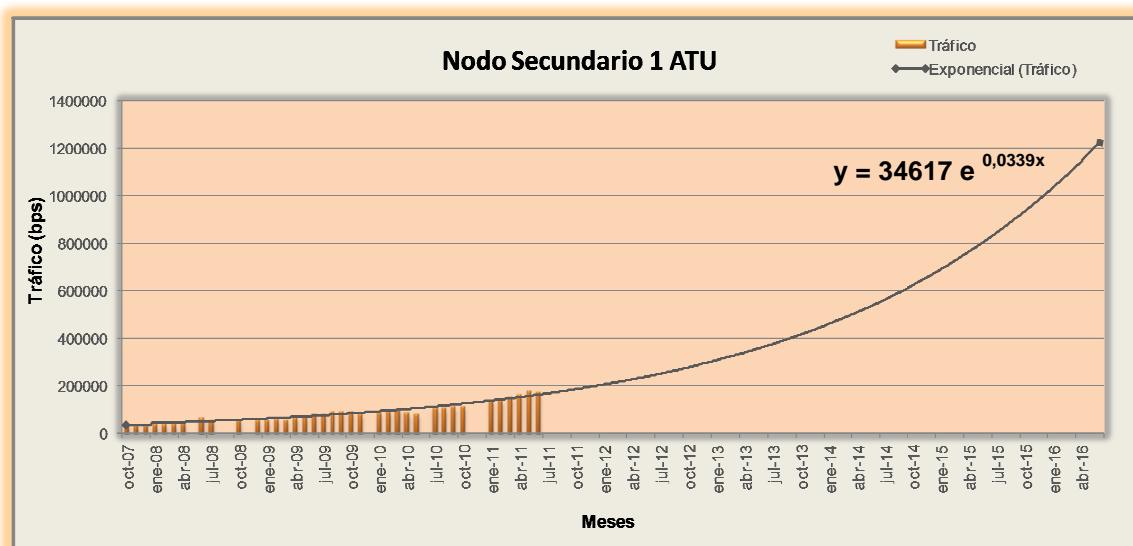


Figura 2.11: Proyección de crecimiento en tráfico del Nodo ATU.

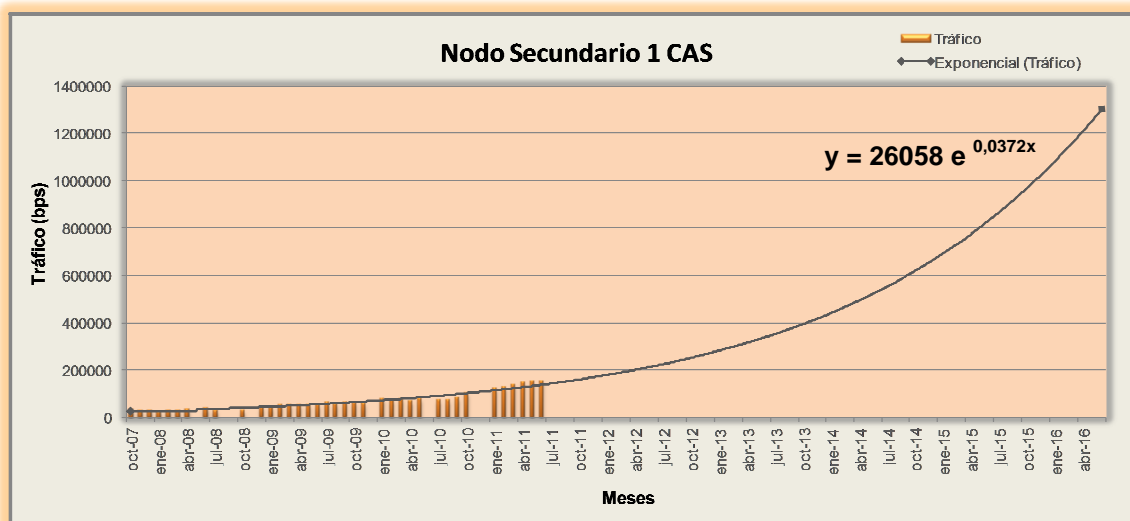


Figura 2.12: Proyección de crecimiento en tráfico del Nodo CAS.

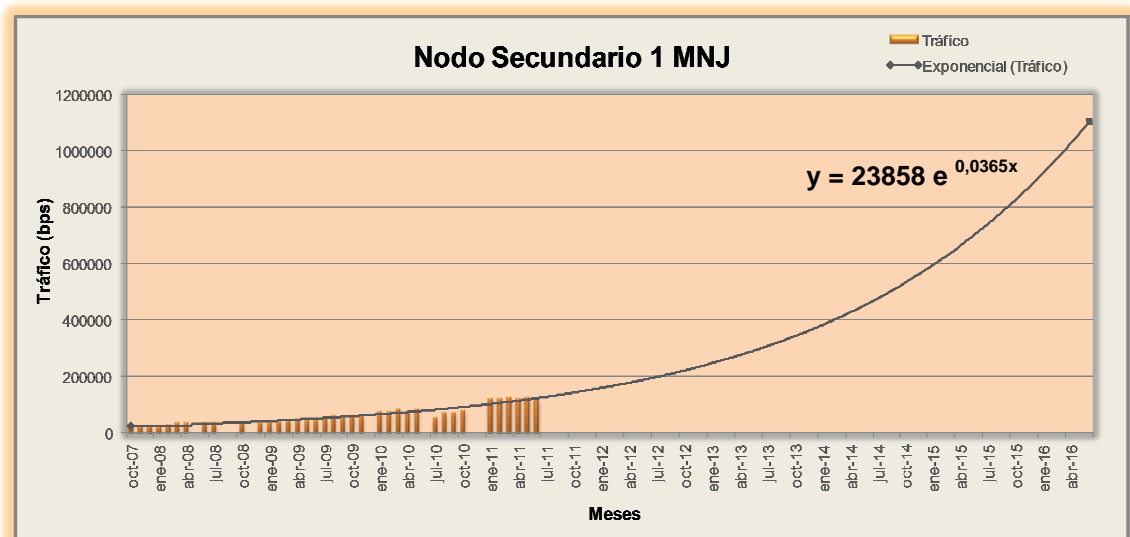


Figura 2.13: Proyección de crecimiento en tráfico del Nodo MNJ.

Dentro de las funcionalidades de la herramienta Excel se encuentra la posibilidad de obtener directamente la ecuación que gobierna a una determinada Línea de Tendencia, y de esta forma se consiguieron las ecuaciones de la Tabla 2.3 correspondientes a los nodos BBLd, ATU, CAS y MNJ, con las que se realizarán las respectivas proyecciones de tráfico para los siguientes cinco años.

NODO	ECUACIÓN
BBLd	$y = 30473 e^{0,0316x}$
ATU	$y = 34617 e^{0,0339x}$
CAS	$y = 26058 e^{0,0372x}$
MNJ	$y = 23858 e^{0,0365x}$

Tabla 2.3: Ecuaciones para la proyección de tráfico de cada nodo.

En las ecuaciones de la Tabla 2.3 el valor de X corresponde al número del mes, de tal forma que el mes de octubre de 2007 se considera como el mes uno ($X = 1$) y junio de 2011 es el mes cuarenta y cinco ($X = 45$) que corresponde al último dato de tráfico en la Tabla 2.2.

El inicio de cada año se considera en el mes de junio, debido a que en este mes se tiene la última información de tráfico en la red, así los valores que se reemplazan en las ecuaciones de cada nodo para cada uno de los próximos cinco años son los que se indican en la Tabla 2.4.

AÑO	VALOR DE X
Año 1 (junio 2012)	$x = 57$
Año 2 (junio 2013)	$x = 69$
Año 3 (junio 2014)	$x = 81$
Año 4 (junio 2015)	$x = 93$
Año 5 (junio 2016)	$x = 105$

Tabla 2.4: Valores para reemplazar en las ecuaciones.

Reemplazando los valores de la Tabla 2.4 en las ecuaciones de la Tabla 2.3, se obtiene el tráfico proyectado de cada nodo para los próximos cinco años, como se indica en la Tabla 2.5, Tabla 2.6, Tabla 2.7 y Tabla 2.8 respectivamente.

1. Nodo BBLd

Ecuación para el nodo BBLd $(y = 30473 e^{0,0316x})$		
AÑO	VALOR DE X	TRÁFICO PROYECTADO (Mbps)
<i>Año 1</i>	$x = 57$	185
<i>Año 2</i>	$x = 69$	270
<i>Año 3</i>	$x = 81$	394
<i>Año 4</i>	$x = 93$	576
<i>Año 5</i>	$x = 105$	841

Tabla 2.5: Tráfico proyectado para el nodo BBLd.

2. Nodo ATU

Ecuación para el nodo ATU $(y = 34617 e^{0,0339x})$		
AÑO	VALOR DE X	TRÁFICO PROYECTADO (Mbps)
<i>Año 1</i>	$x = 57$	239
<i>Año 2</i>	$x = 69$	359
<i>Año 3</i>	$x = 81$	539
<i>Año 4</i>	$x = 93$	810
<i>Año 5</i>	$x = 105$	1217

Tabla 2.6: Tráfico proyectado para el nodo ATU.

3. Nodo CAS

Ecuación para el nodo CAS $(y = 26058 e^{0,0372x})$		
AÑO	VALOR DE X	TRÁFICO PROYECTADO (Mbps)
<i>Año 1</i>	$x = 57$	217
<i>Año 2</i>	$x = 69$	339
<i>Año 3</i>	$x = 81$	530
<i>Año 4</i>	$x = 93$	829
<i>Año 5</i>	$x = 105$	1295

Tabla 2.7: Tráfico proyectado para el nodo CAS.

4. Nodo MNJ

Ecuación para el nodo MNJ $(y = 23858 e^{0,0365x})$		
AÑO	VALOR DE X	TRÁFICO PROYECTADO (Mbps)
Año 1	$x = 57$	191
Año 2	$x = 69$	296
Año 3	$x = 81$	459
Año 4	$x = 93$	711
Año 5	$x = 105$	1102

Tabla 2.8: Tráfico proyectado para el nodo MNJ.

La Tabla 2.9 integra los valores obtenidos en la Tabla 2.5, Tabla 2.6, Tabla 2.7 y Tabla 2.8, los cuales reflejan la proyección de tráfico para los próximos cinco años de los nodos de distribución: BBLd, ATU, CAS y MNJ. Para obtener el tráfico total proyectado, se realiza la sumatoria del tráfico proyectado para los nodos de la capa distribución, porque éste será el tráfico que simultáneamente deberá soportar el núcleo de la red óptica MPLS en las horas de mayor utilización de la red (peor caso).

Nodo Año	BBLd (Mbps)	ATU (Mbps)	CAS (Mbps)	MNJ (Mbps)	TOTAL (Mbps)
2011 (Año 0)	129	174	153	124	579
2012 (Año 1)	185	239	217	191	832
2013 (Año 2)	270	359	339	296	1264
2014 (Año 3)	394	539	530	459	1922
2015 (Año 4)	576	810	829	711	2926
2016 (Año 5)	841	1217	1295	1102	4455

Tabla 2.9: Proyección de Tráfico para 5 años.

2.6 DIMENSIONAMIENTO DEL BACKBONE MPLS

Para realizar el dimensionamiento del *Backbone* MPLS se consideran los datos obtenidos en la Tabla 2.9, los que permitirán conseguir una estimación del tráfico que cursará la red en los próximos cinco años.

Se describirán los requerimientos técnicos que necesite cada uno de los nodos para que puedan funcionar adecuadamente dentro de la red del Proveedor de Servicios de Internet.

2.6.1 REQUERIMIENTOS GENERALES DE LOS EQUIPOS

Para seleccionar el equipamiento que formará parte del *Backbone* óptico con tecnología MPLS del ISP, es necesario considerar varios aspectos importantes que deben cumplir tanto los equipos del núcleo (LSRs) como los de distribución (*edge* LSRs), entre éstos se encuentran:

- Interoperabilidad con equipos de otras marcas dentro de la red.
- Capacitación para el manejo de los equipos.
- Garantía de calidad y correcto funcionamiento de los equipos.
- Rápido reemplazo de los repuestos de los equipos, mediante representantes locales de estos productos en el país.
- Facilidad de actualización de software y hardware.

El concepto de interoperabilidad es crucial para el funcionamiento de las redes de comunicaciones, puesto que permite que estén formadas por equipos de diferentes proveedores, con características heterogéneas y amplia variedad de software y aún así sean compatibles entre sí, sin imprecisiones, para coordinar procesos o intercambiar datos.^[33]

También es importante que el proveedor de los equipos brinde la capacitación respectiva sobre el funcionamiento y manejo de dichos equipos, para que el personal de la empresa tenga los conocimientos necesarios para manejar adecuadamente los equipos de la red.

Actualmente en el mercado existe gran diversidad de marcas y por consiguiente gran variedad de equipos que cumplen con los requerimientos técnicos básicos, de tal forma que se puede buscar una alternativa económicamente viable sin descuidar aspectos técnicos importantes que permitirán que la red opere sin contratiempos y con un rendimiento alto.

2.6.2 DIMENSIONAMIENTO DE INTERFACES

Para realizar el dimensionamiento de las interfaces se debe considerar cómo van a estar conectados los nodos tanto del núcleo como los de distribución, ver Figura 2.5; además de determinar la capacidad de interconexión que requerirán. La Tabla 2.9 proporciona los datos de proyección de tráfico para los próximos cinco años.

Como la interconexión se realizará mediante un medio de transmisión óptico se requieren interfaces ópticas; y, conforme a los valores proyectados en la Tabla 2.9 al año 5 el núcleo de la red (BBLn, AMZ y TLH) deberá estar en capacidad de soportar un tráfico aproximado de 4,5 [Gbps], por lo que para la interconexión de los equipos del núcleo se definen interfaces ópticas con velocidades de 10 [Gbps]. Se seleccionan interfaces ópticas de 10 [Gbps] debido a que las interfaces con la capacidad inmediatamente inferior existentes en el mercado son las de 1 [Gbps], y éstas resultarían en un sub-dimensionamiento de la red.

El tráfico proyectado a cinco años para los nodos que conformarán la capa de distribución (BBLd, ATU, CAS y MNJ), presenta valores de 841 [Mbps] para el nodo BBLd, 1217 [Mbps] para el nodo ATU, 1295 [Mbps] para el nodo CAS y 1102 [Mbps] para el nodo MNJ, como se puede observar en la Tabla 2.9. Por lo que para la interconexión de los nodos de distribución con los respectivos nodos del núcleo se emplearán interfaces ópticas de 1 [Gbps]. Se seleccionan interfaces de 1 [Gbps] y no las inmediatamente superiores (10 Gbps) debido a que esto implicaría sobredimensionar las interfaces, subutilizar recursos y principalmente elevar el costo de la red.

De acuerdo al diseño planteado, ver Figura 2.5, la capa núcleo requiere en total tres equipos y la capa distribución requiere cuatro; para la conexión de los

equipos del núcleo se utilizarán interfaces ópticas de 10 [Gbps], dos por cada equipo porque se conectan con dos nodos para formar el anillo, y para la de distribución interfaces ópticas de 1 [Gbps], una por cada enlace entre el núcleo y distribución.

En la Tabla 2.10 se indica la cantidad de interfaces ópticas de 1 [Gbps] y de 10 [Gbps] requeridas por cada nodo dependiendo de la capa a la que pertenecen.

NODO	TIPO DE EQUIPO	1G ópticos	10G ópticos
BBLn	Núcleo	2	2
AMZ	Núcleo	1	2
TLH	Núcleo	1	2
ATU	Distribución	1	0
CAS	Distribución	1	0
BBLd	Distribución	1	0
MNJ	Distribución	1	0

Tabla 2.10: Número de Interfaces por nodo.

En la Tabla 2.11 se indica de manera general el número de interfaces que requieren los equipos del núcleo y los de la capa de distribución. Así, los equipos del núcleo requieren en total seis interfaces ópticas de 10 [Gbps] para formar el anillo y 4 interfaces ópticas de 1 [Gbps] para la conexión con los equipos de distribución; y, los equipos de distribución requieren 4 interfaces ópticas de 1 [Gbps] para la conexión con los equipos del núcleo.

TIPO DE EQUIPO	CANTIDAD DE EQUIPOS	NÚMERO MÍNIMO DE INTERFACES REQUERIDAS POR EQUIPO	
		Ópticos 10G	Ópticos 1G
Núcleo	3	6	4
Distribución	4	0	4

Tabla 2.11: Interfaces requeridas por equipo.

2.7 CALIDAD DE SERVICIO ^{[1][13]}

Actualmente las aplicaciones que han ido surgiendo requieren altas exigencias de ancho de banda, transmisión con bajo retardo o sin pérdidas, etc.; por lo que para satisfacer estas necesidades se hace indispensable dotar a las redes de un modelo que permita brindar Calidad de Servicio.

El presente diseño permitirá al ISP manejar la tecnología MPLS en el *Backbone* de su red mientras en su red de acceso conservará la tecnología IP, por lo que se debe considerar una estructura que permita la integración de Calidad de Servicio (QoS) entre estas dos tecnologías.

La IETF define dos arquitecturas, analizadas en el capítulo I, que se diferencian por su forma de operación, denominadas *IntServ* (Servicios Integrados) y *DiffServ* (Servicios Diferenciados).

La arquitectura *IntServ* requiere que se reserven los recursos solicitados por un determinado flujo en todos los dispositivos de un trayecto, lo que genera que todos los dispositivos del camino guarden información de estado con el consecuente consumo de memoria que esto implica. Como cada flujo de tráfico debe tener una reservación específica de recursos, se generan problemas de escalabilidad.

Por otra parte la arquitectura *DiffServ* permite clasificar los paquetes en clases con diferentes prioridades, mediante el marcado en la cabecera IP de cada paquete, de tal forma que no se reservan recursos específicos para cada flujo sino que se pueden agrupar todos los paquetes pertenecientes a una misma clase para que reciban el mismo trato por la red, consiguiendo grandes ventajas de flexibilidad y escalabilidad sobre *IntServ*.

Por los motivos expuestos y los analizados en el capítulo I, la arquitectura *DiffServ* es la más adecuada para conseguir una integración con la tecnología MPLS; además, esta arquitectura está concebida para ser usada en redes de *Backbone*.

Como se mencionó anteriormente, *DiffServ* clasifica los paquetes en categorías (dependiendo del tipo de servicio solicitado), donde a cada categoría le corresponde un SLA (*Service Level Agreement*), el cual es negociado y pactado previamente entre el cliente y el ISP. Los routers tratan a cada paquete según su categoría, que viene marcada en la cabecera del paquete.^[22]

Un SLA es un contrato que especifica los valores de QoS acordados entre el proveedor y el usuario para un servicio o una Clase de Servicio correspondiente; su misión es permitir el cumplimiento de dichos valores de QoS.

Un SLA se compone de dos partes: especificaciones comerciales y de organización y especificaciones técnicas (SLS, *Service Level Specifications*). Los SLS definen los servicios, la accesibilidad y otros parámetros, además contienen especificaciones sobre el tráfico generado por los servicios (TCA⁵⁸, *Traffic Condition Agreement*).

No existen estándares que definan los parámetros exactos que se deban considerar en un SLA, pero de forma típica y a manera de ejemplo se consideran los siguientes, ver Tabla 2.12:

Parámetro	Significado
Disponibilidad	Tiempo mínimo que el operador asegura que la red estará en funcionamiento.
Ancho de Banda	Indica el ancho de banda mínimo que el operador garantiza al usuario dentro de su red.
Pérdida de paquetes	Máxima cantidad de paquetes perdidos respecto de los enviados (mientras el usuario no exceda el caudal garantizado).
Jitter	La fluctuación que se puede producir en el retardo de los paquetes.

Tabla 2.12: Parámetros típicos de un SLA. ^[10]

⁵⁸ TCA (*Traffic Condition Agreement*, Acuerdo de Condiciones de Tráfico): Especifica perfiles como ancho de banda, retardo, etc. para cada Clase de Servicio correspondiente a un PHB.

En la arquitectura de Servicios Diferenciados (*DiffServ*) todos los paquetes IP que requieran el mismo tratamiento son agrupados para constituir un BA⁵⁹ (*Behavior Aggregate*, Agregado de Comportamiento). En el nodo de ingreso los paquetes son clasificados y marcados mediante la asignación de un código específico denominado DSCP (*DiffServ Code Point*) correspondiente a un BA determinado y cuyo valor indica el tratamiento que se le debe dar a cada paquete en cada nodo de la red. Este tratamiento realizado salto a salto en cada nodo de la red se denomina PHB⁶⁰ (*Per Hop forwarding Behavior*).

Existen cuatro tipos de PHBs, que son:

1. Default PHB

Definido en la RFC 2474, su valor de DSCP es 000000 y especifica que un paquete marcado con este valor de PHB recibirá el servicio de “mejor esfuerzo”. Además todo el tráfico que no tenga marcado ningún valor de DSCP será asignado al *default* PHB. No otorga ninguna garantía a los paquetes.

2. Class-Selector PHB

Definido en la RFC 2474, sus valores de DSCP tienen la forma xxx000 (x igual a 1 o 0), por lo que establece siete clases diferentes, los tres primeros bits representan un número del 1 al 7, el número de menor valor representa una prioridad menor y uno de mayor valor representa mayor prioridad dentro de la red.

En la Tabla 2.13, se indican las siete clases posibles del *Class-Selector PHB*.

⁵⁹ BA (*Behavior Aggregate*, Agregado de comportamiento): Es un conjunto de paquetes que tienen marcado el mismo valor de DSCP y que atraviesan un elemento de red en una dirección determinada.

⁶⁰ PHB (*Per Hop forwarding Behavior*): La RFC 2475 define PHB como el comportamiento (política o prioridad) de reenvío aplicado en un nodo hacia un BA (*Behavior Aggregate*). En otras palabras, un PHB se refiere al tratamiento (planificación, encolamiento, políticas de uso) que un nodo le da a cualquier paquete dado que pertenece a un BA.

Clase	Código	Clase	Código
1	001 000	5	101 000
2	010 000	6	110 000
3	011 000	7	111 000
4	100 000		

Tabla 2.13: Códigos para el Class-Selector PHB. ^[1]

3. Assured Forwarding PHB o PHB de transmisión asegurada

Definido en la RFC 2597, permite al operador ofrecer garantías de entrega, siempre que el tráfico no exceda la tasa suscrita. El tráfico que excede la tasa suscrita tiene mayor probabilidad de ser eliminado en caso de congestión.

Este grupo se divide en cuatro clases, dentro de las que se asigna una prioridad para la eliminación (*drop*) de los paquetes. En caso de que exista congestión entre clases, el tráfico de las clases superiores tiene mayor prioridad para ser cursado y por consiguiente que los retardos y pérdidas sean menores. Si la congestión ocurre dentro de una clase, los paquetes con la prioridad de eliminación más alta (*High Drop*) se descartan primero, tal como se indica en la Tabla 2.14.

Descarte de Paquetes	Clase 1 (001)	Clase 2 (010)	Clase 3 (011)	Clase 4 (100)
<i>Low Drop</i> (010)	AF11 001010	AF21 010010	AF31 011010	AF41 100010
<i>Med Drop</i> (100)	AF12 001100	AF22 010100	AF32 011100	AF42 100100
<i>High Drop</i> (110)	AF13 001110	AF23 010110	AF33 011110	AF43 100110

Tabla 2.14: Valores DSCP correspondientes a Assured Forwarding. ^{[2] [6]}

4. Expedited Forwarding PHB o PHB de transmisión rápida

Definido en la RFC 2598, tiene un valor de DSCP igual a 101110 y proporciona un servicio de ancho de banda garantizado con baja latencia, baja pérdida de paquetes y bajo *jitter*, características que son adecuadas para la transmisión de voz, video y otros servicios en tiempo real que requieren este servicio robusto, por lo que recibe el nombre de “Servicio *Premium*”.

En la Tabla 2.15 se resumen los valores de DSCP que se utilizan normalmente para otorgar diferentes niveles de Calidad de Servicio dependiendo del PHB al que pertenecen.

DSCP decimal	DSCP binario	Significado (PHB)	
56	111000	Control de la Red	
48	110000	Control de la Red	
46	101110	<i>Expedited Forwarding (EF)</i>	
38	100110	Assured Forwarding Clase 4	<i>High drop (AF43)</i>
36	100100		<i>Med drop (AF42)</i>
34	100010		<i>Low drop (AF41)</i>
30	011110	Assured Forwarding Clase 3	<i>High drop (AF33)</i>
28	011100		<i>Med drop (AF32)</i>
26	011010		<i>Low drop (AF31)</i>
22	010110	Assured Forwarding Clase 2	<i>High drop (AF23)</i>
20	010100		<i>Med drop (AF22)</i>
18	010010		<i>Low drop (AF21)</i>
14	001110	Assured Forwarding Clase 1	<i>High drop (AF13)</i>
12	001100		<i>Med drop (AF12)</i>
10	001010		<i>Low drop (AF11)</i>
0	000000	<i>Mejor Esfuerzo (default)</i>	

Tabla 2.15: Significado de las clases del DSCP.

2.7.1 SERVICIOS Y APLICACIONES DEL ISP

El Proveedor de Servicios de Internet, actualmente ofrece a sus clientes una variedad de servicios y aplicaciones. Cabe indicar que en el futuro el ISP no tiene planes de ofrecer otro tipo de servicios porque no cuenta con los permisos necesarios y porque no considera factible la posibilidad de competir en el mercado con servicios diferentes a los que ya ofrece.

Los servicios ofrecidos se describen a continuación:

1. *Enlaces de Datos*

Este servicio permite unir dos o más sucursales de una empresa separadas geográficamente, a través de líneas privadas para la transmisión de datos punto a punto o punto a multipunto, apoyándose en la optimización y productividad de la empresa.

Los enlaces de datos permiten acceder de manera rápida y segura a bases de datos y aplicaciones centralizadas.

2. *Hosting y Housing* ^[34] ^[35]

El servicio de *hosting* es un alquiler de espacio web y de los dispositivos necesarios para que sea visible en Internet. Se refiere al lugar que ocupa una página web, sitio web, correo electrónico, archivos, etc. en internet o de manera más específica en un servidor.

El servicio de *housing* consiste en vender o alquilar un espacio físico de un *Data Center* (Centro de Datos) para que el cliente coloque ahí su propio servidor. La empresa provee instalaciones avanzadas y seguras con conectividad de alta calidad, pero el servidor es elegido completamente por el cliente.

3. Internet dedicado

Este servicio permite el acceso permanente a Internet, utilizando un acceso de datos no compartido, con una velocidad de transferencia elegida por el cliente según sus necesidades y presupuesto.

4. Correo Electrónico y Dominios de Correo Electrónico

Este servicio ofrece una dirección de correo personal⁶¹, a la que se puede acceder mediante un nombre de usuario y una contraseña. Se puede registrar un dominio de correo⁶² propio para brindar un aspecto más profesional y solicitar varias cuentas de correo para usar junto a ese dominio

Además el ISP ofrece servicios de Correo Web y Cliente de Correo, que se describen a continuación.

- Correo Web

Permite enviar y recibir correos mediante un sitio web diseñado para ello, y por lo tanto usando sólo un navegador web. En un sitio web se leen los mensajes de uno en uno y se necesita conexión a la red todo el tiempo.

El correo web permite ver y almacenar los mensajes desde cualquier sitio, (en un servidor remoto) en lugar de en un computador personal concreto.

- Cliente de correo

Es un programa que permite gestionar los mensajes recibidos y escribir nuevos. Incorpora más funcionalidades que el correo web, porque todo el control del correo se encuentra en el computador del usuario.

⁶¹ Dirección de correo electrónico: Es un conjunto de palabras que identifican a una persona que puede enviar y recibir correo. Cada dirección es única y pertenece siempre a la misma persona.

⁶² Dominio de correo: Es la parte de la dirección de correo que se encuentra después del carácter arroba "@". Por ejemplo, en la dirección *usuario@suempresa.com* el dominio propio es *suempresa.com*.

Un programa de correo descarga de golpe todos los mensajes disponibles y luego pueden ser leídos sin estar conectado a Internet, además se quedan grabados en el computador.

El ISP indica cómo hay que configurar el programa de correo y provee los datos necesarios para su configuración, entre los que están: tipo de conexión (POP3⁶³ o IMAP⁶⁴), dirección del servidor de correo, nombre de usuario y contraseña.

5. VoIP

VoIP (*Voice over IP*), Voz sobre Protocolo de Internet, es una tecnología que permite la transmisión de la voz a través de Internet en forma de paquetes de datos empleando un protocolo IP. Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital en paquetes.

6. Video

La utilización de las redes para la transmisión de video ha tenido un crecimiento masivo, ya que el internet se utiliza para muchos fines como ver películas, descargar videos, enseñanza remota, televisión, etc.

7. VPNs

Las Redes Privadas Virtuales permiten trabajar remotamente desde otra localidad o desde el hogar sin sacrificar acceso a información o a herramientas disponibles en una empresa, de manera segura y confiable.

⁶³ POP3 (*Post Office Protocol*, Protocolo de la oficina de correo): Es un protocolo diseñado para recibir correo, no para enviarlo; permite descargar el correo electrónico mientras existe conexión y revisarlo posteriormente incluso estando desconectados.

⁶⁴ IMAP (*Internet Message Access Protocol*): Es un protocolo de acceso a mensajes electrónicos almacenados en un servidor. Permite el acceso al correo electrónico desde cualquier equipo que tenga una conexión a Internet. Es más complejo que POP ya que permite visualizar los mensajes de manera remota y no descargando los mensajes.

2.7.2 CLASES DE SERVICIO DEL ISP

El ISP planea clasificar los servicios que ofrece en cinco tipos, cada uno de ellos con diferentes requerimientos de calidad, es decir, que el ISP asegurará por ejemplo ciertos niveles de Calidad de Servicio (en pérdidas, retardo, ancho de banda) al tráfico de voz en su red, ciertos niveles para el tráfico de videoconferencia, etc.^[30]

Las Clases de Servicio se definirán de la siguiente forma, ver Tabla 2.16:

CoS	Características	Aplicaciones o tipo de tráfico
Servicio Premium	Para las aplicaciones que tienen grandes exigencias de QoS, como las de tiempo real.	Datos VoIP
Servicio Oro	Para aplicaciones que requieren bajo retardo, bajo jitter y baja pérdida de paquetes.	Video
Servicio Plata	Para aplicaciones que no toleran pérdidas de paquetes, soportan retardos medios y jitter altos.	Navegación regular Web
Servicio Bronce	Para aplicaciones que no toleran pérdidas de paquetes pero que sin embargo soportan retardos y jitter altos.	Transferencia de archivos, correo electrónico.
Mejor Esfuerzo	Para aplicaciones que no requieren ningún tipo de QoS y que por lo tanto no tienen marcado ningún valor de DSCP en su cabecera IP.	P2P

Tabla 2.16: Clasificación de las aplicaciones dentro de las Clases de Servicio (CoS).^[10]

2.7.3 ASIGNACIÓN DE VALORES DSCP A LAS CLASES DE SERVICIO

En la Tabla 2.17 se indican los valores de DSCP que se utilizarán para marcar los paquetes de acuerdo a la respectiva clasificación de tráfico en las diferentes Clases de Servicio que se ofrecerán a los clientes.

CoS	DSCP	Aplicación
Premium	EF = 46	Datos VoIP
Oro	AF41 = 34	Video
Plata	AF31 = 26	Transferencia de archivos, correo electrónico.
Bronce	AF21 = 18	Navegación regular Web
Mejor Esfuerzo	ME = 0	P2P

Tabla 2.17: Asignación de valores DSCP a las Clases de Servicio del ISP. ^{[10][13]}

2.7.4 METODOS DE CALIDAD DE SERVICIO (QOS) SOBRE MPLS ^{[13][30]}

Cuando la arquitectura *DiffServ* se integra a dominios MPLS para ofrecer una solución flexible de Calidad de Servicio (RFC 3270), los paquetes IP que requieren tratamiento especial dentro de una red, ingresan al *edge* LSR de entrada con su cabecera IP marcada con un valor de DSCP, que corresponde a la Clase de Servicio a la que pertenecen y en el que se definen los parámetros de calidad que necesitan de la red.

En el capítulo I se analizó el funcionamiento de la tecnología MPLS y se observó que para realizar el envío de un paquete dentro de un dominio MPLS, el *edge* LSR asigna la etiqueta respectiva al paquete y lo envía a un LSR, el cual ya no examina la cabecera IP (capa 3) sino que simplemente revisa la etiqueta del paquete y lo envía al siguiente LSR, así hasta alcanzar el *edge* LSR de salida donde se extrae la etiqueta.

Por los motivos expuestos, para ofrecer Calidad de Servicio en MPLS se requiere un método que permita transferir la información de la CoS proporcionada en el

valor DSCP marcado en la cabecera IP del paquete, a las etiquetas MPLS que son las que se examinan en los LSRs.

En la RFC 3270 se describen dos mecanismos para hacer posible la transferencia de información de la CoS de la cabecera IP a la cabecera MPLS, que son los siguientes:

- E-LSP (*EXP-inferred-PHB Scheduling Class LSP*)
- L-LPS (*Label-only-inferred LSP*)

2.7.4.1 E-LSP (*EXP-inferred-PHB Scheduling Class LSP*) ^[31]

En un E-LSP los LSRs obtienen la información para el tratamiento de QoS (tanto la clase como la prioridad de descarte) de los paquetes, a partir de los bits del campo EXP de la cabecera MPLS, por lo que varias clases de tráfico pueden ser multiplexadas dentro de un mismo LSP (usando la misma etiqueta). Un LSP puede soportar hasta ocho clases de tráfico debido a que el campo EXP tiene 3 bits.

Los *edge* LSRs almacenan un mapa de correspondencias entre valores de DSCP a EXP mientras que los LSRs mantienen un mapa de correspondencias entre valores EXP a PHBs, estos mapas necesitan ser configurados en los nodos de la red. La etiqueta MPLS permite determinar el siguiente salto del paquete y el campo EXP, el PHB que se debe usar para el tratamiento del paquete durante su transmisión.^[13]

En la Figura 2.14 se puede observar el tratamiento que recibe un paquete al ingreso de un dominio MPLS, que utiliza el método E-LSP. Cuando un paquete marcado con un valor de DSCP llega al *edge* LSR de ingreso, éste busca en la cabecera IP del paquete el campo DS donde se encuentra el valor de DSCP; compara este valor en su mapa de correspondencias y asigna el valor de EXP, encola el paquete de acuerdo a este valor y lo envía al siguiente LSR. El LSR,

revisa la etiqueta del paquete en busca del campo EXP, examina en su mapa el PHB que corresponde al valor de EXP, encola el paquete y lo envía al siguiente LSR, este proceso se repite hasta que el paquete sale del dominio MPLS.

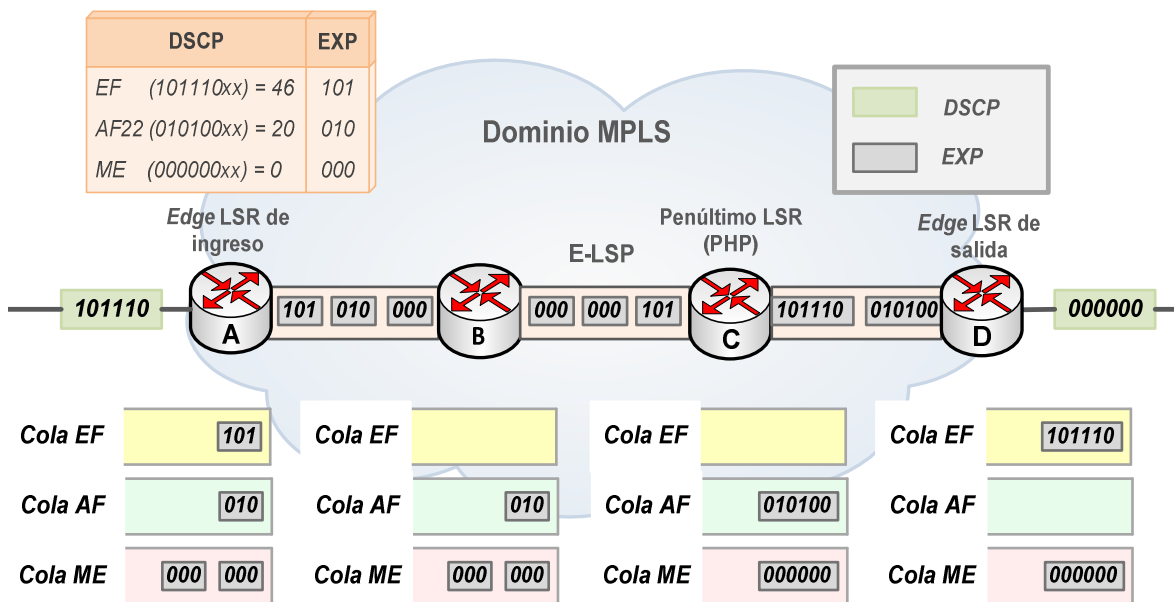


Figura 2.14: Tratamiento de un paquete dentro de un E-LSP. [13]

2.7.4.2 L-LSP (Label-only-inferred LSP) [31]

En un L-LSP los LSRs obtienen la información para el tratamiento de QoS de los paquetes, a partir de la etiqueta y del campo EXP de la cabecera MPLS. El valor de la etiqueta es definido de acuerdo a la clase a la que pertenece el paquete y se usa para determinar el respectivo PHB; por otra parte el campo EXP se usa para determinar la prioridad de descarte del paquete.

Se puede establecer un LSP diferente para cada combinación de FEC y clases. A manera de ejemplo, si hay paquetes que pertenecen a tres clases diferentes con un mismo destino, se establecerán tres LSPs diferentes para llegar a ese destino, ver Figura 2.15.

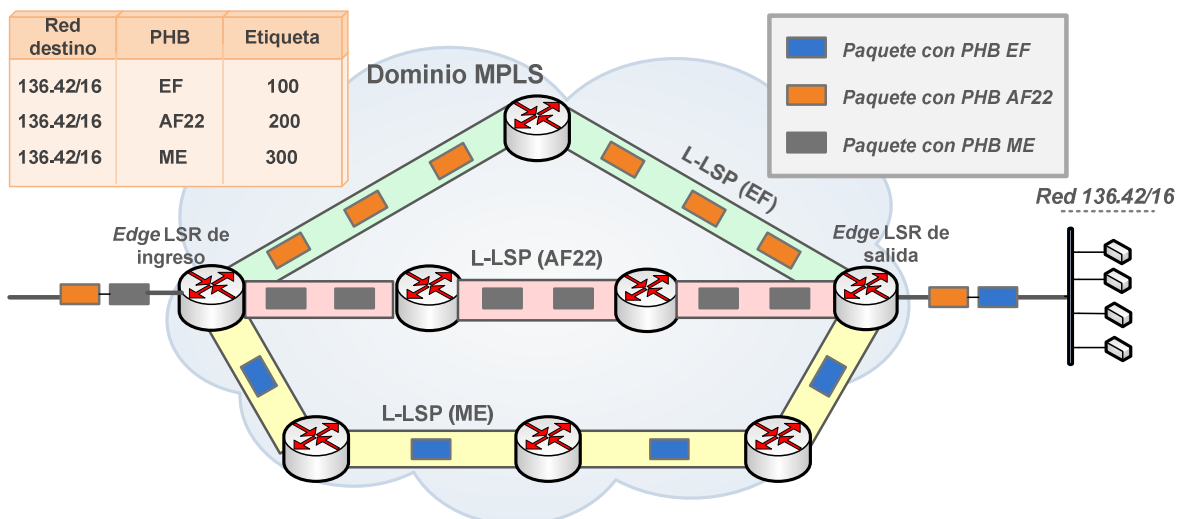


Figura 2.15: Tratamiento de un paquete dentro de un L-LSP. ^[13]

En la Figura 2.15 se puede observar que cuando un paquete llega al *edge* LSR de ingreso, éste busca en la cabecera IP el valor de DSCP; compara este valor en su mapa y asigna el valor de la etiqueta y del campo EXP que le corresponde, encola el paquete de acuerdo a la etiqueta colocada y lo envía por el PHB correspondiente. El LSR, revisa la etiqueta del paquete en busca del campo etiqueta, determina el siguiente salto en el LSP que le corresponde y lo envía al siguiente LSR, este proceso se repite hasta que el paquete sale del dominio MPLS.

2.7.4.3 Elección del método de Calidad de Servicio sobre MPLS

Debido a la necesidad de encontrar una técnica que permita que la información de los parámetros de calidad requeridos por un paquete sean transmitidos al encabezado MPLS (por ser el único examinado en los nodos de un dominio MPLS), se estudiaron los métodos E-LSP y L-LSP, de los cuales se escoge E-LSP como la técnica que admite que el campo EXP sea el que permita identificar la clase a la que pertenece cada paquete y por lo tanto el que brinde QoS en la red del ISP.

La elección de E-LSP se fundamenta en que el ISP no requiere un método escalable en Clases de Servicio, pues cuenta con cinco clases bien definidas que son suficientes para un manejo adecuado de los diferentes tipos tráfico y de las

necesidades de los clientes. Además con un número limitado de CoS (8 Clases de Servicio) se evitará que los equipos del núcleo tengan que manejar grandes cantidades de correspondencias entre DSCP y EXP o EXP y PHB, ayudando a que no disminuya el procesamiento en la conmutación de paquetes por tener que realizar nuevas configuraciones.

2.7.4.4 Mapa de correspondencias entre los valores DSCP y el campo EXP

En la sección 2.7.4.3 se escogió a E-LSP como el método más conveniente para ofrecer QoS en MPLS. E-LSP permite ofrecer un máximo de ocho Clases de Servicio, de las cuales para el presente diseño se han definido cinco: Premium, Oro, Plata, Bronce y Mejor Esfuerzo.

El funcionamiento de E-LSP consiste en transmitir la información de QoS del campo DSCP de la cabecera IP al campo EXP de la cabecera MPLS, con lo que se hace evidente la necesidad de establecer un mapa en el que se defina la correspondencia entre los valores de DSCP y el campo EXP, de tal forma que los LSRs tengan la información necesaria para determinar el PHB al que pertenece un paquete en base a su campo EXP.

En la Tabla 2.18 se indica la correspondencia entre los valores de DSCP previamente definidos para cada Clase de Servicio y los valores de EXP = 0 a EXP = 5 del campo EXP. Esta correspondencia se realizará en los *edge* LSR de ingreso del dominio MPLS.

CoS	DSCP	EXP
Premium	EF = 46	EXP 5
Oro	AF41 = 34	EXP 4
Plata	AF31 = 26	EXP 3
Bronce	AF21 = 18	EXP 2
Mejor Esfuerzo	ME = 0	EXP 0

Tabla 2.18: Mapa de correspondencias entre el campo DSCP y el campo EXP.

2.8 DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

Para realizar una buena selección de los equipos LSRs y *edge* LSRs que respectivamente trabajarán en la capa núcleo y distribución, se realiza una descripción de las especificaciones técnicas principales que deben cumplir los equipos para posteriormente realizar una comparación entre diferentes marcas y realizar la elección de los equipos más adecuados para el *Backbone* MPLS.

A continuación se exponen las características técnicas que deben cumplir los equipos de acuerdo a las funcionalidades que desempeñan en cada capa de la red del ISP.

2.8.1 REQUERIMIENTOS DE LOS EQUIPOS DEL NÚCLEO (LSRS)

Los principales requerimientos que deben cumplir los equipos del núcleo son:

- Se debe trabajar en el entorno MPLS (MPLS nativo)
- Soporte de IPv6 nativo
- Soporte de Calidad de Servicio
- Soporte de protocolos de enrutamiento (capa 3) como: IS-IS, OSPF, BGP
- Soporte de protocolos de señalización MPLS como: RSVP, LDP.
- Soporte de fibra óptica monomodo
- Soporte de alta disponibilidad
- Permitir altas velocidades de conmutación (10 [Gbps])
- Módulos *Hot Swappable*⁶⁵(sustitución en caliente)

⁶⁵ *Hot Swappable* (sustitución en caliente): Se refiere a la capacidad que poseen algunos componentes esenciales de hardware para ser reemplazados sin necesidad de detener o alterar la operación normal del equipo donde se alojan. Para que esto sea posible es necesario que tanto el componente, el equipo y su sistema operativo estén preparados para esta eventualidad.

- Equipos de alto rendimiento porque son los encargados de la conmutación de tráfico en el núcleo de la red, y porque deben soportar el tráfico proveniente de los *edge* LSRs que concentran el tráfico de los usuarios.

2.8.1.1 Comparación entre diferentes marcas de equipos para el núcleo.

En la Tabla 2.19 se realiza una comparación de varias características técnicas para los equipos LSRs del núcleo, proporcionadas por tres proveedores: CISCO, HUAWEI y ZTE.

MARCA	CISCO	HUAWEI	ZTE
MODELO	7604 ⁶⁶	CX600-8 ⁶⁷	ZXR10 M6000-3S ⁶⁸
INFORMACIÓN GENERAL			
Puertos	- SFP y 10/100/1000 - 10 Mbps a 10 Gbps	- 10GE - E3/CT3	- POS (10G, 2.5G, 622M, 155M) - Ethernet (100G, 40G, 10G, GE, FE) - E1/CE1
Altura del chasis	5 RU ⁶⁹ (22 cm)	20 RU (88,6 cm)	4 RU (17,5 cm)
Montable en rack	SI, 9 por rack estándar de 2.2 m	SI, 2 por rack estándar de 2.2 m	NP

⁶⁶ Ver especificaciones técnicas en el ANEXO 3.

⁶⁷ Ver especificaciones técnicas en el ANEXO 5.

⁶⁸ Ver especificaciones técnicas en el ANEXO 7.

⁶⁹ RU (*Rack Unit*, Unidad de Rack): Es una unidad de medida que se usa para describir la altura del equipamiento preparado para ser montado en un rack. Una unidad de rack equivale a 44.45 [mm].

MARCA	CISCO	HUAWEI	ZTE
Ranuras de expansión	4 (2 para supervisoras ⁷⁰ y 2 para servicio o 1 para supervisora y 3 para servicio)	12 (8 ranuras de servicio LPU, 4 supervisoras)	5 (3 tarjetas de servicio, 2 supervisoras)
Fuente de alimentación Interna	AC o DC	AC o DC	AC o DC
CARACTERÍSTICAS DE SISTEMA			
Forwarding Capacity	170 [Mpps]	400 [Mpps]	NP
Backplane Capacity o Velocidad de Backplane	320 [Gbps]	640 [Gbps]	480 [Gbps]
SISTEMA DE REDUNDANCIA Y ALTA DISPONIBILIDAD			
Supervisora⁷¹ Redundante	SI (1+1) ⁷²	SI	SI (1:1)
Fuente de alimentación redundante	SI (1+1)	SI (1+1)	SI (1+1)
RPS Support⁷³	SI	NO	NO

⁷⁰ Tarjeta Supervisor: Es la responsable de la gestión y mantenimiento completo del chasis. Como gestión de las operaciones de mantenimiento y la unidad de procesamiento de control, unidad de conmutación Ethernet, unidad de procesamiento de reloj.

⁷² 1+1: En este tipo de redundancia se tiene una tarjeta específicamente dedicada a proteger a otra.

⁷³ RPS Support: (*Redundant Power System*): Esta característica permite obtener redundancia, gracias a que cuando la alimentación principal se apaga los equipos no se reinician. Ayuda a garantizar el funcionamiento ininterrumpido y protección frente a fallas en dispositivos de suministro de energía al proporcionar conmutación cuando un error se produce.

MARCA	CISCO	HUAWEI	ZTE
HSRP⁷⁴ (Hot Standby Routing Protocol)	SI	NO	NO
NSF⁷⁵	SI	NO	NO
Soporte de módulos Swappable de Hot	SI	SI	SI
PROTOCOLOS DE CAPA 2			
Soporte VTP⁷⁶ (VLAN Trunk Protocol)	SI	NO	NO
Soporte 802.1Q	SI	SI	SI
PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO			
OSPF	SI	SI	SI
IS-IS	SI	SI	SI
BGPv4	SI	BGP	SI
ADMINISTRACIÓN Y MANTENIMIENTO			
Soporte SNMP⁷⁷	- SNMPv1 - SNMPv2 - SNMPv3	- SNMPv1 - SNMPv2c - SNMPv3	- SNMPv1 - SNMPv2c - SNMPv3

⁷⁴ HSRP (*Hot Standby Routing Protocol*): Este protocolo evita la existencia de puntos de fallo únicos en la red mediante técnicas de redundancia y comprobación del estado de los routers.

⁷⁵ NSF (*NonStop Forwarding*): Se refiere a la capacidad de un router para comenzar inmediatamente con el reenvío de paquetes después de una falla en el procesador activo.

⁷⁶ VTP (*VLAN Trunk Protocol*): Es un protocolo usado para configurar y administrar VLANs en equipos Cisco.

⁷⁷ SNMP (*Simple Network Management Protocol*, Protocolo Simple de Administración de Red): Es un protocolo de la capa de aplicación 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, y planear su crecimiento.

MARCA	CISCO	HUAWEI	ZTE
Acceso vía Web	SI	NO	SI
Soporte CLI	SI	SI	SI
Telnet	SI	SI	SI
FUNCIONALIDADES ESPECÍFICAS			
MPLS nativo⁷⁸	SI	NO	SI
Señalización MPLS	- LDP - TDP - RSVP-TE	- LDP - RSVP	- LDP - RSVP-TE
MPLS VPNs	SI	SI	SI
Protocolo de direccionamiento	IPv4 e IPv6 nativo	IPv4 e IPv6	IPv4 e IPv6
Calidad de Servicio	Si con DiffServ	SI con DiffServ	SI
Nota:			
- NP: El fabricante No Provee esta información			

Tabla 2.19: Comparación de equipos LSRs de diferentes fabricantes.

Entre las características que son imprescindibles en los equipos que formarán parte del núcleo de la red se encuentran: 1) soporte de MPLS nativo; 2) manejo de calidad de servicio con *DiffServ*; 3) señalización LDP; 4) redundancia de la tarjeta supervisora; 5) redundancia de la fuente de alimentación; y, 6) soporte de puertos de fibra óptica de 1 [Gbps] y de 10 [Gbps]. Como se puede observar en la Tabla 2.19 los modelos de la marca CISCO y ZTE cumplen con todos los requisitos enumerados anteriormente y HUAWEI cumple con todas las características excepto el soporte de MPLS nativo.

El modelo de la marca HUAWEI aparte de no contar con MPLS nativo, presenta el inconveniente de ocupar un amplio espacio físico de un *rack*, de tal forma que

⁷⁸ MPLS nativo: Se refiere a que un equipo soporta MPLS tanto en *hardware* como en *software*, garantizando que fue diseñado y construido para cumplir con esas funcionalidades desde su inicio.

solo se pueden montar dos equipos CX600-8 en un rack estándar. Sin embargo, este modelo presenta como ventaja que el *forwarding capacity* y el *backplane capacity* son superiores a los de los demás modelos.

Los modelos de las marcas HUAWEI y CISCO no cuentan con soporte de RPS, HSRP, NSF ni VTP, que si bien no son características fundamentales para la selección, proporcionan un valor agregado al equipo.

El modelo de la marca CISCO por otra parte, cumple con todas las características detalladas en la Tabla 2.19, tanto las fundamentales como las que le proveen un valor agregado al equipo, asimismo, el espacio físico que ocupa este modelo se ajusta razonablemente al espacio con el que cuenta el ISP (se pueden ubicar hasta nueve de estos equipos en un *rack* estándar). Adicionalmente, los equipos fabricados por CISCO gozan de una reconocida calidad a nivel mundial, tienen presencia en el país con proveedores locales y proveen un servicio conocido como *Smartnet*, que básicamente es un tipo de seguro en el que el proveedor del equipo se compromete a brindar un determinado tipo de soporte, que por ejemplo puede ser “**24 x 7 x 2**”, que implica que el soporte se brindará las **24** horas del día, los **7** días de la semana y que los equipos con fallas serán reemplazados por otro igual en un lapso de **2** horas.

Un factor importante para seleccionar el equipamiento del núcleo de la red es que los equipos que actualmente posee el ISP son de la marca CISCO, por lo que para efectos de interoperabilidad entre equipos se considera conveniente trabajar en un entorno de equipos de una misma marca, para evitar problemas de configuración, inconvenientes de protocolos y levantamiento de servicios.

Por los motivos expuestos se selecciona el modelo 7604 de CISCO como el equipo más adecuado para formar parte del núcleo de la red óptica MPLS del ISP.

2.8.2 REQUERIMIENTOS DE LOS EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN (EDGE LSRS)

Los principales requerimientos que deben cumplir los equipos de distribución son:

- Se debe trabajar en el entorno MPLS (MPLS nativo)
- Soporte de IPv6 nativo
- Soporte de Calidad de Servicio
- Soporte de protocolos de enrutamiento (capa 3) como: IS-IS, OSPF, BGP.
- Soporte de fibra óptica monomodo
- Manejo de VRFs (*Virtual Routing and Forwarding*)
- Permitir velocidades de conmutación mayores a 1 [Gbps]
- Soporte de Interfaces Gigabit Ethernet
- Estructura confiable
- Soporte para ofrecer servicio de VPNs MPLS

2.8.2.1 Comparación entre diferentes marcas de equipos para la distribución

En la Tabla 2.20 se realiza una comparación de varias características técnicas para los equipos *Edge LSRs* de distribución, proporcionadas por tres proveedores: CISCO, HUAWEI y ZTE.

MARCA	CISCO	HUAWEI	ZTE
MODELO	ME-6524GS-8S ⁷⁹	CX300 A ⁸⁰	ZXR10 5928E-FI ⁸¹
INFORMACIÓN GENERAL			
Puertos	<ul style="list-style-type: none"> - Uplinks (8 interfaces Gigabit Ethernet SFP) - Downlink (24 interfaces Gigabit Ethernet SFP) 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 GE (SFP/RJ45) - 2 FE (SFP/RJ45) - 4 GE (SFP/RJ45) - 2 GE (ENHANCED SFP) 	<ul style="list-style-type: none"> - 24 GE ópticas - 4 GE/10GE ópticas de subida.
Altura del chasis	1.5 RU (6.7 cm)	6 RU (26.7 cm)	1 RU (4.4 cm)

⁷⁹ Ver especificaciones técnicas en el ANEXO 4.

⁸⁰ Ver especificaciones técnicas en el ANEXO 6.

⁸¹ Ver especificaciones técnicas en el ANEXO 8.

MARCA	CISCO	HUAWEI	ZTE
<i>Montable en rack</i>	SI	SI	SI
<i>Fuente de alimentación Interna</i>	AC y DC	AC y DC	AC y DC
CARACTERÍSTICAS DE SISTEMA			
<i>Forwarding Capacity</i>	Mayor a 15 [Mpps]	36 [Mbps]	13.98 [Mpps]
<i>Backplane Capacity, o Velocidad de Backplane</i>	32 [Gbps]	48 [Gbps]	128 [Gbps]
SISTEMA DE REDUNDANCIA			
<i>Supervisora Redundante</i>	NP	SI	NP
<i>Fuente de alimentación redundante</i>	SI	SI (1:1)	SI (1:1)
<i>HSRP (Hot Standby Routing Protocol)</i>	SI	NO	NO
<i>Soporte de módulos Hot Swappable</i>	SI	SI	SI
PROTOCOLOS DE CAPA 2			
<i>Soporte VTP (VLAN Trunk Protocol)</i>	SI	NP	NP
<i>Soporte 802.1Q</i>	SI	NP	NP
PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO			
<i>OSPF</i>	SI	SI	SI
<i>IS-IS</i>	SI	SI	SI
<i>BGPv4</i>	SI	SI	BGP

MARCA	CISCO	HUAWEI	ZTE
ADMINISTRACIÓN Y MANTENIMIENTO			
Soporte SNMP	- SNMPv1 - SNMPv2 - SNMPv3	- SNMPv1 - SNMPv2 - SNMPv3	- SNMP Estándar
Acceso vía Web	SI	SI	SI
Soporte CLI	SI	SI	SI
Telnet	SI	SI	SI
FUNCIONALIDADES ESPECÍFICAS			
MPLS nativo	SI	MPLS	SI
Señalización MPLS	- RSVP - LDP - TDP	NP	NP
Manejo de MPLS VPNs	SI	NO	SI
Protocolo de direccionamiento	IPv4 e IPv6 nativo	NP	IPv4 e IPv6
Calidad de Servicio	SI	SI	SI
Manejo de VRFs	SI	NP	NP
Nota:			
- NP: El fabricante No Provee esta información			

Tabla 2.20: Comparación de equipos edge LSRs de diferentes fabricantes.

Las características fundamentales en los equipos que formarán parte de la capa distribución, son: 1) soporte de MPLS nativo; 2) manejo de calidad de servicio con *DiffServ*; 3) manejo de VRFs; 4) señalización LDP; 5) redundancia de la tarjeta supervisora; 6) redundancia de la fuente de alimentación; y, 7) soporte de puertos de fibra óptica de 1 [Gbps].

El modelo de la marca HUAWEI no maneja MPLS nativo y presenta el inconveniente de ocupar un espacio físico relativamente grande de un *rack*, comparado con los equipos de las demás marcas (aproximadamente 4 veces más). Asimismo, no maneja VPNs MPLS y no provee información sobre soporte de VRFs ni de la señalización LDP.

El modelo de la marca ZTE no provee información sobre soporte de VRFs, señalización LDP ni redundancia de la tarjeta supervisora.

El modelo de la marca CISCO por otra parte, cumple con todas las características detalladas en la Tabla 2.19, pero no provee información sobre la existencia de tarjeta supervisora redundante; asimismo, el espacio físico que ocupa este modelo es de 6.7 cm de alto, por lo que se puede ubicar en espacios físicos pequeños, como los que dispone el ISP. De igual manera que lo descrito en el equipamiento del núcleo, goza de reconocida calidad a nivel mundial, tiene presencia en el país con proveedores locales y provee el servicio *Smartnet*.

Para seleccionar el equipamiento de la distribución de la red, se considera que los equipos que actualmente posee el ISP son de la marca CISCO, por lo que para que no existan problemas de interoperabilidad es conveniente trabajar en un entorno de equipos de la misma marca.

Por los motivos expuestos el modelo seleccionado para formar parte de la capa distribución de la red óptica MPLS del ISP es el ME-6524GS-8S de la marca CISCO.

2.9 PERFIL DE LA RUTA DE FIBRA ÓPTICA

2.9.1 SELECCIÓN DE LA RUTA DE FIBRA ÓPTICA

Para seleccionar las rutas de fibra óptica es necesario considerar las disposiciones Municipales referentes a la instalación de fibra óptica dentro del Distrito Metropolitano de Quito, para lo cual se analizó la Ordenanza Municipal No. 0022, expedida el 25 de enero de 2011 por el Concejo Metropolitano de Quito, la cual establece: ***EL RÉGIMEN ADMINISTRATIVO DE OTORGAMIENTO Y APLICACIÓN DE LA LICENCIA METROPOLITANA URBANÍSTICA DE UTILIZACIÓN O APROVECHAMIENTO DEL ESPACIO PÚBLICO PARA LA INSTALACIÓN DE REDES DE SERVICIO – LMU 40.***

La LMU 40 es una licencia mediante la cual el Municipio de Quito autoriza a su titular la utilización o el aprovechamiento del espacio público y ductería para la instalación de Redes de Servicio en el Distrito Metropolitano de Quito.^[11] La autoridad competente del Municipio de Quito para el otorgamiento de esta licencia es la Secretaria de Territorio, Hábitat y Vivienda.^[12] En el ANEXO 2 se describen el procedimiento y los requisitos para conseguir esta licencia.

En la Ordenanza No.0022 se definen cinco zonas para la desocupación progresiva del espacio público aéreo y reordenamiento de Redes de Servicio en el espacio público aéreo, que son:

3. ZONAS A, Alta prioridad de desocupación del espacio aéreo

Son las zonas en las que resulta de alta prioridad trasladar las Redes de Servicio de manera inmediata del espacio público aéreo al espacio público del subsuelo.

4. ZONAS B, Alta prioridad de reordenamiento del espacio público aéreo

Son las zonas en las que resulta de alta prioridad el reordenamiento de las Redes de Servicio instaladas en el espacio público aéreo que, por razones técnicas, económicas o de otra índole, no pueden ser trasladadas al subsuelo en el corto y/o mediano plazo.

5. ZONAS C, Alta Prioridad Patrimonial y Simbólica

Son los corredores y otras áreas urbanas que están siendo intervenidos, o van a ser intervenidos de forma inmediata y a corto plazo por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y en los que los Prestadores de Servicios serán llamados a proceder de inmediato con los nuevos tendidos subterráneos o el ordenamiento de las Redes de Servicio, según sea el caso.

6. ZONAS D, Grandes Proyectos Urbanos

Son las zonas urbanas señaladas por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito que serán sujetas a intervenciones integrales de carácter urbano y que requerirán de procesos de intervención público-privada concertados, con utilización o no de Acuerdos de Intervención.

7. ZONAS E, Para Intervenciones Especiales

Son las zonas en las que se desarrollan aquellos proyectos de instalaciones subterráneas que siendo solicitados por el sector privado han recibido el visto bueno del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito para proceder. Se considerarán también en esta categoría las nuevas intervenciones no previstas en el plan de zonificación.

En la Ordenanza No. 0022 se establece que en las zonas A, C, D y E está prohibida la instalación de cables en el espacio público aéreo, de tal forma que las nuevas instalaciones de Redes de Servicio en estas zonas deberán realizarse en el espacio público subterráneo. En caso de nuevas instalaciones en las zonas B, podrán realizarse en espacio público aéreo siempre y cuando se cumpla con los planes de reordenamiento llevados a cabo por la Municipalidad del Distrito Metropolitano de Quito y la Secretaria de Territorio, Hábitat y Vivienda.

En base a estas cinco zonas claramente definidas se debe considerar el método de instalación más conveniente para el tendido de fibra óptica y que a su vez cumpla con las disposiciones establecidas por la Municipalidad de Quito.

Para la selección de la ruta se debe considerar que el tendido de fibra subterráneo implica costos de instalación elevados y requiere permisos municipales para la realización de la obra civil dentro de la zona urbana. Por otra parte el tendido aéreo aprovecha la infraestructura existente de los postes de energía eléctrica, generalmente propiedad de la Empresa Eléctrica, los cuales para ser utilizados requieren de un arrendamiento conforme a los requisitos y permisos establecidos en el ANEXO 2, además de resultar un método más económico. Por estos motivos el tendido aéreo es la alternativa más adecuada para la instalación de fibra óptica en el presente diseño, pero en las zonas en las que no sea posible el tendido aéreo se deberá considerar el tendido subterráneo como única opción.

2.9.1.1 Topología Física

Los nodos de distribución se conectarán con los nodos del Núcleo mediante fibra óptica, como se indica en la Figura 2.16, se puede observar que existe un tendido de fibra óptica entre los nodos que formarán parte de la Capa Núcleo, por lo que se aprovechará dicho tendido con el que ya cuenta el ISP, además se consideran cuatro nuevos tramos de fibra óptica para los cuales se deberán determinar las rutas de fibra óptica a seguir.

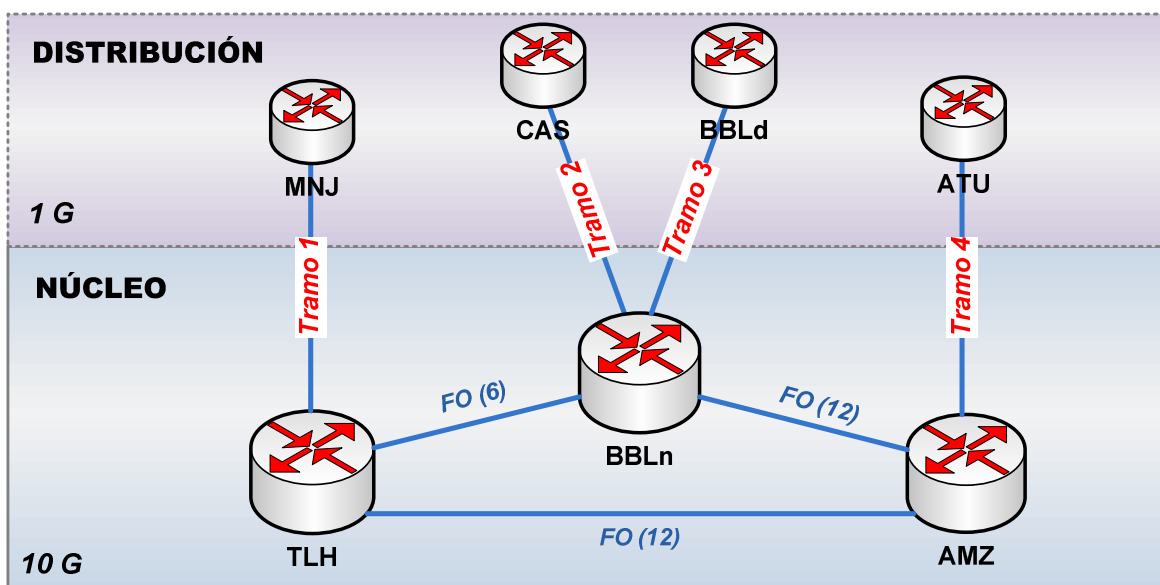


Figura 2.16: Topología Física de los enlaces de Fibra Óptica.

En la Tabla 2.21 se indica la ubicación geográfica tanto de los nodos del núcleo como los de distribución, esta información permitirá determinar la distancia existente entre dichos nodos y consecuentemente establecer la cantidad de fibra óptica necesaria para conectarlos conforme a lo señalado en la Figura 2.16.

Nodo	Ubicación Geográfica		Dirección
	Latitud	Longitud	
BBLn	0°10'33.22"S	78°28'57.68"O	Av. Naciones Unidas E6 -99 entre Shyris y Japón
AMZ	0°10'23.11"S	78°29'6.58"O	Av. Amazonas y Villalengua esquina.
TLH	0°11'56.98"S	78°29'19.64"O	Pinta y Rábida esq.
ATU	0°7'47.98"S	78°30'40.13"O	Atucucho OE 14-143 entre la calle I y calle 25
CAS	0°10'57.20"S	78°30'46.20"O	Pasaje Alonso Pena OE 868 y Gualberto Arcos
MNJ	0°12'34.78"S	78°27'59.90"O	San Fco. de Miravalle calle principal s/n
BBLd	0°10'33.22"S	78°28'57.68"O	Av. Naciones Unidas E6 -99 entre Shyris y Japón

Tabla 2.21: Ubicación Geográfica de los Nodos del Backbone MPLS.

En la Figura 2.17 se observan los trazados propuestos de las rutas de fibra óptica y el tendido ya existente dentro del Distrito Metropolitano de Quito, en los que se evitaron, dentro de lo posible, las zonas A, C, D y E porque no tienen permitido el tendido aéreo y ésta es la alternativa que se considera utilizar como método de instalación principal por ser la opción más rápida y económica. Para los tramos que obligatoriamente deben pasar por las zonas A, C, D y E se utilizará el tendido subterráneo por ser la única opción permitida en estas zonas.

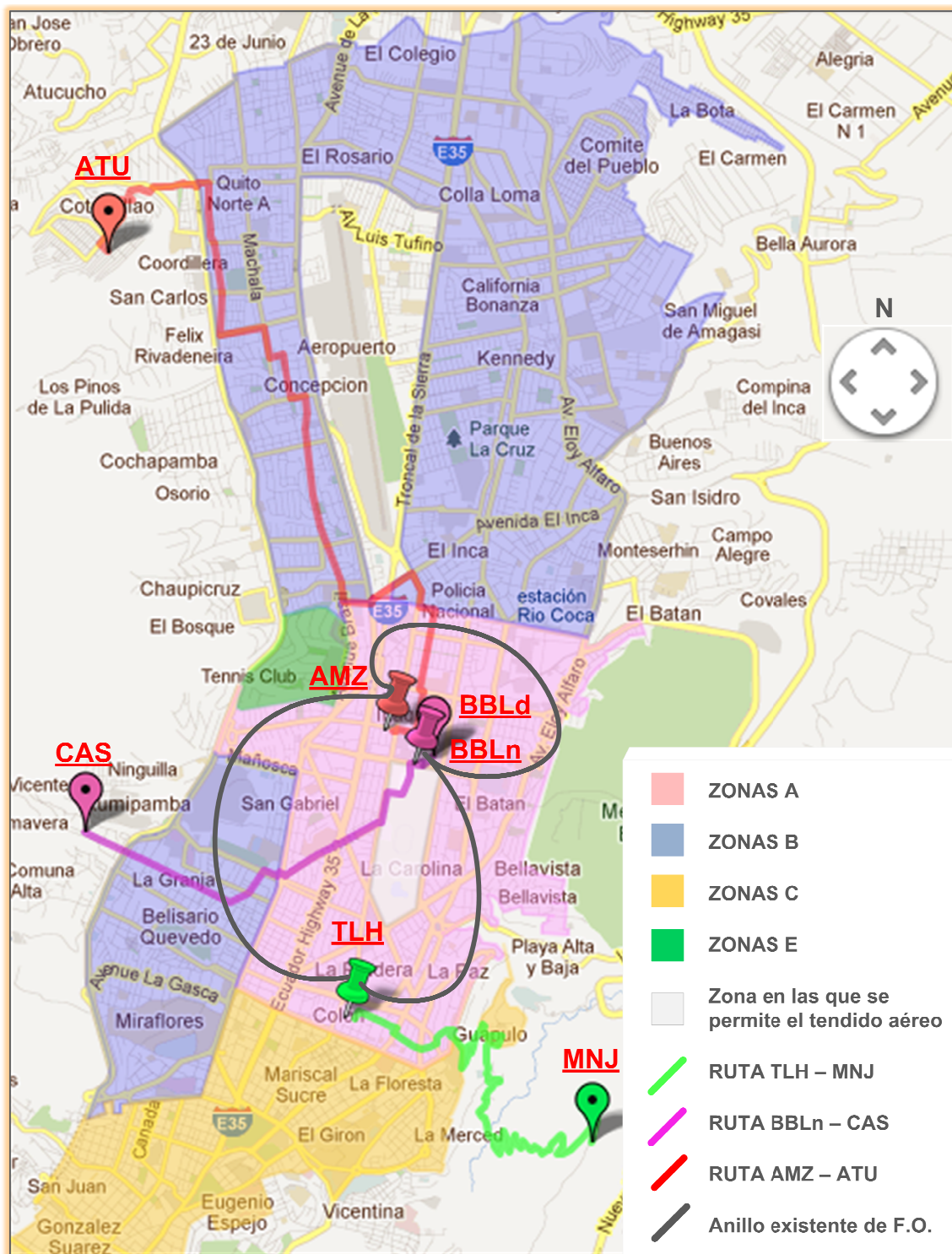


Figura 2.17: Trazado de las rutas de Fibra Óptica.⁸²

A continuación se indica el recorrido por el que se realizará el tendido de fibra óptica señalando las distancias respectivas para cada tipo de tendido. Se

⁸² Fuente: Anexo 2 de la LMU 40.

considera una reserva de fibra óptica del 10% para posibles cruces, acometidas en edificios y para reserva en caso de rupturas.⁸³

1. Tramo 1: TLH – MJN

Este tramo tiene una longitud total de 7487 [m], de los que 2645 [m] corresponden a tendido subterráneo (zonas A y zonas C) y 4842 [m] a tendido aéreo (zonas B). Para el tendido aéreo se utilizarán aproximadamente 59 postes, ver Tabla 2.22.

Calles y Avenidas	Distancia (m)	Zona	Tipo de Instalación Permitida		No. de Postes
			Subterránea	Aérea	
La Rábida	95,5	A	√	–	NA
La Niña	434,8	A	√	–	NA
Av. 6 de Diciembre	48,9	A	√	–	NA
San Ignacio	702,6	A	√	–	NA
Av. Gonzales Suarez	86,0	A	√	–	NA
Rafael León Larrea	388,8	C	√	–	NA
Rafael León Larrea	524,9	B	–	√	7
Rafael León Larrea	647,8	C	√	–	NA
De los Conquistadores	3876,3	B	–	√	52
TOTAL	6805,6	NA	2404,4	4401,2	59
TOTAL (incluido 10%)	7487	NA	2645	4842	NA
Nota					
- NA: No Aplica					

Tabla 2.22: Ruta de Fibra Óptica del Tramo 1.

⁸³ Bucles de cable adicional (reservas): Por lo menos el 5% del tendido total del cable deberá enrollarse a lo largo de la ruta.

<http://www.etp.com.co/joo/servicio/media/Normasfibra.pdf>

2. Tramo 2: BBLn - CAS

Este tramo tiene una longitud total de 4817 [m], de los cuales 1834 [m] corresponden a tendido subterráneo (zonas A) y 2983 [m] corresponden a tendido aéreo (zonas B). Para el tendido aéreo se utilizará un aproximado de 37 postes, ver Tabla 2.23.

Calles y Avenidas	Distancia (m)	Zona	Tipo de Instalación Permitida		No. de Postes
			Subterránea	Aérea	
Av. Naciones Unidas	111,3	A	√	–	NA
Japón	497,2	B	–	√	7
Av. Río Amazonas	353,8	A	√	–	NA
Atahualpa	438,4	A	√	–	NA
Cruce 10 de Agosto	36,3	A	√	–	NA
Av. 10 de Agosto	25,5	A	√	–	NA
Atahualpa	585,7	A	√	–	NA
Redondel Mariana de Jesús	116,4	A	√	–	NA
Mariana de Jesús	139,4	B	–	√	2
La Isla	483,9	B	–	√	6
Cruce Ob. Días de la Madrid	24,6	B	–	√	1
Ob. Días de la Madrid	1566,7	B	–	√	21
TOTAL	4379,2	NA	1667,4	2711,8	37
TOTAL (incluido 10%)	4817	NA	1834	2983	NA
<u>Nota:</u>					
- NA: No Aplica					

Tabla 2.23: Ruta de Fibra Óptica del Tramo 2.

3. Tramo 3: BBLn - BBLd

Al encontrarse los dos nodos en la misma ubicación física serán conectados directamente sin necesidad de realizar tendido de fibra óptica.

4. Tramo 4: AMZ - ATU

Este tramo tiene una longitud total de 10607 [m], de los cuales 2397 [m] corresponden a tendido subterráneo (zonas A) y 8210 [m] corresponden a tendido aéreo (zonas B). Para el tendido aéreo se utilizará un aproximado de 107 postes, ver Tabla 2.24.

Calles y Avenidas	Distancia (m)	Zona	Tipo de Instalación Permitida		No. de Postes
			Subterránea	Aérea	
Juan José Villalengua	221,2	A	√	–	NA
Japón	418,6	A	√	–	NA
Gaspar de Villarroel	39,6	A	√	–	NA
Isla San Cristóbal	825,2	A	√	–	NA
Río Coca	155,5	A	√	–	NA
Av. Río Amazonas	374,6	B	–	√	5
Av. El Inca	222,9	B	–	√	3
Av. El Inca	245,7	A	√	–	NA
Av. De la Prensa	27,7	A	√	–	NA
Juan Galarza	245,3	A	√	–	NA
Av. Brasil	1704,9	B	–	√	23

Calles y Avenidas	Distancia (m)	Zona	Tipo de Instalación Permitida		No. de Postes
			Subterránea	Aérea	
R. Cuervo	186,6	B	–	√	3
La Florida	158,3	B	–	√	7
Manuel Serrano	426,6	B	–	√	6
Jorge Piedra	149,5	B	–	√	2
Machala	332,0	B	–	√	5
Av. Emperador Carlos V	426,4	B	–	√	6
Pedro de Alvarado	1562,8	B	–	√	21
Flavio Alfaro	517,5	B	–	√	7
Av. Occidental	99,2	B	–	√	1
Calle sin nombre	65,3	B	–	√	1
26 de Agosto	199,0	B	–	√	3
Calle sin nombre	1038,4	B	–	√	14
TOTAL	9642,8	NA	2178,8	7464	107
TOTAL (incluido 10%)	10607	NA	2397	8210	NA
<u>Nota:</u>					
- NA: No Aplica					

Tabla 2.24: Ruta de Fibra Óptica del Tramo 4.

Para cada enlace entre nodos, sea entre nodos del núcleo o entre nodos del núcleo con nodos de distribución, se utilizará un hilo de fibra para la transmisión y otro hilo para la recepción. Debido a que los costos de instalación de la fibra son más altos que el cable de fibra en sí mismo, es conveniente instalar un cable con

un número mayor a dos hilos de fibra y de esta forma se tendrán reservas de fibra para futuras expansiones.

En la Tabla 2.25 se presenta un resumen de la distancia entre nodos y del número de hilos de fibra óptica necesarios para cada enlace.

Tramo	Tipo	Nodo 1	Nodo 2	Hilos Requeridos	Longitud Total [m]
-	Núcleo – Núcleo	BBLn	AMZ	2	-
-	Núcleo – Núcleo	BBLn	TLH	2	-
-	Núcleo – Núcleo	TLH	AMZ	2	-
Tramo 1	Núcleo – Distribución	TLH	MNJ	2	7487
Tramo 2	Núcleo – Distribución	BBLn	CAS	2	4817
Tramo 3	Núcleo – Distribución	BBLn	BBLd	2	-
Tramo 4	Núcleo – Distribución	AMZ	ATU	2	10607

Tabla 2.25: Distancias de los enlaces de Fibra Óptica.

2.9.2 SELECCIÓN DE LA FIBRA

Para la selección del tipo de fibra óptica que se utilizará en el diseño del *Backbone* MPLS, se deben considerar la capacidad de tráfico que soportará cada uno de los enlaces para un periodo de cinco años y las distancias existentes entre los nodos del núcleo y distribución.

De acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 2.9 y en la Tabla 2.25, los valores de tráfico proyectados para los próximos 5 años varían entre 850 [Mbps] y 1,3 [Gbps], y las longitudes del enlace varían entre 4,8 [Km] y 10,7 [Km] respectivamente, por lo que la fibra óptica seleccionada deberá soportar estas capacidades de tráfico en las distancias referidas, con atenuación y dispersión bajas.

Básicamente los tipos de fibra óptica son: fibra óptica multimodo (de índice escalonado y de índice gradual) y fibra óptica monomodo. Las fibras ópticas multimodo de índice escalonado y gradual, tienen una capacidad de transmisión no mayor a 1 [Gbps] para distancias de hasta 440 [m] y 550 [m] respectivamente, motivo por el que están descartadas para el presente diseño. ^{[23] [24]}

Por otra parte la fibra óptica monomodo brinda una capacidad de transmisión de 10 [Gbps] para distancias de hasta 10 [Km] trabajando en la ventana de 1310 [nm] y de 10 [Gbps] para distancias de 40 [Km] trabajando en la ventana de 1550 [nm]. En el presente diseño se desea cubrir distancias ligeramente superiores a 10 [Km] por lo que se escoge como medio de transmisión la fibra óptica monomodo por adaptarse mejor a las necesidades del diseño. ^{[23] [24]}

En el capítulo I se analizaron diferentes normas de la ITU-T relacionadas a los diferentes tipos de fibras ópticas monomodo, en la Tabla 2.26 se puede observar un resumen de sus características principales.

Características	ITU-T G.652	ITU-T G.653	ITU-T G.654	ITU-T G.655
Diámetro del campo modal ⁸⁴	8,6 - 9,5 [μm]	7,8 – 8,5 [μm]	9,5 – 10, 5 [μm]	8 – 11 [μm]
<i>Tolerancia</i>	± 0,6 [μm]	± 0,8 [μm]	± 0,7 [μm]	± 0,7 [μm]
Diámetro del manto	125 [μm]	125 [μm]	125 [μm]	125 [μm]
<i>Tolerancia</i>	± 1 [μm]	± 1 [μm]	± 1 [μm]	± 1 [μm]
Longitud de Onda de Corte ⁸⁵	1260 [nm]	1270 [nm]	1530 [nm]	1260 [nm]
Longitud de Onda de Dispersión Nula	1310 [nm]	1550 [nm]	1550 [nm]	1550 [nm]
Zona de Dispersión no Nula	NA	NA	NA	1540 – 1560 [nm]

⁸⁴ Diámetro del campo modal: Es la extensión transversal del campo modal fundamental que por lo general es mayor que el diámetro del núcleo de una fibra y más bien se extiende al área de recubrimiento (*cladding*).

⁸⁵ Longitud de Onda de Corte: corresponde a la longitud de onda más corta para la cual la fibra transmite un solo modo, es decir, la longitud de onda más pequeña para la que se comporta como fibra óptica monomodo.

Características		ITU-T G.652	ITU-T G.653	ITU-T G.654	ITU-T G.655
Máximo Coeficiente de Dispersión Cromática [ps/(nm · Km)]	1310 [nm]	3,5	–	–	–
	1550 [nm]	17	3,5	20	4,6
Coeficiente de Atenuación	1310 [nm]	0,4 - 0,5 [dB/Km]	≥ 1 [dB/Km]	–	–
	1550 [nm]	0,35 - 0,4 [dB/Km]	0,35 [dB/Km]	0,22 [dB/Km]	0,35 [dB/Km]
Max PMD _Q	[ps/√Km]	0,2 y 0,5	0,2 y 0,5	0,2 y 0,5	0,2 y 0,5
Distancia que se puede alcanzar.	1310 [nm]	10 [Km] a 1 [Gbps]	–	–	300 [Km]
	1550 [nm]	40 [Km] a 10 [Gbps]	> 400 [Km] a 10 [Gbps]		
Nota:					
- NA: No Aplica					

Tabla 2.26: Comparación entre los diferentes tipos de fibra óptica. ^{[8] [15] [16] [17] [18]}

En la Tabla 2.26 se puede observar que la fibra óptica normalizada en la recomendación ITU-T G.652, cumple satisfactoriamente con los requerimientos del presente diseño debido a que cubre distancias de hasta 40 [Km] con una capacidad de transmisión de 10 [Gbps] trabajando en tercera ventana (1550 [nm]), además de ser económicamente la más adecuada, por lo que se selecciona la fibra normalizada ITU-T G.652D, debido a que al ser una fibra LWP (*Low Water Peak*) no presenta el pico de atenuación por la presencia de OH⁻, lo que le otorga mayor ancho de banda para operación.^[37]

En la Tabla 2.27 se realiza una comparación entre tres fabricantes tomando como referencia los valores de la norma de fibra óptica de la ITU-T G.652D.

Características de la Fibra Óptica		ITU-T G.652D	Corning	OFS (Furukawa Company)	HELKAMA
Diámetro del campo modal		8,6 - 9,5 [μm]	NP	9,2 [μm]	9,3 [μm]
Tolerancia		$\pm 0,6$ [μm]		$\pm 0,4$ [μm]	$\pm 0,5$ [μm]
Diámetro del manto		125 [μm]	125 [μm]	125 [μm]	125 [μm]
Tolerancia		± 1 [μm]	± 1 [μm]	$\pm 0,7$ [μm]	± 2 [μm]
Longitud de Onda de Corte		1260 [ηm]	1260 [ηm]	≤ 1260 [ηm]	≤ 1260 [ηm]
Longitud de Onda de Dispersión Nula		1310 [ηm]	1310 [ηm]	1302 – 1322 [ηm]	1300 – 1324 [ηm]
Máximo Coeficiente de Dispersión Cromática	1310 [ηm]	3,5	NP	NP	NP
[$\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{Km})$]	1550 [ηm]	17	17	16	≤ 18
Coeficiente de Atenuación	1310 [ηm]	0,4 [dB/Km]	0,4	0,32 – 0,34	$\leq 0,4$
	1550 [ηm]	0,3 [dB/Km]	0,3 [dB/Km]	0,19 □ 0,21 [dB/Km]	$\leq 0,25$ [dB/Km]
Max PMD _Q	[$\text{ps}/\sqrt{\text{Km}}$]	0,2	0,2	0,1	$\leq 0,5$
Distancia que se puede alcanzar.	1310 [ηm]	10 [Km] a 1 [Gbps]	5 [Km] a 1 [Gbps]	NP	NP
	1550 [ηm]	40 [Km] a 10 [Gbps]	40 [Km] a 10 [Gbps]		
Nota:					
- NP: El fabricante No Provee ésta información					

Tabla 2.27: Comparación de fibra óptica ITU G.652D entre tres fabricantes.

Luego de realizar la comparación entre las características de la norma ITU-T G.652D y la de tres fabricantes de fibra óptica, ver Tabla 2.27, se selecciona la

fibra de la marca Corning, debido a que posee una atenuación baja y alcanza velocidades de transmisión de 10 [Gbps] hasta distancias de 40 [Km], requisitos necesarios para el presente diseño.

2.9.3 SELECCIÓN DEL METODO DE INSTALACIÓN Y DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

La utilización de un tipo de cable u otro, dependerá de las condiciones físicas a las que se encontrará expuesto el mismo una vez instalado, por lo que se debe considerar el tipo de cable según el método de instalación que se vaya a emplear para el tendido de fibra. Por motivos de costos y facilidad se determinó como método principal el tendido de fibra aéreo, en los lugares donde éste no sea posible se utilizará el tendido subterráneo.

A continuación se describen los tipos de cables que se pueden utilizar de acuerdo al método empleado para la instalación de la fibra óptica.

2.9.3.1 Tendido aéreo

Para el tendido aéreo se analizan las opciones planteadas:

2.9.3.1.1 En el cable de guarda

Para realizar el tendido de fibra en el cable de guarda se utiliza el cable OPGW, este cable permite un doble propósito, el primero es servir como cable guía (guarda) para proteger de las descargas atmosféricas a las tres fases de las torres de alto voltaje y el otro es el de llevar la fibra óptica embutida por el centro del cable. Al presentar este doble propósito el costo del cable se incrementa y para su instalación se debe considerar la suspensión del servicio eléctrico, motivos por los que este tipo de tendido resulta irrealizable para el presente proyecto.

2.9.3.1.2 Con Cable Autosoportado

Para el tendido aéreo con cable autosoportado se pueden emplear los siguientes cables:

1. **ADSS (All Dielectric Self Supporting Cable):** Estos cables son especialmente concebidos para ser instalados en líneas de alta tensión, cuyo peso del cable es soportado solo por los elementos de refuerzo incluidos en él. Estos cables pueden instalarse en vanos de hasta 600 metros.
2. **FIGURA 8:** Este diseño de cable contiene el mensajero unido al núcleo óptico mediante la cubierta externa. El mensajero actúa como elemento de refuerzo y soporta el peso del cable. Este tipo de cable se usa en instalaciones aéreas con vanos cortos siendo una solución muy económica.

Se selecciona la instalación de fibra óptica con cable “Figura 8”, como la opción más viable para el tendido aéreo del presente diseño, debido a que la existencia del mensajero externo permite que la tensión ocasionada por el peso del cable no se concentre en los hilos de fibra, lo que le otorga al cable mayor resistencia mecánica, refuerzo y soporte. Adicionalmente los accesorios de instalación presentan un costo bajo, es de fácil instalación en postes de cemento o de madera mediante la fijación del soporte metálico directamente al poste.

En la Tabla 2.28, se realiza un análisis comparativo entre tres fabricantes de cables ópticos Figura 8.

Características del cable óptico FIG. 8	Corning ^[27]	OFS (Furukawa Company) ^[28]	HELKAMA ^[7]	
Diámetro Nominal Externo del Cable [mm]	10,5	12,7	11,8	
Peso Nominal del Cable [Kg/Km]	297	371	230	
Radio de Curvatura de Instalación [cm]	10,5	12,7	Durante instalación 24	Curvatura final 18

Características del cable óptico FIG. 8		Corning ^[27]	OFS (Furukawa Company) ^[28]	HELKAMA ^[7]
Material de la Cubierta Exterior		MDPE ⁸⁶	PE	MDPE
Material del Elemento Central		Dieléctrico	Dieléctrico	Fibra de Vidrio
Material del mensajero		Trenzado de Acero	Trenzado de Acero recubierto con ECCS ⁸⁷	Trenzado de Acero
Temperatura	<i>Almacenamiento</i>	-40°C a +70°C	-40°C a +70°C	NP
	<i>Instalación</i>	-30°C a +70°C	-30°C a +60°C	-15°C a +70°C
	<i>Operación</i>	-40°C a +70°C	-40°C a +70°C	-45°C a +70°C
Tipo de Estructura		Holgada	Holgada	Núcleo Ranurado
No. de Fibras		2 – 72	2 – 60	6 – 48
Vano Máximo ⁸⁸ [m]		241	> 150	80
Longitud del Carrete ⁸⁹ [m]		4000	4000	4000
Nota:				
- NP: El fabricante No Provee ésta información				

Tabla 2.28: Comparación del cable aéreo Figura 8 entre tres fabricantes.

⁸⁶ MDPE (*Medium-Density PolyEthylene*, Polietileno de Densidad Media): Se caracteriza por su buena resistencia al rasgado y al impacto, alta flexibilidad y por sus excelentes propiedades mecánicas aún en medios agresivos y temperaturas bajas.

⁸⁷ ECCS (*Electrolytically Chrome-Coated Steel*, Acero cromado electrolítico): El acero de base es recubierto electrolíticamente con cromo y óxido de cromo lo que genera un producto revestido con una excelente deformabilidad (capacidad de sufrir deformaciones sin llegar a romperse), adhesión, y resistencia a la corrosión. La electrólisis permite que se cree una película delgada (0,1 – 0,4 mm) de un metal sobre otro.

⁸⁸ Vano Máximo: Es la distancia máxima entre apoyos (postes o torres) que se va a tener en el enlace.

⁸⁹ Longitud del carrete: Se refiere a la longitud máxima de cable de fibra óptica que viene desde la fábrica enrollado en los tambores.

Después de analizar las características del cable de fibra óptica y de realizar la comparación entre los tres fabricantes, se determina que el cable con las mejores características mecánicas para la instalación aérea es el de la marca Corning, además de tener las características más adecuadas para la transmisión de datos.

2.9.3.2 Tendido subterráneo

2.9.3.2.1 Canalización por Zanjas

Este tipo de tendido resulta muy costoso y presenta grandes inconvenientes debido a que requiere que se levante la calzada para la instalación de los ductos con la consecuente afectación al tráfico, a los peatones y posibles daños a otros servicios existentes, por estos motivos este tipo de instalación es realizado principalmente por autoridades locales y por lo tanto no resulta viable para el presente proyecto.

2.9.3.2.2 Canalización por Microzanjas ^{[9] [14] [29]}

El microzanjado resulta un método relativamente económico comparado con la canalización por zanjas, ocasiona menores molestias al tráfico rodado y a los transeúntes debido a que ocupa un espacio reducido de la calle, se producen pocos escombros, y el riesgo de afectar a otros servicios es muy bajo, además la fibra óptica se encuentra a una profundidad en la que no se ve afectada por repavimentaciones de las calles.

Para realizar este método de instalación dentro del Distrito Metropolitano de Quito es necesario contar con la Licencia LMU-40, notificar a la Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda con los respectivos planos topográficos de las calles a intervenir, luego la Secretaria realizará una inspección y emitirá un informe técnico indicando si es factible o no realizar el microzanjado, en caso de que la respuesta sea positiva se deben conseguir los permisos correspondientes para la ruptura del asfalto con la EPMOP (Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas) y con la Administración Zonal Municipal a la que pertenezcan los sectores a intervenir.

Para este método de instalación se pueden emplear microductos y/o cable de fibra óptica *Headrow*, analizados en el capítulo anterior.

1. **Cable *Headrow***. Es un cable especialmente diseñado para ser depositado directamente sobre la microzanja sin la protección de ductos. Entre sus características se encuentran: alta resistencia al aplastamiento (hasta tres veces mayor que la de un cable de fibra óptica tradicional), protección anti-roedores, es completamente hermético por lo que brinda protección contra humedad a los hilos de fibra e involucra capas protectoras contra vibraciones.
2. **Microductos con fibra soplada^[3]**: Los microductos son colocados directamente en la microzanja para luego mediante técnicas de soplado pasar la fibra óptica dentro de éstos. Los microductos poseen características robustas para proteger a las fibras de la humedad, del aplastamiento del tráfico, de las vibraciones y de otras condiciones adversas que podrían afectar su funcionamiento.

Un microducto en general está constituido de la siguiente manera:

- Microtubos de polietileno⁹⁰ con baja fricción que permite el soplado de la fibra.
- Diseño angosto para reducir la dimensión del corte de la microzanja.
- Capa de aluminio alrededor de los microtubos que actúa como barrera contra el agua.
- Capa de polietileno negro de media densidad cubierta por una capa de polietileno verde brillante de alta densidad.
- Cordón para separar las capas cuando hay empalmes de ducto.

⁹⁰ Polietileno: Es un material muy estable, mientras no sea expuesto a químicos o luz ultravioleta está diseñado para mantener su buena condición por mucho tiempo. Se estima que estos ductos cuando son enterrados pueden permanecer en buena condición por 50, 70 o hasta 100 años.

Existen varias configuraciones de microductos, entre las principales se encuentran:

Microducto 3/12: con 3 microductos para 12 fibras cada uno, para un total de 36 fibras, ver Figura 2.18. Muy común para desarrollos de fibra al hogar. El ancho del corte de la microzanja para este tipo de microducto debe ser de 1,27 [cm].

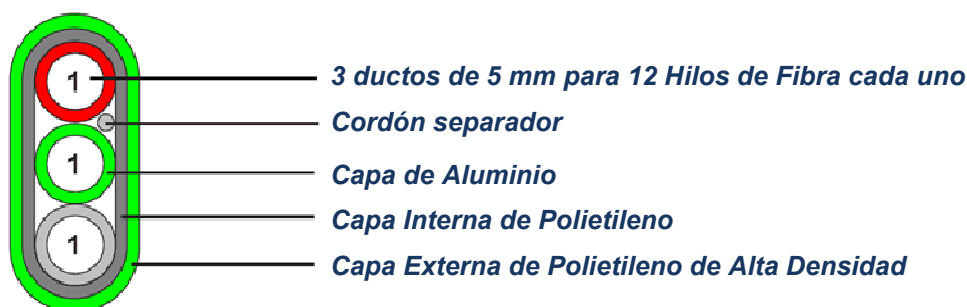


Figura 2.18: Microducto 3/12. ^[3]

Microducto 3/96: con dos microductos de 5 [mm] para 12 fibras cada uno y otro de 10 mm para 72 fibras, con una capacidad total de 96 fibras, ver Figura 2.19. El ancho del corte de la microzanja para este tipo de microducto debe ser de 1,91 cm.

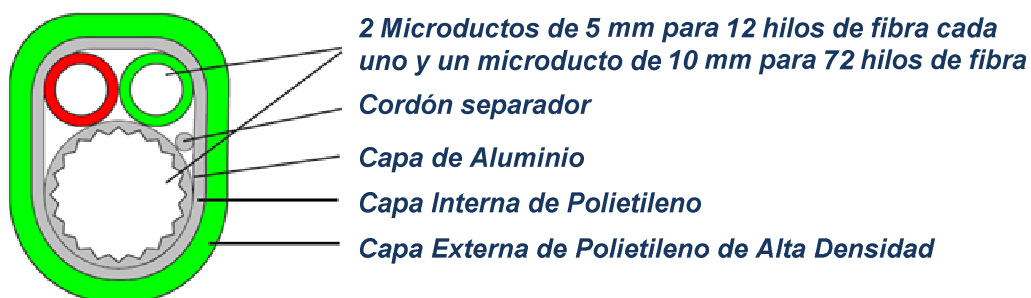


Figura 2.19: Microducto 3/96. ^[3]

Microducto 2/144: con 2 microductos de 10 [mm] para 72 fibras cada uno, con una capacidad total de 144 fibras, ver Figura 2.20. Este microducto es utilizado primordialmente para *Backbone*. El ancho del corte de la microzanja para este tipo de microducto debe ser de 1,91 cm.



Figura 2.20: Microducto 2/144. ^[3]

Los cables que se usan para el soplado dentro de los microductos son denominados mini cables de fibra óptica y están disponibles en varias configuraciones, estos mini cables están específicamente diseñados para ser soplados y no deben ser jalados:

- **Mini Cables de Fibra de 2-12 unidades:** estos cables se encuentran en configuraciones de 2, 4, 8 y 12 unidades. Las fibras son almacenadas en una cobertura termoplástica diseñada especialmente para ser soplada por microtubos. Las fibras se mantienen secas, sin ningún gel, lo cual facilita hacer conexiones limpias, libres de contaminación.

Presentan diámetros externos de: 2 fibras = 1,0 mm | 4 fibras = 1,1 mm
| 8 fibras = 1,5 mm | 12 fibras = 1,6 mm

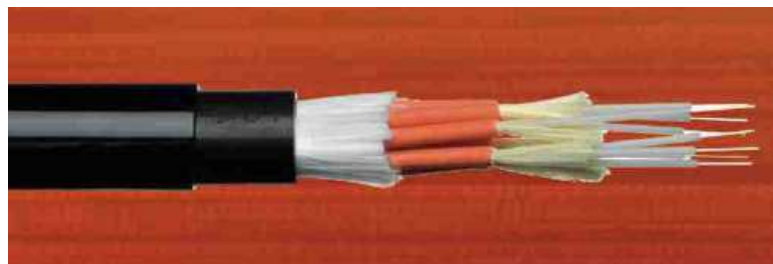


Figura 2.21: Mini Cables de Fibra 2-12 unidades. ^[3]

- **Mini Cables de Fibra de 24-72 unidades:** estos cables se encuentran en configuraciones de 24, 36, 48, 60 y 72 unidades, son hechos de

núcleo seco no metálico. Presentan un diámetro externo menor a 7 [mm].

2.9.3.2.3 *Renta de ductos*

Dentro del Distrito Metropolitano de Quito, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) es la única empresa que cuenta con ductería instalada en el subsuelo, pero actualmente CNT no arrienda su infraestructura.

Por otra parte el Municipio de Quito cuenta con proyectos para la instalación de ductos, pero éstos se desarrollan a paso lento, por lo que la opción de rentar los ductos para el paso de fibra es difícilmente realizable.

Actualmente el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito está manteniendo conversaciones con CNT para conseguir que esta infraestructura existente se pueda rentar a los operadores de servicios, pero todavía no existen acuerdos al respecto.

2.9.4 **CÁLCULO DE PÉRDIDAS DEL ENLACE DE FIBRA ÓPTICA** ^{[4] [8] [21]}

En el diseño de un enlace de fibra óptica es necesario considerar las pérdidas que se introducen en los elementos que intervienen en la instalación del mismo porque estas pérdidas provocan una disminución en la potencia de la luz y por lo tanto reducen el ancho de banda, la velocidad de transmisión, la eficiencia y la capacidad total del sistema.

Estas pérdidas de potencia se deben principalmente a la atenuación en la fibra óptica, empalmes y conectores; y, deben ser consideradas para así realizar una correcta planificación del alcance de la fibra óptica.

- **Pérdidas en la fibra óptica (A_{FO}):** La fibra óptica presenta pérdidas intrínsecas debido a las propiedades del material, mismas que se incrementan conforme aumenta la longitud del cable.

Estas pérdidas se calculan mediante el producto entre el coeficiente de atenuación (a_L), proporcionado por el fabricante, y la longitud del cable (L).

- **Pérdidas en los Empalmes⁹¹ (A_E):** Se debe considerar que muchas veces la longitud del enlace es superior a la longitud de los carretes de cable suministrados y se deben realizar empalmes en las fibras. Los empalmes que generan menos pérdidas son los denominados empalmes por fusión⁹² que presentan valores promedios típicos de atenuación en el rango de 0,01 a 0,2 [dB].
- **Pérdidas en los Conectores⁹³ (A_C):** Los conectores ópticos son usados normalmente para unir los cables de fibra a los transmisores y receptores. Presentan pérdidas comunes de 0,5 [dB].
- **Margen de diseño o margen de enlace (Md):** Es un margen de seguridad que permite considerar una reserva de atenuación para empalmes futuros (reparaciones extras) y la degradación de la fibra en su vida útil.

La magnitud de la reserva de atenuación (a_r) depende de la importancia del enlace y particularidades de la instalación, se adopta valores entre 0.1 [dB/Km] y 0.6 [dB/Km].^[21]

- **Atenuación Total (A_{TOTAL}):** Es la sumatoria de las atenuaciones parciales que se introducen en todos los elementos que intervienen en el enlace y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$A_{TOTAL} = A_{FO} + A_E + A_C + Md + A_{patchcord}$$

$$A_{TOTAL} = L \times a_L + n_E \times a_E + n_C \times a_C + a_r \times L + A_{patchcord}$$

⁹¹ Empalme: Es la unión permanente de dos secciones de fibra

⁹² Empalmes por fusión: Las fibras son sometidas a una fuente de calor durante un tiempo determinado o por lo general a una descarga eléctrica, con lo que se consigue se fundan y por consiguiente se unan.

⁹³ Conector óptico: Es un dispositivo que permite un tipo de unión no fija o desmontable.

Donde:

- L = longitud del cable en [Km].
- a_L = coeficiente de atenuación en [dB/Km]
- n_E = número de empalmes
- a_E = atenuación por empalme en [dB]
- n_C = número de conectores
- a_C = atenuación por conector en [dB]
- a_r = reserva de atenuación en [dB/Km]
- $A_{patchcord}$ = atenuación del patchcord⁹⁴ [dB]

En la Figura 2.22 se puede observar el esquema de un tramo de fibra óptica, los elementos que lo conforman y las pérdidas que introducen. La figura a) se aplica a los tramos 1, 2 y 4 y la figura b) se aplica al tramo 3.

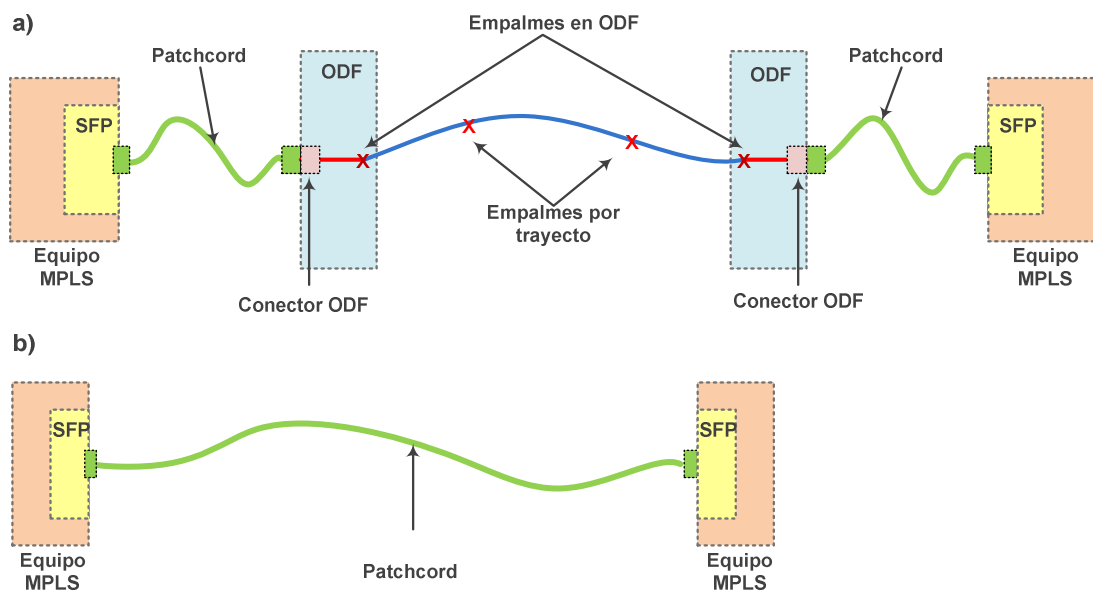


Figura 2.22: Elementos ópticos en un tramo de fibra.^[36]

⁹⁴ *Patchcord*: Es un cable de fibra óptica para uso interior con conectores instalados en sus dos extremos, sirve para interconectar directamente dos equipos activos, conectar un equipo activo a una caja pasiva (ODF) o interconectar dos cajas pasivas.

De acuerdo a lo indicado en la Figura 2.22, en la Tabla 2.29 se establecen las premisas bajo las cuales se realizará el cálculo de pérdidas.

Premisa	Descripción
1	<ul style="list-style-type: none"> Se realizarán 2 empalmes para cada hilo de fibra óptica en cada tramo, correspondientes a los empalmes de la fibra óptica con los <i>pigtails</i>⁹⁵ de los ODFs⁹⁶, uno para cada extremo del enlace. Además se considera un empalme en el trayecto cada 4 [Km], debido a la longitud de fabrica del carrete de cable de fibra óptica. La pérdida por cada empalme se establece en 0,2 [dB].
2	<ul style="list-style-type: none"> Se considera un ODF de 12 puertos por cada nodo, con excepción del nodo BBLd el cual se conectará con el nodo BBLn mediante un <i>patchcord</i>. En cada ODF se realizaran 6 empalmes, uno por cada hilo de fibra con el <i>pigtail</i> que se encuentra dentro del ODF,
3	<ul style="list-style-type: none"> Se considera un <i>patchcord</i> por cada conexión entre el ODF y el respectivo equipo MPLS (LSR o LER). La pérdida de potencia óptica introducida por cada <i>patchcord</i> se considera de 1 [dB].
4	<ul style="list-style-type: none"> Las pérdidas ocasionadas por el ODF se las considera como las de un empalme (entre la fibra y el <i>pigtail</i>) y la de un conector (0,5 dB).
5	<ul style="list-style-type: none"> El margen de reserva se establece en 0,4 [dB/Km], debido a que los enlaces son importantes por ser parte del <i>Backbone</i> del ISP y que el trayecto de los mismos recorre zonas medianamente transitadas por vehículos que pueden ocasionar cortes en la fibra, que desembocarán en empalmes.

Tabla 2.29: Premisas para el cálculo de pérdidas en los enlaces de fibra óptica. ^[4]

⁹⁵ *Pigtail*: Es un cable de una sola fibra que posee un conector en uno de sus extremos.

⁹⁶ ODF (*Optical Distribution Frame*): Es un equipo pasivo, que se usa para el empalme de cables de fibra, conexión de *patchcords*, almacenamiento y manejo de fibra, todo en una unidad.

En la Tabla 2.30 se consideran los diferentes factores que intervienen en el cálculo de pérdidas del enlace, como: la longitud del cable en cada tramo, la atenuación del cable, el número de empalmes a realizarse (tanto en el ODF como en el trayecto), la atenuación por empalme, el número de conectores y la atenuación de cada conector, además se considera un margen de seguridad de diseño y la atenuación introducida por los *patchcords*.

Tramo No.	L [Km]	a_L [dB/Km]	n_E		a_E [dB]	n_C	a_C [dB]	a_r [dB/Km]	$A_{patchcord}$
			ODF	Trayecto					
1	7,5	0,3	2	1	0,2	2	0,5	0,4	2
2	4,8	0,3	2	1	0,2	2	0,5	0,4	2
3	–	–	–	–	–	–	–	–	1
4	10,6	0,3	2	2	0,2	2	0,5	0,4	2

Tabla 2.30: Valores usados para el cálculo de pérdidas de potencia de los enlaces.

En la Tabla 2.31 se resumen los valores de pérdidas calculados para cada uno de los tramos involucrados en el diseño del *Backbone* MPLS.

Tramo No.	$A_{FO} = L \times a_L$ [dB]	$A_E = n_E \times a_E$ [dB]	$A_C = n_C \times a_C$ [dB]	$M_d = L \times a_r$ [dB]	$A_{patchcord}$ [dB]	A_{TOTAL} [dB]
1	2,25	0,6	1	3	2	8,85
2	1,44	0,6	1	1,92	2	6,96
3	despreciable	–	–	–	1	1
4	3,18	0,8	1	4,24	2	11,22

Tabla 2.31: Pérdidas de potencia en cada tramo.

2.9.5 ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE ($A_{MÁX}$) ^[5]

Es la máxima atenuación que puede existir en un enlace para que el equipo receptor pueda reconstruir la señal enviada. De existir una atenuación mayor a la máxima permitida ($A_{máx}$), se debe considerar cambiar los módulos de los equipos de transmisión por unos que transmitan a mayor potencia o cambiar los módulos receptores por unos que presenten mayor sensibilidad de recepción.

La atenuación máxima permisible se calcula mediante la diferencia de la potencia del equipo transmisor y la sensibilidad del equipo receptor.

$$A_{máx}[dB] = P_{Tx} - S_{Rx}$$

De acuerdo a las especificaciones del equipo escogido en el presente diseño, la potencia de transmisión mínima es de -9 [dBm]; y la sensibilidad mínima del receptor es de -23 [dBm], por lo tanto:

$$A_{máx}[dB] = -9 - (-23)$$

$$A_{máx}[dB] = 14 [dB]$$

Comparando el valor de la atenuación máxima permisible en un enlace ($A_{máx} = 14 \text{ dB}$) con los valores de atenuación total obtenidos en la Tabla 2.31, para cada tramo, se observa que en ningún caso se sobrepasa el límite de 14 [dB].

A manera de ejemplo se considera el caso crítico de la Tabla 2.31, que se da en el tramo 4 donde la atenuación total es de 11,22 [dB], la cual es menor que la atenuación máxima permisible de 14 [dB], por lo que los equipos ópticos de transmisión y recepción se encuentran seleccionados correctamente y no existirán problemas para reconstruir la señal óptica en los equipos receptores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS – CAPÍTULO 2

- [1] CASTILLO R., MENDOZA C., “*Estudios de Differentiated Services (DiffServ) usando el Sistema Operativo abierto (LINUX) para la provisión de Calidad de Servicio en redes con VoIP*”, Escuela Politécnica Nacional, Marzo 2007.
- [2] CISCO SYSTEMS, “*Advanced MPLS Design and Implementation*”, USA, O’Reilly & Associates, 2002.
- www.cisco.com
- [3] CONSTRUCTORA COLVEN, “*Tecnología de Microducto para el Soplado de Fibra Óptica*”.
- <http://www.constructoracolven.com/wp-content/uploads/2011/05/Tecnolog%C3%ADa-de-Microductos-para-Soplado-de-Fibra-%C3%93ptica.pdf>
- [4] CORREIRA S., “*Actualización del sistema de transporte de datos de línea 1 de C.A. Metro de Carácas, Red MPLS*”, Universidad Católica Andrés Bello, julio 2007.
- [5] DOMINGUEZ H., GORDILLO M., “*Estudio, Diseño y Simulación de una Red de Backbone sobre Anillos de Fibra Óptica en la Ciudad de Quito para unir las Redes de Acceso de la Empresa Integral Data que soporte Sistemas de Compresión de Voz en TDMoIP*”, Escuela Politécnica Nacional, Marzo 2006.
- [6] HACKBARTH K., “*Arquitectura de Redes Propietarias*”, Universidad de Cantabria, 2010.
- <http://www.tlmat.unican.es/siteadmin/submaterials/619.pdf>
- [7] HELKAMA
- <http://www.helkamabica.fi/pdf/NetworkBrochure.pdf>
- [8] JIMÉNEZ MARÍA S., “*Comunicaciones Ópticas*”, Escuela Politécnica Nacional, Quito 2010.

[9] LITEACCESS TECHNOLOGIES INC

http://www.liteaccess.com/index.php?option=com_content&task=view&id=4&Itemid=8

[10] MONTAÑANA ROGELIO, “*Calidad de Servicio (QoS)*”, Universidad de Valencia.

[http://www.docstoc.com/docs/34977565/Calidad-de-Servicio-\(QoS\)](http://www.docstoc.com/docs/34977565/Calidad-de-Servicio-(QoS))

[11] MUNICIPALIDAD DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, “*Ordenanza No. 0022: Régimen Administrativo de Otorgamiento y Aplicación de la Licencia Metropolitana Urbanística de Utilización o Aprovechamiento del Espacio Público para la Instalación de Redes de Servicio – LMU 40*”, Artículo 2: Acto administrativo de autorización. De la ordenanza 0022

[12] MUNICIPALIDAD DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, “*Ordenanza No. 0022: Régimen Administrativo de Otorgamiento y Aplicación de la Licencia Metropolitana Urbanística de Utilización o Aprovechamiento del Espacio Público para la Instalación de Redes de Servicio – LMU 40*”, Artículo 9: Autoridad Administrativa otorgante de la LMU 40. De la ordenanza 0022

[13] NIETO LUISANA, “*Diseño y configuración de Calidad de Servicio en la tecnología MPLS para un Proveedor de Servicios de Internet*”, Escuela Politécnica Nacional, Mayo 2010.

[14] PRYSMIAN

http://www.prysmian.es/export/sites/prysmian-esES/attach/Revista_PCclub/13.pdf

[15] RECOMENDACIÓN UIT-T G.652, “*Características de las Fibras y Cables Ópticos Monomodo*”

[16] RECOMENDACIÓN UIT-T G.653, “*Características de los Cables y Fibras Ópticas Monomodo con Dispersión Desplazada*”

- [17] RECOMENDACIÓN UIT-T G.654, “*Características de los Cables de Fibra Óptica Monomodo con Corte Desplazado*”
- [18] RECOMENDACIÓN UIT-T G.655, “*Características de Fibras y Cables Ópticos Monomodo con Dispersión Desplazada No Nula*”
- [19] RFC 3270, “*Servicios Diferenciados (DiffServ) sobre MPLS*”
- [20] ROMAN MARÍA F. “*Estudio y Diseño de una Red Metro Ethernet sobre MPLS (Multiprotocol Label Switching) para el transporte de voz, datos y video para la Empresa Eléctrica Quito S.A.*”, Escuela Politécnica Nacional, Abril 2011.
- [21] TEXTOS CIENTÍFICOS
- <http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/calculo-enlace>
- [22] VIVAR MESA JUDITH, “*QoS en Redes IP*”.
- [23] http://www.siemon.com/la/white_papers/08-03-03-light-it-up.asp
- [24] <http://www.siemon.com/us/applicationguide/10Gbase.asp>
- [25] <http://ipref.wordpress.com/2008/11/28/modelo-jerarquico-de-red/>
- [26] <http://www.buenastareas.com/ensayos/Capa-Nucleo-De-La-Red-Jerarquica/151008.html>
- [27] http://catalog2.corning.com/CorningCableSystems/media/Resource_Documents/product_family_specifications_rl/LAN-688-EN.pdf
- [28] <http://www.ofsoptics.com/resources/DryBlock-Figure-8-LA-Cable-157-web.pdf>
- [29] <http://www.cypsela.es/especiales/pdf203/index.html>
- [30] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/11730/1/PFC.pdf>

- [31] http://www.cisco.com/en/US/tech/tk828/technologies_q_and_a_item09186a00800a43f5.shtml
- [32] <http://es.wikipedia.org/wiki/Quito>
- [33] <http://wikitel.info/wiki/Interoperabilidad>
- [34] http://es.wikipedia.org/wiki/Alojamiento_web
- [35] http://jamillan.com/v_hotel2.htm
- [36] <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlantelExterior/IntroduFOcalculos.pdf>
- [37] http://www.telnet-ri.es/fileadmin/user_upload/preventa/presentaciones/whitepaper%20-Fibra%20optica%20para%20NGN-dispersion%20cromatica%20y%20PMD-Telnet-RI%20-%20ES.pdf

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE COSTOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Debido a que el factor económico es un aspecto muy importante que se debe considerar en el desarrollo de un proyecto, en este capítulo se realizará una descripción de costos de los equipos MPLS y de los elementos ópticos necesarios para el desarrollo del presente diseño. Cabe recalcar que la eventual implementación del *Backbone* Óptico Metropolitano con tecnología MPLS depende exclusivamente del ISP y por lo tanto no forma parte de este proyecto de titulación.

Los precios considerados son referenciales y pueden variar dependiendo de la casa comercial que distribuya los equipos de red y elementos ópticos y del tiempo en el que se realice la adquisición de los mismos.

Los valores que se obtengan en este capítulo servirán como base para el desarrollo de un presupuesto referencial, que le permitirá al ISP establecer el monto estimado de capital que necesitará invertir cuando decida implementar su propio *Backbone* MPLS.

Para complementar este capítulo se realizará un esquema de implementación del proyecto, en el que se describirán varios procesos a seguir, como: las condiciones para la entrega de la oferta, la calificación técnica y económica, la adjudicación del proyecto a un oferente, la resolución de problemas que pudieran surgir, el establecimiento de los tiempos aproximados de cada proceso, la capacitación al personal del ISP, las visitas técnicas a los nodos, las pruebas de aceptación, la planificación de la migración de la red actual del ISP al nuevo *Backbone* Óptico MPLS, entre otros.

3.2 COSTO DEL EQUIPAMIENTO MPLS

En la Tabla 3.1 se considera la cantidad de equipos y puertos ópticos que se requieren para cada capa del diseño de acuerdo a los datos obtenidos en el capítulo II. Se indica el número de interfaces ópticas de 1 [Gbps] y de 10 [Gbps] que se necesitan para la interconexión de los equipos del *Backbone* Óptico MPLS, considerando si se trata de un equipo del núcleo o de distribución.

DETALLE DE EQUIPOS	
CAPA NÚCLEO	3 equipos LSRs.
	2 puertos de fibra óptica SFP ⁹⁷ de 10 [Gbps] por equipo LSR, para la interconexión con los demás LSRs del núcleo.
	4 puertos de fibra óptica SFP de 1 [Gbps], para la interconexión con los <i>edge</i> LSRs de distribución.
CAPA DISTRIBUCIÓN	4 equipos <i>edge</i> LSRs.
	4 puertos de fibra óptica SFP de 1 [Gbps], para la interconexión con los LSRs del núcleo.

Tabla 3.1: Equipamiento general para el Backbone MPLS.

En el capítulo II se analizaron y compararon las características técnicas de tres marcas de equipos, para la capa del núcleo y para la de distribución. Los equipos seleccionados fueron los de la marca CISCO: para el núcleo el modelo **CISCO7604** y para la distribución el modelo **ME-6524GS-8S**.

En la Tabla 3.2 se especifican los códigos comerciales de la marca CISCO para los equipos MPLS, las tarjetas, los puertos y los SFPs, que se necesitan para el *Backbone* MPLS. Además se describe brevemente las características de cada ítem, se indica la cantidad requerida, el precio unitario y el precio total.

⁹⁷ SFP (*Small Form-factor Pluggable*): Es un transmisor-receptor óptico compacto, de conexión en caliente que ofrece grandes velocidades.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
CAPA NÚCLEO				
<i>7604-RSP720-3C-GE-P</i> ^{[3], [4]}	Chassis Cisco 7604, 4 ranuras, RSP720-3CX10GE-3B, 2PS. Tiene 2 puertos Gigabit Ethernet.	3	\$ 44.100,00	\$ 132.300,00
<i>XFP-10GLR-OC192SR</i> ^{[5], [6]}	Tarjeta y modulo XFP Cisco 10 Gigabit Ethernet LR (10 Km) Óptico	6	\$ 4.500,00	\$ 27.000,00
<i>GLC-LH-SM</i> ^{[7], [15]}	1000BASE-LX/LH (<i>long-wavelength/long haul</i>), Conector LC	4	\$ 460,00	\$ 1.840,00
<i>SMARTnet 24x7x2 (S2P)</i> ^[2]	SMARTnet 24x7x2 (S2P)	1	\$ 9.838,00	\$ 9.838,00
TOTAL (USD)				\$ 170.978,00
CAPA DISTRIBUCIÓN				
<i>ME-C6524GS-8S</i> ^[8]	24 Gigabit Ethernet SFP interfaces + 8 Gigabit Ethernet SFP <i>uplinks</i> , 1 bandeja de ventiladores	4	\$ 12.280,00	\$ 49.120,00
<i>GLC-LH-SM</i>	1000BASE-LX/LH <i>long-wavelength/long haul</i> , Conector LC	4	\$ 460,00	\$ 1.840,00
TOTAL (USD)				\$ 50.960,00

Tabla 3.2: Costo del equipamiento MPLS de la marca CISCO.⁹⁸

⁹⁸ Los valores referentes al precio unitario del equipamiento MPLS y de los elementos ópticos se tomaron de una proforma privada solicitada por el ISP, la cual no se puede presentar en este proyecto debido a que no se cuenta con la autorización necesaria.

3.3 COSTO DE LOS ELEMENTOS ÓPTICOS

De acuerdo a lo determinado en el capítulo II, Diseño de la Red Óptica Metropolitana con tecnología MPLS, para la instalación aérea se utilizará el cable de fibra óptica del tipo Figura 8 de la marca Corning, elegido por sus destacadas características de transmisión y por sus propiedades mecánicas. El número de hilos de fibra que se necesitan son 2, pero debido a que el costo de un cable de 2 fibras es similar al de uno de 6, se considera el cable de 6 fibras, con la ventaja de contar con capacidad suficiente para futuros crecimientos del ISP y, además, arrendar dichos hilos a otras empresas que lo requieran.

Para la instalación subterránea se escogió el método de microzanjado. En este tipo de tendido no se analizó el tipo de fibra ni del cable óptico debido a que las empresas encargadas de realizarlo ya consideran dentro de la instalación el cable más adecuado para el mismo.

Asimismo, se debe considerar el costo de los ODFs, mangas de empalme⁹⁹, componentes de sujeción y demás elementos necesarios para la instalación de la fibra óptica.

En la Tabla 3.3 se indica para cada tramo la cantidad de fibra óptica que se necesita según sea instalación aérea o subterránea, el número de empalmes en ODF y en trayecto, el número de postes que se requiere para la instalación aérea, la cantidad de ODFs y *patchcords*, de acuerdo a la información obtenida en el capítulo II.

ITEM	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TOTAL
<i>Fibra óptica de 6 hilos "Figura 8"</i>	4842 [m]	2983 [m]	-	8210 [m]	16035 [m]
<i>Fibra óptica de 6 hilos subterránea</i>	2645 [m]	1834 [m]	-	2397 [m]	6876 [m]
<i>Empalmes de fusión en ODF</i>	12	12	-	12	36

⁹⁹ Manga de empalme: Se utiliza para almacenar los empalmes de las fibras ópticas y ofrecer refuerzo mecánico a los mismos.

ITEM	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TOTAL
<i>Empalmes de fusión en trayecto (cada 4 Km)</i>	1	1	-	2	4
<i>Postes</i>	59	37	-	107	203
<i>ODF 12 hilos</i>	2	2	-	2	6
<i>Patchcords</i>	2	2	1	2	7

Tabla 3.3: Elementos Ópticos necesarios por cada tramo.

En la Tabla 3.4 se detalla el costos de los elementos que se necesitan para la instalación de la fibra óptica, tanto aérea como subterránea, indicando la cantidad total, el precio unitario y el precio total de los mismos.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
ELEMENTOS PARA LA INSTALACIÓN AÉREA				
<i>Fibra óptica de 6 hilos</i>	Cable de fibra Figura 8, de 6 hilos, marca Corning.	16035 [m]	\$ 2,15	\$ 34.475,00
<i>Instalación Aérea</i>	Instalación de fibra óptica de 12 hilos.	16035 [m]	\$ 0,50	\$ 8.017,00
<i>Empalmes de fusión eléctrica en ODF</i>	Empalmes realizados con los <i>pigtails</i> del ODF.	36	\$ 15,00	\$ 540,00
<i>Empalmes de fusión eléctrica en trayecto (cada 4 Km) incluida manga de empalme</i>	Empalmes realizados en el trayecto cuando se termina un carrete de fibra óptica.	4	\$ 200,00	\$ 800,00
<i>Herrajes</i>	Herraje tipo B ¹⁰⁰ para cable "Figura 8"	203	\$ 12,00	\$ 2.436,00
TOTAL (USD)				\$ 46.268,00

¹⁰⁰ Herraje: Elemento de sujeción del cable de fibra óptica. El herraje tipo B está destinado a cumplir funciones de paso para los cables que tienen mensajero externo.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
ELEMENTOS PARA LA INSTALACIÓN SUBTERRÁNEA				
<i>Fibra óptica de 6 hilos</i>	Incluida instalación	6876 [m]	\$ 5,30	\$ 36.442,00
TOTAL (USD)				\$ 36.442,00
ELEMENTOS GENERALES				
<i>ODF</i>	ODF de 12 hilos con conector LC	6	\$ 100,00	\$ 600,00
<i>Patchcords</i>	Patchcord LC-LC, fibra óptica monomodo, doble, 3 metros	7	\$ 40,00	\$ 280,00
TOTAL (USD)				\$ 880,00

Tabla 3.4: Costo de los elementos para la instalación de Fibra Óptica.⁹⁸

No se considera ningún elemento óptico para el anillo de fibra entre los equipos del núcleo debido a que este anillo fue implementado con anterioridad al desarrollo de este proyecto, de acuerdo a lo indicado en el capítulo II.

3.4 COSTO DE LICENCIAS Y PERMISOS ^[11]

Para realizar el tendido de fibra óptica dentro del Distrito Metropolitano de Quito, existe la Ordenanza Municipal 0022, en la que se establece que para realizar el tendido de redes de servicio se debe obtener previamente la licencia LMU-40, mediante el cumplimiento de los documentos solicitados y la cancelación de los valores correspondientes, indicados en el ANEXO 2.

Como para la instalación aérea se utilizarán postes existentes que son propiedad de la Empresa Eléctrica Quito, se debe realizar el trámite respectivo para conseguir el arrendamiento de los mismos.

A continuación se indica el costo de la licencia LMU-40 y del arrendamiento de los postes.

3.4.1 LICENCIA LMU-40

En la Tabla 3.5 se indica la distancia del tendido a realizarse (sin considerar el 10% de reserva) de acuerdo al tramo y a la zona en que se encuentra, tomando como referencia las tablas: Tabla 2.20, Tabla 2.21 y Tabla 2.22 del capítulo II.

TRAMO	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C
TRAMO 1	1368 [m]	4402 [m]	1037 [m]
TRAMO 2	1668 [m]	2712 [m]	-
TRAMO 4	2179 [m]	7464 [m]	-
TOTAL	5215 [m]	14578 [m]	1037 [m]

Tabla 3.5: Distancia del tendido de fibra óptica por tramo y zonas.

En la Tabla 3.6 se indica el costo de la Licencia LMU-40 por metro lineal de cable (por cada año) dependiendo de la zona donde se vaya a realizar la instalación.

ZONA	TIPO DE INSTALACIÓN PERMITIDA	CANTIDAD [m]	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
ZONAS A	Subterránea	5215	\$ 0,35	\$ 1.825,25
ZONAS B	Aérea	14578	\$ 0,10	\$ 1.457,80
ZONAS C	Subterránea	1037	\$ 0,35	\$ 362,95
TOTAL (USD)				\$ 3.646,00

Tabla 3.6: Costo total de la LMU-40.^[1]

3.4.2 ARRENDAMIENTO DE POSTES

La instalación del cable de fibra óptica se realizará sobre postes ya existentes, los cuales pertenecen a la Empresa Eléctrica Quito, por lo que es necesario que

después de haber adquirido la licencia LMU-40 se realice una solicitud escrita dirigida al Departamento de Alumbrado Público de la Empresa Eléctrica Quito, para la aprobación de arrendamiento de postes y cancelar el valor correspondiente.

En la Tabla 3.3 se indica la cantidad de postes que se requiere para la instalación aérea de acuerdo a las rutas establecidas en el capítulo II; y, en la Tabla 3.7 se señala el precio por arrendamiento de cada poste por año y el costo total.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
POSTES	203	\$ 7,00	\$ 1.421,00
TOTAL			\$1.421,00

Tabla 3.7: Costo por arrendamiento de postes.¹⁰¹

3.5 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Para determinar la inversión de capital necesaria, se consideran los valores obtenidos para los equipos MPLS, los elementos ópticos, las licencias y los permisos, que se determinaron en las tablas: Tabla 3.2, Tabla 3.4, Tabla 3.6 y Tabla 3.7.

ITEM	PRECIO TOTAL (USD)
<i>Capa Núcleo</i>	\$ 170.978,00
<i>Capa Distribución</i>	\$ 50.960,00
<i>Instalación aérea</i>	\$ 46.268,00
<i>Instalación subterránea</i>	\$ 36.442,00
<i>Equipamiento general</i>	\$ 880,00
<i>Licencia LMU-40</i>	\$ 3.646,00

¹⁰¹ Datos proporcionados por el Departamento de Planificación del ISP.

ITEM	PRECIO TOTAL (USD)
Arrendamiento de postes	\$ 1.421,00
TOTAL	\$ 310.595,00

Tabla 3.8: Costo total del proyecto

En la Tabla 3.8, se indica el costo total para la implementación de la infraestructura de este proyecto, que es de USD \$ 310.595,00. Este valor puede variar dependiendo del tiempo en se lo implemente y de la casa comercial donde se adquieran los equipos.

Una vez determinado el costo total del proyecto, el ISP cuenta con un presupuesto referencial, que le servirá para determinar si es factible o no la ejecución del *Backbone* MPLS.

3.6 PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL BACKBONE ÓPTICO MPLS

Una vez realizado el diseño del *Backbone* MPLS, seleccionado el equipamiento de los nodos que conformarán la red y elaborado un presupuesto referencial, se desarrolla un Plan de Implementación, describiendo los procesos que se seguirán cuando el ISP decida ejecutar su nuevo *Backbone* MPLS.

La finalidad de realizar este Plan de Implementación es organizar, asegurar y coordinar recursos, procesos y personas para cumplir con los objetivos de manera adecuada.

La Figura 3.1 ilustra el cronograma de actividades correspondiente al procedimiento para la implementación del *Backbone* Óptico MPLS, así como el Diagrama de Gantt correspondiente a dichas actividades. Adicionalmente, se muestra en rojo las actividades críticas del proyecto y cuya demora podría ocasionar el retraso del mismo.

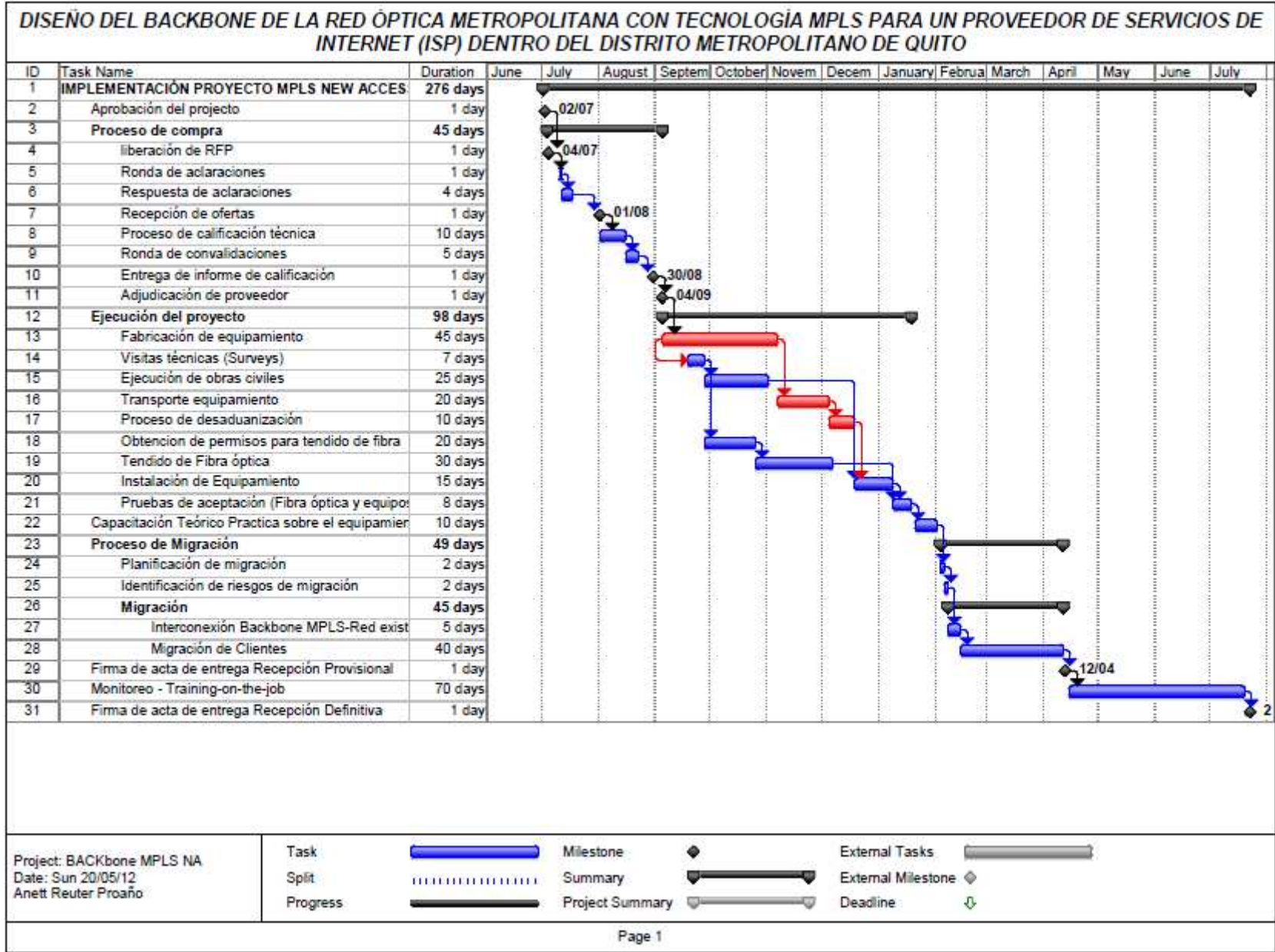


Figura 3.1: Cronograma y Diagrama de Gantt

De esta forma se consideran ocho pasos que se describirán en secciones posteriores:

1. Aprobación del proyecto
2. Proceso de compra
3. Ejecución del proyecto
4. Capacitación teórico práctica sobre el equipamiento
5. Proceso de Migración
6. Suscripción del acta de recepción provisional
7. Monitoreo y *Training On The Job*
8. Suscripción del acta de recepción definitiva

Es importante destacar que el procedimiento que se describirá constituye un modelo referencial de los procesos involucrados en el desarrollo de un proyecto; los que garantizarán que el proyecto atraviese las etapas de iniciación, planeación, ejecución, monitoreo y control, y cierre que se sugieren en la gestión de proyectos.

Sin embargo no existe una manera única de definir la estructura ideal de un proyecto, aunque las prácticas comunes conduzcan con frecuencia a utilizar una estructura preferida, los proyectos en la misma área o incluso en la misma organización pueden presentar variantes significativas. Es por esto que el conjunto de procesos y la secuencia de los mismos se pondrán a consideración del equipo de proyectos del ISP, para su revisión y ajuste, de tal manera que el desarrollo del proyecto esté sujeto a la metodología establecida por la empresa.

3.6.1 APROBACIÓN DEL PROYECTO ^[9]

El ISP luego de identificar la necesidad de contar con un *Backbone* MPLS propio, considera conveniente el desarrollo de un proyecto que cumpla con estas expectativas, por lo que se desarrolla el diseño de la red considerando aspectos técnicos, se selecciona equipos y se genera un presupuesto en base a precios

referenciales. Luego de analizar estos aspectos y verificar la viabilidad del proyecto se procede con su aprobación.

La aprobación del proyecto podría estar a cargo de la junta directiva del ISP, quienes en reunión de Directorio aprobarán continuar con los siguientes procesos.

3.6.2 PROCESO DE COMPRA

Este proceso debe disminuir los riesgos y las decisiones indebidas y aumentar la efectividad del procedimiento de compra. Con una buena gestión de compras se consigue ahorrar costos y tiempo y adquirir el producto más idóneo, por lo que es decisiva para que la empresa tenga éxito o fracaso.

En esta sección se analizará cómo el ISP realizará el proceso de compras del equipamiento, dentro del cual se comprenden las siguientes fases:

1. Liberación del RFP
2. Preguntas y aclaraciones
3. Recepción de ofertas
4. Proceso de calificación
5. Ronda de convalidaciones
6. Entrega del informe de calificación
7. Adjudicación del proyecto

3.6.2.1 Liberación del RFP (*Request for Propousal* o *Solicitud de Propuestas*) ^[9]

Una vez que se han determinado los requerimientos para el equipamiento MPLS y los elementos para la instalación de la fibra óptica que se va a adquirir, el ISP elaborará una solicitud de propuesta o RFP.

Un RFP es un documento que se emite para solicitar propuestas de posibles proveedores de productos o servicios, en el que se estipulan los requisitos

técnicos para los equipos y demás elementos que conformaran la red y las condiciones bajo las cuales se contratará a un proveedor.

El RFP deberá contener los siguientes aspectos:

- Especificación del producto o servicio requerido, con el mayor detalle posible.
- Información que se requiere del oferente, como las personas que liderarán el proyecto, responsabilidades que asumirán, cronograma de trabajo, y la experiencia de la empresa en el área.
- Criterios para selección o descalificación de proveedores.
- Fechas relevantes, incluyendo las de apertura y cierre del proceso, fechas para aclaraciones y visitas técnicas, entre otras que se consideren sobresalientes.
- Requerimiento de confidencialidad.
- Elementos legales de la posible contratación.

3.6.2.2 Preguntas y Aclaraciones ^[11]

Los oferentes interesados en participar en el proceso podrán formular preguntas y solicitar aclaraciones sobre el contenido del RFP. El ISP (contratante) se encargará de enviar todas las respuestas o aclaraciones a los interesados.

Únicamente las aclaraciones o modificaciones proporcionadas por la Comisión Técnica del ISP se considerarán oficiales, por lo que no existe otra fuente autorizada para dar información relacionada con este proceso, o proporcionar explicaciones sobre el texto de la RFP.

3.6.2.3 Recepción de Ofertas

Una vez concluido el proceso de preguntas y aclaraciones, el ISP recibirá las ofertas de los oferentes interesados.

Una oferta es el conjunto de documentos y formularios entregados por el oferente dentro del término establecido para el efecto en el RFP. La oferta se divide en dos: la parte técnica y la parte económica. La parte técnica incluye la documentación e información técnica que el oferente presenta con el objeto de prestar los servicios y productos requeridos y la parte económica incluye la documentación e información relacionada con los costos y el presupuesto de los servicios y equipamiento objeto del proceso de contratación.

Los oferentes interesados deberán preparar las ofertas considerando todas las especificaciones detalladas en el RFP entregada por el ISP (contratante), en la que se incluirán los estudios de diseño y demás información que se considere necesaria.

Las ofertas deberán ser presentadas en la Secretaría del ISP, en la dirección y hasta el día y hora indicados.

3.6.2.4 Proceso de Calificación

Una vez recibidas las ofertas se realiza una evaluación mediante un estudio, análisis y comparación de las mismas, para determinar la opción que se ajuste de mejor manera a los requerimientos y presupuesto del ISP para su nuevo *Backbone MPLS*.

A partir de la información que proporcionen los ofertantes, la Comisión Técnico-Económica del ISP evaluará las ofertas considerando varios criterios, que pueden ser: experiencia en trabajos similares, cronograma de ejecución del proyecto, experiencia del personal técnico, calidad del producto o servicio, oferta económica, etc.

Generalmente la calificación de la oferta se realiza sobre un puntaje determinado, que a manera de ejemplo se podría establecer en 100 puntos divididos de acuerdo a la valoración que el ISP considere conveniente asignar a cada parámetro, dependiendo de sus intereses, en la Tabla 3.9 se indica el ejemplo.

PARÁMETROS DE VALORACIÓN	PUNTAJE MÁXIMO
<i>Oferta Técnica</i>	60
- Experiencia en trabajos similares	25
- Metodología y cronograma de ejecución del proyecto.	8
- Experiencia del personal técnico.	12
- Calidad del producto o Servicio	15
<i>Oferta Económica</i>	40
TOTAL	100

Tabla 3.9: Ejemplo de Calificación de una Oferta.

De la evaluación de estos parámetros podrían derivarse consultas, aclaraciones o inconformidades, mismas que alimentarán el proceso de convalidaciones.

3.6.2.5 Ronda de Convalidaciones

Es el proceso mediante el cual el contratante solicita a todos y cada uno de los oferentes se aclaren, complementen o modifiquen los aspectos técnicos, económicos o legales que considera no estén acordes a los requerimientos establecidos en el RFP.

Adicionalmente, en muchos de los casos la ronda de convalidaciones puede permitir negociaciones de precios con los diferentes ofertantes para de esta forma garantizar el mejor cumplimiento del presupuesto asignado.

Como entregable de este proceso cada uno de los ofertantes hará llegar al contratante un documento aclaratorio (en caso de ser necesario) o la aceptación

de las nuevas condiciones establecidas en las convalidaciones. Esta información permitirá obtener el resultado final de la evaluación de las ofertas.

3.6.2.6 Entrega del Informe de Calificación Técnica

Una vez aclaradas o modificadas las ofertas por parte de los proveedores, la Comisión Técnico-Económica procederá a la elaboración de un informe técnico-económico que determinará la oferta que, de mejor manera, se ajuste a los requerimientos técnicos y al presupuesto económico, establecidos para el proyecto.

3.6.2.7 Adjudicación del Proyecto ^[11]

La adjudicación del proyecto es una resolución de la entidad contratante (ISP), mediante la cual resuelve conceder y suscribir un contrato o emitir la orden de compra para el oferente ganador o aquel con el que hubiese llegado a un acuerdo sobre las condiciones técnicas y económicas para la ejecución del proyecto.

3.6.3 EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Una vez concluido el proceso de compras, en el que se adjudica el proyecto a un oferente que se encargará de desarrollar el proyecto, se puede iniciar con la ejecución del proyecto, para lo que se establecen las siguientes etapas:

1. Visitas Técnicas (*Survey*)
2. Ejecución de Obras Civiles
3. Fabricación del Equipamiento
4. Transporte del Equipamiento
5. Proceso de Desaduanización
6. Tendido de Fibra Óptica
7. Instalación de Equipamiento
8. Pruebas de Aceptación

3.6.3.1 Visitas Técnicas (Survey) ^[1][13]

Una de las primeras etapas en el proceso de ejecución de un proyecto es la visita técnica o *survey*, que consiste en realizar una visita a cada nodo y recorrer los tramos de fibra óptica, para registrar información que permitirá identificar los requerimientos civiles y eléctricos del proyecto.

Con la visita técnica se registrará la infraestructura existente en cada nodo de la red, para comprobar la falta o no de: espacio físico, energía, climatización, sistemas de tierra, sistemas de protección y seguridad, además de convenir con el ISP la ubicación que ocupará el equipamiento MPLS y ODFs, validar la ruta de fibra óptica, verificar la disponibilidad de espacio en los postes, etc. De tal forma que el oferente incluya todos los elementos necesarios para efectivizar la correcta instalación de la red y garantizar su funcionamiento dentro de los estándares establecidos.

3.6.3.2 Ejecución de Obras Civiles

En la visita técnica se identifican requerimientos civiles y eléctricos del proyecto, que se solventan con la realización de trabajos que permitirán cubrir la falta de energía, de espacio físico, de infraestructura, de espacio en postes para la instalación de fibra y cualquier otro trabajo que se requiera para garantizar el correcto funcionamiento de la red.

3.6.3.3 Fabricación del Equipamiento

Cuando se trata de equipos de gama alta (es decir más sofisticados), como los requeridos en este diseño, se debe considerar que éstos no se encontrarán a disposición para entrega inmediata, sino que se requerirá de un tiempo de fabricación, mismo que se debe tomar en cuenta para el desarrollo del proyecto.

3.6.3.4 Transporte del Equipamiento

Se debe considerar que los equipos no son fabricados en el Ecuador y deben transportarse desde su lugar de procedencia hasta el proveedor local del equipo,

lo cual conllevará un tiempo que se debe aumentar al proceso de ejecución del proyecto.

3.6.3.5 Proceso de Desaduanización

Una vez que los equipos llegan al país, éstos ingresan a la aduana encargada de registrar el tráfico internacional importado desde un país y cobrar los impuestos establecidos por la misma.

La aduana revisa que la documentación esté acorde con la declaración, con la clasificación arancelaria, con el valor de la mercadería, que el importador esté habilitado y realiza aforo físico.

3.6.3.6 Tendido de Fibra Óptica

El oferente se encargará del tendido aéreo y subterráneo. Para realizar el tendido de fibra óptica, el oferente debe regirse al anexo 1 de la ordenanza LMU-40, en el que se indica un Manual Técnico para Instalaciones de Redes Eléctricas y de Conectividad, para la instalación aérea y subterránea.

De manera general para el tendido de redes de planta externa el oferente debería realizar los siguientes puntos:

- Desarrollo de la ingeniería
- Visita técnica (*Survey*)
- Construcción de obra civil
- Tendido de ductos y soplado de fibra (instalación subterránea)
- Tendido de cables de fibra óptica (instalación aérea)
- Empalmes de cables de fibra óptica
- Mediciones y pruebas

El tiempo que se requiere para la instalación de la fibra óptica puede variar entre 8 y 12 horas por kilómetro para la instalación aérea, dependiendo de la experiencia

de los técnicos y de la tecnología utilizada. Para la instalación subterránea el tiempo que se necesita puede ser el doble o incluso el triple.

El costo del tendido de fibra debería incluir:

- Materiales (cable, empalmes, elementos de sujeción)
- Equipos (terminales de transmisión y recepción)
- Diseño, instalación y pruebas
- Variables de campo (topografía, geografía, clima)
- Documentación (planos de instalación de la fibra)

3.6.3.7 Instalación del Equipamiento

Luego de que los equipos MPLS hayan pasado el proceso de desaduanización, que las obras civiles respectivas estén realizadas y que el tendido de fibra óptica esté listo, se procederá a instalar los equipos MPLS en cada uno de los nodos.

Se pueden definir como responsabilidades del oferente las siguientes tareas y consideraciones:

- Realizar todas las configuraciones necesarias en cada uno de los equipos para que exista interconexión entre todos los nodos del *Backbone* MPLS y se pueda cursar tráfico.
- Instalar los equipos en la ubicación acordada con el ISP de acuerdo a la visita técnica previamente realizada.
- Realizar la conexión e infraestructura que sea necesaria para la adecuada alimentación de dichos equipos entre los puntos de energía asignados por el ISP y el lugar de instalación de los equipos.
- Considerar todos y cada uno de los materiales y elementos que se requieran para conectar los equipos.
- Todas las interfaces Gigabit Ethernet y 10 G de los equipos deben terminar en un ODF.

- A partir de los ODFs, se debe cablear e interconectar con las terminales ópticas del equipo MPLS del nodo.
- Los *patchcords* deben ser de fibra monomodo, dúplex, terminación LC/LC¹⁰² en el ODF y deben ser de fábrica.
- Todos los elementos que resulten como material sobrante de la instalación (cajas de cartón, cables, fibra de vidrio, tubería, arena, cemento, escombros de obra etc.) se retirarán en su totalidad, siendo indispensable el impecable estado de aseo de las áreas donde se efectuó el montaje.

3.6.3.8 Pruebas de Aceptación ^[14]

Una vez que se termine de instalar el Backbone Óptico MPLS se procederá a realizar un conjunto de pruebas que permitirán validar que la red implementada por el oferente cumple con el funcionamiento esperado y con los requerimientos planteados en el RFP.

Estas pruebas se llevarán a cabo para verificar que los equipos y demás elementos de la red cumplan con los requisitos mínimos para puesta en servicio, y se realizarán cuando:

1. Los equipos estén instalados de forma definitiva en el nodo respectivo.
2. El tendido de fibra óptica esté concluido.
3. La plataforma de gestión se encuentre instalada.
4. Cuando el oferente indique que los equipos y la red se encuentran listos para iniciar pruebas.

El oferente deberá presentar al ISP un protocolo de pruebas que planea realizar a los equipos, que se entregará en conjunto con la oferta para que el ISP lo revise, lo complemente y posteriormente lo apruebe.

El protocolo de pruebas que presente el oferente debería incluir como mínimo:

¹⁰² Se considera la terminación LC/LC, debido a que los conectores especificados en los equipos MPLS y en los ODFs presentan esta terminación en sus interfaces ópticas.

- Pruebas de conexión, para verificar la conectividad entre todos los equipos del Backbone MPLS.
- Pruebas de funcionamiento de Protocolos de Enrutamiento
- Pruebas de funcionalidades MPLS: LDP, MPLS VPN
- Pruebas de Calidad de Servicio (QoS)
- Pruebas de Seguridad
- Estabilidad de los elementos y sus funcionalidades completas en ambiente operativo
- Los recursos necesarios para realizar las pruebas
- Cronograma de realización.
- Pruebas de gestión y administración

En el protocolo de pruebas aprobado por el ISP se considerarán los indicadores necesarios para determinar si las pruebas en cuestión fueron o no satisfactorias. Los indicadores pueden ser modificados y complementados por el ISP así como el valor mínimo de aprobación de prueba.

Para cada prueba se deben describir los objetivos, los pasos a seguir, y los resultados que se esperan obtener. El ISP contará con una matriz de aprobación/desaprobación según los resultados que se obtengan en campo, así como un cuadro para anotar las observaciones que considere pertinentes.

Luego de la realización de las pruebas, el ISP emitirá un documento de aceptación de las mismas en base a los resultados obtenidos. Este documento está diseñado para asegurar que se satisfacen todos los requisitos especificados por el ISP.

3.6.4 CAPACITACIÓN TEÓRICO PRÁCTICA

El oferente deberá brindar una capacitación orientada a la gestión, operación, administración y mantenimiento del *Backbone* MPLS para al menos 3 personas.

La capacitación la debe dictar una empresa certificada por el fabricante, en la que se incluya laboratorios para la realización de prácticas durante la capacitación y debe entregar certificados a los participantes emitidos directamente por la empresa que da la capacitación.

La duración de la capacitación no debe ser menor a 80 horas y debería incluir al menos los siguientes contenidos:

- BGP
- MPLS
- MPLS-QoS
- MPLS-TE
- MPLS-VPN

El oferente puede plantear los cursos que considere convenientes para que el personal del ISP esté plenamente capacitado para operar el *Backbone* MPLS.

3.6.5 PROCESO DE MIGRACIÓN

Una vez realizadas todas las pruebas que certifican el correcto funcionamiento del *Backbone* MPLS, se procederá a migrar la red existente del ISP para lo que se consideran los siguientes pasos:

1. Planificación de la Migración
2. Identificación de Riesgos de Migración
3. Migración

3.6.5.1 Planificación de la Migración

La Planificación de la Migración permite que se determinen los parámetros bajo los cuales se realizará la migración, considerando las actividades y sus respectivas fechas de ejecución.

Se debe establecer los horarios en los que se realizará la migración (ventanas de mantenimiento), debido a que estos tiempos fuera de servicio se deben comunicar a los clientes del ISP con anticipación, para que estén informados al respecto y tomen las medidas necesarias. Además, es importante proporcionar al cliente la información de las actividades que se van a realizar, su objetivo y los beneficios que se conseguirán.

Las actividades críticas del proceso de migración, en las que se suspenderá el servicio a los clientes del ISP, se realizarán en horas no laborables para afectar lo menos posible a los clientes.

La migración de la red del ISP a su nuevo *Backbone* MPLS se realizará de la siguiente manera:

1. Se interconectarán los Nodos Secundarios de nivel 2 (NS2), con los equipos *edge* LSRs correspondientes.
2. Se estabilizará la integración de los nodos NS2 al nuevo *Backbone* MPLS y se realizará el *troubleshooting* de la red.
3. Se migrará los clientes del nodo BBLn al equipo *edge* LSRs del nodo BBLd.
4. Se migrará los clientes de los Nodos Secundarios de Nivel 1 (NS1) a los nuevos equipos *edge* LSRs del correspondiente nodo.

Adicionalmente, se definirá el procedimiento de *roll-back*¹⁰³ a aplicarse en caso de que el proceso de migración no sea exitoso, de tal manera que se garantice que el cliente no sufra afectación en el servicio por un periodo mayor al establecido para la ventana de mantenimiento.

¹⁰³ *Roll-Back* (marcha atrás): Es una operación que permite regresar a un estado previo en el cual los componentes funcionaban correctamente, de tal manera que si se produce una falla sea posible regresar al estado original.

3.6.5.2 Identificación de Riesgos de Migración

Durante la planificación de la migración se podrán identificar los riesgos que podrían surgir durante la migración, mismos que deben ser analizados y provistos de una solución que los supere.

Estos riesgos podrían ser:

- Incumplimiento en los tiempos de fuera de servicio notificados a los clientes.
- Problemas de estabilización en la operación de los clientes.
- Incumplimiento de los SLA de los clientes.
- Degradación de la satisfacción de los clientes que genera disminuciones en la facturación.
- Falla en los procesos de *roll-back*.

3.6.5.3 Migración

Una vez realizada la planificación de la migración e identificados los posibles riesgos que podrían afectar su ejecución, se efectuará la migración rigiéndose a la planificación establecida en la sección anterior.

3.6.5.3.1 Interconexión Backbone MPLS-Red existente del ISP

En este punto del proceso, el *Backbone* MPLS se encuentra implementado y se han realizado las pruebas necesarias para comprobar su operación y funcionalidad, por lo que es pertinente realizar una interconexión entre el nuevo *Backbone* Óptico MPLS y la red existente del ISP.

En la Figura 2.1 del capítulo II se puede observar que:

- Nodo EDN se conecta con el nodo ATU.
- Nodo PIN se conecta con el nodo CAS.
- Nodo ILA se conecta con el nodo MNJ.

Estos nodos denominados NS2 (EDN, PIN e ILA) deben migrarse al nuevo *Backbone* MPLS, realizando las respectivas conexiones:

- Nodo EDN se migrará al *edge* LSRs del nodo ATU.
- Nodo PIN se migrará al *edge* LSRs del nodo CAS.
- Nodo ILA se migrará al *edge* LSRs del nodo MNJ.

Una vez realizadas las migraciones de los Nodos Secundarios de nivel 2 (NS2) se debe estabilizar su funcionamiento, realizar pruebas de interconexión y, *troubleshooting* (resolución de problemas o fallas), hasta que la red funcione correctamente.

3.6.5.3.2 Migración de Clientes

Algunos de los nodos que conforman el *Backbone* MPLS presentan clientes directamente conectados, que para su entrada en funcionamiento en la nueva red deben migrarse a los respectivos *edge* LSRs de cada nodo, así:

- Los clientes del nodo BBLn se migrarán al *edge* LSRs del nodo BBLd.
- Los clientes del nodo ATU se migrarán al *edge* LSRs del mismo nodo.
- Los clientes del nodo CAS se migrarán al *edge* LSRs del mismo nodo.
- Los clientes del nodo MNJ se migrarán al *edge* LSRs del mismo nodo.

Una vez realizadas las migraciones correspondientes se debe estabilizar la integración de los clientes y resolver los problemas (*troubleshooting*) que se presenten hasta que todos los procesos funcionales y operativos estén a conformidad del ISP.

3.6.6 SUSCRIPCIÓN DEL ACTA DE RECEPCIÓN PROVISIONAL

Cuando las pruebas de aceptación hayan sido aprobadas por el ISP, los equipos MPLS se hayan entregado a conformidad y la migración de la red existente hacia el nuevo *Backbone* MPLS se haya completado y se encuentre operando en

conjunto a conformidad del ISP, se realizará la suscripción del Acta de Recepción Provisional.

El oferente debe considerar que la suscripción del Acta de Recepción Definitiva se realizará una vez superada la etapa de monitoreo y *training on the job*.

3.6.7 MONITOREO Y TRAINING ON THE JOB

El oferente debería proporcionar personal capacitado (al menos 1) para que realice el monitoreo y gestión de la red (soporte en sitio) por el tiempo que el ISP haya definido en el RFP; esta persona se encargará de resolver problemas que se presenten en el transcurso del mismo.

Además esta persona se encargará de capacitar al personal de la empresa mientras realizan sus actividades diarias en su lugar de trabajo, resolviendo las inquietudes que pudieran surgir, y enseñando sobre el monitoreo y funcionamiento de la red, manejo de alarmas, etc.

Durante el tiempo de monitoreo y *training on the job* se realizarán las denominadas pruebas en servicio que permiten verificar que los equipos instalados están trabajando con la funcionalidad especificada y dentro de los parámetros de desempeño requeridos por el ISP

Las pruebas en servicio inician una vez se ha suscrito el Acta de Recepción Provisional, con lo cual se deja constancia de que los equipos fueron recibidos por el ISP, pero que aún se queda en espera de los resultados de las pruebas en servicio para dar por concluida la solución.

3.6.8 SUSCRIPCIÓN DEL ACTA DE RECEPCIÓN DEFINITIVA

Cuando se cumple con la etapa de monitoreo de la red, *training on the job* y todo esté a conformidad del ISP, se procede a suscribir el acta de recepción definitiva, y se da por concluido el proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS – CAPÍTULO 3

- [1] AMBI D., BARRERA R., “*Análisis de Interoperabilidad de las tecnologías SDH e IP aplicadas al diseño de un sistema de anillos Metropolitanos para la CNT EP en la ciudad de Riobamba*”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2010.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/629/1/38T00247.pdf>
- [2] CISCO SYSTEMS Inc, “*Cisco SMARTnet Service*”, USA, 2009.
www.cisco.com
- [3] CISCO SYSTEM, Inc., “*Cisco Router Guide*”, USA.
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps5855/Cisco_Router_Guide.pdf
- [4] CISCO SYSTEM, Inc., “*Cisco 7604 Chassis*”, USA.
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps368/product_data_sheet0900aecd8057f3b6.pdf
- [5] CISCO SYSTEM, Inc., “*Cisco XFP Modules for 10 Gigabit Ethernet and Packet Over-Sonet Applications*”, USA, 2012.
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/modules/ps5455/ps6574/product_data_sheet0900aecd802a61b9.pdf
- [6] CISCO SYSTEM, Inc., “*Cisco 1-Port 10 Gigabit Ethernet Shared Port Adapter*” USA, 2011.
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/modules/ps6267/product_data_sheet0900aecd8027cb78.pdf
- [7] CISCO SYSTEM, Inc., “*Cisco Small Form-Factor Pluggable Modules for Gigabit Ethernet Applications*”, USA, 2012
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/modules/ps5455/ps6577/product_data_sheet0900aecd8033f885.pdf

- [8] CISCO SYSTEM Inc., “Cisco ME 6524 Ethernet Switch”, USA, 2007-2009
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps6568/ps6845/ps6846/prod_bulletin0900aecd80406599.pdf
- [9] DACCACH J., “RFP”, GESTIOPOLIS, 1997-2007
<http://www.gestiopolis.com/delta/term/TER343.html>
- [10] FONTA J., “TFC: Sistemas de información. Gestión de proyectos informáticos”, 2004
<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/575/1/27733tfc.pdf>
- [11] MUNICIPALIDAD DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO,
“Ordenanza No. 0022: Régimen Administrativo de Otorgamiento y Aplicación de la Licencia Metropolitana Urbanística de Utilización o Aprovechamiento del Espacio Público para la Instalación de Redes de Servicio – LMU 40”.
- [12] PETROCOMERCIAL, “Pliegos Concurso Público de Consultoría”, 2008
- [13] http://www.coteor.net.bo/licitaciones/Licitacion_26.pdf
- [14] <http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/arquisoft/fileadmin/Estudiantes/Pruebas/HTML%20-%20Pruebas%20de%20software/node55.html>
- [15] <http://www.huihongfiber.com/pdf/glc-lh-sm.pdf>

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para concluir con el proyecto de titulación, este capítulo se dedicará a la presentación de las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo de su desarrollo.

4.1 CONCLUSIONES

De los análisis realizados en el diseño del *Backbone* Óptico MPLS se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- De forma general se puede definir a MPLS como una tecnología destinada a optimizar el proceso de enrutamiento y envío tradicional IP, en el que se requieren consultas permanentes a la tabla de enrutamiento desperdiciando capacidad de procesamiento de los dispositivos de red. En lugar de ello MPLS realiza una asignación de etiquetas para una ruta específica (LSP), evitando las consultas repetitivas y simplificando el proceso a un intercambio de etiquetas.
- Se definieron conceptos fundamentales asociados a la tecnología MPLS, como: FEC, que establece una ruta según el tipo de información presente en el paquete; LSR y *edge* LSR que constituyen los equipos que conforman el dominio MPLS, el LSR realiza la conmutación de etiquetas y el *edge* LRS tiene la capacidad de realizar *forwarding* IP tradicional además del basado en etiquetas; y LSP, que es la ruta o camino definido para los paquetes.
- Otras ventajas de MPLS son sus aplicaciones. Mediante la aplicación de mecanismos de Ingeniería de Tráfico, MPLS puede evitar la sobrecarga de las rutas óptimas a través del re-direccionamiento de los paquetes a rutas alternativas equilibrando el tráfico por distintas trayectorias. Con la

implementación de Calidad de Servicio se pueden ofrecer aplicaciones que requieren alta velocidad, gran ancho de banda, bajo tiempo de transmisión, integridad de información, etc, para lo cual MPLS maneja un *stack* de etiquetas en el que se asigna prioridades al tráfico de la red según las políticas definidas entre el cliente y el proveedor.

- Para el desarrollo del presente diseño, fue necesario estudiar la red actual del ISP a partir de la información proporcionada por el Departamento de Planificación, analizando la infraestructura existente, la estructura y el tráfico cursado actualmente, para así, realizar la proyección de tráfico, seleccionar el equipamiento MPLS que se empleará y las rutas de fibra óptica a seguir.
- La arquitectura *DiffServ* permite integrar la Calidad de Servicio entre la tecnología MPLS y la IP, y se considera sobresaliente sobre *IntServ* porque permite clasificar los paquetes en clases con diferentes prioridades de tal forma que todos los paquetes pertenecientes a la misma clase se pueden agrupar para que reciban un mismo trato por la red, en lugar de reservar recursos en todos los dispositivos para cada flujo de tráfico.
- Para el diseño de la red se consideró el modelo jerárquico, debido a que separa la red en tres capas, donde cada una tiene funcionalidades específicas, permitiendo reducir la complejidad y los problemas, además de conseguir una red escalable y fácilmente administrable.
- Si el ISP decide implementar la nueva red MPLS, este proceso será transparente para sus clientes debido a que se desarrollará de manera independiente y en paralelo al normal funcionamiento de la red actual del ISP, hasta cuando la nueva red se encuentre completamente funcional y operativa y sea necesaria la migración de la red actual al nuevo *Backbone* Óptico MPLS.
- Los equipos que se seleccionaron para la implementación de la red, a nivel del núcleo y de la distribución, son de la marca CISCO debido a que fueron

los que cumplieron con las características técnicas requeridas para el desarrollo del *Backbone* Óptico MPLS, además de prestar servicios adicionales y contar con reconocimiento local y mundial.

- Para el diseño del *Backbone* Óptico MPLS se escogió la fibra óptica como medio de transmisión puesto que presenta una elevada capacidad de transportar tráfico, baja atenuación y alcanza grandes distancias, además de la seguridad y confiabilidad que confiere a la transmisión de la información.
- La fibra óptica normalizada en la recomendación ITU-T G.652D fue seleccionada por cumplir satisfactoriamente con los requerimientos del diseño, en cuanto a distancia y a capacidad de transmisión.
- Para el tendido aéreo se escogió el cable “Figura 8” como la opción más viable por su bajo costo de implementación y de accesorios de instalación. Para el tendido subterráneo se seleccionó la técnica de microzanjado, porque ocasiona menores molestias al tráfico y transeúntes, es más económica que el zanjado y ocupa poco espacio en las aceras.
- Para determinar las rutas de fibra óptica se analizó la Ordenanza Municipal No. 0022, en la que se establecen Zonas para el tendido de redes de servicio y se determina el tipo de instalación permitido. Se comprobó que el ISP debe contar con la licencia LMU-40 para realizar tendido de fibra nuevo y para mantener el ya existente.
- Para la realización del trazado de todas las rutas de fibra óptica se prefirió el tendido aéreo sobre el subterráneo debido a que los costos y tiempo de instalación son considerablemente más bajos. Así, las rutas fueron seleccionadas dentro del área de las “Zonas B” en las que está permitido el tendido aéreo y particularmente en los casos donde no existía otra posibilidad se trazaron rutas en las zonas exclusivas para el tendido subterráneo (“Zonas A”, “Zonas C”).

- En el cálculo de pérdidas realizado para cada tramo de fibra óptica, la atenuación total calculada no sobrepasa la atenuación máxima permisible, por lo que se concluye que los equipos de transmisión y recepción óptica fueron seleccionados correctamente.
- La aplicación de una metodología en el desarrollo de un proyecto facilita la realización de una planificación integral del mismo y además permite mantener una visión continua de todos los procesos y actividades necesarios para garantizar que el proyecto transcurra a través de las diferentes etapas sin mayores contratiempos que los previamente identificados, de tal forma que se pueda cumplir a cabalidad con lo planificado.

4.2 RECOMENDACIONES

Para complementar este proyecto de titulación se realizan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda que el ISP considere posteriormente la posibilidad de ampliar el tendido de fibra óptica hacia los nodos considerados de acceso y de implementar la tecnología MPLS también en esos nodos, de tal forma que la solución sea más completa y se aprovechen los beneficios de esta tecnología y de la fibra desde los nodos más pequeños que concentran tráfico, reduciendo el procesamiento de los nodos considerados en el diseño como *edge* LSRs.
- Se recomienda que se revise la redundancia del *Backbone* Óptico MPLS, tanto del tendido de fibra como de equipamiento, debido a que el anillo existente entre los nodos del núcleo, debería tener una ruta alternativa de fibra para asegurar una mayor disponibilidad y los nodos deberían contar con otros equipos del mismo tipo o de gama superior para soportar el tráfico total cursado por la red.
- Si el ISP decide implementar este diseño de *Backbone* Óptico MPLS, debe considerar que los costos presentados en el capítulo III, son referenciales y

por lo tanto no reflejan completamente el costo que podría implicar la implementación real de la red, además se debe considerar el tiempo en que se desarrolla el proyecto, porque los impuestos y la inflación podrían aumentar el costo del proyecto.

- Actualmente la capacidad del ISP está llegando al punto máximo soportado por su red, por lo que se recomienda un despliegue cercano del nuevo Backbone, o en su efecto contratación de mayor capacidad con el proveedor actual de la red de transporte.
- Previo a la implementación del *Backbone* MPLS y como complemento del diseño es recomendable que se emplee un software de simulación, que permita realizar configuraciones virtuales de la red, para obtener una idea más precisa del funcionamiento de la misma y de los problemas que se podrían presentar durante la implementación.
- Los equipos que dispone actualmente el ISP, se pueden ubicar en nodos de los extremos de la red (acceso) donde no se requiere el manejo de MPLS, de esta manera se optimizará los recursos con los que cuenta el ISP.