



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

"E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S"

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

REINGENIERÍA DE LA RED MAN DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES – LOJA Y DISEÑO DE UNA RED GPON PARA SUS CLIENTES CORPORATIVOS

TOMO I

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE INFORMACIÓN

KARINA DEL CISNE SUÁREZ SARMIENTO
kary-suarez@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PABLO WILLIAN HIDALGO LASCANO
pablo.hidalgo@epn.edu.ec

Quito, Noviembre 2012

DECLARACIÓN

Yo, Karina del Cisne Suárez Sarmiento, 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.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

KARINA DEL CISNE SUÁREZ SARMIENTO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Karina del Cisne Suárez Sarmiento, bajo mi supervisión.

Ing. Pablo Willian Hidalgo Lascano

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme compartir todos estos años con las personas que más amo, y culminar con esta meta tan importante para mi carrera profesional.

A mi familia, que con el apoyo incondicional y aliento que me han brindado a lo largo de todo este tiempo, han hecho posible terminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mi director de proyecto de titulación, Ing. Pablo Hidalgo, por su guía a lo largo de la realización de este proyecto, que con su conocimiento y experiencia ha hecho posible la culminación del mismo.

A la CNT-EP por su apoyo en el desarrollo de este proyecto, en especial a todo el personal de O&M IP/MPLS por compartir sus conocimientos y experiencia conmigo, y por su guía a lo largo del desarrollo del mismo.

Karina

DEDICATORIA

A mis padres Armando y Susana, quienes han sabido apoyarme de la mejor manera, por su amor y confianza en mí, por sus palabras de aliento en momentos difíciles, por todo cuanto me han enseñado e inculcado en mí, por las lecciones de vida que han hecho de mí un mejor ser humano.

A mis hermanos Adrián y Alexandra quienes son mis mejores amigos y han estado a mi lado en los momentos más importantes, y en muchos aspectos de la vida son un verdadero ejemplo a seguir.

A mis amigos, quienes han sido un segundo hogar para mí, por todos esos momentos compartidos a lo largo de este tiempo.

Karina

ÍNDICE GENERAL

TOMO I

DECLARACIÓN	i
CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xx
RESUMEN	xxiv
PRESENTACIÓN	xxvi

CAPÍTULO I

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1 NEW GENERATION NETWORKS	1
1.1.1 ARQUITECTURA GENERAL	3
1.1.2 NIVEL DE SERVICIOS	4
1.1.3 NIVEL DE GESTIÓN/CONTROL	4
1.1.3.1 Softswitch	5
1.1.3.1.1 Media Gateway Controller	6
1.1.3.1.2 Signaling Gateway	6
1.1.3.1.3 Media Gateway	6
1.1.3.1.4 Media Server	7
1.1.3.1.5 Feature Server	7
1.1.3.2 Protocolos de Señalización y Control	7

1.1.3.2.1	<i>Gestión de Sesión</i>	7
1.1.3.2.2	<i>Control de Gateways</i>	8
1.1.3.2.3	<i>Señalización SS7 sobre IP</i>	9
1.1.4	NIVEL DE TRANSPORTE	9
1.1.4.1	Multiprotocol Label Switching	10
1.1.4.1.1	<i>Arquitectura MPLS</i>	12
1.1.4.1.2	<i>Calidad de Servicio</i>	14
1.1.4.1.3	<i>Ingeniería de Tráfico</i>	15
1.1.4.1.4	<i>Virtual Private Networks</i>	16
1.1.4.2	Multicast	19
1.1.4.3	Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)	19
1.1.5	NIVEL DE ACCESO	20
1.1.5.1	Access Media Gateway	21
1.2	PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO	21
1.2.1	INTRODUCCIÓN	21
1.2.2	IS-IS	24
1.2.2.1	Elementos Funcionales	24
1.2.2.1.1	<i>Router de Nivel-1</i>	25
1.2.2.1.2	<i>Router de Nivel-2</i>	25
1.2.2.1.3	<i>Router de Nivel-1/Nivel-2</i>	26
1.2.2.2	Direccionamiento	26
1.2.2.3	Funcionamiento de IS-IS	28
1.2.2.3.1	<i>Tipos de Paquetes</i>	28
1.2.2.3.2	<i>Lógica del Enrutamiento</i>	29
1.3	JERARQUÍA EN REDES DE ALTA DISPONIBILIDAD	30
1.3.1	NÚCLEO	31
1.3.2	DISTRIBUCIÓN	31
1.3.3	ACCESO	32
1.4	PROTOCOLOS PARA REDUNDANCIA DE GATEWAYS	32
1.4.1	<i>VIRTUAL ROUTER REDUNDANCY PROTOCOL (VRRP)</i>	33
1.4.1.1	Funcionamiento de VRRP	33

1.4.1.2	Balanceo de Carga	33
1.4.2	<i>HOT STANDBY ROUTER PROTOCOL (HSRP)</i>	34
1.4.2.1	Funcionamiento de HSRP	34
1.4.2.2	Balanceo de Carga	35
1.4.3	<i>GATEWAY LOAD BALANCING PROTOCOL (GLBP)</i>	35
1.4.3.1	Funcionamiento de GLBP	35
1.4.3.2	Balanceo de Carga	36
1.5	PROTOCOLOS PARA ALTA DISPONIBILIDAD EN CAPA	
	ENLACE	37
1.5.1	INTRODUCCIÓN	37
1.5.1.1	Síntesis de <i>Spanning Tree Protocol</i> (STP)	37
1.5.1.2	Síntesis de <i>Rapid Spanning Tree Protocol</i> (RSTP)	38
1.5.1.3	Síntesis de <i>Per VLAN Spanning Tree</i> (PVST)	39
1.5.1.4	Síntesis de Transparent Interconnection of Lots of Links (TRILL)	40
1.5.1.5	Síntesis de <i>Shortest Path Bridging</i> (SPB)	41
1.5.2	<i>MULTIPLE SPANNING TREE PROTOCOL (MSTP)</i>	42
1.5.2.1	Regiones	42
1.5.2.1.1	<i>CIST Root</i>	44
1.5.2.1.2	<i>CIST Regional Root</i>	44
1.5.2.2	Funcionamiento de MSTP entre Regiones	44
1.5.2.2.1	<i>Internal Spanning Tree (IST)</i>	45
1.5.2.3	Funcionamiento de MSTP dentro de una Región	46
1.5.2.3.1	<i>Multiple Spanning Tree Instances (MSTIs)</i>	47
1.5.3	<i>RESILIENT ETHERNET PROTOCOL (REP)</i>	47
1.5.3.1	Segmentos	48
1.5.3.2	Funcionamiento de REP	49
1.5.3.3	Balanceo de Carga	50
1.6	PROTOCOLOS DE AGREGACIÓN DE ENLACES	50
1.6.1	<i>LINK AGGREGATION CONTROL PROTOCOL (LACP)</i>	50
1.6.1.1	Atributos del Equipo	50
1.6.1.2	Atributos de los Puertos	51

1.6.1.3	Funcionamiento de LACP	51
1.6.2	ETHERCHANNEL	52
1.6.2.1	Funcionamiento de <i>EtherChannel</i>	52
1.6.2.2	<i>Port Aggregation Protocol (PAgP)</i>	53
1.6.2.2.1	<i>Elementos de PAgP</i>	53
1.6.2.2.2	<i>Funcionamiento de PAgP</i>	54
1.7	TECNOLOGÍA GPON	54
1.7.1	INTRODUCCIÓN	54
1.7.2	SOLUCIONES DE ACCESO CON FIBRA ÓPTICA	55
1.7.2.1	<i>Fiber to the Node/Neighborhood (FTTN)</i>	56
1.7.2.2	<i>Fiber to the Curb (FTTC)</i>	57
1.7.2.3	<i>Fiber to the Building (FTTB)</i>	57
1.7.2.4	<i>Fiber to the Home (FTTH) / Fiber to the Office (FTTO)</i>	57
1.7.3	DIFERENTES TECNOLOGÍAS PON	57
1.7.3.1	<i>Asynchronous Transfer Mode over PON (APON)</i>	58
1.7.3.2	<i>Broadband PON (BPON)</i>	58
1.7.3.3	<i>Ethernet PON (EPON)</i>	58
1.7.3.4	<i>10 Gigabit Ethernet PON (10G-EPON)</i>	59
1.7.3.5	<i>Next Generation PON 1 (NG-PON1)</i>	59
1.7.3.6	<i>Next Generation PON 2 (NG-PON2)</i>	60
1.7.3.7	Comparación de las diferentes Soluciones PON	60
1.7.4	GIGABIT CAPABLE PON (GPON)	61
1.7.4.1	Elementos Activos	63
1.7.4.2	Elementos Pasivos	64
1.7.4.2.1	<i>Splitters</i>	65
1.7.4.2.2	<i>Fibra Óptica</i>	66
1.7.4.3	Funcionamiento de GPON	70
1.7.4.3.1	<i>Tráfico Downstream</i>	71
1.7.4.3.2	<i>Tráfico Upstream</i>	72

CAPÍTULO II

2	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS REDES DE NODOS Y CORPORATIVA DE LA CNT-LOJA	74
2.1	SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE NODOS	74
2.1.1	ESTRUCTURA GENERAL DE LA RED	74
2.1.2	TOPOLOGÍA FÍSICA DE LA RED DE LA CNT-LOJA	76
2.1.2.1	Estructura de un Nodo	78
2.1.2.1.1	<i>IP DSLAM</i>	78
2.1.2.1.2	<i>MSAN</i>	79
2.1.2.1.3	<i>Switch</i>	79
2.1.2.1.4	<i>Equipos Pasivos</i>	80
2.1.3	TOPOLOGÍA LÓGICA DE LA RED DE LA CNT-LOJA	80
2.1.4	DENSIDAD Y PROYECCIÓN DE USUARIOS RESIDENCIALES	81
2.1.5	DENSIDAD DE TRÁFICO	83
2.1.6	REGULACIÓN SUPERTEL	85
2.1.6.1	Metas Anuales Individuales Globales	85
2.1.6.2	Metas Globales de Calidad	86
2.1.6.3	Penalizaciones para Interrupciones de Servicios	89
2.1.6.3.1	<i>Resumen</i>	91
2.1.7	ESTADÍSTICAS DE INTERRUPCIONES DE SERVICIO	91
2.2	SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED CORPORATIVA	93
2.2.1	INTRODUCCIÓN	93
2.2.2	TARIFAS EN LOS PLANES CORPORATIVOS	95
2.2.2.1	Plan Corporativo ADSL2+	96
2.2.2.2	Plan Corporativo SDSL	97
2.2.3	ANÁLISIS DE CLIENTES PARA LA RED GPON	98
2.2.3.1	Análisis de Clientes existentes	98
2.2.3.2	Análisis de Clientes potenciales	99
2.2.3.3	Proyección de Clientes Corporativos	100

2.2.4 UBICACIÓN DE LOS CLIENTES CORPORATIVOS EN LA RED GPON	101
---	-----

CAPÍTULO III

3 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS, REINGENIERÍA DE LA RED MAN Y DISEÑO DE LA RED GPON	103
3.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	103
3.1.1 REQUERIMIENTOS PARA LA RED DE ÁREA METROPOLITANA	103
3.1.2 REQUERIMIENTOS PARA LA RED CORPORATIVA	104
3.2 REINGENIERÍA DE LA RED MAN	105
3.2.1 INTRODUCCIÓN	105
3.2.2 COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES SOLUCIONES	106
3.2.2.1 Soluciones para la Red de Distribución	106
3.2.2.2 Soluciones para la Red de Acceso	108
3.2.3 ARQUITECTURA GENÉRICA DE LA RED Y SOLUCIONES ESCOGIDAS	110
3.2.3.1 Soluciones Escogidas para la Red de Distribución	112
3.2.3.1.1 Integración con el resto de la red de la CNT-EP	112
3.2.3.1.2 Soluciones para Redundancia de Gateways	113
3.2.3.2 Soluciones Escogidas para la Red de Acceso	118
3.2.3.2.1 Alta Disponibilidad en Capa Enlace con MST	118
3.2.3.2.2 Alta Disponibilidad en Capa Enlace con REP	122
3.2.4 REDISEÑO DE LA RED	125
3.2.4.1 Primera Etapa	126
3.2.4.1.1 Esquema Físico de la Primera Etapa	126
3.2.4.1.2 Esquema Lógico de la Primera Etapa	129
3.2.4.1.3 Consideraciones para la Red de Distribución	136
3.2.4.1.4 Consideraciones para la Red de Acceso	137
3.2.4.2 Segunda Etapa	138

3.2.4.2.1 Esquema Físico de la Segunda Etapa	138
3.2.4.2.2 Esquema Lógico de la Segunda Etapa	141
3.2.4.2.3 Consideraciones para la Red de Distribución	148
3.2.4.2.4 Consideraciones para la Red de Acceso	148
3.2.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS QUE DEBEN SOPORTAR LOS EQUIPOS	149
3.2.5.1 Características Técnicas para los <i>Routers</i> MPLS	149
3.2.5.2 Características Técnicas para los <i>Switches Metro Ethernet</i>	150
3.2.5.3 Características Técnicas para el cableado de fibra	151
3.2.5.3.1 Densidad de Tráfico en los enlaces	151
3.2.5.3.2 Tipos de Fibra Óptica	156
3.2.6 COMPARACIÓN DE EQUIPOS	159
3.2.6.1 Router MPLS	159
3.2.6.2 Switch Metro Ethernet	161
3.3 DISEÑO DE LA RED GPON	162
3.3.1 ANÁLISIS DEL SECTOR A CUBRIR	162
3.3.1.1 División del Sector en Zonas	163
3.3.1.2 Análisis del número de Clientes por Zonas	164
3.3.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO	165
3.3.3 DIAGRAMA GENÉRICO DE LA RED	167
3.3.4 RECORRIDO DE LA RED CORPORATIVA GPON	169
3.3.4.1 Topología Física de la Red	169
3.3.4.2 Tendidos de Fibra y empalmes	170
3.3.4.3 Análisis de Distancias	171
3.3.5 ESTRUCTURA DE LA RED CORPORATIVA GPON	173
3.3.5.1 Estructura de la Oficina Central	175
3.3.5.2 Estructura de los Puntos de Distribución	176
3.3.5.3 Análisis de pérdidas en la Red	176
3.3.6 SERVICIOS MULTIMEDIA	180
3.3.7 REQUERIMIENTOS PARA LA RED GPON	182
3.3.7.1 Requerimientos para el Equipamiento Activo	182

3.3.7.2	Requerimientos para el Equipamiento Pasivo	183
3.3.8	COMPARACIÓN DE EQUIPOS	186
3.3.8.1	OLT	186
3.3.8.2	ONT	187

CAPÍTULO IV

4	ANÁLISIS DE COSTOS	190
4.1	INTRODUCCIÓN	190
4.2	CRONOGRAMA	191
4.3	PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL PROYECTO	193
4.3.1	INVERSIONES FIJAS	193
4.3.1.1	Equipamiento Activo	193
4.3.1.1.1	Router MPLS	194
4.3.1.1.2	Switch Metro Ethernet	195
4.3.1.1.3	Optical Line Terminal	196
4.3.1.1.4	Optical Network Terminal	197
4.3.1.1.5	Costo Total del Equipamiento Activo	197
4.3.1.2	Red Pasiva	198
4.3.1.2.1	Tendido de Fibra Óptica	198
4.3.1.2.2	Equipamiento Pasivo	199
4.3.1.2.3	Costo Total de la Red Pasiva	201
4.3.1.3	Obra Civil y Otras Inversiones	201
4.3.2	DEPRECIACIÓN DE ACTIVOS FIJOS	202
4.3.3	INVERSIONES NOMINALES Y AMORTIZACIÓN	203
4.3.4	INVERSIÓN INICIAL (I ₀)	204
4.4	GASTOS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROYECTO	205
4.4.1	GASTOS OPERATIVOS	205
4.4.2	GASTOS DE VENTAS	206
4.4.3	GASTOS TOTALES DE FUNCIONAMIENTO	206

4.5	INGRESOS DEL PROYECTO	207
4.5.1	COSTO DEL SERVICIO	207
4.5.1.1	Clientes Masivos	207
4.5.1.1.1	<i>Servicio de Telefonía</i>	207
4.5.1.1.2	<i>Servicio de Internet Residencial</i>	208
4.5.1.2	Clientes Corporativos	209
4.5.1.2.1	<i>Servicio de Telefonía</i>	209
4.5.1.2.2	<i>Servicio de Internet Corporativo</i>	209
4.5.1.2.3	<i>Servicio Corporativo de Datos</i>	210
4.5.2	MODELO DE CRECIMIENTO DE VENTAS	210
4.5.2.1	Usuarios Masivos	211
4.5.2.1.1	<i>Servicio de Telefonía</i>	212
4.5.2.1.2	<i>Servicio de Internet Residencial</i>	213
4.5.2.2	Usuarios Corporativos	215
4.5.2.2.1	<i>Servicio de Telefonía</i>	215
4.5.2.2.2	<i>Servicio de Internet Corporativo</i>	217
4.5.2.2.3	<i>Servicio Corporativo de Datos</i>	218
4.5.3	INGRESOS TOTALES	220
4.6	MULTAS POR FALLAS DE ENLACES	223
4.7	FLUJO DE EFECTIVO	223
4.8	EVALUACIÓN FINANCIERA	226
4.8.1	TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR)	226
4.8.2	VALOR ACTUAL NETO (VAN)	227
4.8.3	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	228
4.8.4	PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI)	229
4.8.4.1	Caso Óptimo	230
4.8.4.2	Caso Crítico	231
4.8.5	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA	232

CAPÍTULO V

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	234
5.1	CONCLUSIONES	234
5.1.1	RED DE NODOS	234
5.1.2	RED GPON	240
5.2	RECOMENDACIONES	241
5.2.1	RED DE NODOS	241
5.2.2	RED GPON	244

TOMO II

ANEXOS

ANEXO A:	VARIACIÓN DE LAS TARIFAS EN PLANES CORPORATIVOS
ANEXO B:	GRÁFICAS DE LA DENSIDAD DE TRÁFICO
ANEXO C:	DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO RESPECTO A PROTOCOLOS DE REDUNDANCIA DE <i>GATEWAYS</i>
ANEXO D:	DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO RESPECTO A PROTOCOLOS DE REDUNDANCIA EN CAPA ENLACE
ANEXO E:	PLANO DE LA PRIMERA ETAPA DE AMPLIACIÓN PARA LA RED DE NODOS
ANEXO F:	PLANO DE LA SEGUNDA ETAPA DE AMPLIACIÓN PARA LA RED DE NODOS
ANEXO G:	PLANO DE LA RED GPON
ANEXO H:	COTIZACIÓN DE EQUIPOS ACTIVOS Y PASIVOS DE ESTE PROYECTO
ANEXO I:	DOCUMENTACIÓN DEL <i>ROUTER</i> MPLS CISCO ME 3800X
ANEXO J:	DOCUMENTACIÓN DEL <i>ROUTER</i> MPLS HUAWEI CX600-X3

- ANEXO K:** DOCUMENTACIÓN DEL *SWITCH METRO ETHERNET* CISCO CATALYST 4500-X
- ANEXO L:** DOCUMENTACIÓN DEL *SWITCH METRO ETHERNET* HUAWEI S5700
- ANEXO M:** DOCUMENTACIÓN DE LA OLT ALCATEL-LUCENT ISAM FTTU 7342
- ANEXO N:** DOCUMENTACIÓN DE LA OLT HUAWEI MA5600T
- ANEXO O:** DOCUMENTACIÓN DE LA ONT ALCATEL-LUCENT I-220E INDOOR
- ANEXO P:** DOCUMENTACIÓN DE LA ONT HUAWEI HG8240 INDOOR
- ANEXO Q:** TABLA DE ACRÓNIMOS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

<i>Figura 1.1 - Estructura del Modelo NGN</i>	3
<i>Figura 1.2 - MPLS en el Modelo ISO/OSI</i>	10
<i>Figura 1.3 - Elementos en MPLS</i>	11
<i>Figura 1.4 - Funcionamiento de MPLS</i>	12
<i>Figura 1.5 - Arquitectura MPLS</i>	13
<i>Figura 1.6 - Arquitectura de Differentiated Services</i>	15
<i>Figura 1.7 - Terminología para el estudio de una VPN MPLS</i>	16
<i>Figura 1.8 - Túnel MPLS de Capa 2</i>	17
<i>Figura 1.9 - Túnel MPLS de Capa 3</i>	18
<i>Figura 1.10 - Esquema Funcional de DWDM</i>	20
<i>Figura 1.11 - Clasificación de los Protocolos de Enrutamiento Dinámico</i>	22
<i>Figura 1.12 - Áreas y Routers de Backbone</i>	25
<i>Figura 1.13 - Formato de la Network Entity Title</i>	26
<i>Figura 1.14 - Alta Disponibilidad</i>	30
<i>Figura 1.15 - Diseño Jerárquico de Redes</i>	31
<i>Figura 1.16 - Esquema de VRRP</i>	33
<i>Figura 1.17 - Esquema de HSRP</i>	34
<i>Figura 1.18 - Esquema de GLBP</i>	35
<i>Figura 1.19 - Esquema General del CIST</i>	43
<i>Figura 1.20 - Funcionamiento de MSTP entre Regiones</i>	45
<i>Figura 1.21 - Funcionamiento de MSTP dentro de una Región</i>	46
<i>Figura 1.22 - Esquema de Segmentos con REP</i>	48
<i>Figura 1.23 - Funcionamiento de REP</i>	49
<i>Figura 1.24 - Soluciones FTTX</i>	56
<i>Figura 1.25 - Esquema General de la Tecnología GPON</i>	62
<i>Figura 1.26 - Cable ADSS</i>	67
<i>Figura 1.27 - Cable Figura-8</i>	67

<i>Figura 1.28 - Cable OPGW</i>	67
<i>Figura 1.29 - Cable Lashed</i>	68
<i>Figura 1.30 - Cable Loose Tube</i>	70
<i>Figura 1.31 - Cable Central Loose Tube</i>	70
<i>Figura 1.32 - Tráfico de Downstream en GPON</i>	71
<i>Figura 1.33 - Tráfico de Upstream en GPON</i>	72

CAPÍTULO II

<i>Figura 2.1 - Esquema de la red de la CNT para Loja</i>	75
<i>Figura 2.2 - Red inicial de Nodos</i>	77
<i>Figura 2.3 - Esquema de un Nodo</i>	78
<i>Figura 2.4 - Topología Lógica inicial de la Red de Nodos</i>	80
<i>Figura 2.5 - Proyección del Número de Líneas Telefónicas</i>	82
<i>Figura 2.6 - Proyección del número de Usuarios de Internet</i>	83
<i>Figura 2.7 - Interrupciones de servicios para las diferentes Operadoras</i>	92
<i>Figura 2.8 - Disponibilidad en los tendidos de fibra</i>	95
<i>Figura 2.9 - Crecimiento del Número de Clientes Corporativos</i>	100
<i>Figura 2.10 - Ubicación de los Clientes Corporativos</i>	102

CAPÍTULO III

<i>Figura 3.1 - Comparación de la Convergencia entre VRRP, HSTP y GLBP</i>	108
<i>Figura 3.2 - Esquema de los enlaces de Loja con otras provincias</i>	110
<i>Figura 3.3 - Diagrama Genérico para la Red de Nodos</i>	111
<i>Figura 3.4 - Funcionamiento de VRRP</i>	115
<i>Figura 3.5 - Funcionamiento de GLBP</i>	117
<i>Figura 3.6 - Alta Disponibilidad en Capa Enlace con MST</i>	119
<i>Figura 3.7 - Alta Disponibilidad en Capa Enlace con REP</i>	123
<i>Figura 3.8 - Diagrama de la Red de Nodos Primera Etapa</i>	126
<i>Figura 3.9 - Esquema de la Topología Física de la Red de Nodos, Primera Etapa</i>	129

<i>Figura 3.10 - Topología Lógica Propuesta para la Red de Nodos Primera Etapa</i>	131
<i>Figura 3.11 - Diagrama de la Red de Nodos Segunda Etapa</i>	139
<i>Figura 3.12 - Esquema de la Topología Física de la Red de Nodos, Segunda Etapa</i>	141
<i>Figura 3.13 - Topología Lógica Propuesta para la Red de Nodos Segunda Etapa</i>	143
<i>Figura 3.14 - Densidad del tráfico de Downstream en el “Enlace 1” entre Loja y Cuenca</i>	152
<i>Figura 3.15 - Densidad del tráfico de Upstream en el “Enlace 1” entre Loja y Cuenca</i>	154
<i>Figura 3.16 - Zonas a cubrir con cada Punto de Distribución</i>	163
<i>Figura 3.17 - Diagrama Genérico de la Red GPON</i>	168
<i>Figura 3.18 - Recorrido de la Red GPON</i>	169
<i>Figura 3.19 - Diagrama de la red GPON</i>	171
<i>Figura 3.20 - Esquema del Tendido de Fibra Existente y Proyectado</i>	171
<i>Figura 3.21 - Esquema de la Optical Distribution Network</i>	173
<i>Figura 3.22 - Estructura de la Oficina Central</i>	175

CAPÍTULO IV

<i>Figura 4.1 - Cronograma del Proyecto</i>	192
<i>Figura 4.2 - Ciclo de Vida de un Producto</i>	210
<i>Figura 4.3 - Modelo Óptimo del Crecimiento de Ventas del Servicio de Telefonía para Usuarios Masivos</i>	212
<i>Figura 4.4 - Modelo Crítico del Crecimiento de Ventas del Servicio de Telefonía para Usuarios Masivos</i>	213
<i>Figura 4.5 - Modelo Óptimo del Crecimiento de Ventas del Servicio de Internet para Usuarios Masivos</i>	214
<i>Figura 4.6 - Modelo Crítico del Crecimiento de Ventas del Servicio de Internet para Usuarios Masivos</i>	215

<i>Figura 4.7 - Modelo Óptimo del Crecimiento de Ventas del Servicio de Telefonía para Usuarios Corporativos</i>	<i>216</i>
<i>Figura 4.8 - Modelo Crítico del Crecimiento de Ventas del Servicio de Telefonía para Usuarios Corporativos</i>	<i>216</i>
<i>Figura 4.9 - Modelo Óptimo del Crecimiento de Ventas del Servicio de Internet Corporativo</i>	<i>217</i>
<i>Figura 4.10 - Modelo Crítico del Crecimiento de Ventas del Servicio de Internet Corporativo</i>	<i>218</i>
<i>Figura 4.11 - Modelo Óptimo del Crecimiento de Ventas del Servicio Corporativo de Datos</i>	<i>219</i>
<i>Figura 4.12 - Modelo Crítico del Crecimiento de Ventas del Servicio Corporativo de Datos</i>	<i>220</i>
<i>Figura 4.13 - Principales Indicadores Económicos según CEDATOS</i>	<i>227</i>
<i>Figura 4.14 - Esquema del Flujo de Efectivo para el Caso Óptimo</i>	<i>230</i>
<i>Figura 4.15 - Esquema del Flujo de Efectivo para el Caso Crítico</i>	<i>231</i>

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

<i>Tabla 1.1 - Comparación de los Protocolos de Vector Distancia y Estado de Enlace</i>	22
<i>Tabla 1.2 - Comparación de los Protocolos de Enrutamiento Dinámico</i>	23
<i>Tabla 1.3 - Comparación de las Soluciones de Acceso XPON</i>	61
<i>Tabla 1.4 - Comparación de las Tecnologías de Splitters</i>	66
<i>Tabla 1.5 - Comparación de Cables Aéreos</i>	68

CAPÍTULO II

<i>Tabla 2.1 - Crecimiento de Usuarios de Telefonía e Internet</i>	82
<i>Tabla 2.2 - Tráfico soportado por cada nodo</i>	84
<i>Tabla 2.3 - Tráfico soportado por cada enlace entre Loja y Cuenca</i>	84
<i>Tabla 2.4 - Índices de Calidad</i>	88
<i>Tabla 2.5 - Infracciones y Sanciones para la CNT-EP</i>	91
<i>Tabla 2.6 - Tabla del Factor de Disponibilidad para el servicio ADSL2+</i>	96
<i>Tabla 2.7 - Plan Corporativo ADSL2+</i>	97
<i>Tabla 2.8 - Tabla del Factor de Disponibilidad para el servicio SDSL</i>	97
<i>Tabla 2.9 - Plan Corporativo SDSL</i>	98

CAPÍTULO III

<i>Tabla 3.1 - Cuadro Comparativo de los Protocolos de Redundancia de Gateways</i>	107
<i>Tabla 3.2 - Cuadro Comparativo de los Protocolos de Redundancia en Capa Enlace</i>	110
<i>Tabla 3.3 - Costos de MST en una topología redundante de 5 equipos</i>	121
<i>Tabla 3.4 - Costos de MST en una topología redundante de 4 equipos</i>	121

<i>Tabla 3.5 - Detalle del tendido de fibra en cada recorrido de la Primera Etapa</i>	128
<i>Tabla 3.6 - Detalle de los enlaces físicos de Fibra para la Primera Etapa.</i>	133
<i>Tabla 3.7 - Detalle de los enlaces lógicos de Fibra para la Primera Etapa.</i>	135
<i>Tabla 3.8 - Nodos por Zonas en la Primera Etapa.</i>	137
<i>Tabla 3.9 - Detalle del tendido de fibra en cada recorrido de la Segunda Etapa</i>	140
<i>Tabla 3.10 - Detalle de los enlaces físicos de Fibra Segunda Etapa.</i>	145
<i>Tabla 3.11 - Detalle de los enlaces lógicos de Fibra Segunda Etapa.</i>	147
<i>Tabla 3.12 - Nodos por Zonas en la Segunda Etapa.</i>	149
<i>Tabla 3.13 - Detalle de requerimientos para los Routers MPLS</i>	150
<i>Tabla 3.14 - Detalle de requerimientos para los Switches Metro Ethernet</i>	151
<i>Tabla 3.15 - Densidad de tráfico para el “Enlace 1”</i>	152
<i>Tabla 3.16 - Cálculo del crecimiento del Tráfico en Downstream para los próximos 5 años</i>	153
<i>Tabla 3.17 - Cálculo del crecimiento del Tráfico en Upstream para los próximos 5 años</i>	155
<i>Tabla 3.18 - Proyección del Tráfico para los siguientes 5 años</i>	155
<i>Tabla 3.19 - Comparación de la Fibra UIT-T G.655 y UIT-T G.652</i>	157
<i>Tabla 3.20 - Comparación de las Subcategorías de la Fibra UIT-T G.652</i>	158
<i>Tabla 3.21 - Detalle del Cableado de fibra óptica</i>	158
<i>Tabla 3.22 - Tabla Comparativa para el Router MPLS</i>	161
<i>Tabla 3.23 - Tabla Comparativa para el Switch Metro Ethernet</i>	162
<i>Tabla 3.24 - Detalle de las Zonas</i>	165
<i>Tabla 3.25 - Niveles de Atenuación en la ODN</i>	166
<i>Tabla 3.26 - Distancias en los tendidos de Fibra</i>	172
<i>Tabla 3.27 - Parámetros de Transmisión y Recepción de la Clase B+</i>	176
<i>Tabla 3.28 - Pérdidas de los diferentes elementos pasivos de la ODN</i>	177
<i>Tabla 3.29 - Cálculo del peor escenario en cada Zona</i>	178
<i>Tabla 3.30 - Tasas de Transmisión para Servicios Multimedia</i>	180
<i>Tabla 3.31 - Detalle de requerimientos para la OLT</i>	183
<i>Tabla 3.32 - Detalle de requerimientos para las ONT</i>	183

<i>Tabla 3.33 - Detalle de requerimientos para el Equipamiento Pasivo</i>	185
<i>Tabla 3.34 - Tabla Comparativa para la OLT</i>	187
<i>Tabla 3.35 - Tabla Comparativa para las ONTs</i>	188

CAPÍTULO IV

<i>Tabla 4.1 - Comparación y Selección de los Routers MPLS</i>	194
<i>Tabla 4.2 - Comparación y Selección de los Switches Metro Ethernet</i>	195
<i>Tabla 4.3 - Comparación y Selección de la OLT</i>	196
<i>Tabla 4.4 - Comparación y Selección de las ONTs</i>	197
<i>Tabla 4.5 - Detalle de la inversión inicial del Equipamiento Activo</i>	197
<i>Tabla 4.6 - Inversión del tendido de cableado de fibra óptica en la Primera Etapa y Red GPON</i>	198
<i>Tabla 4.7 - Inversión del tendido de cableado de fibra óptica en la Segunda Etapa</i>	199
<i>Tabla 4.8 - Detalle de la inversión inicial del Equipamiento Pasivo de la Primera Etapa y de la Red GPON</i>	200
<i>Tabla 4.9 - Detalle de la inversión inicial del Equipamiento Pasivo de la Segunda Etapa</i>	201
<i>Tabla 4.10 - Costo Total de la Red Pasiva</i>	201
<i>Tabla 4.11 - Costo Total de la Obra Civil y Otros Gastos de los Nuevos Nodos</i>	202
<i>Tabla 4.12 - Depreciación Anual de los Activos Fijos</i>	202
<i>Tabla 4.13 - Amortización Anual de los Activos Nominales</i>	203
<i>Tabla 4.14 - Inversión Inicial del Proyecto</i>	204
<i>Tabla 4.15 - Gastos Operativos para 5 años de funcionamiento</i>	205
<i>Tabla 4.16 - Gastos de Ventas para 5 años de funcionamiento</i>	206
<i>Tabla 4.17 - Gastos Totales de Operación</i>	206
<i>Tabla 4.18 - Tarifas del Servicio de Telefonía</i>	208
<i>Tabla 4.19 - Tarifas del Servicio Fast Boy</i>	208
<i>Tabla 4.20 - Tabla de Ingresos del Proyecto a lo largo de 5 años para el Caso Óptimo</i>	221

<i>Tabla 4.21 - Tabla de Ingresos del Proyecto a lo largo de 5 años para el Caso Crítico</i>	<i>222</i>
<i>Tabla 4.22 - Flujo de Fondos para el Caso Óptimo</i>	<i>224</i>
<i>Tabla 4.23 - Flujo de Fondos para el Caso Crítico</i>	<i>225</i>
<i>Tabla 4.24 - Tabla de decisión sobre la Inversión según el VAN</i>	<i>227</i>
<i>Tabla 4.25 - Tabla de decisión sobre la Inversión según la TIR</i>	<i>229</i>
<i>Tabla 4.26 - Flujo de Efectivo Acumulado para el Caso Óptimo</i>	<i>230</i>
<i>Tabla 4.27 - Flujo de Efectivo Acumulado para el Caso Crítico</i>	<i>232</i>

RESUMEN

El presente proyecto ofrece una solución de alta disponibilidad para Redes MAN, en Capa Física, Enlace y Red; también abarca una solución alternativa a las redes tradicionales para el servicio de Internet, mediante el diseño de una Red GPON para clientes corporativos.

En el primer capítulo se estudian los fundamentos teóricos acerca de las *New Generation Networks*, se presenta una síntesis de los principales Protocolos de Enrutamiento, enfocando el estudio hacia IS-IS. Luego se presenta un análisis de las características de una Red de Alta Disponibilidad; a partir de este análisis se desarrolla el estudio de los Protocolos de Redundancia de *Gateways* más utilizados, así como de los Protocolos de Alta Disponibilidad en Capa Enlace y Protocolos de Agregación de Enlaces; finalmente se presenta el estudio de la Tecnología GPON.

En el segundo capítulo se presenta un análisis de la situación actual de la red de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones - Loja, tanto para la Red de MAN de Nodos como para la Red Corporativa, indicando la infraestructura física con la que se cuenta, y el análisis de datos en cuanto a capacidad de los enlaces y número de usuarios.

En el tercer capítulo se analizan los requerimientos que se han identificado para este proyecto; se presenta un análisis de la problemática a resolver, así como una comparación de las diferentes soluciones a los requerimientos de la Red MAN de Nodos, y se establecen parámetros para la implementación de las mismas. A continuación se desarrolla la reingeniería de la Red MAN en dos etapas, y se presentan las especificaciones técnicas que deben soportar los nuevos equipos, indicando una comparación entre dos marcas. Finalmente se realiza el diseño de la red corporativa GPON de acceso, de tal manera que se aproveche y potencialice la infraestructura existente.

En el cuarto capítulo se presenta el presupuesto referencial para la selección de los equipos; luego a partir de este presupuesto se realiza un estudio sobre la factibilidad financiera. Se presenta el análisis costo – beneficio de la implementación de este proyecto en conjunto, que incluye la ampliación de la Red MAN de Nodos, y la nueva Red GPON, partiendo del presupuesto referencial de los equipos elegidos como óptimos para ambas redes.

En el quinto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones, como resultado del desarrollo del presente proyecto de titulación. Por último se indican las referencias bibliográficas y se incluyen varios anexos.

PRESENTACIÓN

Las topologías físicas y lógicas permiten contar con redes altamente disponibles, cuya redundancia se integra desde la Capa Física, hasta Capa Red; estos escenarios que disponen de una red jerárquica, ayudan a conseguir la meta de disponibilidad anual, que hoy en día es del 99.999%. Junto con la correcta aplicación de los diferentes protocolos, permiten contar con una red escalable, autoconfigurable, de rápida convergencia y que utilice eficientemente toda la infraestructura de telecomunicaciones.

Por otro lado, la tecnología GPON permite conseguir la optimización de recursos y potencializar la infraestructura existente en una red; con esta tecnología se tiene la ventaja de poder llegar con un solo hilo de fibra óptica desde la Oficina Central, hasta a 32 clientes finales en la práctica.

En el presente proyecto se estudia y rediseña una topología física y lógica altamente disponible para la Red MAN de Nodos, que permita obtener rápida convergencia frente a eventualidades; también se diseña la integración con una Red GPON que brindará servicio a clientes corporativos.

Para la CNT-EP, este proyecto constituye una solución para evitar multas y penalizaciones que ocasionan pérdidas para la empresa, a causa de interrupciones de servicios, especialmente de clientes corporativos que tienen un SLA firmado con CNT. Adicionalmente al contar con este proyecto, que se desarrolla para una de las ciudades con las redes más problemáticas, éste se puede replicar hacia otras ciudades del Ecuador.

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este primer capítulo se estudian los fundamentos teóricos concernientes al presente proyecto de titulación. Se inicia con el estudio de las *New Generation Networks*, luego se indica una síntesis de los principales Protocolos de Enrutamiento y se enfoca el estudio hacia IS-IS. A continuación se presenta un análisis de las características de una Red de Alta Disponibilidad; a partir de este análisis se desarrolla el estudio de los Protocolos de Redundancia de *Gateways* más utilizados, así como de los Protocolos de Alta Disponibilidad en Capa Enlace y Protocolos de Agregación de Enlaces. Finalmente se presenta el estudio de la Tecnología GPON.

1.1 *NEW GENERATION NETWORKS* ^{[1] [3] [4]}

Existen numerosas definiciones para las NGNs, sin embargo, por su validez internacional, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) en la Recomendación Y.2001, define una NGN como una “Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicaciones, y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas con QoS, y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a redes y a proveedores de servicios y/o servicios de su elección. Se soporta movilidad generalizada¹, que permitirá la prestación coherente y ubicua de servicios a los usuarios”.

Esta definición sugiere la separación y diferenciación de las funciones relacionadas a los Servicios, con las funciones concernientes al Transporte; los Servicios pueden ser orientados a sesión como telefonía IP y videoconferencia, y no orientados a sesión como *multicasting* y *broadcasting*. El Transporte provee la

¹ Movilidad Generalizada, capacidad del usuario u otras entidades móviles de comunicarse y acceder a servicios independientemente de los cambios de ubicación o del entorno técnico.

conectividad para todos los elementos de la NGN mediante el uso del protocolo IP; la NGN también debe ser capaz de soportar funcionalidades asociadas con los servicios de la aún existente PSTN (*Public Switched Telephone Network*).

Las características fundamentales de una NGN son las siguientes:

- La convergencia de los servicios de voz, video y datos, se realiza sobre la misma infraestructura de red.
- La infraestructura de transporte y comunicación debe ser de conmutación de paquetes IPv4/IPv6.
- Soporte de políticas de Calidad de Servicio (QoS).
- Soporte de *Multicast*.
- Los sistemas de transmisión son de última generación y basados en tecnologías ópticas WDM (*Wavelength Division Multiplexing*).
- Los elementos de conmutación deben ser de tipo *Gigabit Switch-Router* (GSR) o *Terabit Switch-Router* (TSR), conformando una red IPv4/IPv6 con soporte de MPLS (*MultiProtocol Label Switch*) para servicios de Ingeniería de Tráfico (TE), redes privadas virtuales (VPNs), etc.
- Se tiene que disponer de una política de seguridad tanto a nivel de red como a nivel de cliente.
- Debe desarrollarse una estructura de red escalable que permita despliegues futuros de forma gradual.

La NGN permite brindar a más de los servicios existentes, nuevos servicios que se desarrollan independientemente de la red y el tipo de acceso empleado. Los principales desafíos de esta arquitectura son: por una parte proporcionar un entorno de ejecución de servicios tolerantes a fallas y con calidad de operadora, que sea al menos tan robusto y seguro como la Red de Telefonía Conmutada; y por otra parte, debe ofrecer un entorno flexible que permita desarrollar los nuevos servicios de forma ágil.

Aunque las redes NGN son una solución para los servicios convencionales, este tipo de redes se concibió con un pensamiento auto-sostenible; permitiendo ampliarse mediante el desarrollo de nuevos servicios, gracias a la modularidad de la propuesta de convergencia “All-IP”, que centra su enfoque de trabajo en la conmutación de paquetes.

1.1.1 ARQUITECTURA GENERAL ^[11]

La visión de la arquitectura de una NGN varía según los autores, pero para facilitar su estudio se la puede dividir en cuatro niveles principales; en la Figura 1.1 se puede observar la estructura en capas de esta arquitectura: Servicios, Gestión/Control, Transporte y Acceso.

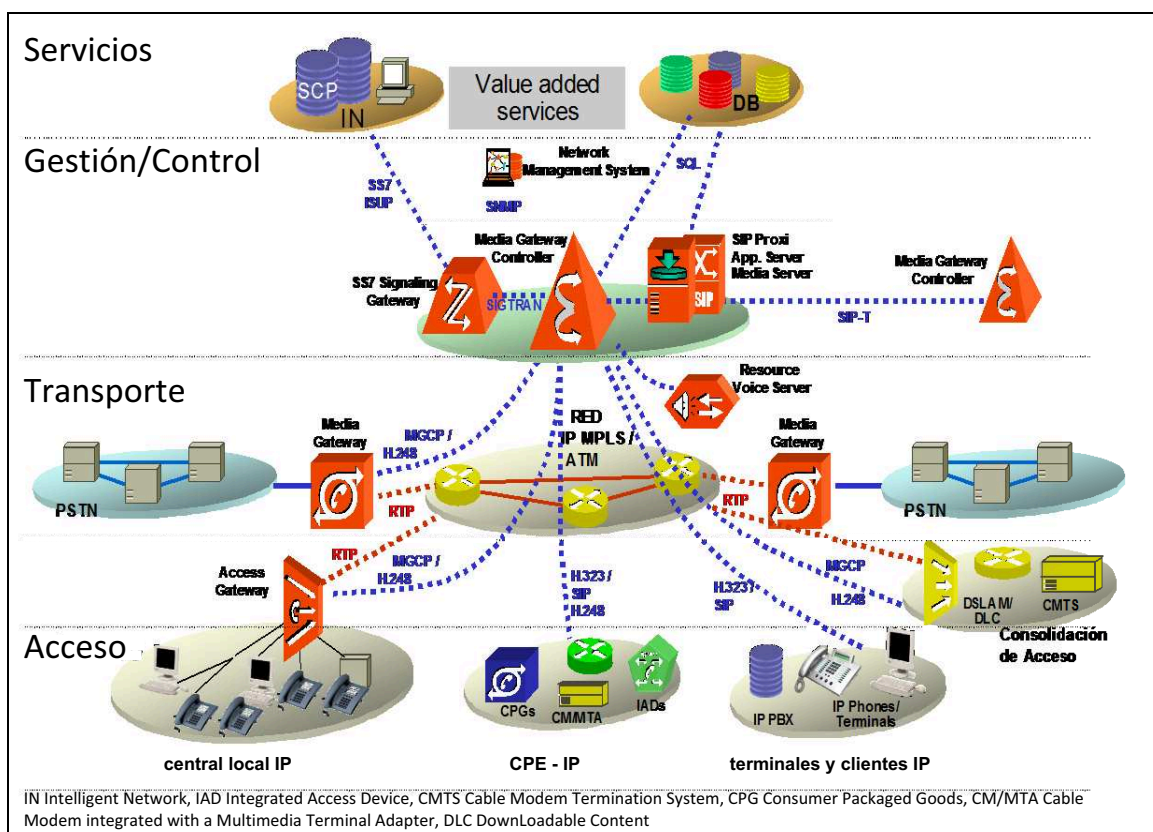


Figura 1.1 - Estructura del Modelo NGN ^[7]

Las Redes de Nueva Generación se presentan como una solución en donde convergen o se integran todos los servicios y las redes existentes, a plataformas

de banda ancha sobre IP, incluyendo a las redes tradicionales. En los apartados siguientes se presenta una síntesis de los diferentes niveles funcionales de la arquitectura NGN.

1.1.2 NIVEL DE SERVICIOS ^[3] ^[2]

También conocido como nivel de Aplicación, aquí se ubican los servidores en donde residen y se ejecutan las aplicaciones disponibles en la red para los usuarios. Esta capa no incluye la estandarización de los servicios o aplicaciones, sin embargo si exige que los servicios sean tan independientes como sea posible de la tecnología de transporte; también se refiere a la provisión de funciones, interfaces, y una API² estándar para el acceso de las aplicaciones a la NGN y facilitar el desarrollo de servicios de aplicación.

1.1.3 NIVEL DE GESTIÓN/CONTROL ^[2] ^[7]

Esta capa también conocida como de Sesión, es la encargada de la interfuncionalidad de la capa de transporte con la de servicios o aplicaciones. Se encarga de interpretar la señalización de la capa de transporte para la ejecución de las tareas y provisión de servicios; también se ocupa de la traducción entre los diferentes protocolos de señalización.

Respecto a la operación y administración de la red y sus servicios, las tareas incluyen aspectos tales como gestión de fallas, configuración de red y elementos, medición de *performance*, tasación, seguridad, gestión de tráfico y QoS; se incluyen en este nivel aplicaciones de *software* en configuración cliente-servidor.

En este nivel también se pueden definir algunos elementos como el Sistema de Facturación y Administración de la Red, el Servidor de Llamadas para controlar las sesiones mediante la señalización hacia terminales y *Gateways*, y el Servidor

² API (*Application Programming Interface*), conjunto de funciones y procedimientos a ser utilizados en la creación de aplicaciones de *software*.

de Servicios Centralizado que realiza funciones como el aprovisionamiento de servicios, administración de suscriptores y generación del registro de llamadas. En este nivel se definen los diferentes protocolos de señalización y control, que se utilizan para la intercomunicación de los elementos del *Softswitch*.

1.1.3.1 *Softswitch* ^[4]

El *Softswitch* es un sistema de telefonía que ha evolucionado, hasta la transmisión de voz a través de redes de conmutación de paquetes, con calidad de servicio igual o mejor a la que brinda una red de conmutación de circuitos, pero a menor precio. Constituye el dispositivo más importante de la Capa de Control de una arquitectura NGN; se encarga del control de llamadas (señalización y gestión de servicios), procesamiento de llamadas, tarificación, control de los *Media Gateways* mediante el protocolo MEGACO/H.248, e interpretación de la señalización SS7 (*Signalling System No. 7*) enviada por las centrales PSTN.

Trabaja con estándares abiertos para que los fabricantes de *software* puedan crear rápidamente nuevos servicios basados en IP, que funcionen a través de las redes de conmutación de circuitos y de las redes de conmutación de paquetes; también sirve como plataforma de integración de servicios multimedia (voz, datos y video) sobre redes IP.

Además de controlar una función de conversión de protocolos, los *Softswitches* pueden soportar múltiples requerimientos de QoS (*Quality of Service*), también pueden coexistir con las redes tradicionales de conmutación de circuitos; una característica esencial del *Softswitch* es la separación de los servicios y control de llamadas, de los servicios de la red de transporte, lo que permite a los operadores seleccionar los mejores productos en cada capa de la red.

Los componentes principales de un *Softswitch* son el *Media Gateway Controller*, el *Signaling Gateway* y el *Media Gateway*; otros elementos pueden ser el *Media Server* y el *Feature Server*.

1.1.3.1.1 *Media Gateway Controller* ^[4]

También llamado *Call Agent*, es el centro operativo del *Softswitch*, encargado de mantener las normas para el procesamiento de llamadas, comunicación con otros elementos del *Softswitch* y componentes externos utilizando diferentes protocolos. Es el responsable del manejo del tráfico de voz y datos a través de varias redes.

1.1.3.1.2 *Signaling Gateway* ^[4]

Básicamente proporciona una interfaz para la señalización entre las redes SS7 y los protocolos de gestión de sesión SIP o H.323, y mediante el protocolo SIGTRAN transporta la señalización SS7 de la PSTN hacia el *Media Gateway Controller* para el procesamiento de llamadas; esta funcionalidad puede también ser realizada en el *Media Gateway*.

1.1.3.1.3 *Media Gateway* ^{[4] [5]}

En términos generales los *Gateways* adaptan el tráfico del cliente y controlan la tecnología de la NGN; estos equipos se denominan *Media Gateways* si se interconectan con otras redes, y *Access Media Gateways* si se interconectan con los equipos de los usuarios, este último equipo será analizado en apartados posteriores, en el Nivel de Acceso de la NGN.

Media Gateway es el encargado de proporcionar una interfaz bidireccional entre los diferentes tipos de redes; generalmente realiza la conversión en tiempo real de señales entre una red de conmutación de circuitos, y la red de conmutación de paquetes. Por ejemplo: señal TDM (*Time Division Multiplexing*) a paquetes IP.

El *Media Gateway* es controlado por el *Media Gateway Controller* a través de los protocolos MGCP/MEGACO, utilizando un modelo Maestro-Esclavo.

1.1.3.1.4 *Media Server* ^[5]

Permite mejorar las características funcionales del *Softswitch* y ofrecer servicios de valor agregado. Puede soportar procesamiento digital de señales así como la funcionalidad de respuesta de voz interactiva; sus principales aplicativos son: mensajería unificada, *voicemail*, *Speech-to-text*, *Speech-to-Web*, audioconferencia, videoconferencia y *Fax-over-IP*.

1.1.3.1.5 *Feature Server* ^[5]

Usualmente trabaja con el *Media Server* para desempeñar funciones como: control de datos para tarificación, gestión de llamadas prepago, redireccionamiento de llamadas, multiconferencias, entre otras.

1.1.3.2 Protocolos de Señalización y Control

Las funciones de señalización son posibles gracias a una serie de protocolos, que permiten la adecuada comunicación entre los diferentes elementos de la NGN; dichos protocolos son:

- Protocolos de Gestión de Sesión: H.323, SIP
- Protocolos de Control de *Gateways*: MGCP, MEGACO/H.248
- Protocolos de Control SS7: SIGTRAN (SS7 sobre IP)

1.1.3.2.1 *Gestión de Sesión* ^{[4] [7] [8]}

Para la gestión referente al establecimiento, control y liberación de conexiones necesarios para la provisión de servicios, se utilizan los protocolos H.323 o SIP; y, se emplea el protocolo RTP (*Real-Time Transport Protocol*) para proporcionar el servicio de entrega punto a punto de la información multimedia del cliente.

- **H.323:** esta recomendación de la UIT especifica los componentes, protocolos que cubren distintas fases de la comunicación y procedimientos de señalización; permite proveer servicios multimedia (audio, datos y video) punto a punto sobre redes de paquetes; también establece los estándares para la compresión y descompresión de audio y video, asegurando la interoperabilidad entre diferentes fabricantes.
- **SIP (*Session Initiation Protocol*):** otra propuesta para el control de llamadas multimedia es SIP, elaborado por la IETF (*Internet Engineering Task Force*); se encarga de establecer, modificar y terminar sesiones multimedia con uno o más participantes sobre redes de paquetes; es un protocolo de tipo cliente-servidor basado en HTTP, por lo que se definen números telefónicos como URLs (*Uniform Resource Locators*), y toman la forma de *user@host* similar a direcciones de *e-mail*.

1.1.3.2.2 *Control de Gateways* ^{[4] [8]}

Estos protocolos permiten la coexistencia de la red telefónica tradicional y las redes de nueva generación, y también aseguran el acceso de todos los usuarios a los servicios. Se encargan de la traducción de los diferentes formatos empleados en ambas redes, y de la gestión necesaria entre el *Media Gateway Controller* y los *Media Gateways*, para establecer, mantener y finalizar sesiones entre múltiples extremos.

- ***Media Gateway Control Protocol (MGCP)*:** especificado en el RFC 2705 para el establecimiento, administración y finalización de una sesión multimedia, en un sistema centralizado de comunicaciones de tipo Maestro-Esclavo, donde los *Media Gateways* ejecutan comandos enviados por el *Media Gateway Controller*.
- **MEGACO/H.248:** se trata de la evolución de MGCP, su especificación ha sido elaborada por el IETF y la UIT-T que la denominan MEGACO (*MEdia Gateway COntrol Protocol*) y H.248 respectivamente; este protocolo se basa en una arquitectura Maestro-Esclavo entre el *Media Gateway*

Controller y los *Media Gateways*. Define una arquitectura centralizada para la creación de aplicaciones multimedia, es más flexible que MGCP y puede soportar más tipos de tecnologías de acceso.

MEGACO es compatible con H.323 y SIP, presenta funcionalidades complementarias, y puede realizar el control de la red y la provisión de algunos servicios básicos; pero para ofrecer servicios más avanzados se requiere del empleo de un protocolo con un mayor número de funcionalidades como SIP.

1.1.3.2.3 Señalización SS7 sobre IP ^[7]

SIGTRAN (*Signaling Transport*) es un *stack* de protocolos definidos por el grupo de trabajo SIGTRAN de la IETF, entre el *Media Gateway* y el *Media Gateway Controller* para la transmisión de la señalización SS7 de la PSTN sobre redes IP.

1.1.4 NIVEL DE TRANSPORTE ^[2]

El transporte del tráfico se define en este nivel, en el cual se ubican todas las tecnologías de red encargadas de la conmutación, enrutamiento y transmisión de paquetes IP como ATM³/MPLS⁴, y medios de transmisión ópticos; estas tecnologías deberán garantizar la Calidad del Servicio (QoS) para no afectar el tráfico de los clientes por retardos, fluctuaciones y ecos.

Finalmente también se puede definir en esta capa la incorporación de tecnologías DWDM⁵, ya que el desarrollo de estas técnicas ópticas ha favorecido los avances tecnológicos, permitiendo un gran incremento del volumen de tráfico en los enlaces de fibra óptica.

³ ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), tecnología de conmutación de celdas con servicio orientado a conexión y que soporta diferentes Clases de Servicio.

⁴ MPLS (*Multiprotocol Label Switching*), arquitectura de conmutación de etiquetas con servicio orientado a conexión y que soporta diferentes niveles de servicio.

⁵ DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica usando la banda C (1550 nm).

1.1.4.1 *Multiprotocol Label Switching* ^{[9] [10]}

Esta arquitectura es la más utilizada en este nivel de la NGN, debido a que representa una plataforma que permite conseguir calidad de servicio (QoS), ingeniería de tráfico, inclusión de redes privadas virtuales, soporte multiprotocolo y alta velocidad de conmutación.

MPLS es una arquitectura especificada por la IETF; es una solución que integra el control del enrutamiento IP, con la simplicidad de la conmutación de la Capa 2 del modelo ISO/OSI. El análisis de la cabecera de Capa 3 se lo realiza una sola vez, que es cuando el paquete ingresa al dominio MPLS, luego dentro de este dominio se usa etiquetas para dirigir el tráfico hacia el destino por conmutación en *hardware*, por lo que se reduce la cantidad de procesamiento por paquete requerido en cada *router*, aumentando el desempeño y reduciendo el retardo en la transmisión.

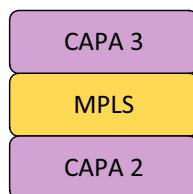


Figura 1.2 - MPLS en el Modelo ISO/OSI ^[10]

MPLS mantiene la independencia de los protocolos de Capa 2: *Ethernet*, *FDDI* (*Fiber Distributed Data Interface*), *ATM*, *Frame Relay*, *Point-to-Point*; y los de Capa 3: *IPv6*, *IPv4*, *IPX*, *Apple Talk*; posibilitando brindar múltiples servicios sobre una infraestructura convergente.

Dentro de la nube MPLS existen los equipos de borde llamados LER (*Label Edge Router*) o también conocido como *Edge-LSR*, y los equipos internos LSR (*Label Switched Router*). En la Figura 1.3 se observan los principales elementos de la arquitectura MPLS: los tipos de nodos, el camino llamado LSP que recorre un paquete y la etiquetación de dicho paquete.

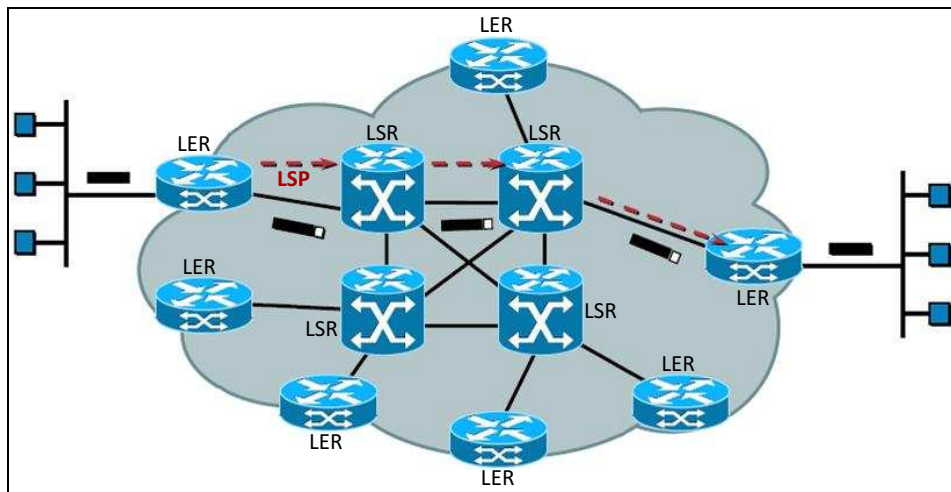


Figura 1.3 - Elementos en MPLS ^[12]

Los nodos LER se sitúan en la frontera de la red MPLS, se encargan de asignar las etiquetas a los paquetes que ingresan a la red; cuando un paquete ingresa a la red MPLS se le asigna una etiqueta asociada a una FEC (*Forwarding Equivalence Class*) determinada, y se lo encamina por el LSP (*Label Switched Path*) correspondiente, que es un camino específico unidireccional a través de una red MPLS.

Una etiqueta es un conjunto pequeño de bits que está asociada a una FEC, e identifica el camino que debe atravesar el paquete y su validez es local entre un par de nodos. Se puede tener una o varias etiquetas en un paquete, lo cual constituye un *Stack* de Etiquetas; su utilidad se observa cuando se introduce el concepto de Túneles, Ingeniería de Tráfico, AToM (*Any Transport over MPLS*), entre otros.

La FEC es la representación de un grupo de paquetes que comparten los mismos atributos para su transporte, como el mismo destino, la misma VPN, requieren el mismo servicio, etc.

Los nodos LSR trabajan en el núcleo de la red, la función de estos equipos es encaminar los paquetes en base a sus etiquetas; cuando un paquete llega a un LSR, éste realiza un intercambio de etiquetas y envía el paquete al siguiente LSR,

y así hasta el destino final. El penúltimo nodo es el encargado de retirar todas las etiquetas del paquete para que pueda ser enviado al destino.

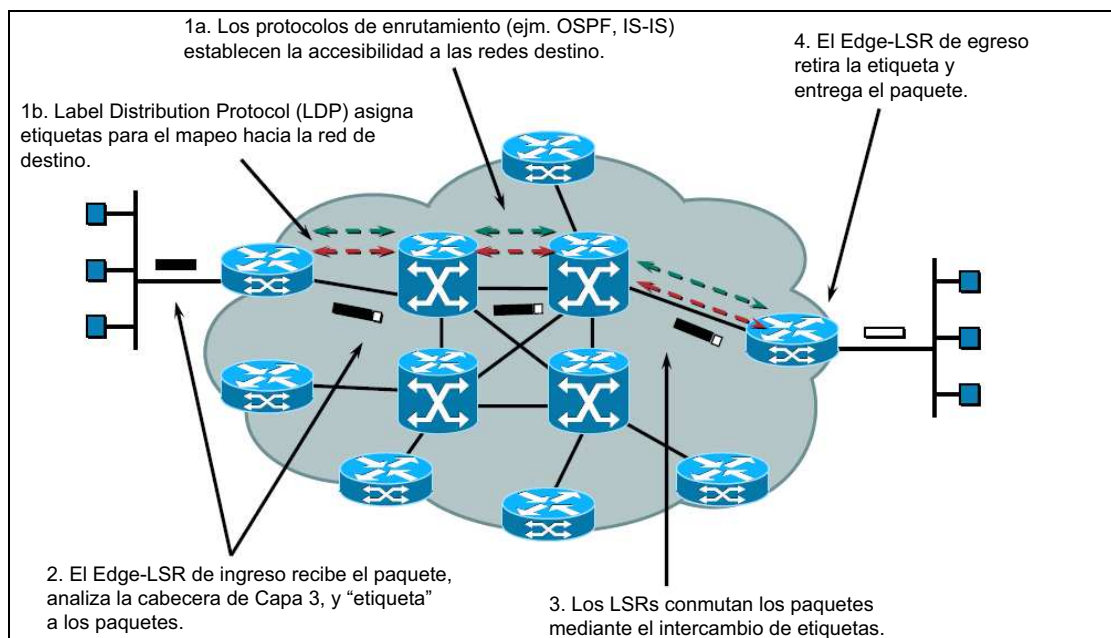


Figura 1.4 - Funcionamiento de MPLS ^[12]

En la Figura 1.4 se indica el funcionamiento de MPLS, desde que un paquete ingresa a la red hasta que sale de la misma; primero se establece la accesibilidad a todas las redes remotas mediante un protocolo de estado de enlace, y se elaboran y distribuyen tablas que relacionen etiquetas, FECs y caminos. Luego el LER o *Edge-LSR* de ingreso etiqueta a los paquetes para el envío a través del dominio MPLS, hasta el LER de egreso que retira la etiqueta de cada paquete, para entregarlo a la red de destino.

1.1.4.1.1 *Arquitectura MPLS* ^{[9] [10] [14] [15]}

La arquitectura de MPLS separa el Plano de Control del Plano de Datos; las funciones que debe desempeñar un nodo LER varían de las que realiza un nodo LSR. En la Figura 1.5 se indica la arquitectura para ambos nodos.

El Plano de Control es el responsable de la generación y mantenimiento de las Tablas de Enrutamiento que sirven para establecer los LSPs y de la distribución

de la información sobre las etiquetas a los LSRs. La Tabla de Enrutamiento se calcula utilizando los estados de enlace y políticas de ingeniería de tráfico; se usa también una tabla: LIB (*Label Information Base*) para guardar las etiquetas y asignarlas según las FECs en los nodos LER.

El Plano de Datos se limita a conmutar los paquetes MPLS empleando las tablas de enrutamiento ofrecidas por el Plano de Control. Para esto se utiliza la etiqueta del paquete y la Tabla de Enrutamiento almacenada tanto en el LER como en el LSR; a esta tabla se la conoce como LFIB (*Label Forwarding Information Base*), y contiene toda la información requerida para la conmutación de etiquetas.

Un nodo LER también almacena una Tabla de Enrutamiento con información MPLS: FIB (*Forwarding Information Base*) para el reenvío de los paquetes ya sea como paquetes IP hacia el destino, o etiquetarlo y reenviarlo por un LSP.

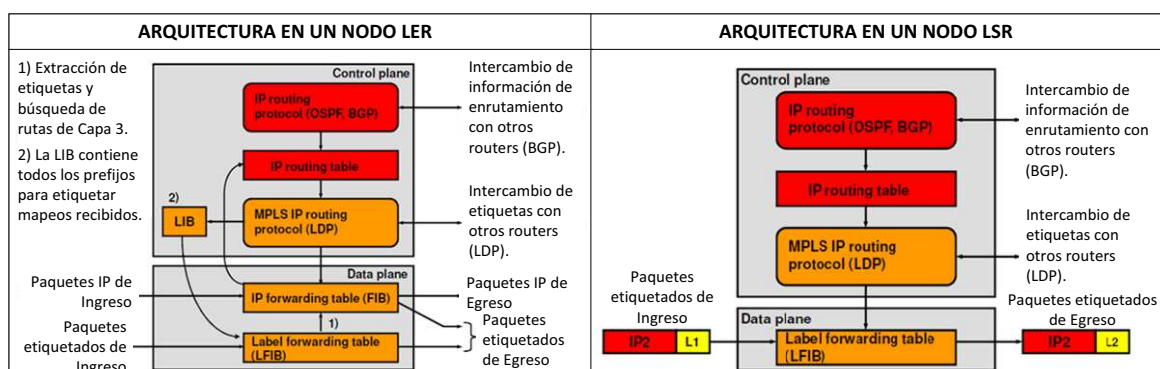


Figura 1.5 - Arquitectura MPLS ^[9]

Las etiquetas son distribuidas por todos los LSRs dentro del dominio MPLS informando a todos los *routers* de las asociaciones Etiqueta-FEC, y propagando de *router a router* la información necesaria para establecer el LSP; esto se realiza mediante un Protocolo de Distribución de Etiquetas que puede ser: LDP (*Label Distribution Protocol*), BGP (*Border Gateway Protocol*) o PIM (*Protocol Independent Multicast*); mientras que si se requiere de la implementación de Ingeniería de Tráfico, se utiliza los protocolos: RSVP-TE (*Reserva de Recursos con Ingeniería de Tráfico*) y CR-LDP (*Constraint Routing LDP*).

En MPLS también se requiere de un protocolo para el enrutamiento dentro de un sistema autónomo como OSPF (*Open Shortest Path First*) o IS-IS (*Intermediate System To Intermediate System*), para inundar la información a todos los *routers* acerca de la topología completa de la red y el estado de los enlaces. Se utilizan protocolos de tipo “*Link-State*” por razones de Ingeniería de Tráfico, también para ayudar en la construcción de la asociación FEC – siguiente salto, y así formar los LSPs, estos protocolos de enrutamiento serán analizados en apartados posteriores.

1.1.4.1.2 *Calidad de Servicio* ^[17] ^[18]

MPLS puede operar con servicios diferenciados, a través de la arquitectura definida para QoS IP: DiffServ (*Differentiated Services*) del IETF, se definen una variedad de mecanismos para clasificar el tráfico en un reducido número de clases de servicio, con diferentes prioridades. DiffServ permite diferenciar servicios tradicionales para los que el retardo no es crítico, como servicios web, correo electrónico y transferencia de archivos, de otras aplicaciones sensibles al retardo, como video y voz en tiempo real.

MPLS utiliza la Etiqueta o un campo llamado EXP, que se encuentran dentro de en la cabecera MPLS, para establecer las diferentes Clases de Servicio (CoS) para un LSP; de este modo una red MPLS puede transportar distintas clases de tráfico. Por ejemplo un LSP puede transportar tráfico de máxima prioridad, otro para una prioridad media y un tercero para tráfico de tipo mejor esfuerzo.

En la Figura 1.6 se pueden observar los componentes fundamentales de la arquitectura DiffServ: el *Traffic Conditioning Agreement* (TCA) establece los parámetros para la clasificación, etiquetación, aplicación de políticas y conformación del tráfico en los extremos de la red; y el *Per-Hop Behavior* (PHB) es implementado a través de la gestión del *Buffer* y de mecanismos de planificación del encolamiento de paquetes.

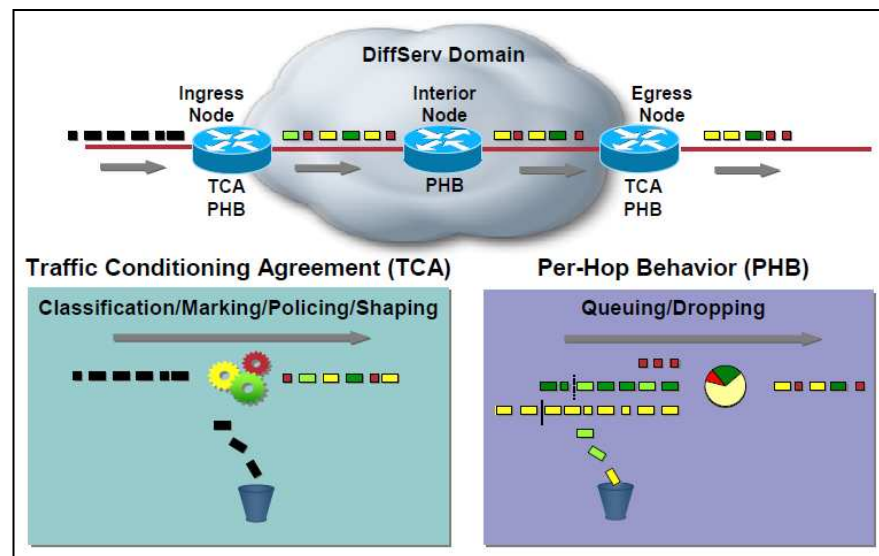


Figura 1.6 - Arquitectura de *Differentiated Services* ^[17]

1.1.4.1.3 Ingeniería de Tráfico ^{[10] [19]}

Mediante la Ingeniería de Tráfico se mejora la utilización de la red al distribuir la carga de acuerdo a la disponibilidad de recursos, y utilizando indicadores del tráfico actual y esperado; así se determina el mejor camino para un determinado tipo de tráfico. La Ingeniería de Tráfico también es útil para re-enrutar el tráfico en escenarios de congestión.

Los protocolos que ayudan con este propósito son:

- CR-LDP: se emplea para establecer un LSP; explícitamente se enruta punto a punto en sentido unidireccional, utilizando la información de ruteo IP y QoS.
- RSVP-TE: es un protocolo para reservar recursos con Ingeniería de Tráfico, permite crear túneles LSP, requiere que el dominio MPLS soporte encaminamiento explícito para facilitar la gestión del tráfico; este protocolo permite el re-enrutamiento de los túneles LSP ante caídas de enlaces, congestión y “cuellos de botella”.

1.1.4.1.4 *Virtual Private Networks* ^{[13] [15] [16]}

Una VPN es un túnel entre un conjunto de sitios a los cuales se les permite que se comuniquen entre sí, la VPN está definida por políticas administrativas que determinan la Calidad de Servicio (QoS) y conectividad entre sitios; los clientes son quienes establecen dichas políticas, y las implementa el proveedor de servicios utilizando diferentes mecanismos de la red MPLS.

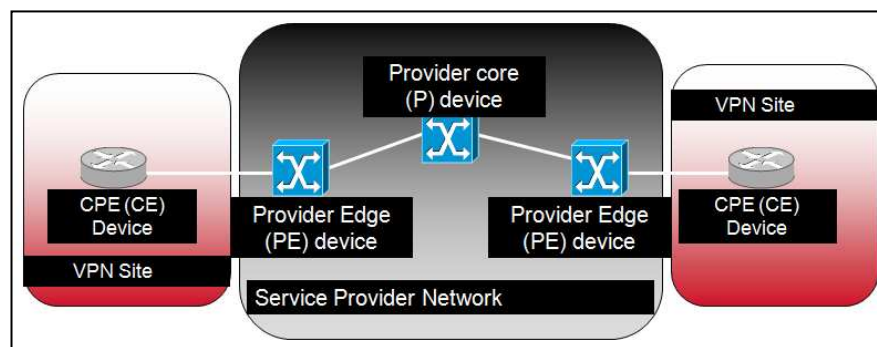


Figura 1.7 - Terminología para el estudio de una VPN MPLS ^[16]

En la Figura 1.7 se muestran los elementos y la terminología para el estudio de las VPNs de Capa 2 y Capa 3 en MPLS. En una VPN MPLS los PEs (*Provider Edges*) participan en el enrutamiento para lograr un ruteo óptimo entre sitios remotos, los PEs también aíslan la información de ruteo de los clientes como si se tratara de una solución con *routers* dedicados (Múltiples Tablas de Enrutamiento Virtuales), y permite que el direccionamiento IP pueda sobrelaparse entre clientes.

En la red del proveedor de servicios a más de los equipos PEs, se tienen los equipos P (*Provider*) que se encuentran en el núcleo de la red.

a. VPNs de Capa 2

Para las VPNs de Capa 2 se crea un túnel dentro del dominio MPLS, para transportar cualquier tipo de tráfico sobre esta arquitectura. A lo que ingresa el paquete al túnel se designa una etiqueta para el circuito de Capa 2 (*Ethernet VLAN, FR DLCI, ATM VC, sesión PPP*), luego se intercambia la información de la

etiqueta con el LER de egreso mediante el uso de LDP, después se encapsula el tráfico dentro del circuito, se le aplica la etiqueta aprendida por el intercambio de información y se conmuta el paquete MPLS por el LSP correspondiente.

En el nodo de egreso se examina la etiqueta y se reenvía el paquete sobre el circuito de Capa 2.

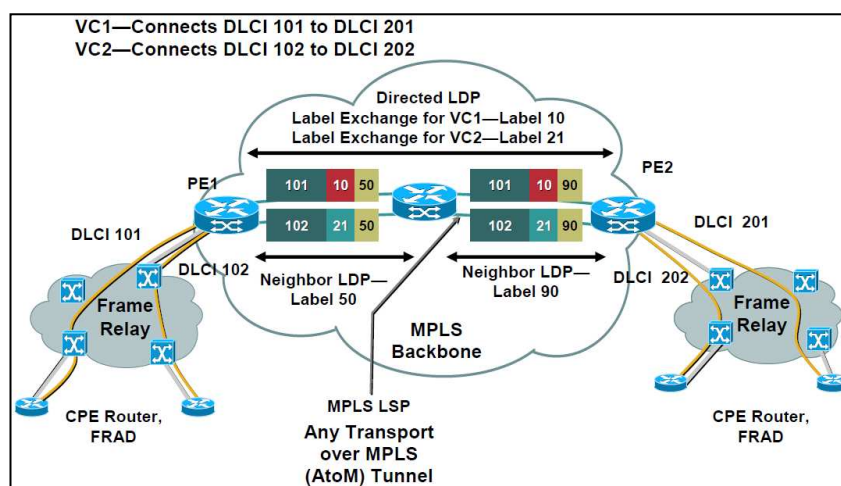


Figura 1.8 - Túnel MPLS de Capa 2 ^[15]

En la Figura 1.8 se puede visualizar un ejemplo del funcionamiento de un Túnel de Capa 2 en el *backbone* MPLS, utilizado para conectar dos sitios remotos que utilizan DLCIs⁶; en la nube MPLS se realiza el intercambio y agregación de etiquetas que identifican a los circuitos virtuales de *Frame Relay* y que establecen el túnel MPLS de Capa 2.

b. VPNs de Capa 3

El proveedor de servicios es el responsable por la distribución de la información de ruteo entre los sitios remotos del cliente, para lograr esto se emplea MP-BGP⁷; también se encarga de la separación de tablas de enrutamiento entre diferentes

⁶ DLCI (*Data Link Connection Identifier*), es el identificador del circuito virtual establecido en *Frame Relay*.

⁷ MP-BGP (*Multi-Protocol BGP*), es una extensión de BGP para el transporte de información de enrutamiento y soporta otras familias de direcciones adicionales a las direcciones IPv4.

clientes, esto se consigue mediante la utilización de tablas de enrutamiento virtuales (VRFs) y que son independientes unas de otras.

Para propagar el enrutamiento a través de la red MPLS entre los PEs, se requiere de un protocolo de enrutamiento que transporte las rutas del cliente sobre la red del proveedor, manteniendo la independencia del espacio de direcciones y ruteo del cliente; esto se logra mediante la implementación de MP-BGP. Este protocolo importa y exporta rutas de una VPN solo entre los PEs, protegiendo a los Ps del enrutamiento del cliente e intercambia etiquetas para el ruteo de la VPN.

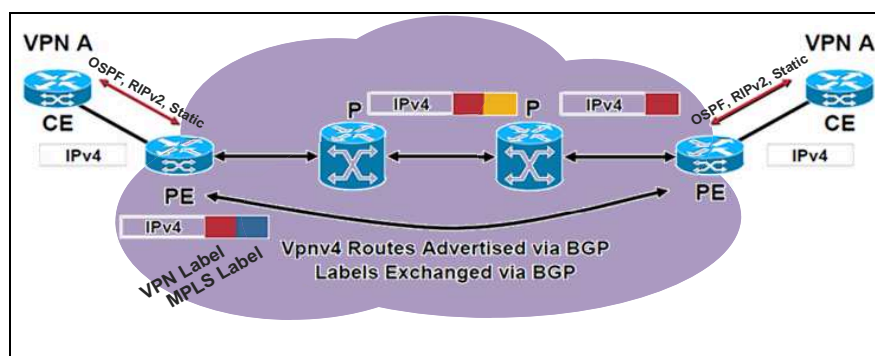


Figura 1.9 - Túnel MPLS de Capa 3 ^[15]

Una VRF (*Virtual Routing and Forwarding Table*) es una tabla de enrutamiento para una VPN; los *routers* PEs mantienen a estas tablas de enrutamiento separadas, y estas tablas se asocian con uno o más sitios remotos. La VRF es constituida localmente mediante el intercambio de información de ruteo entre el PE y el CE; los PEs distribuyen la información local de la red del CE a través del *backbone* MPLS/VPN, esto se efectúa mediante el uso de MP-BGP. En equipos Cisco la transmisión de estas tablas se basa en CEF⁸.

El solapamiento del direccionamiento IP entre clientes es posible gracias al *Route Distinguisher* (RD) que extiende el prefijo de la dirección IP a un identificador único (IP: 32 bits + RD: 64 bits), de 96 bits conocido como dirección VPNv4, esta dirección es intercambiada únicamente entre PEs vía MP-BGP.

⁸ CEF (*Cisco Express Forwarding*), es una tecnología de *switches* Capa 3, aumenta la velocidad de *switching*, reduciendo el *overhead* y retrasos introducidos por otras técnicas de enrutamiento; está conformado por la tabla FIB y adyacencias.

Cuando se tienen topologías complejas, se ofrece más flexibilidad a la pertenencia de los PEs dentro de una VPN mediante los *Route Targets* (RT).

1.1.4.2 *Multicast* ^[1]

Para los entornos NGN es de gran importancia el disponer de soporte nativo de técnicas *Multicast*. Este direccionamiento permite ejecutar la distribución de contenidos de una forma eficiente y controlada; los contenidos son enviados sólo a quien los solicita siempre y cuando esté autorizado a recibirlos, la transmisión de contenidos se produce en la propia red sin afectar a la fuente ni al destino de los mismos.

Mediante el uso de técnicas *Multicast* la capacidad de los servidores se determina por el número de contenidos distintos que ofrezcan, y no por el número de clientes; se tiene la posibilidad de realizar la provisión de los servicios de manera más sencilla, barata y escalable, que la realizada por soluciones tradicionales basadas en redes CDN⁹. También se optimiza el uso de los recursos de red porque el consumo de ancho de banda se concentra en la periferia de la red, liberando la carga del *backbone* de la misma.

1.1.4.3 *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* ^{[20] [21]}

DWDM es una tecnología para la multiplexación de varias señales sobre un único hilo de fibra óptica mediante portadoras ópticas, utilizando distintos rangos de frecuencia correspondientes a diferentes longitudes de onda, permitiendo así incrementar la capacidad de un enlace de fibra óptica.

Se puede tener escenarios en los que la transmisión de voz, datos y video se efectúe mediante el encapsulamiento de arquitecturas como ATM o SONET (*Synchronous Optical NETwork*) / SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) sobre

⁹ CDN (*Content Distribution Network*), es un sistema de servidores distribuidos en la red y que contienen copias de una misma serie de contenidos.

DWDM. Estos sistemas típicamente usan una separación de los canales ópticos de 0.4 nm y 0.8 nm, logrando transportar cientos de señales ópticas.

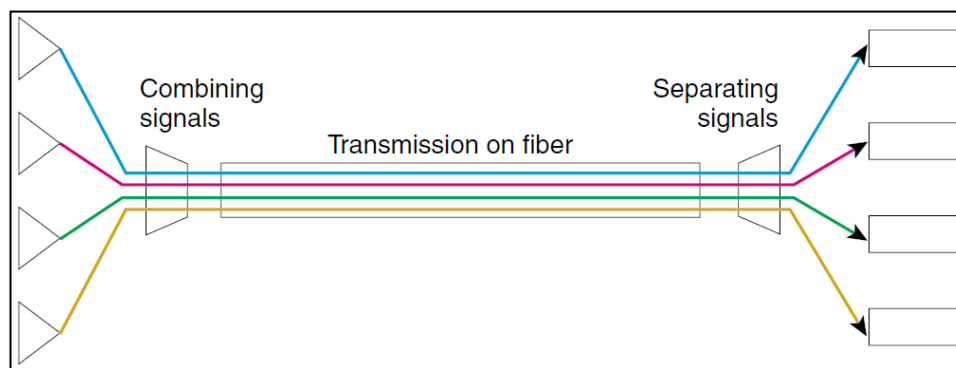


Figura 1.10 - Esquema Funcional de DWDM ^[20]

En la Figura 1.10 se muestra el esquema funcional de esta tecnología. Se usa un laser para suministrar una señal dentro de un rango de frecuencia muy estrecho, y mediante el empleo de multiplexores se logra combinar todas las señales. Para la transmisión de las mismas sobre enlaces de fibra se puede o no requerir amplificadores dependiendo de la longitud del enlace; finalmente en el lado del receptor un demultiplexor separa las señales utilizando un foto-detector¹⁰.

La Recomendación G.692 de la UIT-T define 40 canales de transmisión en el rango de 1530 a 1565 nm, con un espaciamiento de 0.8 nm (10 GHz), y transportando un tráfico a 10 Gbps en cada canal.

1.1.5 NIVEL DE ACCESO ^[2]

Está caracterizada por una red de banda ancha, que provee el acceso de los usuarios a la NGN; este acceso es independiente del terminal del cliente que puede ser telefonía, terminales de CATV (Cable TV), PCs, IADs (*Integrated Access Devices*) móviles; y de la tecnología como: 802.11(x), 802.16(x), POTS (*Plain Old Telephone Services*), XDSL (*X-Digital Subscriber Line*), celular, etc.

¹⁰ Foto-detector, es un sensor que genera una señal eléctrica como respuesta a la radiación óptica que incide sobre él.

1.1.5.1 *Access Media Gateway* ^{[4] [6]}

Incluye diferentes interfaces para conectarse a otras redes y a usuarios finales; realiza labores de compresión y descompresión de señales de voz, actuando bajo el control del *Media Gateway Controller*. Un tipo de *Access Media Gateway* es el MSAN (*Multiservice Access Node*), el cual brinda servicios de *Triple Play*.

1.2 PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO

En esta sección se presenta un análisis introductorio a los protocolos de enrutamiento, también una comparación de los protocolos más utilizados como: RIP (*Routing Information Protocol*), IGRP (*Interior Gateway Routing Protocol*), EIGRP (*Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*), OSPF (*Open Shortest Path First*), IS-IS (*Intermediate System to Intermediate System*) y BGP (*Border Gateway Protocol*); y finalmente se enfocará al estudio de IS-IS.

1.2.1 INTRODUCCIÓN ^{[22] [23]}

El enrutamiento se lo puede efectuar de forma estática o dinámica. Las rutas estáticas se usan para facilitar el mantenimiento de la tabla de enrutamiento en redes pequeñas, generalmente en las que se requiere del enrutamiento para un solo enlace. De forma opuesta, el Enrutamiento Dinámico se utiliza en redes medianas y grandes; las rutas dependen de la topología de la red y ante cambios en la misma el protocolo converge automáticamente.

Un sistema autónomo (AS), o dominio de enrutamiento, es un conjunto de *routers* que se encuentran bajo una administración en común; por ejemplo en una red interna de una empresa y la red de un proveedor de servicios de Internet. Internet se basa en el concepto de sistema autónomo y requiere de dos tipos de protocolos de enrutamiento: de *Gateway* interior y exterior. En la Figura 1.11 se indican los principales protocolos de enrutamiento dinámico.

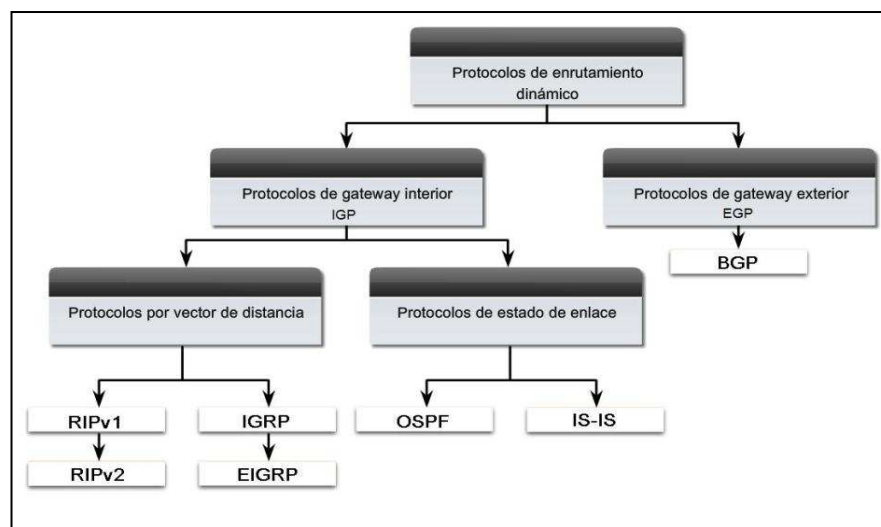


Figura 1.11 - Clasificación de los Protocolos de Enrutamiento Dinámico ^[22]

Un *Interior Gateway Protocol* (IGP) se usa para el enrutamiento de sistemas intrautónomos (enrutamiento dentro de un sistema autónomo). A su vez estos protocolos se clasifican en Protocolos de Vector Distancia como RIP, IGRP e EIGRP, y Protocolos de Estado de Enlace como OSPF e IS-IS.

En la Tabla 1.1 se indican las principales diferencias entre los Protocolos de Vector Distancia y los Protocolos de Estado de Enlace.

Protocolos de Vector Distancia (RIP IGRP EIGRP)	Protocolos de Estado de Enlace (OSPF IS-IS)
La Distancia es la métrica	Se basa en la métrica
Conoce el interfaz de salida como siguiente salto	Conoce toda la topología de la red
Envían periódicamente Tablas de Enrutamiento como <i>Updates</i>	Solo cuando existe un cambio en la topología de la red envían <i>Link State Updates</i>
Convergencia lenta	Convergencia rápida
Para redes simples y planas	Soporta diseño de redes jerárquicas
Algoritmo para determinación de rutas: <i>Bellman Ford</i> ¹¹	Algoritmo para determinación de rutas: <i>Dijkstra</i> ¹²
Bajo uso de recursos de Memoria/CPU	Alto uso de recursos de Memoria/CPU

Tabla 1.1 - Comparación de los Protocolos de Vector Distancia y Estado de Enlace

¹¹ *Bellman Ford*, se basa en la cuenta de saltos para encontrar el mejor camino, es propenso a *routing-loops*.

¹² *Dijkstra*, o *Shortest Path First* (SPF), reitera la longitud de todo el camino para determinar la mejor ruta.

Un *Exterior Gateway Protocol* (EGP) se usa para el enrutamiento de sistemas interautónomos (enrutamiento entre sistemas autónomos), como es el caso de BGP. Este protocolo es el único de Vector de Ruta¹³, puede usar muchos atributos diferentes para medir el mejor camino, debido a que en el ámbito de los ISPs, se encuentra con frecuencia aspectos más importantes que la simple elección de la ruta más rápida. En la Tabla 1.2 se presenta un resumen de las características principales de todos estos Protocolos de Enrutamiento Dinámico.

Protocolo	Métrica	Tipo	Classfull/ Classless	Topología	Observaciones
RIPv1	Salto	Vector Distancia	Classfull	Plana	<ul style="list-style-type: none"> • Admite máximo 15 saltos. • Registra solo el mejor camino.
RIPv2	Salto	Vector Distancia	Classless	Plana	<ul style="list-style-type: none"> • Admite máximo 15 saltos. • Registra solo el mejor camino.
IGRP	Ancho de Banda Retraso Confiabilidad Carga MTU	Vector Distancia	Classfull	Plana	<ul style="list-style-type: none"> • Admite máximo 255 saltos. • Discontinuado desde versiones IOS 12.2. • Propietario de Cisco. • Registra solo el mejor camino.
EIGRP	Ancho de Banda Retraso Confiabilidad Carga MTU	Vector Distancia	Classless	Jerárquica	<ul style="list-style-type: none"> • Propietario de Cisco. • Trabaja con 3 Tablas: de Vecinos, Topología y Enrutamiento. • Balancea carga sobre 16 rutas de igual costo, también soporta balanceo de carga en caminos de diferentes costos.
OSPF	Costo determinado por el Ancho de Banda	Estado de Enlace	Classless	Jerárquica	<ul style="list-style-type: none"> • Usa menos CPU que EIGRP. • Usa áreas para formar la topología jerárquica.
IS-IS	Costo basado en la métrica (Costo, Retraso, Costo Monetario de la utilización de los enlaces y Error)	Estado de Enlace	Classless	Jerárquica	<ul style="list-style-type: none"> • Usa niveles para formar topologías jerárquicas. • Enrutamiento en Capa 2. • Trabaja con 3 Tablas: de Vecinos, Topología y Enrutamiento.
BGP	Políticas de la Red	Vector Ruta	Classless	Jerárquica	<ul style="list-style-type: none"> • Se define manualmente los BGP peers. • Los ASs mantienen sesiones internas (iBGP) y externas (eBGP). • Balancea carga sobre 6 rutas que pueden tener diferente ancho de banda.

Tabla 1.2 - Comparación de los Protocolos de Enrutamiento Dinámico

¹³ Vector de Ruta, marca y muestra la ruta que utiliza información actualizada a medida que se difunde por la red, BGP verifica por qué Sistemas Autónomos pasó la actualización para evitar loops.

De la síntesis presentada en la Tabla 1.2 acerca de las principales características de los Protocolos de Enrutamiento más utilizados, se puede resumir que la métrica varía según el protocolo. El tipo de protocolo, ya sea Vector Distancia o Estado de Enlace determina el funcionamiento en varios aspectos; la métrica y el tipo de topología que soporta cada protocolo ayuda a determinar su escalabilidad. Únicamente RIPv1 e IGRP no admiten *subnetting*, es decir son de tipo *Classfull*; esta limitación hace que ya no se empleen este tipo de protocolos. Finalmente se ha indicado en la tabla algunas características destacadas de cada uno de estos protocolos de enrutamiento dinámico.

1.2.2 IS-IS ^{[24] [25] [26]}

En esta sección se dará mayor énfasis al estudio de IS-IS debido a que es el Protocolo de Enrutamiento que trabaja conjuntamente con MPLS, ya que se va a utilizar para la integración de este proyecto de reingeniería de la red de la CNT-Loja, con el resto de la Red de la CNT-EP.

Intermediate System – to – Intermediate System (IS-IS) es un protocolo de Capa Enlace que fue desarrollado por la ISO (*International Standards Organization*). Se caracteriza por su rápida convergencia y alta escalabilidad, también es muy flexible y tiene extensiones para incorporar características como Ingeniería de Tráfico de MPLS. IS-IS es un *Interior Gateway Protocol* de estado de enlace, por lo que construye un mapa de la topología de toda la red que sirve para calcular el mejor camino hacia los destinos. IS-IS originalmente fue creado para soportar *Connectionless Network Services* (CLNSs) a nivel de capa enlace y luego fue adaptado para soportar también enrutamiento IP (*Integrated IS-IS*).

1.2.2.1 Elementos Funcionales ^{[26] [27]}

Un dominio de enrutamiento IS-IS puede estar dividido en subdominios llamados “áreas”; cada área es representada por una dirección. El enrutamiento dentro de una área se lo conoce como enrutamiento de “Nivel-1”; mientras que el

enrutamiento entre áreas de Nivel-1 se lo conoce como enrutamiento de “Nivel-2”. Para la ISO un *router* es un *Intermediate System*, un IS puede trabajar ya sea en el Nivel-1, en el Nivel-2 ó en ambos; y, a un *Host* se lo conoce como *End System*.

La Figura 1.12 muestra la forma cómo se conectan los *routers* de Nivel-1 y Nivel-2. Los ISs de Nivel-1 intercambian información de enrutamiento con otros ISs de Nivel-1 dentro de la misma área; mientras que los ISs de Nivel-2 intercambian información de enrutamiento con otros ISs de Nivel-2, independientemente si están en la misma área o no.

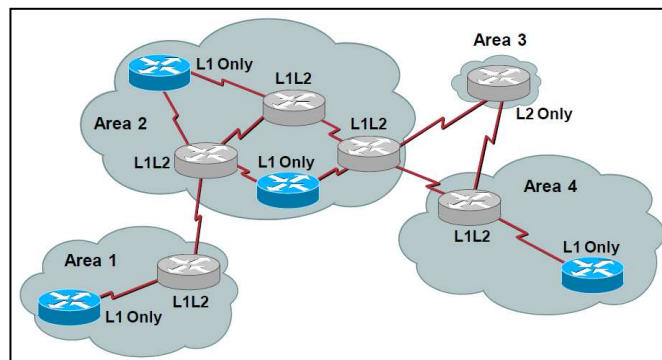


Figura 1.12 - Áreas y *Routers* de *Backbone* ^[27]

1.2.2.1.1 *Router de Nivel-1*

Un *router* de Nivel-1 conoce solo la topología de su propia área, y tiene como vecinos *routers* de Nivel-1 y Nivel-1/Nivel-2 dentro de la misma área. Mantiene una base de datos del estado de los enlaces (LSDB) de Nivel-1, con toda la información para el enrutamiento dentro del área; y utiliza al *router* de Nivel-2 más cercano dentro del área para enviar paquetes hacia otras áreas.

1.2.2.1.2 *Router de Nivel-2*

Un *router* de Nivel-2 puede tener vecinos dentro o fuera de su área; mantiene una LSDB de Nivel-2 con toda la información para el enrutamiento entre áreas. Al trabajar con MPLS se recomienda que todos los *routers* sean de Nivel-2, para

evitar inconsistencias en los LSPs, que se presentan debido a la sumarización de rutas en los *routers* de Nivel-1. Los *routers* de Nivel-2 deben ser contiguos.

1.2.2.1.3 Router de Nivel-1/Nivel-2

Un *router* de Nivel-1/Nivel-2 puede tener vecinos dentro o fuera de su área, tiene dos LSDBs tanto para el estado de enlaces de Nivel-1, como para el estado de enlaces de Nivel-2, por lo que requiere de mayor procesamiento.

1.2.2.2 Direccionamiento ^{[19] [27] [28] [29]}

IS-IS consiste de 3 sub-protocolos que trabajan en conjunto para conseguir el ruteo de extremo a extremo, la ISO lo definió como *Connectionless Network Services* (CLNSs):

- **CLNP (*Connectionless Network Protocol*)**: funciona como el protocolo de Capa 3 para IS-IS, hay dos tipos de direcciones CLNPs: NET y NSAP.
- **ES-IS (*End System – to – Intermediate System*)**: utilizado para el enrutamiento entre *hosts* y *routers*.
- **IS-IS (*Intermediate System – to – Intermediate System*)**: utilizado para el enrutamiento entre *routers*.

La dirección CLNP contiene 3 secciones: la dirección del área que es de longitud variable, el identificador del Sistema y el Selector. (Ver Figura 1.13).

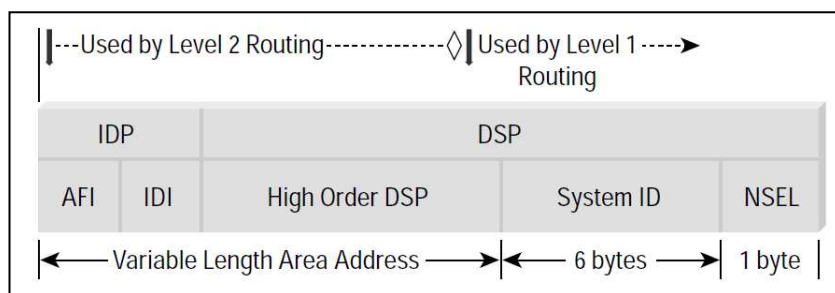


Figura 1.13 - Formato de la *Network Entity Title* ^[24]

- **IDP (*Initial Domain Part*)**: parte de la dirección que identifica al Sistema Autónomo y se usa para el enrutamiento entre Sistemas Autónomos.
 - *AFI (Authority and Format Identifier)*: especifica la organización autorizada para designar direcciones, su longitud es de 8 bits.
 - *IDI (Initial Domain Identifier)*: identifica la “suborganización”, su longitud depende del AFI designado.
- **DSP (*Domain Specific Part*)**: parte de la dirección para el enrutamiento dentro del Sistema Autónomo.
 - *High Order DSP*: identifica el área dentro del Sistema Autónomo.
 - *System ID*: identifica al *host*, usualmente 48 bits de longitud.
 - *NSEL (NSAP Selector)*: identifica el protocolo de la capa superior del *host* de destino, su longitud es siempre de 8 bits.

Un IS es identificado por una dirección conocida como *Network Entity Title* (NET), la NET es un NSAP¹⁴ con NSEL igual a cero; lo cual implica que no existe un protocolo que “corre” en la Capa Transporte, haciendo referencia al mismo IS.

Un ejemplo típico del direccionamiento NET se presenta a continuación. El IDP 49 indica una dirección CLNP privada que no puede ser ruteada globalmente, es equivalente al direccionamiento privado en IPV4; los siguientes 16 bits identifican el área, para el *System ID* se suele utilizar la dirección de *loopback* del *router*, modificando su formato; y los 8 últimos bits son cero:

Loopback del Router : 192.168.1.1

Área : 1

IDP		DSP		
AFI	IDI	High Order DSP	System ID	NSEL
49		0001	1921.6800.1001	00

NET: 49.0001.1921.6800.1001.00

¹⁴ NSAP (*Network Service Access Point*), usados para proveer el enlace entre la entidad de la Capa de Transporte y los servicios de la Capa de Red del Modelo OSI.

1.2.2.3 Funcionamiento de IS-IS ^{[26] [27] [28] [29]}

Luego de advertir la distancia de las redes conectadas, IS-IS informa el estado de los enlaces directamente conectados a través de LSPs (*Link-State PDUs*); IS-IS solo envía *updates* cuando hay un cambio en algún enlace y solo envía dicho cambio en el *update*. IS-IS usa el algoritmo *Dijkstra/Shortest Path First* para determinar el camino más corto.

Usa el costo como métrica por defecto, sin embargo la métrica también puede ser calculada en base al retraso, costo monetario de la utilización de los enlaces y error; otra característica importante es que construye y mantiene 3 tablas separadas: de Vecinos, de Topología y de Enrutamiento.

1.2.2.3.1 Tipos de Paquetes

IS-IS define los siguientes tipos de paquetes:

- **Intermediate System – to – Intermediate System Hello PDUs (IIHs):** se intercambian para el descubrimiento de vecinos, son enviados cada 10 segundos.
- **LSPs (Link-State PDUs):** se usan para compartir información acerca de la topología entre *routers*. Los LSPs para el Nivel-1 son generados por IS de Nivel-1, y estos paquetes son inundados a lo largo del área. Para el Nivel-2, los LSPs son generados por los ISs de Nivel-2 y estos paquetes son inundados a lo largo del subdominio.
- **Sequence Number PDUs (SNPs):** contienen una descripción del resumen de uno o más LSPs, hay dos tipos de SNPs: mensajes completos y parciales; tanto para el Nivel-1 como para el Nivel-2.
 - CSNP (*Complete Sequence Number PDUs*): es un *update* que contiene el LSDB completo.
 - PSNP (*Partial Sequence Number PDUs*): es utilizado por los *routers* IS-IS para acciones de *request* y de *acknowledge* de un *link-state update*.

1.2.2.3.2 *Lógica del Enrutamiento*

IS-IS soporta dos tipos de circuitos: punto-a-punto y multi-acceso; en ambos tipos de circuitos se intercambian IIHs para descubrir la identidad de los vecinos, el área y el nivel que soportan estos *routers*; de esta manera se forman adyacencias de Nivel-1, Nivel-2 y Nivel-1/Nivel-2. Cuando se establece una adyacencia, cada IS envía CSNPs en cada nivel hasta que las LSDBs de todos los vecinos se hayan sincronizado.

IS-IS define un “pseudonodo” para representar a un circuito multi-acceso, todos los ISs correspondientes a cada nivel eligen un IS según la prioridad más alta; el *router* elegido realiza las funciones del *Designated Intermediate System* (DIS), que es quien crea a un nodo virtual (pseudonodo). Los ISs no se anuncian hacia los vecinos del circuito; solo envían notificaciones hacia el pseudonodo en los no-pseudonodo-LSPs.

El DIS es el responsable de conducir los LSPs sobre el circuito multi-acceso; también se encarga de crear y actualizar la topología de los ISs mediante el envío de pseudonodo-LSPs.

Los CSNP son enviados periódicamente por el DIS para sincronizar las LSDBs de todos los ISs, mientras que en los circuitos punto-a-punto los CSNP son enviados únicamente cuando existen cambios en los enlaces.

Luego todos los ISs construyen la LSDB a partir de los LSPs recibidos; finalmente se calcula la Tabla de Enrutamiento mediante el algoritmo *Dijkstra/Shortest-Path First* (SPF) en cada IS.

El algoritmo SPF “corre” en cada *router* para procesar la topología y extraer el camino más corto desde el mismo *router* (*root* del árbol), hacia los otros *routers* (hojas del árbol); este proceso es similar a poner en su lugar a las piezas de un rompecabezas, y la información obtenida es usada para construir la tabla de enrutamiento desde cada *router*.

1.3 JERARQUÍA EN REDES DE ALTA DISPONIBILIDAD ^[30] ^[31] ^[32] ^[33]

El oído humano nota la pérdida de paquetes de voz que causan retardos entre 150-200 ms, mientras que la pérdida de video es aún más notoria; en los diseños actuales de redes se pretende conseguir alta disponibilidad, mediante la combinación de equipos redundantes, tecnología adecuada, balanceo de carga, redundancia de enlaces, rápida convergencia y *software*/protocolos que habiliten estas características.

En la Figura 1.14 se muestra el tiempo que el sistema puede estar inactivo (*Downtime* o tiempo de inactividad) según la disponibilidad anual; un usuario residencial puede sentirse satisfecho con un servicio que le garantice disponibilidad del 95%. Sin embargo para un cliente empresarial este valor no es suficiente, para estos casos se debe procurar que la comunicación sea continua y evitar pérdidas monetarias, que es en lo que se traduce el *Downtime*.

Hoy en día se pretende conseguir disponibilidad de “Cinco Nueves” (99.999%) en las redes de proveedores.


Availability	Downtime per Year (24x7x365)		
99.000%	3 Days	15 Hours	36 Minutes
99.500%	1 Day	19 Hours	48 Minutes
99.900%		8 Hours	46 Minutes
99.950%		4 Hours	23 Minutes
99.990%			53 Minutes
99.999%			5 Minutes
99.9999%			30 Seconds

Figura 1.14 - Alta Disponibilidad ^[31]

Conseguir una red de Alta Disponibilidad es la meta de todo diseño, ayuda a prevenir interrupciones y minimiza el tiempo de inactividad; para el diseño de estas redes es necesario utilizar un modelo jerárquico en niveles: Núcleo, Distribución y Acceso.

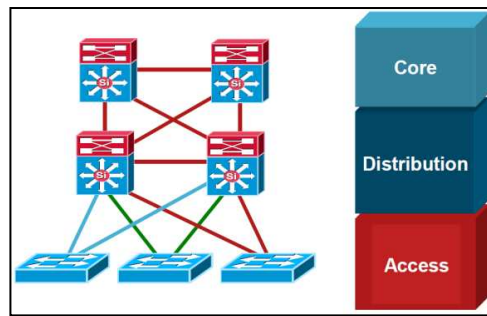


Figura 1.15 - Diseño Jerárquico de Redes ^[30]

La definición de un modelo jerárquico sirve para determinar ciertos requerimientos que se deben cumplir en cada nivel, estos requerimientos son especificados a continuación.

1.3.1 NÚCLEO

El Nivel de Núcleo debe cumplir con ciertas características para contar con escalabilidad, alta disponibilidad y rápida convergencia:

- Los equipos del Núcleo deben ser rápidos y muy confiables, ya que la conectividad de toda una red dependen de éstos.
- Se debe considerar rendimiento y estabilidad frente a la complejidad.
- Usar conexiones punto-a-punto de Capa 3, con topologías físicas en triángulos, mas no en cuadrados.
- Evitar lazos de Capa 2 y la complejidad del manejo de redundancia de este tipo, como la implementación de *Spanning Tree*.

1.3.2 DISTRIBUCIÓN

El Nivel de Distribución debe cumplir con ciertas características para ejecutar operaciones de políticas, convergencia, QoS y alta disponibilidad:

- Uso de conexiones redundantes de igual costo hacia el Núcleo para garantizar alta disponibilidad y balanceo de carga, por ejemplo mediante LACP (*Link Aggregation Control Protocol*).

- Sumarización de rutas para facilitar una convergencia óptima de protocolos de enrutamiento.
- Desarrollar QoS extremo-a-extremo para proteger lo importante y dar menor prioridad al resto del tráfico.
- Implementación de protocolos de Redundancia de Gateways como VRRP (*Virtual Router Redundancy Protocol*), para brindar alta disponibilidad a nivel de Gateways.

1.3.3 ACCESO

El Nivel de Acceso debe cumplir con ciertas características para ofrecer un entorno con una amplia gama de funciones:

- Servicios de Redes Inteligentes: QoS, supresión de *broadcast*, IGMP *snooping*¹⁵, rápida convergencia, alta disponibilidad, seguridad, IP *multicast*, etc.
- Amplia gama de protocolos de Capa 2/Capa 3: *Spanning Tree Protocol* (STP), *Multiple Spanning Tree Protocol* (MSTP), *Routing Information Protocol* (RIP), OSPF (*Open Shortest Path First*), LACP (*Link Aggregation Control Protocol*), etc.

1.4 PROTOCOLOS PARA REDUNDANCIA DE GATEWAYS

Los Protocolos de Redundancia de Gateways o también conocidos como “*First Hop Redundancy Protocols*” (FHRP), proveen alta disponibilidad a la red en cuanto a pérdidas de comunicación con el *Default Gateway*, para estaciones finales dentro de un dominio de *broadcast*; en esta sección se estudian los protocolos más utilizados en estos escenarios: VRRP, HSRP y GLBP.

¹⁵ IGMP (*Internet Group Management Protocol*) *snooping*, permite a un *switch* escuchar una conversación IGMP entre *hosts* y *routers*; al escuchar estas conversaciones el *switch* construye un mapa de los enlaces que requieren *streams* de *multicast*, entonces el tráfico *multicast* puede ser filtrado de enlaces en los que no se requiere.

1.4.1 VIRTUAL ROUTER REDUNDANCY PROTOCOL (VRRP) ^{[30] [33] [35]}

VRRP es un estándar de la IETF; la versión 3 especificada en el RFC 5798 permite su implementación en redes IPv6 y mantiene la compatibilidad con redes IPv4. Un grupo de *routers* funcionan como un solo *router* virtual, comparten una dirección IP virtual y una dirección MAC virtual, la IP virtual corresponde al *Default Gateway* para los *host*.

1.4.1.1 Funcionamiento de VRRP

Un *router*, elegido “*Master*” de acuerdo a la prioridad más alta (1 a 255), desempeña las funciones de envío de paquetes hacia los *hosts* locales, el resto de *routers* actúan como “*Backups*”, y a menos que falle el “*Master*” permanecen inactivos. El *router Master* envía periódicamente avisos a los *routers* de *Backup*, por defecto cada segundo; si los *routers* de *backup* no reciben los avisos en cierto tiempo, generalmente 3 segundos, un *router* de *backup* con la segunda prioridad más alta se convierte en *Master*.

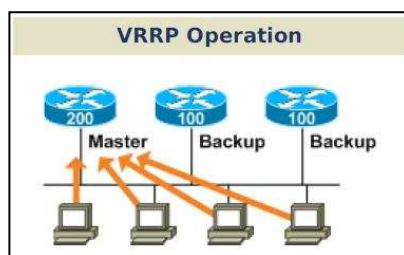


Figura 1.16 - Esquema de VRRP ^[34]

Si el *router Master* original se recupera, es posible que asuma el rol de *Master* o que permanezca como *Backup* según lo disponga el administrador.

1.4.1.2 Balanceo de Carga

Múltiples grupos virtuales VRRP pueden ser configurados (máximo 255) entre los *routers* que participen de VRRP, de tal forma de cada *router* actúe como *Master* para un grupo virtual y como *Backup* para los otros grupos.

1.4.2 HOT STANDBY ROUTER PROTOCOL (HSRP) ^{[30] [33]}

HSRP es un protocolo desarrollado por Cisco, definido por la IETF en la RFC 2281; aunque licenciado por Cisco, también trabaja en redes IPv6. Este protocolo permite una recuperación transparente del *Gateway* para un grupo de *hosts*, en donde un grupo de *routers* funcionan como un solo *router* virtual y comparten una dirección IP virtual y una dirección MAC virtual, la IP virtual corresponde al *Default Gateway* para los *host*, igual que en VRRP.

1.4.2.1 Funcionamiento de HSRP

Un grupo de *routers* eligen un *router* “Activo” según la prioridad más alta (1 a 255) y uno de “*Standby*”, el Activo es el que se encarga de la transmisión de paquetes y el de *Standby* reemplaza al Activo cuando éste falla, y un nuevo *router* de *Standby* es elegido. El resto de *routers* que no participaron en este proceso permanecen es estado de “*Listen*” hasta que ocurra algún cambio en la red.

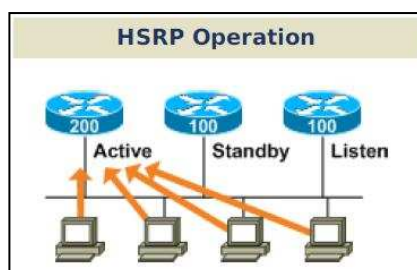


Figura 1.17 - Esquema de HSRP ^[34]

Luego de esta elección, solo los dos *routers*: Activo y *Standby* intercambian mensajes de *HELLO* mientras que el resto permanecen inactivos; este comportamiento permite el ahorro de ancho de banda. Si el *router* de *Standby* no recibe 3 mensajes de *Hello* consecutivos, se asume que el *router* Activo falló y el *router* de *Standby* pasa a ser Activo. Si el *router* Activo original se recupera, es posible que asuma el rol de Activo otra vez o que permanezca como *Standby* según lo disponga el administrador. Los *timers* para HSRP se pueden configurar en mili-segundos para que la convergencia sea más rápida.

1.4.2.2 Balanceo de Carga

En una misma LAN, pueden coexistir múltiples grupos HSRP (hasta 4096 en la versión 2), cada grupo emula un *router* virtual; esta característica posibilita el balanceo de carga con diferentes subredes y permite una mejor utilización de *routers* redundantes. Mientras un *router* se encuentra Activo en un grupo HSRP, puede estar en estado de *Standby* o “Listen” para los otros grupos HSRP.

1.4.3 GATEWAY LOAD BALANCING PROTOCOL (GLBP) ^{[30] [33] [36]}

GLBP es un protocolo propietario de Cisco, que protege el tráfico ante fallas en la accesibilidad con el *Gateway* de la red, al igual que los protocolos anteriores; sin embargo GLBP permite el balanceo de carga dentro de la misma subred para un grupo de *routers*, utilizando todo el ancho de banda disponible y permitiendo trabajar en redes IPv6.

1.4.3.1 Funcionamiento de GLBP

Un grupo de *routers* funcionan como un solo *router* virtual al compartir una misma dirección IP virtual. En el grupo de *routers* se elige un *Active Virtual Gateway* (AVG) según la prioridad más alta (1 a 255), éste se encarga de asignar direcciones MAC virtuales a todos los *routers* que participan en el grupo GLBP (máximo 4 por grupo). A estos *routers* se los conoce como *Active Virtual Forwarders* (AVF) y asumen la responsabilidad de reenviar los paquetes dirigidos hacia la dirección MAC virtual correspondiente a cada uno de ellos, asignada previamente por el AVG.

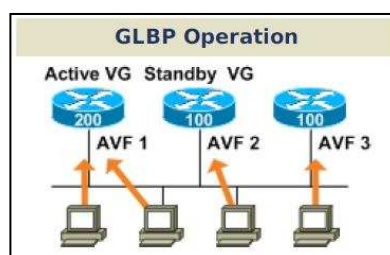


Figura 1.18 - Esquema de GLBP ^[34]

El AVG también es el responsable de responder las peticiones ARP que le hacen a la IP virtual, responde a cada cliente con una de las direcciones MAC virtuales correspondientes a los AVFs.

Un *router* es elegido como AVG, otro *router* como *Standby Virtual Gateway* y el resto se mantienen en estado de *Listening*; si el AVG falla, el *router* de *Standby* asume la responsabilidad de la dirección IP virtual, y un nuevo *Standby* es elegido entre los *routers* que se encontraban en *Listening*. Si el *router* AVG original se recupera, es posible que asuma el rol de AVG otra vez según lo disponga el administrador.

El AVG envía mensajes *Hello* al *Standby* y si no llegan luego de cierto tiempo se considera que el AVG falló; los *timers* para GLBP también se pueden configurar en mili-segundos para optimizar la implementación del protocolo.

1.4.3.2 Balanceo de Carga

Se pueden tener máximo 1024 grupos GLBP entre los *routers* configurados con este protocolo. GLBP ofrece 4 algoritmos para determinar la asignación de *hosts* a cada *router* GLBP y permitir el balanceo de tráfico para un mismo grupo GLBP:

- Ninguno: el AVG responde a todas las peticiones de ARP con su dirección MAC virtual, entonces todo el tráfico es dirigido hacia el mismo AVG.
- *Weighted*: se establece un peso en cada *router* proporcional a la cantidad de tráfico a ser recibido por cada uno, consecuentemente algunos equipos pueden recibir más tráfico que otros dependiendo del peso.
- *Host Dependent*: la dirección MAC del *host* es utilizada para determinar la dirección MAC virtual que le va a responder a dicho *host*, entonces se asegura que para un determinado *host* se use siempre la misma dirección MAC virtual, siempre y cuando ésta corresponda a un AVF activo.
- *Round Robin*: usa secuencialmente cada dirección MAC virtual, para responder las peticiones ARP hacia la dirección IP virtual.

1.5 PROTOCOLOS PARA ALTA DISPONIBILIDAD EN CAPA ENLACE

Existen múltiples protocolos que ofrecen control de lazos en Capa Enlace, sin embargo en esta sección se presenta una síntesis de los protocolos más utilizados, tales como *Spanning Tree* y sus variantes: STP, RSTP (*Rapid Spanning Tree Protocol*) y PVST (*Per VLAN Spanning Tree*), así como otras propuestas como SPB (*Shortest Path Bridging*) y TRILL (*Transparent Interconnection of Lots of Links*); finalmente se enfocará al estudio de MSTP y REP (*Resilient Ethernet Protocol*).

1.5.1 INTRODUCCIÓN

La expansión de las redes LAN (*Local Area Network*) y MAN (*Metropolitan Area Network*) basadas en *Ethernet* plantean cambios importantes respecto a la escalabilidad, velocidad, rendimiento y seguridad, requiriendo una mínima gestión y configuración. Los objetivos principales son la optimización del uso de la infraestructura de comunicaciones, evitar tormentas de tramas que se producen en presencia de topologías redundantes, reducir la complejidad de configuración y la rápida convergencia ante fallos en la red.

Al tener una topología de alta disponibilidad se eliminan problemas relacionados a un solo punto de falla; sin embargo se deben resolver problemas relacionados con: tormentas de *broadcast*, múltiples copias de tramas y problemas de estabilidad de la tabla de direcciones MAC. Existen algunos protocolos que resuelven estos inconvenientes, a continuación se realiza una breve descripción de los protocolos más utilizados dentro de este ámbito.

1.5.1.1 Síntesis de *Spanning Tree Protocol* (STP) ^{[37] [38]}

STP es un protocolo estandarizado por el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) en la norma 802.1D, trabaja en la Capa Enlace del modelo

ISO/OSI, STP bloquea automáticamente algunos puertos para evitar lazos a nivel lógico, deshabilitando algunos enlaces para la transmisión del tráfico. El proceso de formación del árbol de expansión consiste en definir el estado de los puertos y las funciones de los mismos; primero se elige el “*root bridge*” que es el *switch* con el menor “*bridge ID*” mediante el intercambio de BPDUs¹⁶, luego se elige el “*root port*” en el resto de *switches*, que es el puerto para llegar al *root bridge*; y finalmente se eligen los puertos designados que prolongarán el árbol hacia otros *switches*.

El *root bridge* envía periódicamente BPDUs de configuración a los *switches* vecinos; los *switches* que las reciben generan una BDU propia que se envía a su vez a otros *switches* vecinos. Este algoritmo no dispone de un mecanismo de detección de convergencia, sino que utiliza temporizadores; estos corresponden a un tiempo suficientemente amplio para asegurar que haya convergido todo el árbol de expansión.

1.5.1.2 Síntesis de *Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)* ^{[37] [38]}

RSTP es un protocolo estandarizado por la IEEE en la norma 802.1w, siendo una evolución del estándar 802.1D; aunque la topología final del árbol de expansión es la misma calculada por 802.1D, RSTP redefine los estados de los puertos y las funciones de los mismos, logrando aumentar la velocidad de recálculo del árbol de expansión cuando cambia la topología de la red. RSTP construye el árbol de expansión mediante anuncios que contienen el costo al *root bridge* del árbol y las BPDUs las transmite solo el puerto Designado.

Con RSTP un puerto es capaz de realizar la transición al estado de envío sin depender de ninguna configuración de temporizadores; algunos cambios se introducen en el formato de las BPDUs para incluir la función y el estado del

¹⁶ BDU (*Bridge Protocol Data Unit*), paquete de datos que sirve para: crear el árbol de expansión en la red, elegir al *root bridge*, calcular las rutas más cortas hacia el *root bridge*, establecer los *root* y *designated ports*, principalmente.

puerto que originó la BPDUs, y también para manejar un mecanismo de propuesta/acuerdo que reemplaza a los temporizadores.

Otra característica propia de RSTP es que todos los conmutadores emiten autónomamente las BPDUs cada *Hello Time*, en lugar de hacerlo tras la recepción de una BPDUs del *root bridge*; estas BPDUs se las utiliza para detectar caídas en la comunicación entre *switches* vecinos. Si un *bridge* no recibe ninguna BPDUs en tres intervalos de *Hello Time*, se considera caída la comunicación con su vecino; esta detección es más rápida y precisa que en STP, dado que se detecta exactamente el enlace que falló.

1.5.1.3 Síntesis de *Per VLAN Spanning Tree* (PVST) ^{[37] [38]}

PVST es un protocolo propietario de Cisco que mantiene una instancia de *Spanning Tree* para cada VLAN configurada en la red; utiliza el protocolo de enlace troncal ISL¹⁷ de Cisco, permitiendo que un enlace troncal se encuentre en estado de envío para algunas VLAN y en estado de bloqueo para otras. Debido a que PVST trata a cada VLAN como una subred independiente, puede balancear tráfico en Capa 2 mediante el envío de algunas VLANs sobre un enlace troncal, y el envío de otras sobre otro enlace troncal, sin generar lazos. Para PVST, Cisco desarrolló varias extensiones como *BackboneFast*, *UplinkFast* y *PortFast*.

Con este protocolo se tiene una instancia por cada VLAN, cada instancia constituye un árbol de expansión independiente con un *root bridge* por instancia, posibilitando el bloqueo de varios enlaces troncales para el balanceo de carga a través de toda la infraestructura; sin embargo la implementación de PVST implica que cada instancia deba enviar sus propias BPDUs. Estas BPDUs tienen un campo adicional que es un componente del “*bridge ID*”: *switch priority*, *extended system ID* y dirección MAC del *switch*; el *extended system ID* es el un nuevo campo que lleva el ID de la VLAN para una determinada instancia.

¹⁷ ISL (*InterSwitch Link*), protocolo de Cisco para la interconexión de múltiples *switches* y mantenimiento de la información de las VLANs, que permite transportar tráfico de múltiples VLANs entre equipos sobre un mismo enlace.

Otros protocolos desarrollados por Cisco son:

- PVST+: mantiene la misma funcionalidad que PVST, incluyendo las extensiones: *BackboneFast*, *UplinkFast* y *PortFast*, pero proporciona soporte a dos tipos de enlaces troncales: ISL e IEEE 802.1Q; y también incorpora una mejora de *PortFast* denominada *BPDU guard* y *Root guard*.
- *Rapid PVST+*: se basa en el estándar IEEE 802.1w y posee una convergencia más veloz que STP, *Rapid PVST+* también incluye las extensiones: *BackboneFast*, *UplinkFast* y *PortFast*.

1.5.1.4 Síntesis de *Transparent Interconnection of Lots of Links (TRILL)* ^[37] ^[39]

TRILL es un protocolo estandarizado por la IETF en la RFC 5556, los *switches* en los cuales se implementa este protocolo se llaman *RBridges*; el objetivo de TRILL es resolver problemas de lazos mediante la incorporación de la capacidad de enrutamiento a equipos de Capa 2. Este protocolo puede calcular múltiples árboles, para que el tráfico de múltiples destinos pueda ser balanceado sobre varios enlaces.

Utiliza IS-IS como protocolo de enrutamiento de estado de enlace para lograr el envío de paquetes por los caminos más cortos; cada nodo obtiene una visión completa de la topología de la red. TRILL encapsula los paquetes del usuario con una cabecera para el transporte, los paquetes encapsulados se enrutan mediante IS-IS y se desencapsulan antes de entregar al destino.

Los *Rbridges* aprenden las direcciones MAC de los usuarios por inspección de paquetes; esta información es distribuida hacia todos los *Rbridges* de tal forma que todos conozcan el *Rbridge* de destino. Cuando un paquete ingresa al dominio de los *Rbridges*, el *Rbridge* de ingreso determina el *nickname* del *Rbridge* asociado con la dirección MAC de destino y encapsula los paquetes para el envío.

La cabecera *Rbridge* incluye una cuenta de saltos, el *nickname* del *Rbridge* de egreso, el *nickname* del *Rbridge* de ingreso y un bit para multi-destino; en todo el dominio de los *Rbridges*, la cuenta de saltos es disminuida, para prevenir lazos temporales durante el tiempo de convergencia.

1.5.1.5 Síntesis de *Shortest Path Bridging* (SPB) ^[37] ^[39]

SPB es un protocolo en proceso de estandarización (*draft*) en el IEEE 802.1aq; existen dos variantes de SPB: *Shortest Path Bridging Mac-in-Mac*¹⁸ (SPBM) y *Shortest Path Bridging Q-in-Q*¹⁹ (SPBV). Permite calcular los caminos más cortos, múltiples caminos de igual costo, amplias topologías *mesh* de Capa 2 y rápida convergencia.

SPB utiliza múltiples instancias de árboles de expansión unidireccionales, enraizados en cada uno de los *switches* de frontera; al estar siempre el nodo raíz del árbol correspondiente en uno de los extremos, se garantiza los caminos mínimos (*Shortest Paths*) para la transmisión.

Los paquetes se encapsulan en los *switches* de frontera en *MAC-in-MAC* o son etiquetados con 802.1Q, y se transportan solo entre los *bridges* de la subred lógica.

SPB también usa IS-IS para construir la topología de la red, y seleccionar los caminos más cortos de acuerdo con las métricas de los enlaces, para luego asignar el tráfico a un camino; respecto al balanceo de carga, SPB calcula hasta 16 árboles desde el origen con los caminos más cortos.

¹⁸ *MAC-in-MAC* (802.1ah *Provider Backbone Bridges*), encapsula el tráfico de los usuarios finales dentro de la cabecera MAC del proveedor de servicios, permitiendo al *bridge* frontera del *backbone* soportar un alto número de instancias de servicio, así como separar el espacio de direcciones MAC del usuario, del espacio MAC del proveedor.

¹⁹ *Q-in-Q* (802.1ad *Provider Bridges*), significa transportar una trama 802.1Q en otra trama 802.1Q, se antepone una etiqueta a la trama etiquetada, y se transporta una trama doblemente etiquetada a través de la red de proveedor de servicios.

1.5.2 *MULTIPLE SPANNING TREE PROTOCOL (MSTP)* ^{[37] [40] [41]}

MSTP está incluido en la especificación IEEE 802.1Q-2003 dentro del estándar para VLANs en *switches/bridges*; anteriormente existió como *draft* en IEEE 802.1s. MST extiende el algoritmo de RSTP a múltiples árboles de expansión, y permite lograr rápida convergencia y balanceo de carga en presencia de VLANs. Con esto se mejora la utilización de la infraestructura, distribución del tráfico, y también se consigue una mejor resistencia a fallos por la multiplicidad de árboles contruidos; todo esto al precio de la complejidad de la configuración.

El tiempo de convergencia de MST es de 5 a 6 segundos, éste es un tiempo dramáticamente más corto en comparación a STP, cuyo tiempo de convergencia es de 30 a 50 segundos.

Dentro del dominio de MST se forman Regiones para dividir la administración de la red, e interoperabilidad con otros protocolos; dentro de una Región se agrupan VLANs y se asocian a una Instancia, que representa un árbol de expansión con una topología independiente de otras Instancias; se puede tener una o más Instancias de este tipo, y se las conoce como *Multiple Spanning Tree Instances* (MSTIs). Mientras que para interconectar a todas las Regiones existe un único árbol en común, correspondiente a una instancia llamada *Internal Spanning Tree* (IST) que es la Instancia 0.

1.5.2.1 Regiones

MSTP introduce el concepto de Regiones, una Región es un grupo de equipos bajo un mismo control administrativo y que comparten similar configuración; ciertos parámetros deben ser idénticos en todos los equipos que conformen la Región para asegurar la pertenencia a la misma. Para tener un mapeo consistente de VLANs–Instancias, es necesario que el protocolo identifique las fronteras de las regiones; para conseguir este propósito las características de la Región se incluyen en las BPDUs.

No se propaga el mapeo de VLANs–Instancias en el BPDU, porque los *switches* solo necesitan saber si pertenecen o no a la misma Región que el vecino; entonces un *digest*²⁰ del mapeo VLANs–Instancias se envía junto con el número de revisión y el nombre de la región. Cuando un *switch* recibe un BPDU, extrae el *digest* y lo compara con el cálculo de su propio *digest*; si el *digest* es diferente, el puerto en el cual el BPDU fue recibido se encuentra en la frontera de la Región.

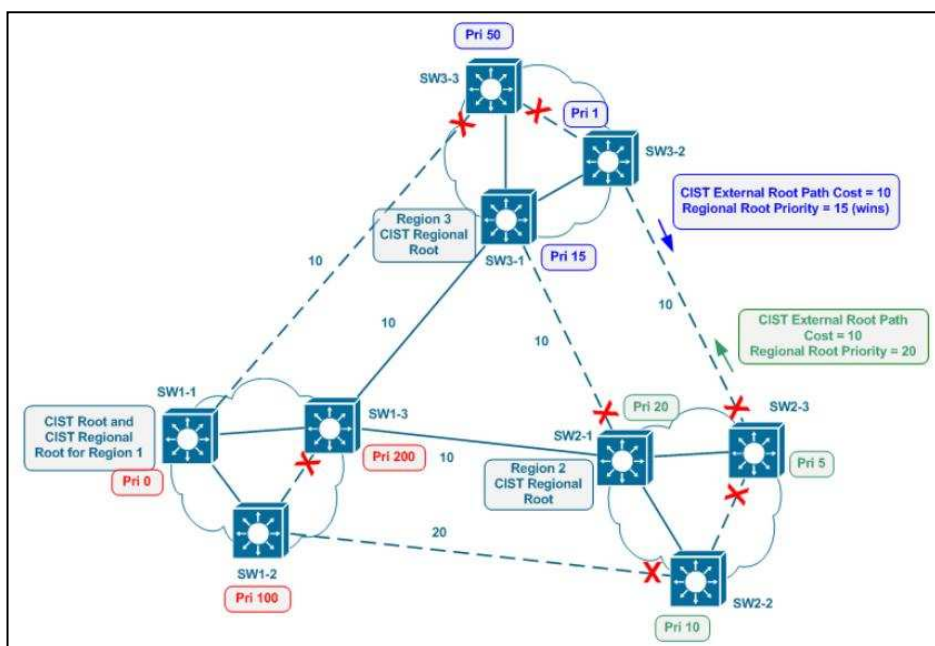


Figura 1.19 - Esquema General del CIST ^[40]

En la Figura 1.19 se muestran 3 Regiones. Entre todas las Regiones se elige un CIST Root (*Common and Internal Spanning Tree Root*), que es *Root Bridge* para todo el dominio de *Spanning Tree*; mientras que en cada una de las Regiones existe un CIST Regional Root (*Common and Internal Spanning Tree Regional Root*), que es el *switch* que tiene el mejor camino para llegar al CIST Root.

En la figura anterior también se puede observar el CIST *External Root Path Cost*, que es el costo que sirve para elegir los enlaces entre puertos de frontera, por los cuales se llega hasta el CIST Root. Los costos de los enlaces internos

²⁰ *Digest*, un valor numérico derivado de la tabla para el mapeo VLANs–Instancias a través de funciones matemáticas.

corresponden al costo de los enlaces de la Instancia 0, que conectan a los *switches* dentro de cada Región.

1.5.2.1.1 CIST Root

El CIST *Root* es el *switch* que posea el *Bridge ID* (*Bridge Priority* + *MAC address*) más bajo entre los *switches* de todas las Regiones; para conseguir que un equipo sea el CIST *Root* de la red, se setea en cero la prioridad correspondiente a la Instancia 0, de esta forma se garantiza que en escenarios en que se deba recalcular un nuevo CIST *Root*, éste sea el mismo equipo.

1.5.2.1.2 CIST Regional Root

El CIST *Regional Root* es un *switch* de frontera, elegido en cada Región basándose en el menor costo externo para alcanzar al CIST *Root*; para conseguir que un equipo determinado sea elegido como CIST *Regional Root*, se definen los valores de los costos de los enlaces externos a la Región, correspondientes a la Instancia 0.

Dentro de cada región todos los *switches* deben calcular el mejor camino para llegar hasta el CIST *Regional Root*, este cálculo también se lo realiza en base al menor costo de los enlaces internos a la Región para la Instancia 0.

1.5.2.2 Funcionamiento de MSTP entre Regiones

Cuando se interconectan múltiples regiones, entre todos los *switches* de todas la Regiones se construye un árbol de expansión en común, conocido como CIST (*Common and Internal Spanning Tree*). El CIST forma una jerarquía de 2 niveles:

- Un primer nivel trata a todas las regiones como “*Bridges Virtuales*”, y construye un solo árbol de expansión con los *Bridges Virtuales* basándose en los costos de los enlaces externos.

- El segundo nivel de la jerarquía consiste de varios ISTs regionales, cada región construye el árbol de expansión para la instancia IST usando costos de enlaces internos, y utilizando al CIST *Regional Root* como IST *Root*.

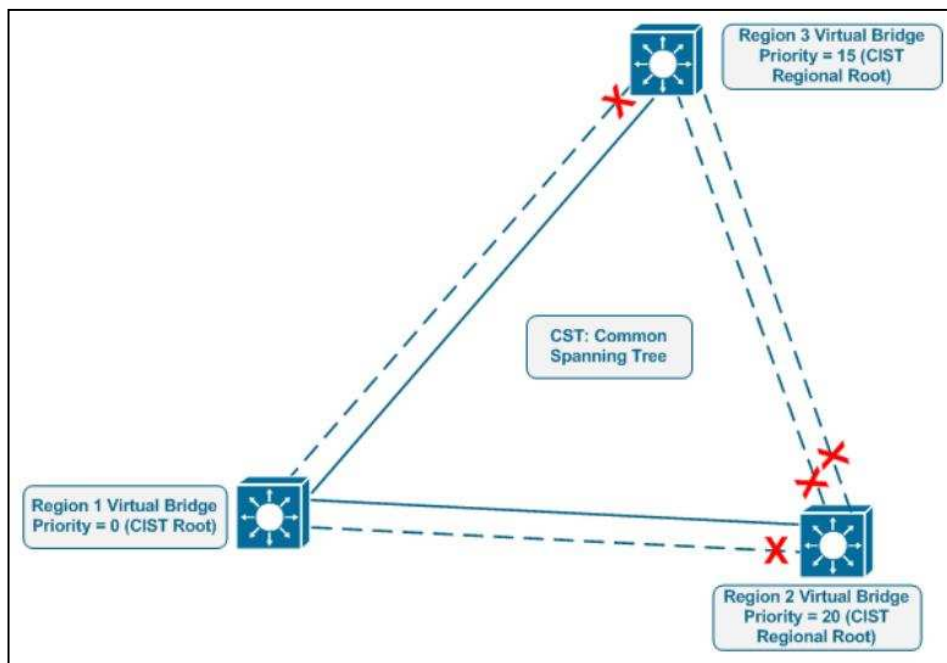


Figura 1.20 - Funcionamiento de MSTP entre Regiones ^[40]

En la Figura 1.20 se muestran las tres Regiones de la Figura 1.19 visualizadas como “*Virtual Bridges*”; se puede observar el árbol de expansión enraizado en el CIST *Root* y los enlaces bloqueados en este proceso para evitar lazos.

1.5.2.2.1 *Internal Spanning Tree (IST)*

La instancia IST (Instancia 0) “corre” en todos los *switches* dentro de una región MST; la instancia IST provee interacción en los límites de la región con otras regiones MST, y además permite la interoperabilidad con 802.1D, 802.1Q y PVST+.

El árbol de expansión del primer nivel de la jerarquía MST es conocido como *Common Spanning Tree (CST)*, el cual conecta todos los puertos de frontera y percibe a cada región como un “*Virtual Bridge*”, cuyo *Bridge ID* es igual al del

CIST *Regional Root*; el CST no balancea carga pero puede interactuar con otros protocolos. La Instancia IST es la única instancia que recibe y envía BPDUs al CST.

1.5.2.3 Funcionamiento de MSTP dentro de una Región

Dentro de cada región se cuenta con una topología física redundante, en la cual es posible construir varias topologías lógicas que corresponden a múltiples árboles de expansión, a cada uno de estos árboles de expansión se los conoce como *Multiple Spanning Tree Instances* (MSTIs).

En la Figura 1.21 se muestra un ejemplo del funcionamiento de MSTP dentro de una región; para lograr el balanceo del tráfico se construyen árboles de expansión enraizados en diferentes *Root Bridges* para cada MSTI, asignando prioridades a cada *switch* para la Instancia correspondiente.

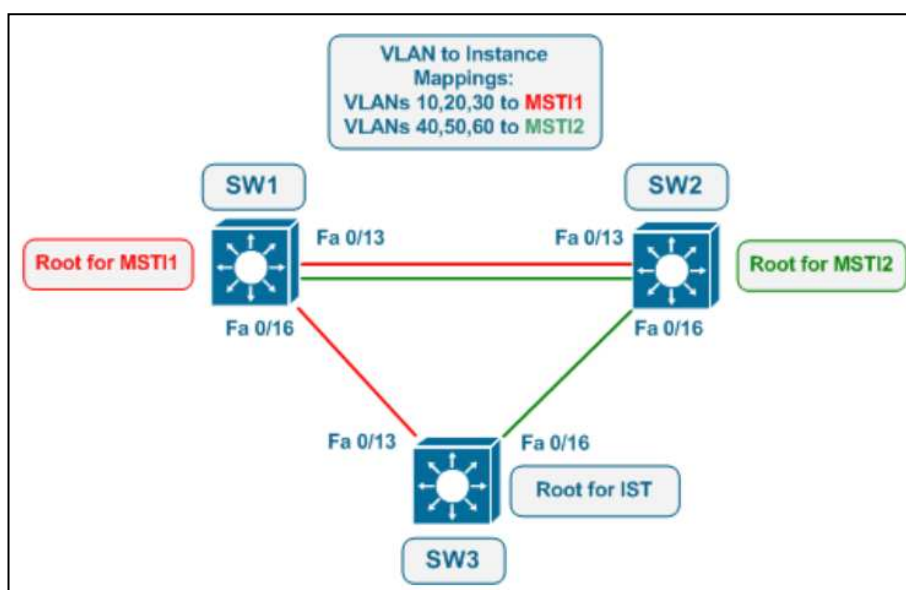


Figura 1.21 - Funcionamiento de MSTP dentro de una Región ^[40]

También es posible lograr el balanceo de carga configurando el costo de los enlaces para cada Instancia, de tal forma que se tengan diferentes caminos para el tráfico de cada árbol de expansión; en este caso el *Root Bridge* para todas las Instancia es un mismo *switch*.

1.5.2.3.1 Multiple Spanning Tree Instances (MSTIs)

Debido a que en la mayoría de redes no se necesita más que pocas topologías lógicas, para balancear el tráfico a través de toda la infraestructura física, varias VLANs son mapeadas hacia un número reducido de MSTIs. Cada MSTI asigna prioridades a los *switches* y usa sus propios costos para los enlaces, y así construir un árbol de expansión independiente de otros.

Las MSTIs son instancias de RSTP que existen únicamente dentro de una Región; por lo que a diferencia de la instancia IST, las MSTIs no envían BPDUs fuera de la Región. Dentro de cada región se construyen los árboles de expansión necesarios para balancear el tráfico correspondientes a las MSTIs, y enraizados en un *Root Bridge* para cada Instancia.

1.5.3 RESILIENT ETHERNET PROTOCOL (REP) ^{[42] [43] [44]}

REP es un protocolo propietario de Cisco que provee una alternativa a STP; es soportado en enlaces troncales de Capa 2 para controlar lazos en la red, responder ante fallas en enlaces y para mejorar el tiempo de convergencia.

REP controla a un grupo de puertos conectados entre sí formando un “Segmento”, se asegura que en dicho segmento no existan lazos y responde ante fallas de enlaces dentro del segmento. Con este protocolo se puede construir redes complejas y con soporte para balanceo de carga.

Un segmento es una cadena de puertos conectados entre sí y que comparten un mismo identificador de segmento; cada segmento está formado por dos “*Edge Ports*”, que son el inicio y el final del segmento, y por el resto de puertos que forman dicho segmento. Un *switch* puede tener únicamente dos puertos que pertenezcan al mismo segmento, y cada puerto de un segmento puede tener solo un vecino; esto se debe a que la lógica del funcionamiento de REP está basada en anillos y en un anillo un equipo puede tener solo dos vecinos.

1.5.3.1 Segmentos

Los segmentos pueden ser abiertos o cerrados, la topología de la izquierda en la Figura 1.22 corresponde a un segmento cerrado, en donde se tiene un solo *switch* de frontera; mientras que en la topología de la derecha se muestra un segmento abierto, en donde se tiene dos *switches* de frontera. Ambos tipos de segmento bloquean un enlace para evitar lazos.

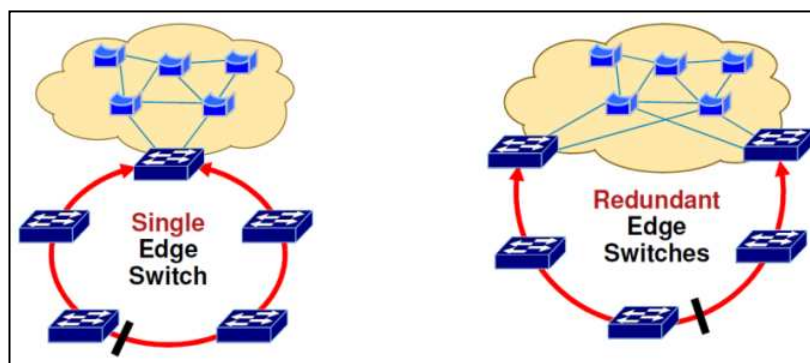


Figura 1.22 - Esquema de Segmentos con REP ^[42]

El segmento no causa lazos de Capa 2, por lo que los extremos del segmento pueden conectarse a cualquier tipo de red. Algunos puertos tienen características especiales, de acuerdo al normal funcionamiento de REP:

- **Primary Edge Port:** es un puerto de frontera en donde inicia la construcción de la topología en anillo de REP, e inicializa los *timers*.
- **Secondary Edge Port:** es el otro puerto de frontera en donde termina la construcción de la topología en anillo de REP.
- **Preferred Alternate Port:** en un segmento, un puerto debe bloquearse para asegurar una topología libre de lazos, ese puerto se lo conoce como puerto alternativo. Cuando un enlace falla, REP abre el puerto alternativo para permitir la recirculación del tráfico.
- **No Edge Neighbor:** estos puertos se utilizan para conectarse con otras redes o equipos que no soporten REP y garantizar la interoperabilidad con *Spanning Tree*.

1.5.3.2 Funcionamiento de REP

REP implementa una detección local de falla de enlace, el protocolo *Link Status Layer* (LSL) forma adyacencias con los vecinos, y establece conectividad dentro del segmento; luego de identificar a los vecinos se determina qué puerto del segmento pasa a ser Alternativo y cuáles pasan a estado de envío.

Todos los puertos que conforman un segmento utilizan identificadores de desplazamiento conocidos como *Offset Values*; éstos se emplean para detectar el puerto exacto en donde se ha generado una falla, y también se utilizan para designar el puerto Alternativo. Los puertos Alternos bloquean de tráfico para ciertas VLANs, logrando balancear el tráfico para el segmento.

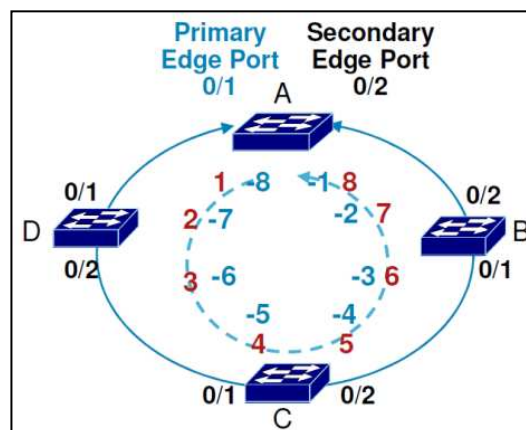


Figura 1.23 - Funcionamiento de REP ^[42]

Los *Offset Values* se enumeran en función de la cuenta de puertos REP hacia el *Primary Edge Port* o hacia el *Secondary Edge Port*, indicando la distancia hacia éstos puertos. Los *Offset Values* positivos indican que la cuenta de puertos del segmento comienza desde el *Primary Edge Port* hacia el *Secondary Edge Port*; mientras que los *Offset Values* negativos indican que la cuenta comienza desde el *Secondary Edge Port* hacia el *Primary Edge Port*.

Para REP, el tiempo estimado de convergencia utilizando interfaces de fibra es de máximo 300 ms.

1.5.3.3 Balanceo de Carga

REP soporta balanceo de carga por grupo de VLANs, es posible realizar bloqueos en dos lugares; un primer grupo de VLANs se bloquea en el *Preferred Alternate Port* y el segundo grupo de VLANs se bloquea en el *Primary Edge Port*. Cuando falla un enlace se desbloquean ambos puertos para permitir la recirculación del tráfico.

1.6 PROTOCOLOS DE AGREGACIÓN DE ENLACES

Se usa la agregación de enlaces para combinar un cierto número de puertos y formar un solo enlace lógico, cuyo ancho de banda se aumenta dependiendo de la cantidad de enlaces que formen dicho enlace; estos protocolos a más de incrementar el ancho de banda, también proveen de alta disponibilidad de los enlaces involucrados. Existen varios protocolos de este tipo, a continuación se estudiará los protocolos más utilizados y que se proponen en este proyecto.

1.6.1 *LINK AGGREGATION CONTROL PROTOCOL (LACP)* [30] [45] [46]

LACP es parte de la especificación 802.3ad de la IEEE, permite agrupar algunos puertos físicos para formar un canal lógico; puede detectar automáticamente enlaces múltiples entre dos equipos habilitados con LACP y los configura para usar su ancho de banda máximo, mediante la agrupación de estos enlaces.

1.6.1.1 Atributos del Equipo

La prioridad del sistema LACP es configurada en cada equipo, LACP usa el “*System Priority*” con la dirección MAC del equipo para formar el “Identificador del Sistema”, que sirve para determinar si los puertos que conforman el canal lógico se seleccionan o se mantienen en estado de *standby*, para la agregación dinámica al grupo LACP.

- **System Priority:** especifica el valor de la prioridad del equipo, para la elección del equipo "*Master*".
- **Dirección MAC:** los puertos agregados al canal lógico heredan las direcciones MAC lógicas para dicho canal lógico.

El *Master* que es el equipo con el menor *System Priority* y es el que toma las decisiones sobre qué puertos participan activamente del enlace lógico, estos puertos se los conoce como "Puertos Seleccionados"; en la agregación manual de puertos, solo los puertos con configuraciones consistentes de acuerdo a los parámetros del *Master* pueden ser seleccionados. Estos parámetros son: velocidad, modo dúplex y estado del enlace.

1.6.1.2 Atributos de los Puertos

- **Key:** LACP automáticamente configura una llave administrativa en cada puerto configurado con LACP; la llave define la habilidad de un puerto a ser agregado junto a otros puertos, siempre y cuando cumplan con los parámetros mencionados anteriormente.
- **Priority:** LACP usa la prioridad del puerto junto con el número de puerto para formar el "Identificador del Puerto", sirve para determinar qué puertos deben pasar a estado de *standby*, cuando existen limitaciones de *hardware*.
- **Number:** limita el número de puertos a ser agregados en el canal lógico.
- **State:** los puertos pueden estar en los siguientes estados.
 - *On:* siempre se convierte en miembro del canal lógico
 - *Active:* pregunta si el otro lado soporta LACP.
 - *Passive:* si el otro lado pregunta, forma parte del canal lógico.
 - *Off:* no se convierte en parte del canal lógico.

1.6.1.3 Funcionamiento de LACP

Un puerto que tenga habilitado LACP envía paquetes llamados *Link Aggregation Control Protocol Data Units* (LACPDUs) para avisar su *System Priority*, dirección

MAC, prioridad del puerto, número de puerto y la llave de operación; luego de recibir esta información, se compara localmente con la información guardada de los demás puertos para escoger a los puertos que formen el canal lógico. Si un enlace físico falla, el tráfico de ese enlace pasa a los enlaces restantes dentro del canal lógico.

Un canal lógico balancea el tráfico a través de los enlaces físicos según algunos determinantes como: MAC origen, MAC destino, MAC origen y destino, IP origen, IP destino, IP origen y destino; y así selecciona uno de los enlaces en el canal para cierto tráfico.

1.6.2 *ETHERCHANNEL* ^[47] ^[48]

EtherChannel es una tecnología de Cisco para proveer una solución de enlaces confiables, redundantes y de alta velocidad, tanto para su operación en Capa 2 o en Capa 3. Esta tecnología ofrece escalabilidad respecto al ancho de banda, se puede agregar ancho de banda y formar un enlace lógico de hasta 800 Mbps, 8 Gbps, u 80 Gbps, mediante la agrupación de conexiones *Fast EtherChannel*, *Gigabit EtherChannel*, o 10 *Gigabit EtherChannel*, respectivamente.

La configuración de un *EtherChannel* se puede hacer de dos formas diferentes: mediante negociación automática o manual. Con negociación automática se pueden identificar también dos formas, utilizando *Port Aggregation Protocol* (PAgP) o *Link Aggregation Control Protocol* (LACP). Tanto PAgP como LACP intercambian paquetes entre los equipos para formar el *EtherChannel*; PAgP y LACP no interactúan entre sí. Cuando el *EtherChannel* es configurado manualmente, no existe intercambio de paquetes.

1.6.2.1 Funcionamiento de *EtherChannel*

Los paquetes de los usuarios dentro del *EtherChannel* no se distribuyen de forma igual entre todos los interfaces físicos, *EtherChannel* también utiliza algunos

algoritmos extra a más de los algoritmos de 802.3ad para balanceo de carga, éstos son: MAC origen, MAC destino, MAC origen y destino, IP origen, IP destino, IP origen y destino, puerto TCP/UDP de origen, puerto TCP/UDP de destino, puerto TCP/UDP de origen y destino.

En todos los interfaces del *EtherChannel* deben estar configurados de forma idéntica los siguientes parámetros: velocidad, modo dúplex, configuración STP, VLAN, para puertos de acceso; y en puertos troncales, deben coincidir parámetros como: VLAN nativa, VLANs permitidas y tipo de encapsulación ISL u 802.1Q.

1.6.2.2 Port Aggregation Protocol (PAgP) ^[30] ^[49]

PagP es un protocolo propietario de Cisco, que se emplea para la agregación de puertos *Ethernet* de forma automática, y formar un enlace lógico conocido como *EtherChannel*; PAgP negocia la agregación de enlaces con el equipo al otro lado del canal lógico.

1.6.2.2.1 Elementos de PAgP

Este protocolo consta de cuatro partes funcionales, el *Frame Forwarding*, el PAgP *Port State*, el PAgP *Group Management* y el *Flush Protocol*. El PAgP *Port State* “corre” en cada puerto físico o lógico que puede ser agrupado en el canal lógico; el PAgP *Group Management* forma *Agports*²¹ a partir de puertos individuales; el *Frame Forwarding* cubre el uso de los *Agports* para enviar los paquetes del usuario; y finalmente el *Flush Protocol* puede ser requerido por algunas implementaciones o instalaciones para mantener el orden de los paquetes. PAgP puede operar de 4 modos diferentes:

- *On*: siempre se convierte en miembro del canal lógico.
- *Desirable*: pregunta si el otro lado soporta PAgP.

²¹ *Agport*, el *Aggregation Port* es un puerto lógico que está compuesto por un grupo de interfaces físicos, agrupados para formar un solo puerto lógico de mayor capacidad.

- *Auto*: si el otro lado pregunta se convierte en parte del canal lógico.
- *Off*: no se convierte en parte del canal lógico.

1.6.2.2.2 *Funcionamiento de PAgP*

PAgP soporta la creación automática de *EtherChannels* mediante el intercambio de paquetes PAgP entre puertos, estos paquetes se intercambian solo entre puertos en modo *Auto* y *Desirable*; el protocolo aprende las características de los grupos de puertos de forma dinámica, e informa a los otros puertos. Una vez que PAgP identifica correctamente enlaces *Ethernet* coincidentes, facilita la agrupación de enlaces en el *EtherChannel*; el *EtherChannel* luego es añadido al *Spanning Tree* como un solo puerto.

1.7 TECNOLOGÍA GPON

Las Redes Ópticas Pasivas (PON) son arquitecturas punto – multipunto (P2MP) que proveen acceso de banda ancha; el uso de fibra óptica hace que estas soluciones sean inmunes a la interferencia electromagnética. Ofrecen gran capacidad para el transporte de información y permite el despliegue de enlaces de larga distancia; por lo tanto estas tecnologías son las más adecuadas para servicios multimedia (voz, datos y video).

En esta sección se presenta una breve introducción acerca de los sistemas de fibra óptica, una síntesis de las diferentes tecnologías PON y finalmente se enfoca al estudio de GPON.

1.7.1 INTRODUCCIÓN ^{[51] [52]}

Las tecnologías XDSL ofrecen una solución temporal a servicios tradicionales como telefonía y datos; la infraestructura de cobre no ofrece el suficiente ancho de banda para servicios que requieren altas velocidades de transmisión. También requieren del procesamiento de señales y técnicas de modulación para explotar el

ancho de banda hasta el límite; finalmente otro limitante es que se requiere reducir la distancia del tendido de cable para aumentar la velocidad de transmisión.

Las Redes Ópticas de Acceso son una buena alternativa para ofrecer una solución a las limitantes de XDSL, con una infraestructura de fibra óptica el ancho de banda se incrementa notablemente sobre largas distancias; la fibra óptica puede ser de tipo multimodo o monomodo.

La fibra multimodo permite la transmisión de múltiples rayos de luz con diferente rango de frecuencia; el diámetro del núcleo de la fibra puede variar entre 50 y 200 micrones y el manto entre 125 a 240 micrones. Mientras que en la fibra monomodo el diámetro del núcleo se reduce significativamente, llegando a ser del orden de 4 a 10 micrones, mientras que el manto es habitualmente de 125 micrones; de tal forma que un solo rayo de luz se propaga en línea recta y sin rebotar.

Por lo tanto la fibra monomodo ofrece mayor velocidad de transmisión a mayores distancias, y aunque es más costosa que la fibra multimodo, la fibra monomodo es utilizada por sus características para soluciones XPON.

1.7.2 SOLUCIONES DE ACCESO CON FIBRA ÓPTICA ^{[50] [51]}

Las soluciones *Fiber To The X* (FTTX) describen un progreso sucesivo para la migración de redes basadas en cobre, a otras basadas en fibra; ésta es una tendencia que responde a requerimientos cada vez mayores respecto al ancho de banda, para brindar nuevos servicios.

Dentro de estas soluciones, se pueden tener esquemas de redes de accesos con un único medio de transmisión, es decir solo de fibra óptica, o una combinación de fibra óptica y par trenzado de cobre o cable coaxial. Dentro de la familia de tecnologías FTTX se agrupan una serie de soluciones de acceso, basadas en el

empleo de fibra óptica hasta las proximidades del abonado. A continuación se describen dichas soluciones.

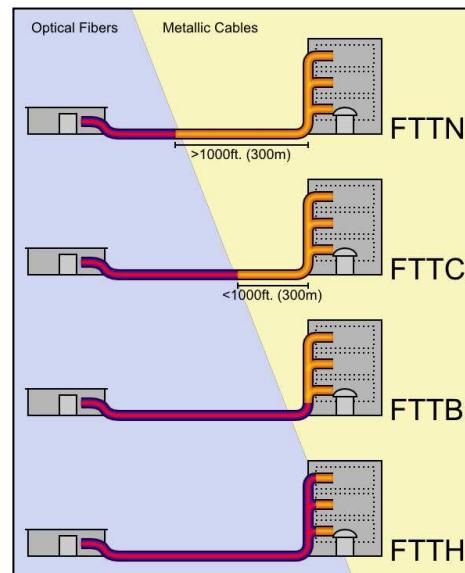


Figura 1.24 - Soluciones FTTX ^[50]

1.7.2.1 *Fiber to the Node/Neighborhood (FTTN)*

La solución FTTN ofrece fibra óptica como medio de transmisión desde la Oficina Central (OC) hasta el nodo del vecindario, en donde la señal óptica es convertida a una señal eléctrica para transportar la información sobre un par trenzado de cobre; generalmente el armario se encuentra a 1 Km del suscriptor.

En el nodo el DSLAM²² distribuye y agrega el tráfico de los usuarios; desde ahí se llega con cobre hasta el suscriptor, generalmente usando la tecnología ADSL²³. La velocidad de transmisión es limitada por el ancho de banda según la distancia del par trenzado; por lo que también se puede utilizar cable coaxial para mejorar la velocidad de transmisión, usualmente para servicios de video.

²² DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*), conecta múltiples interfaces de las líneas digitales de los suscriptores a un canal digital de alta velocidad, utilizando técnicas de multiplexación.

²³ ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), es un tipo de tecnología DSL que ofrece velocidades de transmisión asimétricas de 8 Mbps para el canal descendente y 1 Mbps para el ascendente; su alcance es de 5.5 Km.

1.7.2.2 *Fiber to the Curb (FTTC)*

Para esta solución, la fibra óptica comprende desde la OC hasta un nodo o armario, que generalmente se encuentra de 150 a 200 m del suscriptor; y desde ahí se realiza la conversión óptica – eléctrica para llegar con par trenzado de cobre hasta el usuario. En este caso también se puede tener un DSLAM que se encuentra más cerca de los usuarios, por lo que mejora la velocidad de transmisión, usando estándares como VDSL2²⁴; sin embargo la velocidad de datos sigue dependiendo de las características de tendido de cobre.

1.7.2.3 *Fiber to the Building (FTTB)*

Cuando las tecnologías PON incluyen soluciones de tipo FTTB, ofrecen transmisión sobre fibra óptica desde la OC hasta un *splitter* óptico en las inmediaciones del edificio; y a partir de ese punto de acceso, se llega a través de la red de cableado estructurado con par trenzado hasta el suscriptor.

1.7.2.4 *Fiber to the Home (FTTH) / Fiber to the Office (FTTO)*

Ésta es la última etapa dentro de la tendencia de redes de fibra desde la OC hasta los suscriptores; en este escenario la infraestructura de la red de transmisión tiene capacidades ilimitadas, mientras que el ancho de banda y velocidad de transmisión se ven limitados por la tecnología utilizada para este tipo de implementaciones.

1.7.3 DIFERENTES TECNOLOGÍAS PON ^{[52] [53] [54]}

Las PONs no usan elementos activos a lo largo de su recorrido, lo cual las hace muy confiables y con costos de mantenimiento bajos; en esta sección se presenta una breve descripción de las tecnologías de acceso más difundidas y de otras

²⁴ VDSL2 (*Very-High-Speed Digital Subscriber Line 2*), es uno de los estándares más avanzado de DSL, permite alcanzar velocidades simétricas de 100 Mbps, dentro de un alcance de 1.5 Km.

propuestas prometedoras en un futuro; también se incluye un cuadro comparativo de las principales características de dichas tecnologías.

1.7.3.1 *Asynchronous Transfer Mode over PON (APON)*

ATM over PON está definida en la revisión del estándar de la UIT-T G.983.1, el cual fue el primer estándar desarrollado para las redes PON; utiliza ATM como protocolo de Capa Enlace. Los sistemas APON usan el protocolo ATM como portador, trabaja en modo asimétrico con una tasa de 622 Mbps en sentido descendente y 155 Mbps en sentido ascendente; en modo simétrico utiliza una tasa de 155 Mbps tanto en sentido ascendente como descendente.

1.7.3.2 *Broadband PON (BPON)*

BPON surgió como una mejora de la tecnología APON para integrar y obtener acceso a más servicios como *Ethernet*, distribución de video y multiplexación por longitud de onda (WDM), entre otras mejoras, logrando un mayor ancho de banda. Está definida en varias revisiones al estándar G.983.1 hasta el G.983.8, define una arquitectura asimétrica de 155 Mbps en sentido ascendente y 622 Mbps en sentido descendente; y en modo simétrico la tasa sube a 622 Mbps. Permite el transporte de señales CATV y provee seguridad en sentido descendente por medio de AES²⁵.

1.7.3.3 *Ethernet PON (EPON)*

EPON es un sistema desarrollado por la IEEE en la norma 802.3ah, se basa principalmente en el transporte de tráfico *Ethernet* en vez del transporte por medio de celdas ATM; EPON se apega a la norma de IEEE 802.3 y funciona con velocidades *Gigabit*, por lo cual la velocidad que dispone cada usuario final depende del número de ONUs (*Optical Network Units*) que se conecten a la OLT

²⁵ AES (*Advanced Encryption Standard*), es un algoritmo de criptografía simétrica, utiliza llaves de 128, 192 y 256 bits, y puede ser implementado tanto en *software* como en *hardware*.

(*Optical Line Termination*). Una ventaja de este sistema es que ofrece calidad de servicio en ambos canales (descendente y ascendente); define una tasa de datos simétrica de 1.244 Gbps; no permite el transporte de señales de CATV y tampoco provee seguridad en *Downstream*.

1.7.3.4 10 Gigabit Ethernet PON (10G-EPON)

10G-EPON (10 *Gigabit Ethernet* PON) está estandarizado en la norma IEEE P802.3av y es compatible con EPON; este estándar soporta dos configuraciones para las tasas de transmisión, una simétrica de 10 Gbps; y, una asimétrica con 10 Gbps en el canal descendente y 1 Gbps en el canal ascendente.

El objetivo de este estándar es brindar un ancho de banda adecuado, tanto en el canal descendente como en el canal ascendente y ofrecer servicio a edificios residenciales multi-familiares; mediante los *Multi Dwelling Units* (MDUs) se conectan hasta mil suscriptores.

1.7.3.5 Next Generation PON 1 (NG-PON1)

Uno de los objetivos de FSAN²⁶ es explorar opciones para mejorar las prestaciones de GPON, la FSAN ha dividido este proyecto en dos fases: una primera fase denominada XG-PON1, donde se logran tasas de 10 Gbps en el canal descendente y 2.5 Gbps en el canal ascendente; y una segunda fase denominada XG-PON2 que define la tasa de transmisión simétrica de 10 Gbps.

La infraestructura del tendido de fibra de GPON es heredado a XG-PON, pudiendo reutilizar la fibra óptica y *splitters*; luego de añadir tarjetas con interfaces de 10 Gbps a la OLT, es posible lograr una correcta evolución de GPON a XG-PON, aprovechando el tendido de fibra de GPON. Sin embargo las longitudes de

²⁶ FSAN (*Full Service Access Network*), es un grupo de proveedores de servicios reconocidos a nivel mundial, laboratorios de pruebas independientes, y proveedores de equipos que trabajan en conjunto, para conseguir la meta común de desarrollar verdaderas redes de acceso de banda ancha.

onda de XG-PON son diferentes a las de GPON y los niveles de potencia son mayores; también incluye nuevas mejoras en mecanismos de seguridad y métodos para el ahorro energético; a pesar de todo esto sí es posible definir mecanismos de compatibilidad con GPON.

1.7.3.6 *Next Generation* PON 2 (NG-PON2)

El objetivo de NG-PON2 es mejorar las tasas de transmisión a 40 Gbps, este aumento puede darse mediante el empleo de WDM-PON; esta tecnología es la más prometedora entre las diferentes opciones planteadas; con WDM-PON se llega con una longitud de onda a cada usuario, pudiendo brindar velocidades dedicadas al usuario de hasta 10 Gbps sobre distancias mucho mayores a las soportadas por GPON y XG-PON. Esta tecnología ha sido desplegada de forma comercial por algunos operadores, y ha demostrado que aún no es lo suficientemente madura para despliegues masivos, además su costo de implementación es muy superior al de GPON.

1.7.3.7 Comparación de las diferentes Soluciones PON

En la Tabla 1.3 se presenta un resumen de las principales características de todas las soluciones PON previamente analizadas; se indican los estándares, tipos de tramas que soportan, el número máximo de usuarios por fibra y la velocidad de transmisión en el canal descendente, ascendente y por usuario.

NG-PON1 y NG-PON2 son propuestas aún no definidas completamente en estándares y que se encuentran bajo estudio; la tecnología GPON ofrece un ancho de banda más alto que sus anteriores predecesoras, y su costo de implementación es menor que otras soluciones que aunque mejoran las tasas de transmisión, su elevado costo reduce su despliegue a nivel comercial.

GPON también permite escalabilidad y migración hacia nuevas tecnologías que se basen en planteamientos de WDM, lo cual permite la coexistencia con GPON

en la misma red óptica de distribución; por estas razones la tecnología GPON constituye la solución preferida por operadores y proveedores.

Tecnología	Estándares	Tipo de Trama	Divisiones por Fibra	Velocidad <i>Downstream</i>	Velocidad <i>Upstream</i>	Velocidad por Usuario
APON	UIT-T G.983.1	ATM	32	155 Mbps 622 Mbps	155 Mbps 155 Mbps	10 – 40 Mbps
BPON	UIT-T G.983.1 – 8	ATM	32	622 Mbps 622 Mbps	155 Mbps 622 Mbps	20 – 40 Mbps
EPON	IEEE 802.3ah	<i>Ethernet</i>	32	1.2 Gbps	1.2 Gbps	30 – 60 Mbps
GPON	UIT-T G.984.1 – 4	GEM ²⁷	64	2.5 Gbps	1.2 Gbps	40 – 80 Mbps
10G-EPON	IEEE P802.3av	<i>Ethernet</i>	64	10 Gbps 10 Gbps	1 Gbps 10 Gbps	> 100 Mbps
NG-PON1	UIT-T G.987	GEM	> 64	10 Gbps 10 Gbps	2.5 Gbps 10 Gbps	80 – 320 Mbps
NG-PON2 (WDM-PON)	-----	-----	32	1-10 Gbps por usuario	1-10 Gbps por usuario	1-10 Gbps por usuario

Tabla 1.3 - Comparación de las Soluciones de Acceso XPON

1.7.4 *GIGABIT CAPABLE PON (GPON)* [50] [55] [56] [57] [58]

GPON es un estándar aprobado por la UIT-T en 4 recomendaciones: G.984.1, G.984.2, G.984.3 y G.984.4; su principal objetivo es mejorar el ancho de banda respecto a sus anteriores predecesores y lograr una mayor eficiencia para el transporte de servicios basados en IP. Sus principales características son:

- Transporte por medio de tramas GEM.
- Permite el transporte de señales CATV.
- Provee un estándar para la protección de los puertos PON.
- Provee seguridad en *Downstream* por medio de AES.
- Provee un mecanismo de corrección de errores por FEC²⁸.

²⁷ GEM (GPON *Encapsulation Method*), es un método de encapsulación que permite soportar cualquier tipo de servicio, incluyendo servicios tradicionales como: voz basada en TDM, líneas alquiladas, etc.

²⁸ FEC (*Forward Error Correction*), es un sistema de control de errores para la transmisión de datos, el emisor añade un código de corrección de errores, y permite al receptor detectar y corregir errores sin necesidad de retransmisión.

La velocidad de transmisión que se ofrece a los usuarios depende del factor de *splitting* que se use por puerto GPON. Las tasas de transmisión más usadas con esta tecnología son 2.488 Gbps para el canal descendente y 1.244 Gbps para el canal ascendente; sin embargo se especifican siete velocidades de transmisión:

- 0.15552 Gbps en *Upstream*, 1.24416 Gbps en *Downstream*
- 0.62208 Gbps en *Upstream*, 1.24416 Gbps en *Downstream*
- 1.24416 Gbps en *Upstream*, 1.24416 Gbps en *Downstream*
- 0.15552 Gbps en *Upstream*, 2.48832 Gbps en *Downstream*
- 0.62208 Gbps en *Upstream*, 2.48832 Gbps en *Downstream*
- 1.24416 Gbps en *Upstream*, 2.48832 Gbps en *Downstream*
- 2.48832 Gbps en *Upstream*, 2.48832 Gbps en *Downstream*

GPON define un alcance físico máximo de 20 Km para el tendido de fibra óptica, entre el OLT y la ONU más lejana.

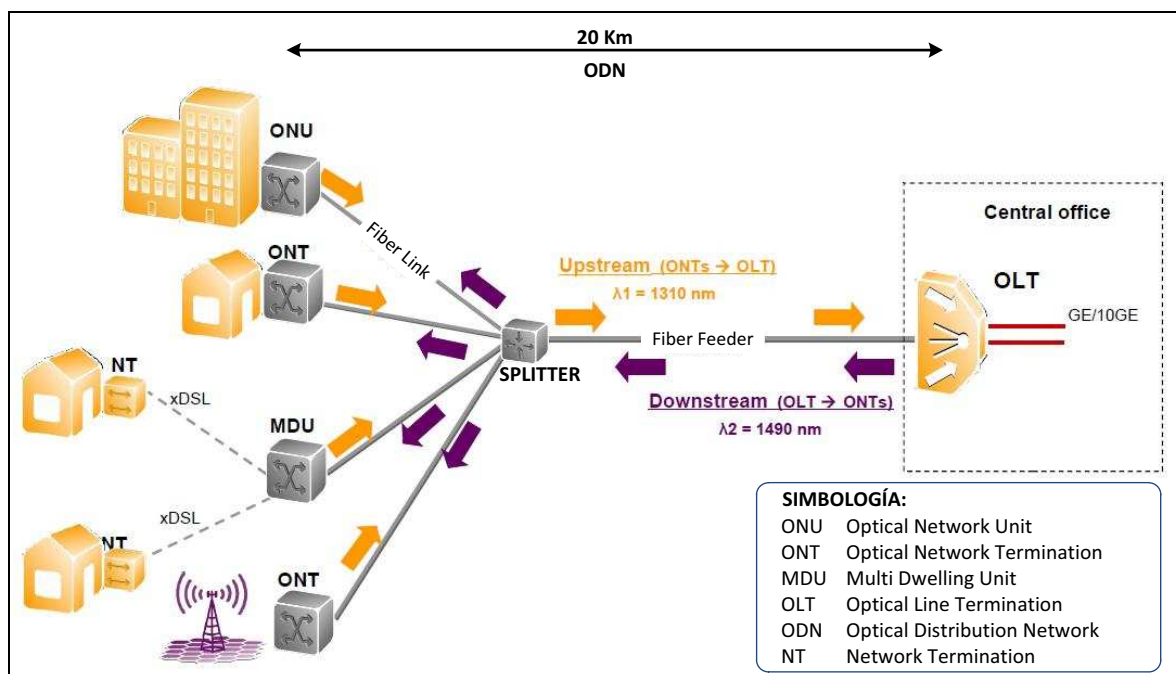


Figura 1.25 - Esquema General de la Tecnología GPON ^[55]

La arquitectura básica de las Redes GPON consta de un OLT (*Optical Line Termination*) ubicado en las instalaciones del operador y las ONUs (*Optical*

Network Units) cerca de los abonados; una implementación de este tipo reduce la cantidad de fibra y equipamiento, en comparación a las arquitecturas punto a punto.

Esta tecnología no solo ofrece altas velocidades, sino que también posibilita a los proveedores de servicios continuar brindando servicios tradicionales, sin tener la necesidad de cambiar los equipos para que sean compatibles con esta tecnología. Se logra esto gracias a que GPON usa un método propio de encapsulamiento conocido como GEM (Método de Encapsulamiento GPON), el cual permite el soporte de todo tipo de servicios.

1.7.4.1 Elementos Activos

Son equipos óptico – eléctricos que se encuentran tanto en el lado del operador como del suscriptor; en el lado del operador se encuentra la OLT.

Cuando se tiene una configuración de FTTH/O se utilizan ONTs al lado del cliente, mientras que si se tiene una solución FTTB se utilizan ONUs, y para escenarios con FTTN se emplean MDUs.

- **Optical Line Termination (OLT):** se encuentra localizado en la OC, desde él parten las fibras ópticas hacia los suscriptores; también provee enlaces de fibra óptica hacia la red del operador para poder brindar los diferentes servicios.
- **Optical Network Unit (ONU):** es un término genérico para llamar a un equipo al final de la ODN, generalmente a una ONU se la conoce como un equipo que brinda servicio a varios abonados. Algunas ONUs implementan una unidad independiente de suscriptor para proveer servicios como telefonía, datos *Ethernet*, o video; estos equipos contienen 12 - 24 puertos POTS, múltiples conexiones "*Ethernet*" o "VDSL" y una o dos salidas de video.
- **Optical Network Termination (ONT):** es el elemento situado en el lado del suscriptor, provee interfaces de fibra hacia la red óptica de distribución, e

interfaces hacia los abonados de tipo *Fast Ethernet* o *Gigabit Ethernet* para servicio de datos o Internet, un puerto POTS para telefonía y CATV con conectores BNC (para cable coaxial) para servicio de televisión analógica. Actualmente no existe interoperabilidad entre fabricantes, por lo que la ONT debe ser de la misma marca que la OLT.

- **Multi-Dwelling Unit (MDU):** en las arquitecturas FTTN las ONT son sustituidas por MDUs, permiten ofrecer servicio a múltiples usuarios. Proveen interfaces de fibra hacia la red óptica de distribución, y ofrecen habitualmente tecnologías VDSL2 hasta las localidades de los abonados, reutilizando así el par de cobre instalado. Pero a su vez requiere de cortas distancias del tendido de cable para conseguir velocidades simétricas de hasta 100 Mbps por abonado.

1.7.4.2 Elementos Pasivos

La ODN (*Optical Distribution Network*) es la red de fibra óptica que existe desde la OLT hasta las ONUs, está formada por las fibras ópticas, *splitters* pasivos, empalmes y conectores.

- **Splitters:** permiten que una sola fibra de la OC sea repartida entre un número determinado de abonados. En este punto aparece el concepto de “grado de *splitting*”, que es el número de divisiones que sufre la fibra hasta llegar a una ONU; el grado de *splitting* indica qué porcentaje de potencia óptica llega al equipo final.
- **Fibra Óptica:** corresponde a la red de distribución de fibra monomodo que conforma topologías físicas punto – multipunto, en las cuales un solo hilo de fibra es utilizado para llegar a un grupo de terminales ópticos de los suscriptores.
- **Empalmes:** o uniones de fibra que pueden existir a lo largo de la red óptica y que generan pérdidas de potencia.

1.7.4.2.1 *Splitters* ^[52]

La posibilidad de utilizar diferentes tecnologías para la compartición de señales ópticas, permite al proveedor de servicios configurar su red de la forma más efectiva posible.

a. Pérdidas por *Splitters*

Los *splitters* introducen principalmente los siguientes tipos de pérdidas:

- **Pérdida por División:** resulta de dividir la señal óptica de entrada en varias salidas, esta división puede ser simétrica (igual potencia por cada salida) o asimétrica (distinto valor). Se mide en dB.
- **Pérdida por Inserción:** representa la atenuación sufrida por la señal debido a la inserción de un dispositivo (*splitter*) en el “camino” de la señal óptica, generalmente oscila entre 0.1 y 1 dB.
- **Pérdida por Reflexión:** también conocida como pérdida de retorno, es la medida de la potencia óptica reflejada en el acoplamiento de conectores, empalmes o en impurezas internas, y guiada por la fibra en dirección hacia la fuente de luz; un divisor óptico individual tiene una pérdida típica de reflexión de 50/55 dB.

b. Tecnología de *Splitters* ^[59]

Existen dos tecnologías básicas para la construcción de *splitters* ópticos: *Fused Biconical Taper* (FBT) y *Planar Lightwave Circuit* (PLC).

FBT es la tecnología más antigua y por lo general introduce mayores pérdidas que los *splitters* PLC, mientras que estos últimos ofrecen escalabilidad, buena calidad y son altamente confiables. En la Tabla 1.4 se presenta la comparación de estas dos tecnologías de *splitters*.

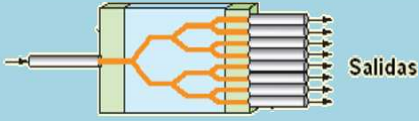
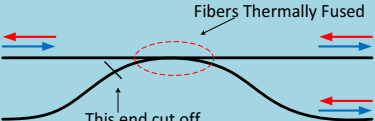
CARACTERÍSTICAS	SPLITTER PLC	SPLITTER FBT
Esquema		
Fabricación	Consiste de un circuito óptico integrado, construido utilizando guías de onda ópticas para encaminar a los fotones, de la misma manera que los conductores metálicos se utilizan para guiar a los electrones.	Se fabrica envolviendo dos núcleos de fibra juntos, agregando tensión a las fibras ópticas y luego sometiendo a alta temperatura el empalme hasta que los hilos de fibra se fusionan completamente.
Longitudes de Onda de Operación	1260 - 1650 nm	1310 nm y 1550 nm, ó 850 nm
Splitting Ratio	1:128	1:8
División de Potencia	División simétrica de potencia.	División simétrica y asimétrica de potencia.
Tamaño	Pequeño	Grande según el <i>splitting ratio</i> .
Costo	Alto	Bajo

Tabla 1.4 - Comparación de las Tecnologías de Splitters

1.7.4.2.2 Fibra Óptica ^[95]

El tendido de fibra óptica puede ser aéreo o canalizado, dependiendo de las facilidades de instalación o requerimientos del mismo.

a. Tendido de Fibra Aérea

Para instalaciones aéreas de cableado de fibra se diferencian básicamente cuatro tipos de cables, los cuales se describen brevemente a continuación:

- **ADSS (All Dielectric Self-Supporting):** es un cable con dieléctrico auto-sustentado que se puede instalar en líneas eléctricas. No contiene ningún elemento metálico y su cubierta está protegida contra el efecto *tracking*, por lo que es muy adecuado para instalaciones en líneas de media y alta tensión; el peso del cable es soportado solo por los elementos de refuerzo incluidos en él.



Figura 1.26 - Cable ADSS ^[95]

- **Figura-8:** este diseño contiene el mensajero unido al núcleo óptico mediante la cubierta externa, el mensajero actúa como elemento de refuerzo y soporta el peso del cable.

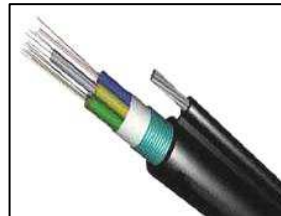


Figura 1.27 - Cable Figura-8 ^[95]

- **OPGW (*Optical Ground Wire*):** es el tipo de cable que se emplea en las líneas aéreas de alta tensión. El núcleo de fibras ópticas se aloja en el interior de un tubo de aluminio extruido²⁹ que proporciona tanto protección mecánica al núcleo óptico, como estanqueidad³⁰ frente a la humedad o penetración de agua; este tubo de aluminio proporciona a su vez alta conductividad eléctrica, necesaria para la disipación de las descargas atmosféricas o cortocircuitos accidentales.



Figura 1.28 - Cable OPGW ^[95]

²⁹ Extrusión de tubos, es un proceso utilizado para crear tubos con sección transversal definida y fija; el material se empuja o se extrae a través de una matriz de la sección transversal deseada.

³⁰ Estanqueidad frente a la humedad, es la posibilidad de crear una superficie por donde no acceda el agua al interior del material.

- **Lashed o Adosado:** este tipo de cable es utilizado en instalaciones aéreas en donde se dispone de un mensajero, incluyendo líneas eléctricas; éste es un cable de baja resistencia a la tracción, no posee un elemento de tracción propio para su soporte, dependiendo totalmente de la resistencia del cable metálico, al cual esté sujeto.



Figura 1.29 - Cable *Lashed*^[95]

En la Tabla 1.5 se presenta una comparación de los tipos de cables aéreos.

CARACTERÍSTICAS	ADSS	FIGURA-8	OPGW	LASHED
Auto-soportado	✓	✓	✓	✗
Cable completamente dieléctrico	✓	✗	✗	✓
Integración con sistemas de alta tensión	✗	✗	✓	✗
Integración con sistemas de baja y media tensión	✓	✓	✓	✓
Resistencia a la Tracción	Media	Media	Alta	Muy Baja
Costo del cable	Medio	Alto	Muy Alto	Bajo
Costo de Instalación	Bajo	Bajo	Alto	Muy Alto

Tabla 1.5 - Comparación de Cables Aéreos

El cable de tipo *Lashed* no ofrece la confiabilidad que se requiere en instalaciones metropolitanas, el cable OPGW es muy costoso y para esta solución está sobredimensionado; finalmente el cable Figura-8 es más costoso que el cable ADSS y es más empleado en soluciones con vanos largos; mientras que para el presente proyecto se requiere del tendido de cable en vanos cortos.

Por lo tanto se ha elegido al cable de tipo ADSS para las instalaciones aéreas, debido a que es el óptimo en este tipo de escenarios debido a su mejor manejabilidad, para sujetar el cableado en postes existentes.

Algunos elementos que se deben considerar en una instalación aérea son:

- **Herrajes de Suspensión o de “Tipo A”:** se instalan uno por poste de paso, donde no hay cambio de ruta del cable y se emplean herrajes de más agarre mientras mayor sean los vanos se deban cubrir.
- **Herrajes de Retención o de “Tipo B”:** se utilizan dos por poste en rutas de cable donde hay cambios de dirección, o existen vanos considerablemente largos (mayor a 100 metros).
- **Las grapas de anclaje o de tipo *channel*:** sujetan el cable de fibra óptica a la estructura de anclaje, y las grapas de suspensión proporcionan soporte entre las estructuras de sustentación. Los engrapados se aseguran y envuelven con la cinta de *Eriban*.
- **Preformado:** es un espiral que ayuda en la sujeción de la fibra en cada poste.

b. Tendido de Fibra Canalizada

Para las instalaciones de cableado de fibra canalizada, el tendido debe ser resistente no solamente al agua, sino también al ataque de roedores, por ello tiene un revestimiento con tubo de aluminio o acero; adicionalmente las cintas de aramida tienen un sabor desagradable a los roedores. La instalación, mantenimiento y reparación de este tipo de fibra es algo más complejo y costoso que la fibra aérea.

La cubierta para cables de fibra canalizados suelen constar de algunas capas: Polietileno – Kevlar (Aramida) – Acero – Polietileno, Polietileno – Aluminio – Polietileno ó Polietileno – Acero – Polietileno. Para instalaciones canalizadas de cableado de fibra óptica se diferencian básicamente los siguientes tipos de cables:

- ***Loose Tube*:** los hilos de fibra óptica se encuentran dentro de un *buffer* o tubo plástico de manera holgada, y todos estos tubos se encuentran

alrededor de un elemento central. Se emplea este tipo de cable de fibra en tendido canalizado de fibra o directamente enterrado; éste maneja altas capacidades de hilos de fibra, generalmente entre 6 y 96 hilos.

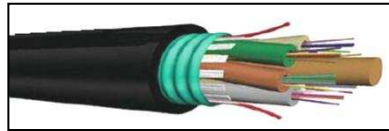


Figura 1.30 - Cable *Loose Tube* ^[95]

- **Central Loose Tube:** contiene un solo *buffer* central en donde se alojan los hilos de fibra óptica, se emplea en redes canalizadas y maneja bajas capacidades de hilos de fibra (generalmente hasta 12 hilos).



Figura 1.31 – Cable *Central Loose Tube* ^[95]

El tipo de cable que se utilice en tendidos de fibra óptica canalizada depende básicamente de la capacidad en cuanto a la cantidad de hilos de fibra, y otras especificaciones como protección anti roedores y protección anti humedad.

1.7.4.3 Funcionamiento de GPON ^{[50] [60]}

Tanto para el sentido ascendente como para el sentido descendente de la transmisión, la información viaja sobre un mismo hilo de fibra; esto gracias a la técnica de multiplexación WDM, que permite enviar tres longitudes de onda sobre un hilo de fibra, los intervalos de trabajo de estas longitudes de onda son:

- 1480 – 1500 (1490 ± 50) nm para el canal descendente de datos
- 1260 – 1360 (1310 ± 50) nm para el canal ascendente de datos
- 1550 – 1560 nm para *multicast* de video

Se utiliza *multicast* para la difusión de televisión, permite al usuario seleccionar el canal de televisión que recibe en cada momento; el estándar GPON se ha diseñado para que una parte de la trama GPON esté dedicada al tráfico *multicast*, de tal manera que sea accesible por todos los usuarios y enviar una sola copia de cada canal independientemente de los usuarios que lo estén solicitando.

GPON utiliza el factor máximo de *splitting* de 1:64 en la capa física. Sus características de QoS y OAM (*Operation Administration and Maintenance*) avanzadas, permiten una gestión dinámica del ancho de banda, control de las ONUs desde la OLT, configuración remota, monitoreo de rendimiento, y gestión de notificaciones y alarmas.

1.7.4.3.1 Tráfico Downstream

En el canal descendente se utiliza la técnica de multiplexación *Time Division Multiplexing* (TDM). La OLT envía el tráfico de *broadcast* hacia todas las ONUs, los *splitters* únicamente replican los datos hasta el suscriptor final; cada ONU filtra los datos recibidos y verifica su dirección en el encabezado de las tramas.

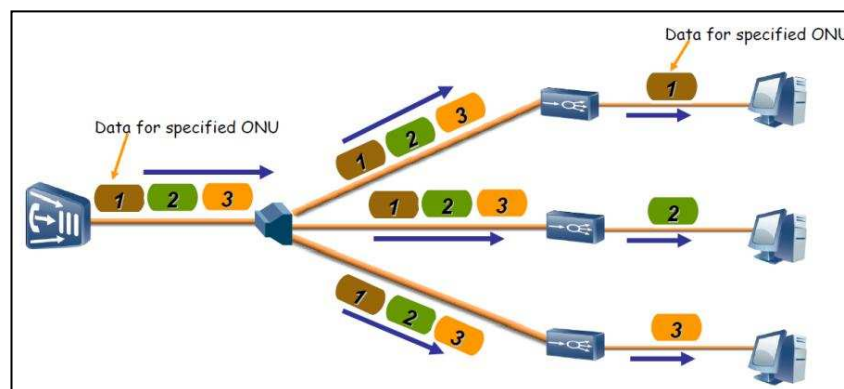


Figura 1.32 - Tráfico de *Downstream* en GPON ^[59]

Debido a que las ONUs reciben todo el tráfico de todos los suscriptores, en el canal descendente es necesario utilizar encriptación, de tal forma que cada ONT sea capaz de procesar el tráfico que le corresponde, o para el que tiene acceso por parte del operador, la encriptación empleada es AES y la generación de claves

de cifrado se realiza de forma independiente para cada ONU; mientras que para el canal ascendente la encriptación es opcional.

La OLT es responsable de la asignación del ancho de banda a las ONUs en el canal descendente; debido a que la red de distribución ODN es compartida, la OLT determina y notifica a las ONUs los *time slots* para el envío de datos.

1.7.4.3.2 Tráfico Upstream

En el canal ascendente se utiliza *Time Division Multiple Access* (TDMA), la ONU toma el tráfico del puerto del usuario y lo mapea en tramas GEM; los datos son transmitidos por medio de *time slots* asignados por la OLT como mecanismo de control de acceso para evitar colisiones. Considerando que el *splitter* es un elemento pasivo, se requiere de sincronismo de los paquetes; por lo tanto la OLT debe conocer la distancia a la que se encuentra cada ONU, mide el retardo con cada ONU y usa un intervalo de tiempo definido para la transmisión en el canal ascendente.

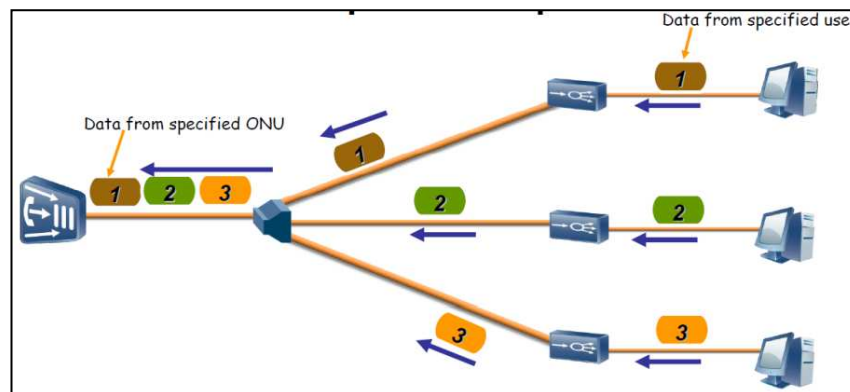


Figura 1.33 - Tráfico de *Upstream* en GPON ^[59]

El ancho de banda en el canal ascendente es asignado a las ONUs por la OLT, la asignación del ancho de banda mediante los *time slots* puede ser estática o dinámica, con esta última se mejora la utilización del canal. Para el tráfico ascendente, las ONUs transmiten sus datos en pequeños paquetes llamados "*bursts*"; para que la OLT sepa desde que ONU ha recibido un *burst*, se utiliza

identificadores llamados ONU-ID, y éstos se añaden a la cabecera del paquete. Para la separación del tráfico de diferentes aplicaciones del usuario se emplea contenedores, y cada contenedor se asocia a una determinada clase de servicio (CoS).

2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS REDES DE NODOS Y CORPORATIVA DE LA CNT-LOJA

En este capítulo se presenta un análisis de la situación actual de la red de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones - Loja, tanto para la Red de Área Metropolitana (MAN) de Nodos como para la Red Corporativa; también se indica la infraestructura física con la que se cuenta.

2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE NODOS

En esta sección se indica la topología física y lógica actual de la MAN de Nodos, la densidad y proyección de usuarios residenciales, tráfico actual soportado, estadísticas de caídas de enlaces y regulaciones de la SUPERTEL.

2.1.1 ESTRUCTURA GENERAL DE LA RED ^{[4] [61] [62]}

Actualmente la CNT-EP tiene una red de *Core* de 5 salidas internacionales mediante el cable Panamericano y Américas II y una red de transporte IP/MPLS. La red de la CNT para la ciudad de Loja cuenta con un enlace de 3 Gbps hacia Cuenca desde la Oficina Central (OC) llamada Loja – Centro; desde ésta se enlazan otros dos Nodos: Loja - Norte y Loja - Sur a través de vías subterráneas, que garantizan la alta confiabilidad para dichos enlaces, por lo que estos dos últimos servirán como base para la ampliación de la red.

Como se puede observar en la Figura 2.1, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones cuenta con una *New Generation Network* (NGN), para interconectar las ciudades del Ecuador mediante una red de transmisión IP/MPLS; en Loja - Centro existe un *router* Cisco 7609 que realiza funciones de MPLS y que se conecta con un equipo SDH (Huawei OSN-7500+/3500), que a su vez

transporta los tributarios³¹ sobre diferentes longitudes de onda mediante un equipo DWDM (Huawei OSN-6800).

Mediante la red de fibra de TRANSELECTRIC se enlaza el DWDM de Loja con los respectivos equipos en Cuenca; por el momento esta conexión es la única activa para la interconexión con el resto de la red de la CNT-EP. Próximamente se tendrán dos enlaces más desde la OC en Loja; un enlace con Machala de propiedad de la CNT y otro con Zamora Chinchipe mediante nuevos tendidos de fibra de TRANSELECTRIC.

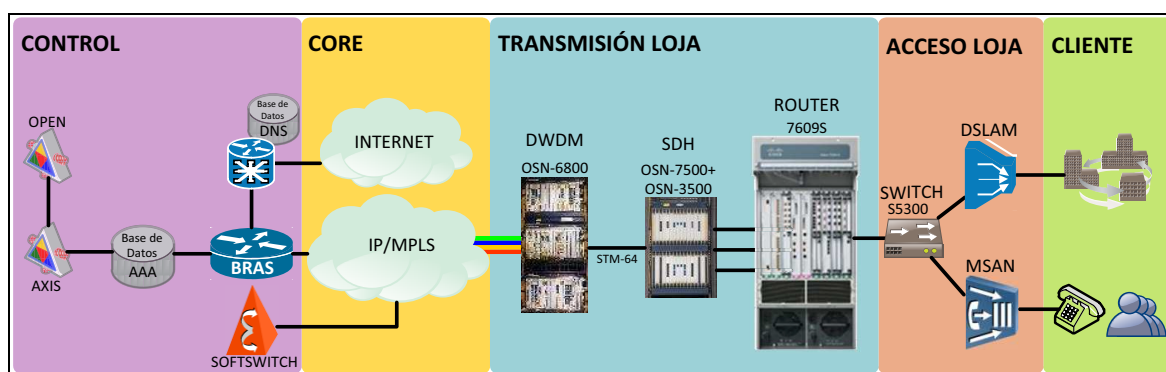


Figura 2.1 - Esquema de la red de la CNT para Loja ^[61]

Dentro del funcionamiento lógico de la red de la CNT, para que un usuario final acceda al servicio de Internet, el CPE (*Customer Premises Equipment*) hace un pedido al BRAS (*Broadband Remote Access Server*) para acceder a los servicios de Internet; el BRAS a su vez se comunica con un servidor AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*), para la verificación de credenciales y asignación de perfiles de ancho de banda a cada cliente. Luego el BRAS le asigna dinámicamente una IP pública al equipo que inició la petición y finalmente el usuario puede acceder al servicio de Internet.

La parte de telefonía funciona de la siguiente manera: cuando un usuario marca desde su terminal un número correspondiente a otro abonado, la central local del

³¹ Tributarios, son un flujo de tráfico dentro del sistema de transmisión SDH, este tráfico se combina con otros flujos tributarios mediante funciones de multiplexación, para transportar una gran cantidad de tráfico a velocidades superiores: 155 Mbps (STM-1) hasta 40 Gbps (STM-256).

abonado llamante asigna a dicha llamada un canal de voz bidireccional, además de generar la correspondiente señalización para la central de destino; el *Media Gateway* se encarga de procesar la señal de voz, a un formato adecuado para su transmisión en una red IP. Simultáneamente desde la central local llamante se envía la señalización correspondiente a dicha llamada, hacia el *Signaling Gateway* que se encargará de interpretar la señalización; a partir de esa información que pasa traducida al *Softswitch*, éste establece sesiones SIP o H.323 con un *Softswitch* destino, que puede ser otro o el mismo *Softswitch*, estas plataformas se ubican en Quito y Guayaquil.

La sesión de control SIP/H.323 hace posible que luego de establecer la sesión de control, exista el intercambio de tráfico UDP entre el *Media Gateway* de origen y de destino, y sobre ese tráfico UDP se cursan los paquetes de voz. En el *Media Gateway* de destino se realiza el proceso inverso y se transmite la señal a una central local, que de manera tradicional la encaminará hacia el bucle del abonado marcado.

La facturación tanto para la parte de telefonía como para la parte de voz la realiza el sistema AXIS³², y finalmente mediante el sistema OPEN³³ se realiza la gestión de clientes.

2.1.2 TOPOLOGÍA FÍSICA DE LA RED DE LA CNT-LOJA ^[62]

Para empezar con este proyecto de ampliación de la Red de Nodos en Loja, se cuenta con once Nodos operativos:

- Loja Sur
- Loja Centro

³² AXIS, es un *software* libre que cuenta con funcionalidades y herramientas, que pueden adaptarse a cualquier empresa de servicio en las áreas de *marketing*, ventas, servicios al cliente, facturación, recaudación y servicio técnico.

³³ OPEN, *software* empleado por la empresa para gestionar clientes de telefonía e Internet, generación de reportes, y definir tareas por áreas de trabajo.

- Loja Norte
- San Cayetano Alto
- San Cayetano Bajo
- Jipiro
- La Paz
- Clodoveo
- Belén
- Shushuhuayco
- Ciudad Victoria

En la Figura 2.2 se muestra un esquema de la ciudad de Loja, en el que se observa la ubicación geográfica de los siete Nodos que forman el anillo, los enlaces subterráneos (color verde) van desde la Oficina Central (OC): Loja - Centro, hacia otros dos Nodos Loja - Sur y Loja - Norte; también se pueden observar dos Nodos que se derivan del anillo para brindar servicio a los sectores más alejados.

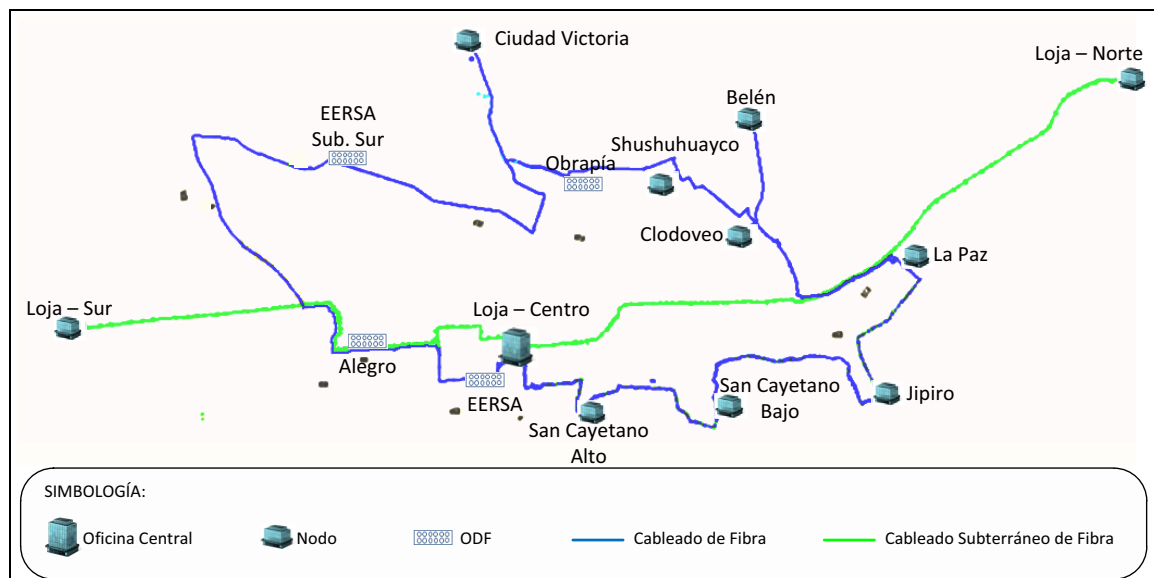


Figura 2.2 - Red inicial de Nodos ^[62]

A lo largo del recorrido del anillo se han dejado ODFs (*Optical Distribution Frames*) para facilitar un futuro crecimiento y ubicación de nuevos nodos, en la Figura 2.2 se puede observar cuatro ODFs que ayudarán en este propósito.

2.1.2.1 Estructura de un Nodo ^{[62] [63] [64]}

Cada Nodo consta de un *switch*, un IP DSLAM, un MSAN (*Multiservice Access Node*) y ODFs / MDFs; en la Figura 2.3 se muestra la estructura de un nodo.

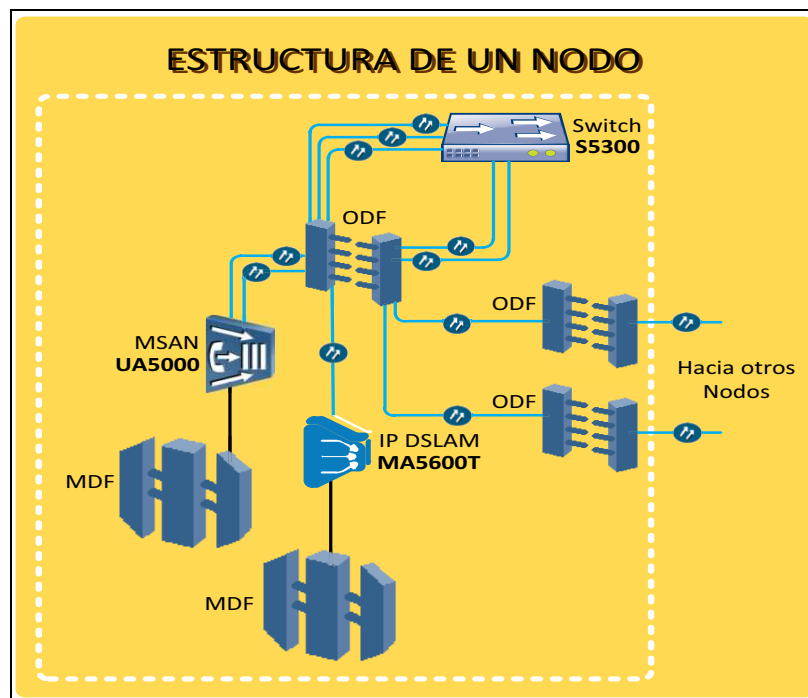


Figura 2.3 - Esquema de un Nodo ^[62]

En la figura se puede observar el esquema general de un Nodo. El *switch* se conecta mediante ODFs hacia otros dos nodos en el anillo, y también se enlaza con el MSAN y con el IP DSLAM; todos estos enlaces son de Fibra Óptica. El MSAN y el IP DSLAM se conectan con los MDFs para llegar con pares trenzados de cobre hacia los clientes finales.

2.1.2.1.1 IP DSLAM

El tráfico de datos de los usuarios es IP y debe atravesar la red del proveedor de servicios; entonces se emplea un IP DSLAM para combinar el tráfico de las líneas XDLS de los usuarios que están basadas en IP y transportar dicho tráfico sobre la *Metro Ethernet* y la NGN.

Los IP DSLAM Huawei MA5600T multiplexan el tráfico de datos de todos los clientes finales y ofrecen alta capacidad en procesamiento; estos equipos soportan tarjetas ADSL2+ de 64 puertos, por lo que se puede dar servicio desde 896 clientes hasta 2688 clientes por equipo.

2.1.2.1.2 MSAN

Los MSAN Huawei UA5000 son equipos que integran la telefonía conmutada, VoIP, líneas privadas, servicios multimedia y tecnologías GPON/EPON; sin embargo los equipos que se tiene en esta red realizan solo funciones de procesamiento de voz, se encargan de la conversión de TDM a VoIP para enviar el tráfico de voz sobre la *Metro Ethernet*, y mediante el protocolo H.248 envían información para la señalización al *Softswitch* de Quito y Guayaquil.

Las tarjetas PVDM³⁴ se encargan del procesamiento de voz de banda angosta; el MSAN tiene la capacidad de soportar hasta 29 tarjetas de voz. Desde este equipo se cuenta con dos enlaces de *uplink* que salen de dos tarjetas procesadoras hacia el *switch*; bajo este esquema se consigue respaldo de las tarjetas en caso de fallas, en un esquema activo y *backup*.

Cada MSAN a pesar que funciona como equipo *standalone* no guarda registros de facturación, por esta razón es que la CNT ha visto la necesidad de contar con enlaces redundantes desde Loja - Centro hacia Machala y Zamora, de tal forma que si un enlace falla, no se pierda conectividad con los servidores de registro y facturación ubicados en Quito y Guayaquil.

2.1.2.1.3 Switch

Los *Switches* Huawei 5300 que se utilizan en estos nodos tienen 24 puertos 100/1000Base-X con interfaces SFPs, de los cuales se ocupa cinco interfaces:

³⁴ Tarjetas PVDM (*Packet Voice Digital Signal*), es un módulo que provee recursos al sistema, mediante procesadores de señales digitales; proporciona servicios de colaboración, incluyendo sesiones de voz, transcodificación y conferencias.

dos puertos para enlazarse con los otros dos nodos vecinos en el anillo, dos puertos uno principal y otro de *backup* para conectarse con el MSAN, y un puerto para conectarse al IP DSLAM.

2.1.2.1.4 Equipos Pasivos

Para la conexión con los usuarios finales se utiliza los MDFs que es el punto final dentro de la central, donde el IP DSLAM, MSAN y las terminaciones de bucles locales son enlazadas mediante tendidos de cobre; mientras que para la interconexión entre los equipos activos con enlaces de fibra se utilizan ODFs.

2.1.3 TOPOLOGÍA LÓGICA DE LA RED DE LA CNT-LOJA ^[61]

La red de la CNT para la ciudad de Loja está conformada por un equipo de Capa 3 que forma parte de la Red de Distribución, la red corresponde a una topología física y lógica en anillo; para evitar problemas de lazos, en los equipos se ha configurado el protocolo MSTP. En esta configuración se tiene una sola región y una única instancia que se ocupa de manejar el tráfico de todas las VLANs: Voz, Señalización, Datos, Gestión, ISPs y Corporativos.

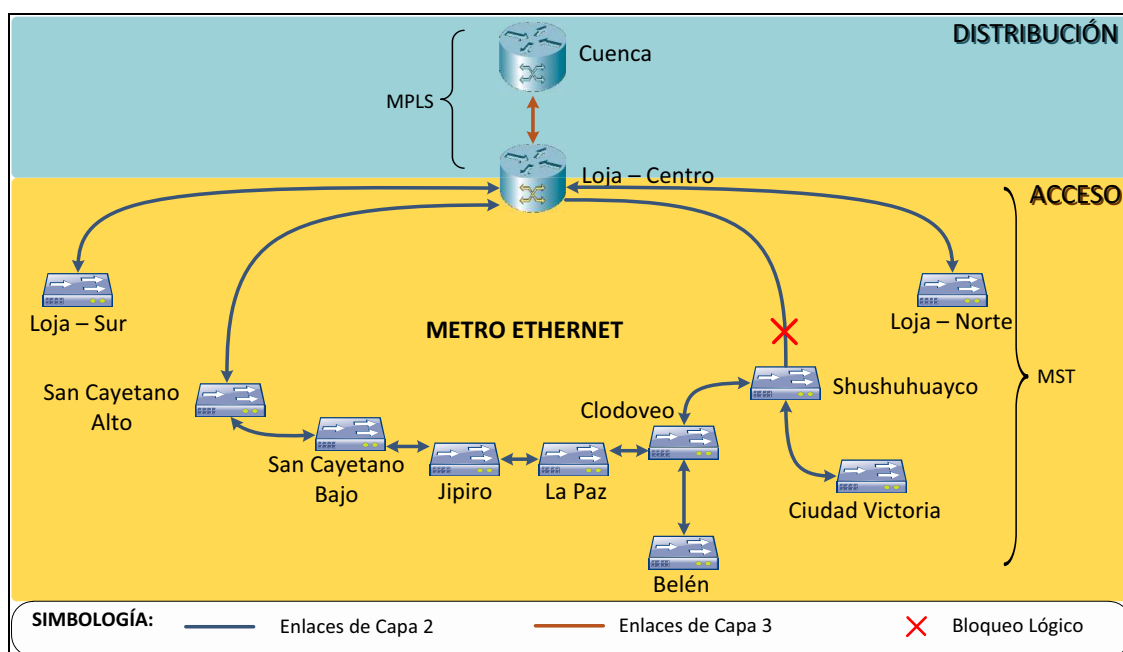


Figura 2.4 - Topología Lógica inicial de la Red de Nodos ^[62]

En la Figura 2.4 se muestra la topología lógica correspondiente a la red de la CNT-Loja. Los cables de fibra simbolizados en color azul representan enlaces de Capa 2 con capacidad de 24 hilos; en el caso del tendido de fibra que va desde la Oficina Central hasta el Nodo Loja - Sur se tiene un cable de 12 hilos (todos ocupados), y hacia el Nodo Loja - Norte se llega con un cable de 6 hilos (4 ocupados y 2 libres).

En la Figura 2.4 también se puede observar el equipo de Capa 3 ubicado en Loja - Centro, que forma parte de la Red de Distribución y que se enlaza con Cuenca.

La Red de Acceso es una *Metro Ethernet*³⁵, todos los equipos que conforman esta red trabajan con el protocolo MST para manejar el tráfico en presencia de lazos de Capa 2. Todas las VLANs han sido asignadas a una misma Instancia, el bloqueo lógico de todo el tráfico está entre Shushuhuayco y Loja - Centro. En base a esta configuración lógica, los Nodos que forman parte del anillo prácticamente forman una topología en cascada desde Loja - Centro.

De acuerdo al diagrama presentado en el peor escenario se requieren siete saltos desde el nodo más alejado hasta el *Root* ubicado en Loja - Centro; de acuerdo al funcionamiento de *Spanning Tree* se puede tener como máximo 8 equipos³⁶ dentro de un lazo. Además bajo este esquema tampoco se balancea tráfico ni se utilizan todos los enlaces; por lo tanto es necesario del rediseño, y de la reingeniería de la red que permita una ampliación escalable y alta disponibilidad.

2.1.4 DENSIDAD Y PROYECCIÓN DE USUARIOS RESIDENCIALES ^[62]

En la Tabla 2.1 se presenta la cantidad de líneas telefónicas y de usuarios de Internet desde el año 2008 hasta el año 2011 para la ciudad de Loja. No se ha

³⁵ *Metro Ethernet*, es una tecnología de acceso que transporta diferentes servicios sobre *Ethernet*, la conectividad de esta red es de tipo MAN/WAN, el medio de transporte utilizado es fibra o cobre, y su alcance es de decenas de kilómetros.

³⁶ Máximo 8 equipos en STP, los valores de los *timers* de STP para que se transmitan los BPDUs están basados en redes con diámetro máximo de siete saltos desde el *Root* hasta el equipo más alejado. Información obtenida de: *Best Practices for Switches Running Cisco IOS Software*.

considerado a usuarios del servicio de televisión debido a que éste es satelital, y por lo tanto estos usuarios no se benefician de la infraestructura de alta disponibilidad de la Red MAN de Nodos, ni de la Red GPON.

AÑOS	TELEFONÍA		INTERNET	
	LÍNEAS TELEFÓNICAS	% CRECIMIENTO	USUARIOS INTERNET	% CRECIMIENTO
2008	39948	-----	271	-----
2009	46186	15.62 %	1579	482.66 %
2010	50946	10.31 %	6403	305.51 %
2011	55125	8.20 %	8661	35.26 %

Tabla 2.1 - Crecimiento de Usuarios de Telefonía e Internet ^[62]

A partir de los datos de la Tabla 2.1 se ha realizado la proyección de líneas telefónicas y usuarios de Internet para los siguientes 5 años; la tendencia que se ha proyectado corresponde a una ecuación lineal en ambos casos, debido a que ésta hace referencia al escenario crítico en el que se tiene un crecimiento sostenible y de alta demanda de servicios, esto implica que la red debe crecer conforme al aumento de clientes para satisfacer dicha demanda, y se lo conseguirá mediante la incorporación de 8 nodos más a la red.

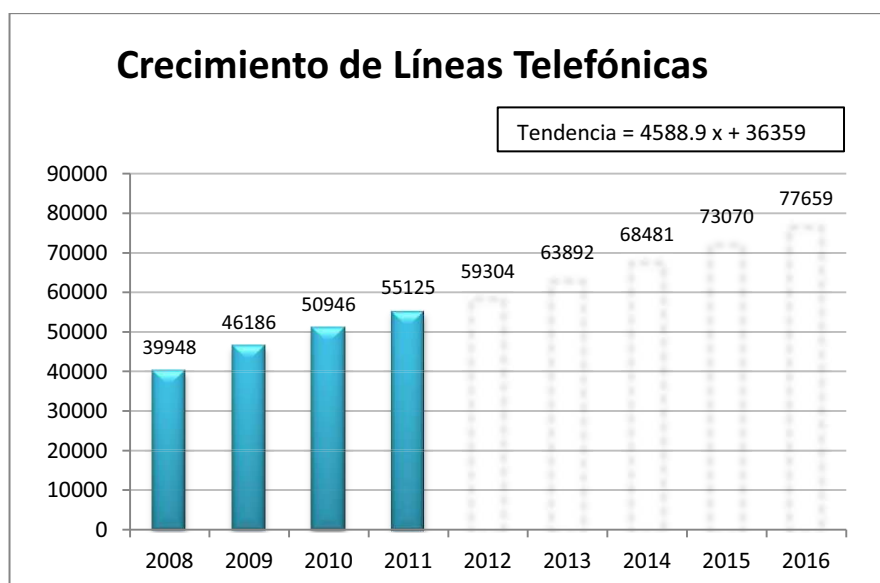


Figura 2.5 - Proyección del Número de Líneas Telefónicas ^[62]

En la Figura 2.5 se muestra la cantidad de líneas telefónicas vendidas desde el año 2008 hasta el año 2011, también se puede observar la cantidad de líneas telefónicas que se proyecta vender hasta el año 2016; según el cálculo de la tendencia, la demanda crítica de este servicio evidencia un aumento de alrededor del 40% en líneas telefónicas.

En la Figura 2.6 se presenta la cantidad de usuarios que contrataron el servicio de Internet desde el año 2008 hasta el año 2011, también se puede observar la cantidad usuarios con los que se estima contar hasta el año 2016; según el cálculo de la tendencia que corresponde a una ecuación lineal calculada a partir de los datos de los dos últimos años, la demanda crítica de este servicio evidencia un aumento de alrededor del 130% en usuarios de Internet.

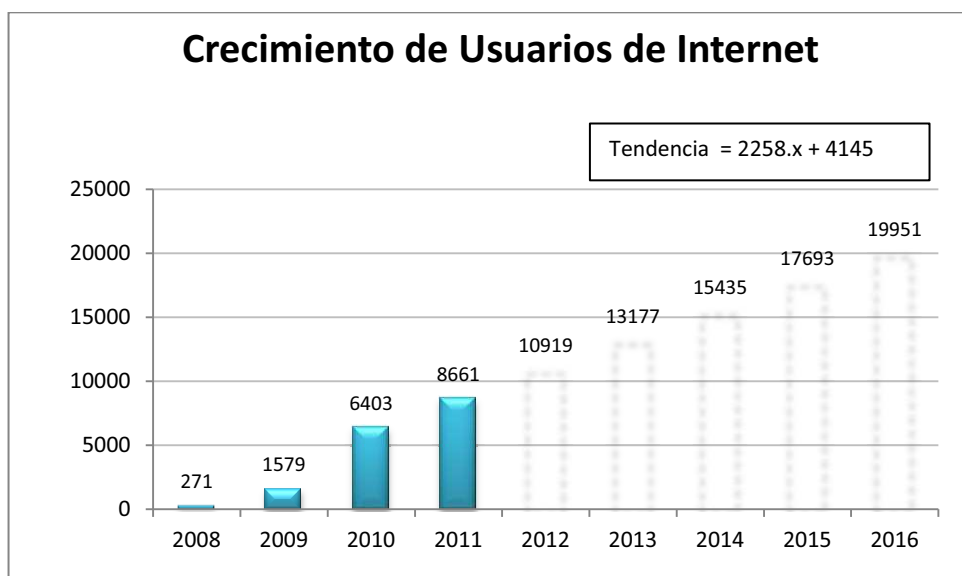


Figura 2.6 - Proyección del número de Usuarios de Internet ^[62]

2.1.5 DENSIDAD DE TRÁFICO ^[61]

Entre Loja y Cuenca se cuenta con tres enlaces físicos de 1 Gbps cada uno; mediante la solución para generación de gráficos: CACTI³⁷, se han obtenido

³⁷ CACTI, es una solución para la generación de gráficos de *networking*, está diseñada para aprovechar el poder de almacenamiento y la funcionalidad para gráficas de aplicaciones que emplean la herramienta *Round Robin Database tool* (RRDtool), la cual trabaja con una cantidad fija de datos y un puntero al elemento actual.

valores de la ocupación de estos enlaces. Estos datos fueron obtenidos de mediciones de tráfico promedio a través de la herramienta CACTI, desde el 12 de marzo de 2011 hasta el 23 de noviembre de 2011; los datos adquiridos hasta noviembre de 2011 servirán para realizar las correspondientes proyecciones de tráfico, los datos posteriores a esta fecha no se han utilizado porque se considera que el proyecto se empieza a implementar desde el año 2012.

En la Tabla 2.2 se presentan únicamente los datos de las mediciones que se tiene registro; no se presentan datos para los nodos: Loja - Sur, Loja - Centro ni Loja – Norte, debido a que la empresa no ha implementado un registro en el CACTI para el tráfico de estos nodos, ni tiene documentado dicho tráfico.

NODOS	Tráfico en horas de alta demanda (Downstream / Upstream)	Tráfico promedio (Downstream / Upstream)
San Cayetano Alto	10.13 / 1.16 Mbps	3.07 / 0.50 Mbps
San Cayetano Bajo	10.08 / 1.83 Mbps	5.36 / 0.86 Mbps
Jipiro	5.30 / 1.61 Mbps	2.95 / 0.52 Mbps
La Paz	25.23 / 7.20 Mbps	10.14 / 2.45 Mbps
Clodoveo Jaramillo	17.19 / 7.85 Mbps	11.39 / 3.27 Mbps
Belén	6.09 / 0.66 Mbps	2.8 / 0.08 Mbps
Shushuhuayco	2.73 / 0.66 Mbps	1.03 / 0.18 Mbps
Ciudad Victoria	14.11 / 2.50 Mbps	5.03 / 0.40 Mbps

Tabla 2.2 - Tráfico soportado por cada nodo ^[61]

El tráfico para los tres enlaces entre Cuenca y Loja se presenta en la Tabla 2.3. El Enlace 1 es el que soporta la mayor cantidad de tráfico, éste se encuentra al 76% de su capacidad máxima que es 1 Gbps; mientras que los Enlaces 2 y 3 están bajo el 10% de su capacidad máxima, que de igual forma es de 1 Gbps.

Enlaces Loja – Cuenca	Tráfico en horas de alta demanda	Tráfico promedio
Enlace 1	759.07 / 100.88 Mbps	359.73 / 49.85 Mbps
Enlace 2	60.92 / 28.91 Mbps	19.26 / 7.50 Mbps
Enlace 3	64.81 / 39.77 Mbps	22.88 / 10.08 Mbps

Tabla 2.3 - Tráfico soportado por cada enlace entre Loja y Cuenca ^[61]

En el Anexo B se presentan las gráficas obtenidas del CACTI y que corresponde a los valores de tráfico presentados en las tablas anteriores. Para el cálculo de algunos valores ha sido necesario descartar mediciones de pérdida de enlaces y picos del tráfico, para obtener medidas más reales del comportamiento de la red.

2.1.6 REGULACIÓN SUPERTEL

En este apartado se van a examinar los reglamentos que se encuentran vigentes respecto a las interrupciones de servicio y las correspondientes penalizaciones. Se indican las regulaciones de la SUPERTEL en lo concerniente a infracciones que generan pérdidas para la CNT-EP, y que pueden disminuir al contar con una red de alta disponibilidad, ya que éste es uno de los objetivos que se espera conseguir con el presente proyecto de titulación. Se empieza examinando los tipos de metas que debe alcanzar en el plazo de un año una operadora de telecomunicaciones, y luego se presentan las sanciones al incumplir con las diferentes regulaciones.

2.1.6.1 Metas Anuales Individuales Globales ^[67]

La calidad del servicio es el efecto global de las características de un servicio, que determina el grado de satisfacción del usuario acerca del mismo; en la concesión se fijan metas que van a depender de una meta inicial y del objetivo a alcanzar. Los principales indicadores del índice de calidad son los siguientes:

- Tasa de Llamadas Completadas y Tiempo en el Tono de Discar.
- Accesibilidad con el Servicio de Operadoras.
- Porcentaje de Averías reportadas por cada 100 líneas.
- Porcentajes de Averías reparadas en 24 y 48 horas.
- Porcentaje de Cumplimiento de visitas de Reparación.
- Peticiones de Servicio satisfechas en menos de cinco (5) días.
- Tiempo medio de espera para obtener el servicio.
- Reclamos por cada 100 facturas y Oportunidad de la facturación.

- Satisfacción de los Usuarios.

Con el objetivo de definir una meta global anual para las operadoras de telecomunicaciones, se emplean ponderaciones designadas por medio de resoluciones, que el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) emite cada año en mutuo acuerdo con la operadora.

$$\% \text{ Cumplimiento} = \frac{\text{Meta_Cumplida (\%)} \times \text{Meta_Ponderada}}{100}$$

Donde:

Meta Cumplida: Valores de los parámetros de los índices de calidad obtenidos por el Operador; se define como meta cumplida al 100% cuando estos valores sean iguales o superiores a la Meta Establecida.

Meta Ponderada: Valores de los parámetros de los índices de calidad acordados entre el operador y la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, y aprobados por el CONATEL mediante resolución.

2.1.6.2 Metas Globales de Calidad ^[66]

Estas metas se refieren a las especificaciones de calidad para la prestación de Servicios Portadores de Telecomunicaciones. Para normar aspectos técnicos mínimos requeridos para la prestación de estos servicios, se emplea:

- *PDA* : Porcentaje de Averías.
- *TRA* : Tiempo medio de Reparación de Averías.
- *PR8* : Porcentaje de averías con tiempo de Reparación mayor a 8 horas.
- *PDS* : Porcentaje de Disponibilidad del Servicio.

Para cada uno de los cuatro indicadores de calidad considerados en esta norma, se establece un período de medición mensual; pero todos los índices deben ser considerados en un período total de un año para efectos de medición del cumplimiento contractual.

PDA: Averías reportadas por los usuarios del servicio contratado dentro del período de medición aplicable. Este indicador debe ser menor o igual a 20%.

$$PDA = \frac{CA}{CS}$$

Donde:

CA: # total de circuitos reportados con avería durante el período de medición.

CS: # total de circuitos en servicio en el período de medición.

TRA: Tiempo medio de reparación de averías de circuitos locales y circuitos de larga distancia, calculado sobre el total de averías solucionadas dentro del período de medición. Este tiempo es expresado en horas incluyendo fracciones, este indicador debe ser menor o igual a 8 horas.

$$\overline{TRA} = \frac{TRA}{CA}$$

Donde:

TRA: Suma total del tiempo de reparación de las averías de los circuitos reportados con avería durante el período de medición.

CA: # total de circuitos reportados con avería durante el período de medición.

PR8: Porcentaje de averías con tiempo de reparación mayor a 8 horas desde que fue reportada la avería dentro del período de medición mensual, para circuitos locales y de larga distancia. Este indicador debe ser menor o igual al 5%.

$$PR8 = \frac{RCA8}{CS} \times 100$$

Donde:

RCA8: # total de circuitos reportados con averías, cuyo tiempo de reparación excede las 8 horas, durante el período de medición.

CS: # total de circuitos en servicio en el período de medición.

PTD: Porcentaje de disponibilidad del servicio dentro de un periodo de tiempo para circuitos locales y de larga distancia, este indicador debe ser por lo menos 98% en promedio de toda la red del operador.

$$PTD = \frac{TD}{TT} \times 100$$

$$TD = TT - \frac{TCA}{\# \text{ Circuitos de todos los usuarios en el periodo de medición}}$$

Donde:

TD: tiempo que el servicio se encuentra disponible para un usuario en horas.

TT: tiempo total de medición en horas, deducidos los márgenes de tolerancia por mantenimiento y reparación acordados, así como circunstancias de fuerza mayor y caso fortuito, en el período de medición.

TCA: suma total de los tiempos de averías de los usuarios en el período de tiempo de medición.

Para la verificación del cumplimiento de los índices de calidad se calcula sobre el promedio de mediciones mensuales durante un año, de acuerdo a la Tabla 2.4.

	Índice de Calidad	Ponderación	Índice de Calidad	Ponderación	Índice de Calidad	Ponderación	Índice de Calidad	Ponderación
PTD	98%	50	96%	45	94%	40	92%	35
PDA	20%	20	30%	18	40%	16	50%	14
TRA	8	15	22	13,5	36	12	50	10,5
PR8	5%	15	10%	13,5	15%	12	20%	10,5
Total		100%		90%		80%		70%

Tabla 2.4 - Índices de Calidad ^[66]

2.1.6.3 Penalizaciones para Interrupciones de Servicios ^[67]

Para el incumplimiento y sanciones establecidas en el Contrato de Concesión de servicios finales y portadores de telecomunicaciones, otorgado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones a favor de la CNT-EP y vigentes hasta la fecha, se especifica que las infracciones del incumplimiento del Plan de Expansión, Metas Anuales Individuales y Metas de los Índices de Calidad, serán consideradas como infracciones de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) El impedir u obstaculizar la supervisión ordenada por la Superintendencia, al no mantener registros adecuados para permitir la supervisión y cumplimiento de los términos del Contrato; la evasión o atraso en el pago de un Derecho de Concesión; el uso de los Servicios Concedidos para enviar a los abonados mensajes comerciales no autorizados por el abonado, ni para la transmisión de señales reñidas con la moral y buenas costumbres que atenten contra la Seguridad Nacional, por parte del Concesionario o sus trabajadores y/o contratistas, constituyen infracciones de primera clase cuando se incurra por primera vez durante el mismo ejercicio fiscal.
- b) El incumplimiento de hasta el quince por ciento (15%) de las metas anuales globales, o cierto porcentaje de las metas anuales individuales del Plan de Expansión, será considerado falta de segunda clase.
- c) El incumplimiento de hasta el treinta por ciento (30%) de las metas anuales globales, o cierto porcentaje de las metas anuales individuales del Plan de Expansión, y/o la repetición en dos períodos consecutivos del incumplimiento tipificado en el literal b), serán consideradas faltas de tercera clase.
- d) El incumplimiento de porcentajes mayores que los señalados en el literal c) anterior, o la repetición en dos períodos consecutivos del incumplimiento señalado en este mismo literal, serán consideradas faltas de cuarta clase.
- e) El incumplimiento de hasta el diez por ciento (10%) de las metas globales de calidad, establecidas según la medición de los Índices de Calidad de

acuerdo a la ponderación (valoración relativa de la importancia de unos y otros índices) establecida por el Consejo, o el incumplimiento de hasta el veinte por ciento (20%) de la meta de uno o cualquiera de los Índices de Calidad, será considerada falta de segunda clase.

- f) El incumplimiento de hasta el quince por ciento (15%) de las metas globales de calidad, establecidas según la medición de los Índices de Calidad de acuerdo a la ponderación establecida por el Consejo, o el incumplimiento de hasta el treinta por ciento (30%) de la meta de uno o cualquiera de los índices, o la repetición durante dos períodos consecutivos del incumplimiento señalado en el literal e), será considerada falta de tercera clase.
- g) El incumplimiento de los Índices de Calidad en porcentajes mayores que los señalados en el literal f), o la repetición en dos períodos consecutivos del incumplimiento señalado en el literal f) serán consideradas faltas de cuarta clase.

Las penalizaciones para las infracciones son las siguientes:

- **Infracción de Primera Clase:** Amonestación Escrita.
- **Infracción de Segunda Clase:** Multa de hasta un millón de dólares de los Estados Unidos de América (US\$ 1'000.000), según la gravedad de la infracción.
- **Infracción de Tercera Clase:** Multa de entre un millón (US\$ 1'000.000) y diez millones (US\$ 10'000.000) de dólares de los Estados Unidos de América, según la gravedad de la infracción.
- **Infracción de Cuarta Clase:** Intervención de la Concesión por parte de un interventor internacional que presentará informes al Concesionario y al Consejo, para que se coordinen con la Secretaría las acciones a tomar; o se procede a la cancelación anticipada de la Concesión.

2.1.6.3.1 Resumen

Luego de haber examinado las regulaciones, índices de calidad y penalizaciones, se resume en la Tabla 2.5 las infracciones y sanciones según el caso.

SANCIONES	INCUMPLIMIENTO METAS ANUALES INDIVIDUALES	INCUMPLIMIENTO METAS GLOBALES DE CALIDAD
Segunda Clase	1 vez hasta el 15%	1 vez hasta el 10% entre todos los <i>items</i> 1 vez hasta el 20% en un <i>item</i>
Tercera Clase	1 vez hasta el 30% 2 veces consecutivas un incumplimiento de Segunda Clase	1 vez hasta el 15% entre todos los <i>items</i> 1 vez hasta el 30% en un <i>item</i> 2 veces consecutivas un incumplimiento de Segunda Clase
Cuarta Clase	1 vez más del 30% 2 veces consecutivas un incumplimiento de Tercera Clase	1 vez más del 15% entre todos los <i>items</i> 1 vez más del 30% en un <i>item</i> 2 veces consecutivas un incumplimiento de Tercera Clase

Tabla 2.5 - Infracciones y Sanciones para la CNT-EP ^[68]

2.1.7 ESTADÍSTICAS DE INTERRUPCIONES DE SERVICIO

La Superintendencia de Telecomunicaciones ha definido las interrupciones de servicio que están incluidas en los Índices de Calidad – Averías, las que se presentan por causas fortuitas o fuerza mayor, y las programadas en algún segmento de la red:

- **Interrupciones Programadas:** son aquellas adoptadas por el Concesionario para instalar, cambiar, reparar equipos, o por cualquier otra razón necesaria para asegurar una adecuada prestación del servicio. Cuando la interrupción de servicio sea programada y se dé por un plazo mayor a 10 días calendario en un mes, el usuario tendrá derecho a recibir una compensación en función de la interrupción, expresada en un crédito proporcional basado en la facturación promedio del usuario correspondiente a los 6 meses anteriores, la cual se reflejará en la primera factura siguiente a la interrupción.

- **Interrupciones Fortuitas:** son aquellas reportadas como tales por la operadora y que se debieron a causas inevitables e inesperadas, que no pudieron ser previstas, las mismas que son justificadas ante la Superintendencia de Telecomunicaciones, quien evalúa los eventos que la ocasionaron y califica si éstas se produjeron por causas de fuerza mayor o casos fortuitos.

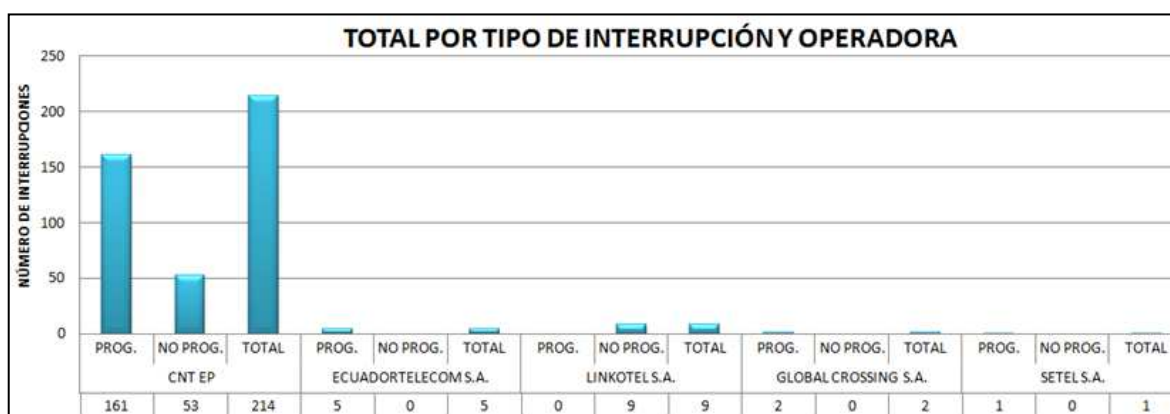


Figura 2.7 - Interrupciones de servicios para las diferentes Operadoras ^[68]

En la Figura 2.7 se indican las interrupciones de servicios a nivel nacional para algunas empresas como: CNT, ECUADORTELECOM, LINKOTEL, GLOBAL CROSSING y SETEL; de acuerdo a estos datos obtenidos de la SUPERTEL, en el año 2011 la CNT-EP es la empresa que registró la mayor cantidad de interrupciones de servicio.

Actualmente la red de la CNT-Loja presenta algunos inconvenientes, como problemas de escalabilidad; en la red metropolitana conformada por *switches* se tienen siete saltos desde el nodo más alejado hasta el *router* MPLS que se conecta con Cuenca, lo cual introduce retardo por el procesamiento de paquetes en cada nodo. Otro inconveniente es que, a más que CNT-EP es la empresa con la mayor cantidad de interrupciones, la red de CNT-Loja es considerada como una de las más problemáticas de Ecuador en cuanto a interrupciones de servicios; esto se traduce en pérdidas por parte de la empresa a causa de multas,

penalizaciones y la exoneración total o parcial en el pago de facturas de clientes con SLAs³⁸.

Por lo tanto es necesario mejorar la infraestructura de telecomunicaciones, mediante la expansión de la red con enlaces redundantes, sustituyendo algunos switches con equipos de Capa 3 y manteniendo la compatibilidad con los equipos existentes. Esto requiere de la implementación de protocolos de enrutamiento, protocolos para el manejo de redundancia de Gateways y lazos de Capa 2; que permitan a más de la escalabilidad, una alta disponibilidad de la red que ayuda a mejorar la prestación de servicios, evitar multas y penalizaciones, y como consecuencia aumentar los ingresos de la empresa.

Con este proyecto de titulación se pretende ofrecer una alternativa respecto a la alta disponibilidad para las Redes de Distribución y de Acceso. A partir de este proyecto se quieren establecer pautas que servirán para ponerlas en consideración en el resto de ciudades del país, y disminuir estas cifras de interrupciones de servicios que causan pérdidas a la empresa.

2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED CORPORATIVA

En esta sección se va a analizar la situación actual de la Red Corporativa, las tarifas de planes corporativos, y finalmente un análisis de los clientes existentes y potenciales para esta red.

2.2.1 INTRODUCCIÓN ^[62]

La Red Corporativa presenta algunos inconvenientes, la estructura de la red que se maneja actualmente para brindar servicios a clientes corporativos, es de tipo

³⁸ SLA (*Service Level Agreement*), es un contrato escrito entre el proveedor de servicio y su cliente, con el objetivo de fijar el nivel acordado para la calidad de dicho servicio, en aspectos tales como: tiempo de respuesta, disponibilidad del servicio, documentación disponible, personal asignado al servicio, etc.

centralizado desde la Oficina Central (Loja Centro) hasta cada cliente, esto ha causado saturación en la canalización, principalmente en el centro urbano de la ciudad; lo cual no permite una adecuada escalabilidad para poder brindar el servicio a un mayor número de clientes corporativos ubicados en el mismo sector de la ciudad. Otro inconveniente es que los aún existentes tendidos de par trenzado, no permiten brindar nuevos servicios que se puedan desarrollar, tales como televisión, video bajo demanda, entre otros, debido a la limitación en la capacidad de este tipo de cableado.

Por estas razones es necesario mejorar y ampliar la prestación de servicios corporativos, mediante la reutilización del cableado de fibra existente para evitar causar más saturación en la canalización, y mediante la migración de tendidos de par trenzado a otros con fibra óptica.

En la mayoría de los tendidos de fibra óptica no se han ocupado todos los hilos y quedan hilos libres para otras posibles utilizaciones, como lo es para el presente proyecto, en el que la tecnología GPON se adapta perfectamente a este escenario. La CNT-Loja tiene como política llegar con fibra óptica solo a los clientes corporativos que contraten planes de Internet de 1 Mbps en adelante; estos cables de fibra pueden ser de baja capacidad: 6 o 12 hilos que terminan en el sitio mismo del cliente, o de fibra de gran capacidad en cuanto al número de hilos.

En el caso de llegar hasta el cliente con cables de 6 o 12 hilos, se ocupan dos hilos de fibra, uno para transmisión y otro para recepción, quedando 4 hilos disponibles a ser utilizados por la tecnología GPON. Mientras que en el caso de tendidos de gran capacidad en fibra, éstos llegan hasta empalmes y de igual manera quedan varios hilos de fibra disponibles para futuros proyectos; por esta razón y lo expuesto anteriormente se ha pensado en la reutilización de este tendido.

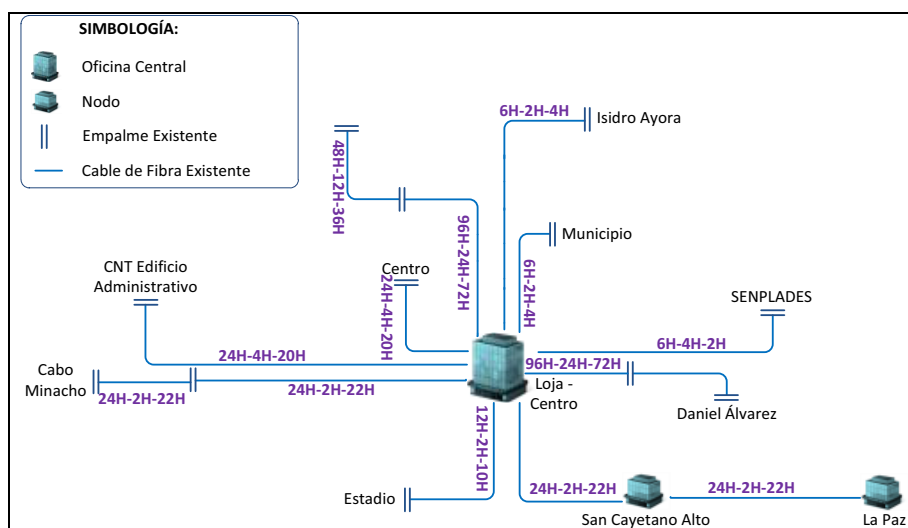


Figura 2.8 - Disponibilidad en los tendidos de fibra ^[62]

En la Figura 2.8 se muestra un esquema de los tendidos de fibra, que debido a su disponibilidad de hilos, se considera para el diseño de la Red GPON. La capacidad de ocupación se indica en este gráfico como: Hilos totales – Hilos ocupados – Hilos disponibles; también se muestran los empalmes subterráneos que existen actualmente, y que podrían ser aprovechados para ubicar armarios de distribución cerca de los mismos.

Como se puede observar en la figura anterior, se emplean cables de fibra de 6 hilos para llegar hasta tres de los clientes corporativos: Hospital Isidro Ayora, Municipio y SENPLADES, que debido a su ubicación se los puede considerar para utilizar los empalmes correspondientes. El resto de tendidos de fibra subterránea es de gran capacidad y llega hasta empalmes dentro de la canalización; todos estos tendidos cuentan con capacidad disponible para diseñar esta red.

2.2.2 TARIFAS EN LOS PLANES CORPORATIVOS ^[62]

La CNT-Loja ofrece dos tipos de planes corporativos: ADSL2+ con compartición de 4 a 1, y SDSL sin compartición para clientes corporativos que también podrían ser residenciales, PYMES y Cyber-Cafés.

Las tarifas en los planes corporativos de Internet han variado tres veces, su costo ha disminuido debido a la tendencia del incremento de nuevas ofertas por parte de la competencia; también los diferentes planes de Internet han ido variando, algunos se han eliminado y otros modificado. En el Anexo A se indica con detalle la variación de las tarifas en Planes Corporativos de Internet.

2.2.2.1 Plan Corporativo ADSL2+

Para el plan corporativo ADSL2+, se ofrece una disponibilidad del 99%, 2 cuentas de *Dial Up* como *backup* y servicio con IP fija en la parte WAN.

% DISPONIBILIDAD		Factor de Calidad del Servicio (FCS)
DESDE	HASTA	
100,00	99,00	1,00
98,99	98,30	0,98
98,29	90,00	0,92
89,99	75,00	0,86
74,99	50,00	0,75
49,99	00,00	0,50

Tabla 2.6 - Tabla del Factor de Disponibilidad para el servicio ADSL2+ ^[62]

La disponibilidad del servicio se calcula según la Tabla 2.6; el incumplimiento mensual de este parámetro generará multas a la CNT a favor del cliente, multiplicando el factor de calidad del servicio (FCS), por el valor del cargo fijo del plan.

Por ejemplo: Si el cliente paga una tarifa mensual de \$190 y CNT tuvo una disponibilidad del 90%, CNT le cobrará una mensualidad por ese mes de:

$$\text{\$ } 190 \times 0.92 = \text{\$ } 174.8$$

Es decir ese mes se le cobrará al cliente una tarifa menor \$174.8, porque no se ha cumplido el ofrecimiento de este plan, que es un *Up Time* de 99%.

En la Tabla 2.7 se indican las tarifas mensuales o cargo fijo y de inscripción en planes corporativos ADSL2+, según las diferentes velocidades de *downstream* y *upstream* de datos.

VELOCIDAD DE DATOS <i>Downstream / Upstream</i>	CARGO FIJO (Sin IVA)	INSCRIPCIÓN	CLIENTES	COMPARTICIÓN
256 Kbps / 128 Kbps	\$ 49,50	\$ 80,00	Residenciales - PYMES	4 a 1
512 Kbps / 256 Kbps	\$ 59,50	\$ 80,00	Residenciales - PYMES	4 a 1
1024 Kbps / 512 Kbps	\$ 99,00	\$ 80,00	Residenciales - PYMES	4 a 1
1542 Kbps / 512 Kbps	\$ 135,00	\$ 80,00	Residenciales - PYMES	4 a 1
2048 Kbps / 768 Kbps	\$ 165,00	\$ 80,00	Residenciales - PYMES	4 a 1

Tabla 2.7 - Plan Corporativo ADSL2+ ^[62]

2.2.2.2 Plan Corporativo SDSL

Para el plan corporativo SDSL, se ofrece una disponibilidad del 99.6% en conexiones de cobre y 99.8% en conexiones de fibra, 8 cuentas de *Dial Up* como *backup*, servicio con IP fija en la parte WAN y servicio gratuito de MRTG³⁹ y WEB; la disponibilidad del servicio se calcula según la Tabla 2.8. El incumplimiento mensual de este parámetro generará multas a la CNT a favor del cliente, multiplicando el factor de calidad del servicio (FCS) según la tabla, por el valor del cargo fijo del plan de la misma forma que en el caso anterior.

% DISPONIBILIDAD		Factor de Calidad del Servicio (FCS)
DESDE	HASTA	
100,00	99,60	1,00
99,59	98,60	0,98
98,59	95,00	0,95
94,99	85,00	0,90
84,99	75,00	0,85
74,99	50,00	0,65
49,00	0,00	0,50

Tabla 2.8 - Tabla del Factor de Disponibilidad para el servicio SDSL ^[62]

³⁹ MRTG (*Multi Router Traffic Grapher*), es una herramienta que se utiliza SNMP (*Simple Network Management Protocol*) para supervisar la carga de tráfico de interfaces de red; genera un informe en formato HTML con gráficas que proveen una representación visual de la evolución del tráfico a lo largo del tiempo.

En la Tabla 2.9 se indica las tarifas mensuales o cargo fijo y de inscripción en planes corporativos SDSL, según las diferentes velocidades de datos.

VELOCIDAD DE DATOS	CARGO FIJO (Sin IVA)	INSCRIPCIÓN	CLIENTES	COMPARTICIÓN
128 Kbps	\$ 120,00	\$ 300,00	PYMES - CYBER	1 a 1
256 Kbps	\$ 152,00	\$ 300,00	PYMES - CYBER	1 a 1
512 Kbps	\$ 190,00	\$ 300,00	PYMES - CYBER	1 a 1
1 Mbps	\$ 232,00	\$ 300,00	PYMES - CYBER	1 a 1
2 Mbps	\$ 190,00 * Mbps	\$ 150,00	PYMES - CYBER	1 a 1
3 a 5 Mbps	\$ 185,00 * Mbps	\$ 150,00	PYMES - CYBER	1 a 1
6 a 10 Mbps	\$ 180,00 * Mbps	\$ 80,00	PYMES - CYBER	1 a 1
11 a 30 Mbps	\$ 170,00 * Mbps	\$ 80,00	PYMES - CYBER	1 a 1
31 a 60 Mbps	\$ 155,00 * Mbps	\$ 80,00	PYMES - CYBER	1 a 1
61 a 100 Mbps	\$ 130,00 * Mbps	\$ 80,00	PYMES - CYBER	1 a 1
Más de 101 Mbps	\$ 120,00 * Mbps	\$ 60,00	PYMES - CYBER	1 a 1

Tabla 2.9 - Plan Corporativo SDSL ^[62]

2.2.3 ANÁLISIS DE CLIENTES PARA LA RED GPON

2.2.3.1 Análisis de Clientes existentes ^[62]

Al comenzar con este proyecto se ha dividido en dos grupos los clientes corporativos existentes, un primer grupo lo conforman aquellos clientes que actualmente se enlazan con la Oficina Central (OC) de la CNT-Loja mediante cables de fibra óptica; se tiene un total de 30 clientes dentro de este grupo.

Un segundo grupo está conformado los clientes corporativos que se enlazan con la Oficina Central de la CNT-Loja mediante cables de cobre, debido a que aún no se le ha realizado la migración de medio de transmisión de cobre a fibra, y también forman parte de los clientes iniciales de esta nueva red. En este grupo suman un total de 16 clientes.

2.2.3.2 Análisis de Clientes potenciales ^[62] ^[65]

Para el análisis de clientes potenciales también se los ha dividido en dos grupos:

1. Un primer grupo lo conforman aquellos clientes ya existentes, pero a quienes no se les brinda servicio por medio de fibra, ni se ha planificado la migración de medio de transmisión; esto debido a que su plan corporativo contratado no corresponde a un plan cuya velocidad sea igual o superior a 1 Mbps.

Estos clientes son considerados potenciales porque la tendencia general de las empresas es contratar otro plan corporativo de mayor ancho de banda, esto se ha observado al analizar el comportamiento de muchos de los clientes corporativos existentes en el sistema OPEN. Los precios de los planes de Internet tienden a bajar de costos; tal como se observa en el Anexo A, las tarifas han experimentado tres variaciones de costos, cada vez bajando de precio; esto se debe a la competencia entre proveedores de servicios, aumento de la demanda del mismo y a avances tecnológicos que permiten abaratar costos.

Por lo tanto estos clientes podrían cambiar de plan corporativo de Internet, al darles a conocer los beneficios de un plan con mayor velocidad, sin compartición y que satisface de mejor manera las expectativas de los usuarios. El incremento en el costo que representa el contratar un plan de mayor ancho de banda desde 1 Mbps en adelante, justifica los beneficios mencionados anteriormente, constituye la tendencia general de los clientes y considerando que el costo de los planes disminuye con el tiempo, es aún más probable que se contraten estos planes.

2. Un segundo grupo de clientes corporativos potenciales lo integran empresas que no tienen contratado el servicio de Internet con la CNT, pero que podrían ser considerados como potenciales.

Para el análisis de un mercado potencial de nuevos clientes corporativos para la CNT-Loja, se ha tomado en cuenta a los clientes que facturan mensualmente un valor superior a \$200 en el servicio de telefonía contratado con la CNT; también se ha incluido a aquellos clientes que hayan solicitado este servicio al personal de la CNT. Se ha tomado en cuenta a empresas del sector bancario, educativo, hotelero, entre otras que estén en la posibilidad de adquirir uno de estos planes corporativos, de acuerdo a estas consideraciones.

2.2.3.3 Proyección de Clientes Corporativos ^[62]

A partir de los datos proporcionados por la CNT-Loja, se ha realizado la proyección de la cantidad de clientes corporativos para los siguientes 5 años, en la Figura 2.9 se muestra la cantidad de clientes corporativos que han contratado un plan de cualquier velocidad de datos, desde el año 2009 hasta el año 2011; también se puede observar la cantidad de clientes que se espera adquieran este servicio hasta el año 2016, según el cálculo de la tendencia.

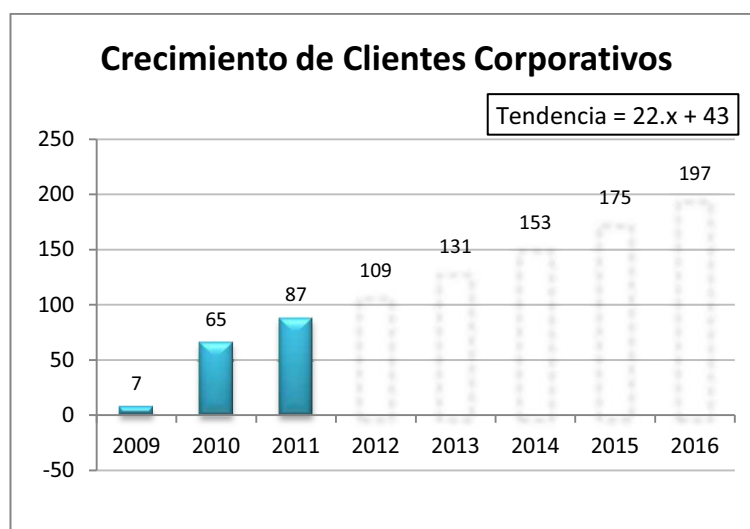


Figura 2.9 - Crecimiento del Número de Clientes Corporativos ^[62]

Esta tendencia al igual que para las proyecciones de líneas telefónicas y usuarios de Internet, también corresponde a una ecuación lineal; en este caso se han considerado los datos de los dos últimos años para obtener dicha ecuación, por lo

tanto esta proyección también evidencia el caso crítico de un crecimiento sostenible y con alta demanda del servicio, sin embargo solo una parte de estos clientes formarán parte de la red GPON, que serán quienes contraten planes con velocidad mayor a 1 Mbps.

2.2.4 UBICACIÓN DE LOS CLIENTES CORPORATIVOS EN LA RED GPON ^[62]

Se tiene un total de 46 clientes corporativos existentes divididos en dos grupos: 30 clientes de la red corporativa existente a quienes se llega con fibra óptica y 16 clientes corporativos existentes a quienes se llega con cobre, todos ellos serán los clientes iniciales en la red corporativa GPON.

Por otro lado se tienen 102 clientes corporativos potenciales, conformados por 38 clientes existentes con tendencia a subir de plan corporativo, estos clientes son todos aquellos que hayan contratado con CNT planes corporativos ADSL+ de 1024/512 Mbps o SDSL de 512 Mbps; y 64 clientes corporativos considerados como potenciales luego de un estudio realizado y mencionado en apartados anteriores, obteniendo la suma de 148 clientes corporativos totales.

En la Figura 2.10 se han ubicado los clientes tanto existentes como potenciales; se ha utilizado un mapa de la ciudad para poder visualizar la concentración de dichos clientes en los diferentes sectores de la ciudad. Los clientes corporativos existentes a los cuales se llega con fibra están simbolizados con un círculo verde; los clientes corporativos existentes a los cuales se llega con cobre están representados con un círculo azul y los clientes corporativos potenciales con un círculo rojo.

De acuerdo a la Figura 2.10, la mayor concentración de clientes corporativos entre existentes y potenciales se encuentra en el centro urbano de la ciudad; esta información servirá para la correcta ubicación de armarios o cajas de distribución para la red GPON.

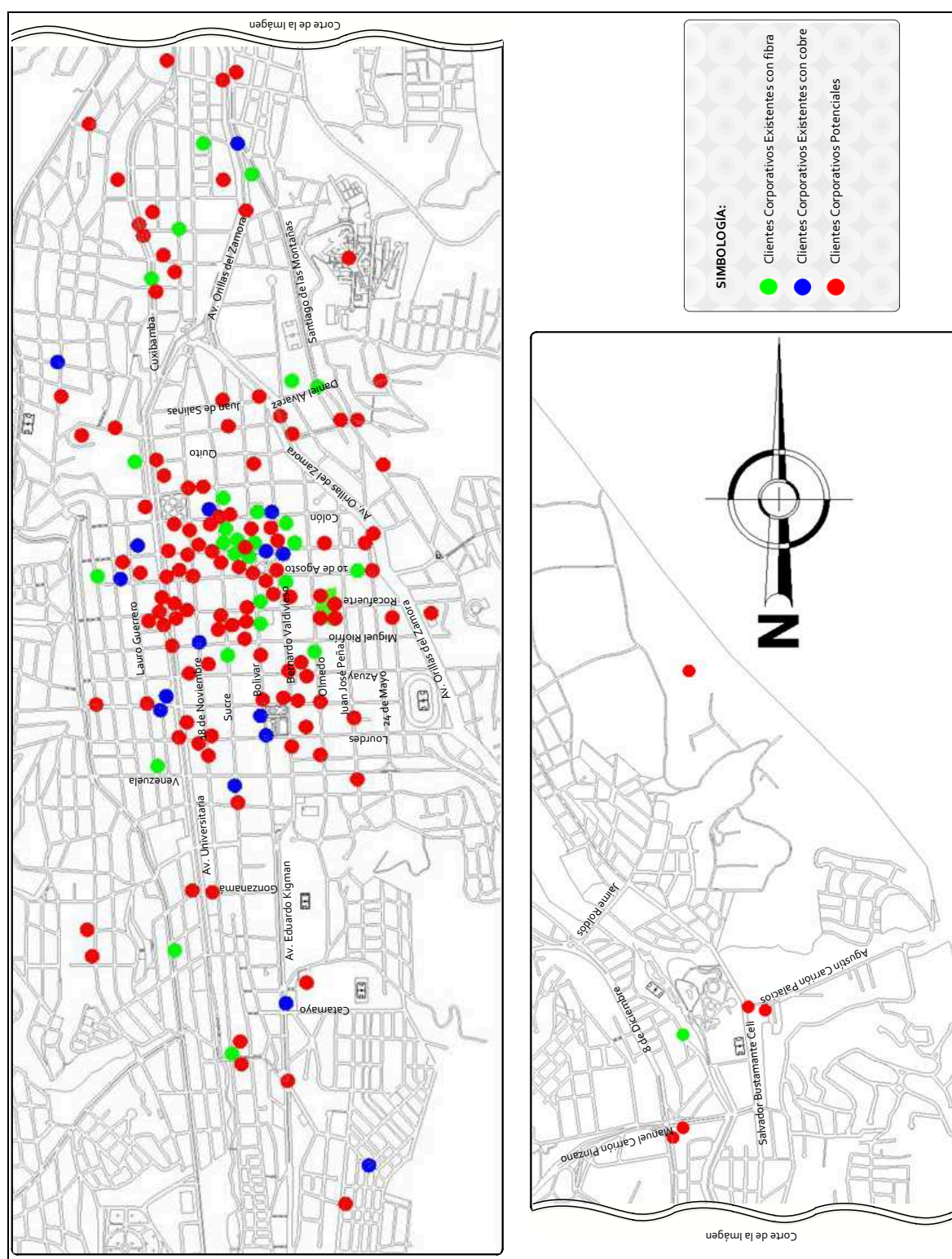


Figura 2.10 - Ubicación de los Clientes Corporativos

3 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS, REINGENIERÍA DE LA RED MAN Y DISEÑO DE LA RED GPON

3.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS ^[61] ^[62]

Los requerimientos se han realizado en base a las falencias que presenta la red, analizadas en apartados anteriores del capítulo 2, respecto a problemas de escalabilidad y de calidad en los servicios brindados.

En esta sección inicial del presente capítulo, se van a analizar los requerimientos que se han identificado para este proyecto divididos en dos partes: una primera parte abarcará un análisis de los requerimientos que se deben cumplir para la reingeniería y rediseño de la Red MAN de Nodos; y, en una segunda parte se analizarán los requerimientos que se tomarán en cuenta para el diseño de la Red GPON.

3.1.1 REQUERIMIENTOS PARA LA RED DE ÁREA METROPOLITANA

Se requiere de la reingeniería y rediseño de la Red MAN de Nodos para la ampliación de la misma en dos etapas, de tal manera que en cada etapa se cuente con una red escalable, de rápida convergencia, de alta disponibilidad y que utilice eficientemente toda la infraestructura de telecomunicaciones. El rediseño debe contemplar la topología física existente para aprovechar los enlaces actuales, mientras que los nuevos enlaces y nodos que se vayan a crear, deben proyectarse de modo que faciliten la implementación de una siguiente etapa.

La reingeniería de esta red se define por el cambio estructural de la misma, debido a que se contempla la incursión de equipos de Capa 3, lo cual cambia significativamente la estructura lógica de la Red MAN de Nodos; ya que en un principio, tal como se analizó en el capítulo 2, esta red cuenta con un solo equipo

de Capa 3 para la interconexión con el resto de la Red de la CNT-EP, mientras que el resto de equipos que forman la Red de la CNT para la ciudad de Loja, constituyen una red conmutada de tipo *Metro Ethernet*.

Por lo mencionado anteriormente se requiere del estudio de diferentes protocolos de capa 2 y 3 correspondientes al modelo ISO/OSI, que permitan un manejo eficiente del tráfico a través de los árboles de expansión y que también la red de Loja se integre con el resto de la red de la CNT-EP. Dentro del desarrollo de este proyecto es necesario un rediseño de la red para determinar nuevos tendidos de fibra, que se requieren para conseguir una topología altamente redundante.

Debido a que se cuenta con un solo enlace físico entre Cuenca y Loja, se ha contemplado dos enlaces más desde la Oficina Central (OC) en Loja: un enlace con Machala de propiedad de la CNT y otro con Zamora Chinchipe mediante nuevos tendidos de fibra de TRANSELECTRIC. Esto con la finalidad de obtener redundancia de enlaces hacia equipos de otras provincias y garantizar la conectividad hacia los servidores de Quito/Guayaquil; por ejemplo un caso crítico es que se pierda conectividad entre un MSAN y el servidor Axis, porque en este escenario se perderían los registros de facturación.

3.1.2 REQUERIMIENTOS PARA LA RED CORPORATIVA

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones - Loja requiere el diseño de una red GPON, para conseguir la optimización de recursos y abarcar un mercado más grande de clientes corporativos; actualmente una parte de la canalización se encuentra saturada, y no es posible cubrir la demanda de clientes para las zonas aledañas a dicha canalización. Debido a esto se requiere el diseño de una Red GPON que permita potencializar la infraestructura existente, e integrar este proyecto con la Red de la CNT-EP.

Con la tecnología GPON se tiene la ventaja de poder llegar con un solo hilo de fibra óptica desde la Oficina Central hasta 32 clientes finales, en la práctica;

gracias a esta característica se ha escogido a esta tecnología como óptima para ser utilizada en el presente diseño, esto debido a que se requiere en algunos casos de la utilización de un número reducido de hilos de fibra en el tendido existente. Finalmente para el correcto diseño de la Red GPON, se requiere realizar un estudio de clientes corporativos existentes y potenciales; y con esta información realizar un análisis de la ubicación estratégica de armarios o cajas de distribución, según los sectores de mayor crecimiento corporativo o empresarial.

3.2 REINGENIERÍA DE LA RED MAN

En esta sección, se presenta un análisis de la problemática a resolver, una comparación de las diferentes soluciones a los requerimientos de la Red MAN de Nodos, y se establecen parámetros para la implementación de las mismas. Luego se presenta el desarrollo de la reingeniería de la Red MAN en dos etapas; y finalmente se indican las especificaciones técnicas que deben soportar los equipos presentes en la migración y una comparación entre dos marcas de equipos.

3.2.1 INTRODUCCIÓN

La reingeniería de esta red contempla el análisis del uso adecuado de protocolos de Capa 2 y 3, tanto para la parte ruteada como para la parte conmutada de la Red MAN. Para la parte de la red de Capa 3 o ruteada que corresponde a la Red de Distribución, se debe lograr la correcta integración con el resto de la red IP/MPLS de la CNT-EP, y el rediseño para una topología con redundancia de *Gateways*. Mientras que para la parte de la red de Capa 2 o conmutada que corresponde a la Red de Acceso, se deben enfrentar inconvenientes como existencia de bucles, rápida convergencia y manejo de VLANs.

La problemática planteada, básicamente consiste en redefinir una arquitectura de alta capacidad y adecuada para una Red MAN escalable, que realice funciones de ruteo y conmutación; este diseño debe simplificar la configuración y

mantenimiento de la red, optimizando el uso de la infraestructura física, logrando que el tráfico se distribuya por toda la infraestructura física instalada.

Se debe procurar una configuración mínima o nula en los equipos, en casos de falla; esto quiere decir que la Red de Nodos debe ser lo más autoconfigurable posible, de tal manera que los equipos de Capa 2 y 3 que la conforman converjan automáticamente y en el menor tiempo posible.

3.2.2 COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES SOLUCIONES

La red de la CNT-EP cuenta con un *backbone* IP/MPLS; el rediseño y reingeniería de la red de Loja corresponde a una Red de Acceso de tipo *Metro Ethernet*, y a una Red de Distribución que debe implementar MPLS para su correcta integración con el resto de la red de la CNT-EP.

A continuación se presenta la comparación de las diferentes soluciones para esta parte del proyecto tanto para la Red Ruteada o de Distribución, como para la Red Conmutada o de Acceso.

3.2.2.1 Soluciones para la Red de Distribución

Desde la primera etapa dentro del plan de expansión de la Red de Nodos para la ciudad de Loja, se contará con dos equipos de Capa 3 en la Oficina Central: Loja - Centro.

Este esquema posibilita la redundancia de equipos y enlaces para la interconexión con otras provincias, actualmente el tráfico de toda la ciudad de Loja sale a través de un solo equipo, lo cual disminuye la confiabilidad de toda la red. Al contar con un equipo más se aumenta la disponibilidad, se libera la carga computacional que soporta un solo equipo, se logra balancear tráfico por varios enlaces hacia ambos equipos y entre estos se plantea la configuración de un

protocolo de Redundancia de *Gateways* para brindar alta disponibilidad a clientes corporativos, que contraten un plan con valor agregado extra.

Entre las diferentes opciones que se estudiaron en el capítulo 1, se ha descartado a HSRP porque es un protocolo licenciado por Cisco y cuya funcionalidad es muy similar a VRRP; por lo tanto se ha escogido a dos protocolos: VRRP que es un protocolo estandarizado y GLBP que aunque es un protocolo propietario, ofrece mejores prestaciones.

GLBP es un protocolo propietario de Cisco y considerando que el *router* MPLS en Loja - Centro es Cisco; se debería implementar GLBP en caso que el segundo equipo a integrar en la matriz sea Cisco, caso contrario VRRP. En la Tabla 3.1 se establece una comparación entre las diferentes opciones.

Características del Protocolo	VRRP (<i>Virtual Redundancy Router Protocol</i>)	HSRP (<i>Hot Standby Router Protocol</i>)	GLBP (<i>Gateway Load Balancing Protocol</i>)
Rol del Router	<ul style="list-style-type: none"> • 1 <i>router Master</i>. • 1 o más <i>routers</i> de <i>Backup</i>. • Hasta 255 grupos VRRP por enlace físico. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 <i>router Activo</i>. • 1 <i>router</i> de <i>Standby</i> • 1 o más <i>routers</i> en <i>Listening</i>. • Hasta 4096 grupos HSRP por enlace físico. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 <i>router</i> como <i>Active Virtual Gateway</i>. • 1 <i>router</i> como <i>Standby Virtual Gateway</i>. • Hasta 4 <i>routers Active Virtual Forwarders</i> en un grupo, el resto en <i>Listen</i>. • Hasta 1024 grupos GLBP por enlace físico.
Estándar	IETF - RFC 5798	IETF - RFC 2281 Licenciado por Cisco	Propietario de Cisco
Elección	<i>Router Master</i> : 1- Prioridad más alta. 2- IP más alta.	<i>Router Activo</i> : 1- Prioridad más alta. 2- IP más alta.	<i>Active Virtual Gateway</i> : 1- Prioridad más alta. 2- IP más alta.
Balaneo de Carga	Múltiples grupos VRRP por interfaz.	Múltiples grupos HSRP por interfaz.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Weighted</i>. • <i>Host-Dependent</i>. • <i>Round-Robin</i>.
Funcionalidad	Requiere una distribución apropiada de la IP del <i>Gateway Virtual</i> por Clientes para un óptimo balanceo de carga (generalmente usando DHCP).	Requiere una distribución apropiada de la IP del <i>Gateway Virtual</i> por Clientes para un óptimo balanceo de carga (generalmente usando DHCP).	Los clientes se actualizan transparentemente con las direcciones MAC virtuales mediante peticiones de ARP hacia el <i>Gateway virtual</i> para el balanceo de carga.

Tabla 3.1 - Cuadro Comparativo de los Protocolos de Redundancia de *Gateways*

El desempeño de estos protocolos de acuerdo a Cisco respecto al tiempo de convergencia se presenta en la Figura 3.1.

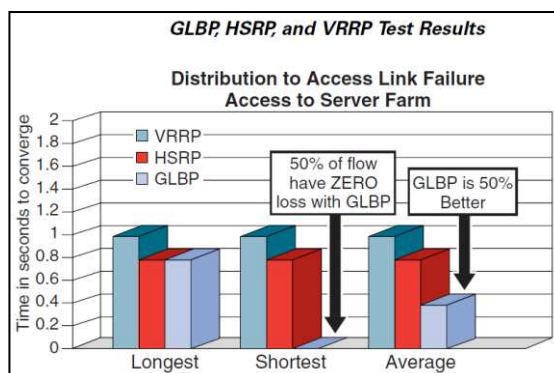


Figura 3.1 - Comparación de la Convergencia entre VRRP, HSTP y GLBP ^[32]

De las pruebas de laboratorio correspondientes a HSRP y GLBP que se adjuntan en el ANEXO C, se puede concluir que GLBP superó notablemente a HSRP, respecto a la menor cantidad de paquetes perdidos desde la perspectiva de un cliente, cuando converge la red luego de una falla.

3.2.2.2 Soluciones para la Red de Acceso

En primera instancia se descartan los protocolos que utilizan un único árbol de expansión como STP y RSTP debido a que no utilizan toda la infraestructura disponible en la red para el encaminamiento del tráfico; estos protocolos bloquean lógicamente un enlace para evitar bucles. Los protocolos de múltiples árboles de expansión, tienen como finalidad mejorar la utilización de enlaces, dentro de estos protocolos están PVST, PVST+, RPVST y MST; también existe REP que es un protocolo propietario y que emplea una lógica en anillos; y finalmente existen protocolos como TRILL y SPB que utilizan funcionalidades de enrutamiento.

Al sustituir a STP con RSTP se logró reducir notablemente el tiempo de convergencia; no obstante, debido a que este protocolo se basa en árboles de expansión, sufre inconvenientes de que el árbol de expansión minimiza la distancia desde el *root bridge* hasta cada nodo de la red, pero no minimiza las distancias entre nodos a través del árbol.

La carga computacional en los dispositivos que utilicen PVST podría ser excesiva al crear un gran número de árboles de expansión, razón por la que posteriormente

fue propuesto el protocolo MSTP, que se basa en la configuración de varias instancias que corresponden a varios árboles de expansión dentro de una determinada región. Se asignan VLANs a las diferentes instancias MSTP para lograr que el tráfico se encamine por redes virtualmente independientes dentro de una misma red física, dando como resultado mayor utilización de la infraestructura de la red y menor cantidad de BPDUs, ya que se reducen el número de instancias; sin embargo el principal inconveniente de MSTP es su complejidad de configuración y *troubleshooting*⁴⁰.

REP permite que la convergencia de la red esté en el orden de milisegundos, su implementación es relativamente simple, también facilita la construcción de redes complejas con balanceo de carga y simplifica el *troubleshooting*; sin embargo los inconvenientes de este protocolo es que genera un mayor número de saltos que el esperado para el balanceo de tráfico y además es propietario de Cisco. Por lo tanto se recomienda el empleo de REP en escenarios con topologías que formen anillos de pocos equipos Cisco.

TRILL y SPB emplean IS-IS para lograr el envío de paquetes por los caminos más cortos y tener una visión completa de la topología de la red. TRILL puede calcular múltiples árboles para que el tráfico pueda ser balanceado sobre varios enlaces. SPB se basa en enraizar árboles de expansión en cada uno de los *switches* frontera, para obtener caminos mínimos; es ideal para topologías *mesh*, pero aún no está estandarizado.

En la Tabla 3.2 se presenta una comparación de todos los protocolos de redundancia en Capa Enlace que se han estudiado en el Capítulo 1, de los cuales luego de haberlos analizado, y de acuerdo a las pruebas de laboratorio correspondientes a MST y REP que se adjuntan en el ANEXO D, se puede concluir que REP superó a MST, respecto al menor número de paquetes perdidos desde la perspectiva de un cliente, cuando converge la red luego de una falla.

⁴⁰ *Troubleshooting*, hace referencia a una forma de resolución de problemas dentro de un proceso de producción, es una búsqueda sistemática y lógica de soluciones para lograr que el proceso vuelva a estar en operación.

En el capítulo anterior sobre la situación actual, se analizó que la Red de Nodos es básicamente una Red de Acceso, el único equipo de distribución con el que se cuenta al iniciar con este proyecto es el LOJA01, que corresponde al *router* de la OC; se ha previsto la ampliación de la red en dos etapas, en una primera etapa se incorporan tres equipos de capa 3, y en una segunda etapa se incorporan dos equipos más de estas características.

La planificación de la ampliación de la red en dos etapas, se debe a que el presupuesto para un proyecto de esta magnitud se solicita en dos años, tiempo en el cual es posible su implementación; se considera en una primera etapa la construcción e incorporación de los cuatro nodos que se requiera con mayor urgencia por la demanda de clientes de estos sectores, mientras que en una segunda etapa se incorporarán el resto de nodos.

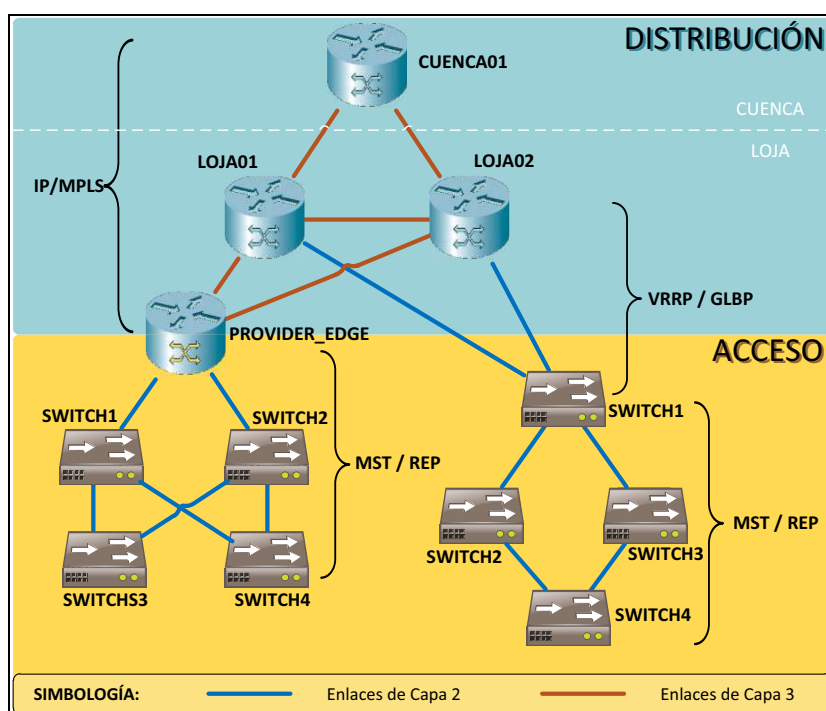


Figura 3.3 - Diagrama Genérico para la Red de Nodos

Por lo tanto la red de la CNT para la ciudad de Loja, contará con una Red de Distribución a más de la Red de Acceso; la Red de Distribución estará constituida por equipos de Capa 3, que se conectarán de manera redundante con LOJA01 y LOJA02; mientras que la Red de Acceso estará formada por equipos de Capa 2.

Tal como se observa en la Figura 3.3, se rediseñarán topologías redundantes para garantizar la alta disponibilidad de enlaces y balanceo de tráfico, tanto para la Red de Distribución como para la Red de Acceso.

3.2.3.1 Soluciones Escogidas para la Red de Distribución

Al contar con dos equipos de Capa 3 en la OC: LOJA01 y LOJA02, se obtienen esquemas en los cuales otro equipo de Capa 3 se enlaza redundantemente a los dos equipos de la OC, por lo tanto éste debe soportar MPLS para la correcta integración con la red de la CNT.

En este escenario se tienen diferentes rutas para llegar al destino, por lo que se debe balancear el tráfico mediante el uso adecuado de métricas de IS-IS, para determinar los diferentes caminos hacia un mismo destino. Esta tabla de enrutamiento que construye IS-IS es utilizada por MPLS para construir los LSPs basándose en las FEC, de tal manera que se utilicen todos los caminos; y, mediante el empleo de ingeniería de tráfico se logra una mejor utilización de la red al crear los LSPs con CR-LDP o RSVP-TE.

Si se trata de un equipo de Capa 2 el que se enlaza con LOJA01 y LOJA02, se obtiene un escenario diferente al anterior porque se tienen dos *Gateways*, y lo óptimo es balancear el tráfico a través de ambos enlaces; por lo tanto se deberá considerar la implementación de un protocolo para redundancia de *Gateways*, como VRRP, o GLBP, como ya se indicó anteriormente.

3.2.3.1.1 Integración con el resto de la red de la CNT-EP

Debido a que la red de Loja se integra con el resto de la red de la CNT-EP, los equipos de Capa 3 deben trabajar con IS-IS, MPLS y con sus funcionalidades como calidad de servicio (QoS), ingeniería de tráfico, inclusión de redes privadas virtuales de Capa 2 y de Capa 3; todo esto para conseguir una correcta

integración con el resto de la red de la CNT-EP, la cual tiene todos estos protocolos implementados.

Todos los equipos de Capa 3 deben soportar IS-IS, que MPLS utiliza para que los *routers* conozcan la topología completa de la red y pueda establecer los LSPs; también requieren de la configuración de MP-BGP para la distribución de la información de ruteo entre los sitios remotos del cliente, al implementar túneles de Capa 3.

En el ANEXO C se presenta también la configuración de MPLS, IS-IS, MP-BGP y creación de una VRF en los equipos de Capa 3, para la integración del Laboratorio de Pruebas con la Red de la CNT-EP, con la finalidad de contar con un escenario real para dichas pruebas.

3.2.3.1.2 Soluciones para Redundancia de Gateways

Al tener dos equipos de capa 3: LOJA01 y LOJA02, los cuales se enlazan mediante dos caminos hacia CUENCA01 y hacia un *switch*, se consigue un escenario de redundancia de *Gateways*; el tráfico de la Red de Acceso puede tomar dos caminos hacia el equipo en Cuenca, ya sea a través de LOJA01 o a través de LOJA02, no obstante el *Gateway* que ve el cliente es uno solo y el protocolo es el encargado de direccionar este tráfico.

Mientras que el tráfico de regreso, es decir desde el equipo MPLS en Cuenca hacia la Red de Acceso, dependerá del protocolo de enrutamiento el distribuir la carga, o enviar todo el tráfico hacia uno de los dos equipos: LOJA01 o LOJA02.

Entre las diferentes soluciones de redundancia de *Gateways*, o también conocidos como “*First Hop Redundancy*”, se han escogido dos alternativas: la primera es VRRP, ya que es un protocolo estandarizado y permite su interoperabilidad entre fabricantes; la segunda alternativa es GLBP que aunque es un protocolo propietario, logra balancear carga y, considerando que el equipo

LOJA01 es de marca Cisco, se podría incluir a la red otro equipo de la misma marca para LOJA02, y poder implementar este protocolo.

Este servicio de redundancia de *Gateways* está dirigido para clientes corporativos que contraten el servicio de datos o de Internet con disponibilidad mayor a 99.8% *Up Time* para la Red de Distribución; según este esquema y desde el punto de vista del cliente, éste cuenta con dos enlaces redundantes como acceso *Metro Ethernet* y dos equipos como *Gateways*, a más de la redundancia en la Red de Acceso y en última milla.

Tanto para la implementación de VRRP como de GLBP, se debe habilitar el protocolo en los equipos: LOJA01 y LOJA02, de tal manera que formen un grupo; ambos equipos tendrán un IP asignada a una VLAN dentro de una misma subred, se establecerá una IP Virtual que representará al *Gateway* del cliente. Por lo tanto se requieren cuatro direcciones IP: dos para los equipos, una IP virtual y una para la interfaz WAN del equipo del cliente; por esta razón se deberá usar una red privada con máscara de 29 bits (255.255.255.248).

Para que el cliente acceda al servicio de Internet deberá tener asignada una IP Pública Estática, y mediante NAT (*Network Address Translation*) los usuarios de la Red LAN accederán a Internet; finalmente la VLAN configurada en ambos los equipos: LOJA01 y LOJA02, deberá ser establecida a través de los enlaces troncales correspondientes a la Red de Acceso, hasta llegar al cliente.

Se han presentado dos opciones: VRRP y GLBP, porque dependiendo de la marca del equipo Capa 3 LOJA02, se podría implementar cualquiera de estos protocolos; sin embargo en las pruebas de laboratorio se constató que mediante GLBP se obtuvo una menor cantidad de pérdida de paquetes al caer los enlaces en comparación con HSRP, el cual es muy similar a VRRP; otra razón para usar GLBP es que permite balanceo de carga para una misma VLAN. Sin embargo ya que es un protocolo propietario limita su uso dependiendo de la marca de los equipos involucrados.

a. Redundancia de Gateways con VRRP

Con el uso de VRRP se debe elegir entre LOJA01 y LOJA02 el equipo “*Master*”, que será el responsable de reenviar el tráfico hacia el equipo MPLS en Cuenca que llega desde el cliente hacia la IP Virtual, mientras que el otro equipo será el “*Backup*”. Con este protocolo se consigue el balanceo de carga para una misma VLAN, al configurar dos grupos en donde un equipo es el *Master* del primer grupo y el otro equipo es el *Master* para el segundo grupo; no obstante esto conlleva a la utilización de más direcciones IP. Otra alternativa es alternar el equipo *Master* para las diferentes VLANs.

En la Figura 3.4 se muestra un esquema del funcionamiento de VRRP para la Red de la CNT-Loja.

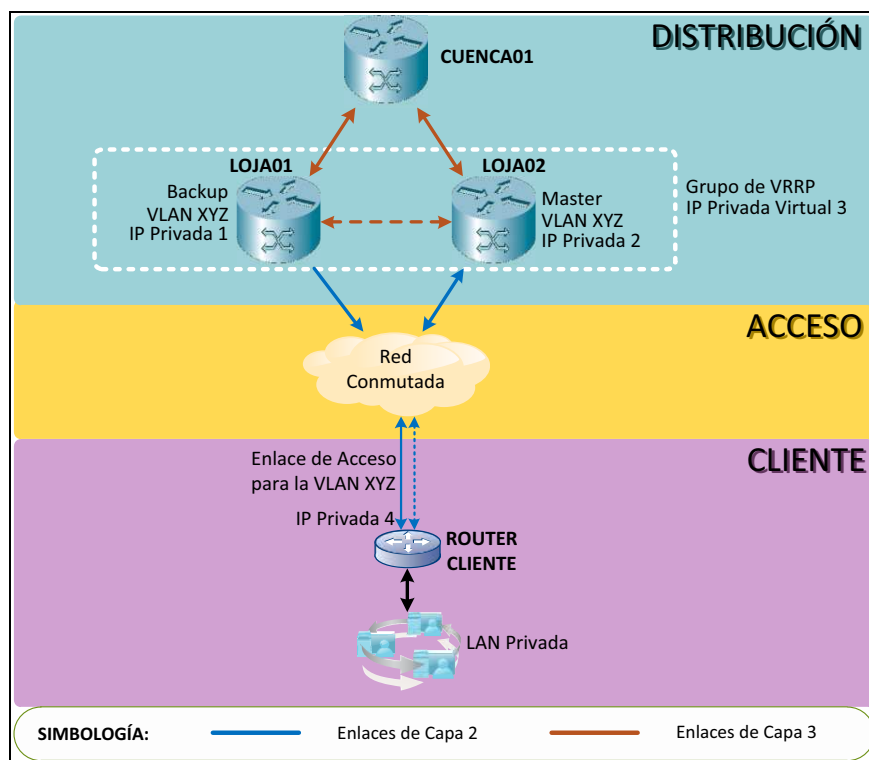


Figura 3.4 - Funcionamiento de VRRP

Se puede conseguir algunos escenarios con VRRP; uno de éstos es que el tráfico de ida, desde el cliente hacia el equipo MPLS en Cuenca vaya a través de la Red de Acceso, LOJA01 y CUENCA01, y el tráfico de regreso atraviere los mismos

equipos. Otro escenario es que tráfico de ida, desde el cliente hacia el equipo MPLS en Cuenca vaya a través de la Red de Acceso, LOJA02 y CUENCA01, y el tráfico de regreso atraviese los mismos equipos.

Sin embargo se puede lograr que el tráfico de ida desde el cliente hacia el equipo MPLS en Cuenca vaya a través de la Red de Acceso, LOJA01 y CUENCA01, y el tráfico de regreso se balancee entre LOJA01 y LOJA02; esto se logra al configurar por VRRP que el *router Master* sea LOJA02 y que el protocolo de enrutamiento balancee el tráfico por ambos caminos mediante una adecuada configuración.

Se puede observar que el equipo LOJA02 ha sido configurado como *Master* y LOJA01 como *Backup*; para el tráfico desde el cliente hacia el equipo MPLS en Cuenca se debe configurar cada VLAN de forma que se balancee el tráfico entre ambos enlaces hacia LOJA01 y LOJA02; y para que el tráfico de regreso también se distribuya entre ambos enlaces, dependerá de una correcta configuración del protocolo de enrutamiento.

b. Redundancia de Gateways con GLBP

Mediante GLBP se consigue a más del *fail-over* automático de *Gateways*, un mejor uso de recursos sin configurar múltiples grupos como en el caso de VRRP; se elige entre LOJA01 y LOJA02 un equipo que realice las funciones del “*Active Virtual Gateway*” que es el encargado de asignar una MAC Virtual a cada miembro del grupo GLBP y responder peticiones ARP para balanceo de carga; el otro equipo es el “*Standby Virtual Gateway*” que participa en el balanceo de carga.

De las tres formas que GLBP balancea carga, en escenarios como éste en el que el cliente se conecta a la Red de Acceso mediante un *router*, se recomienda la implementación de balanceo de carga de tipo “*WEIGHTED*”; mediante esta técnica se establece un peso igual en cada equipo: LOJA01 y LOJA02, de manera que el tráfico se distribuya por ambos caminos hacia el equipo MPLS en Cuenca.

En la Figura 3.5 se muestra un esquema del funcionamiento de GLBP para la Red de la CNT-Loja.

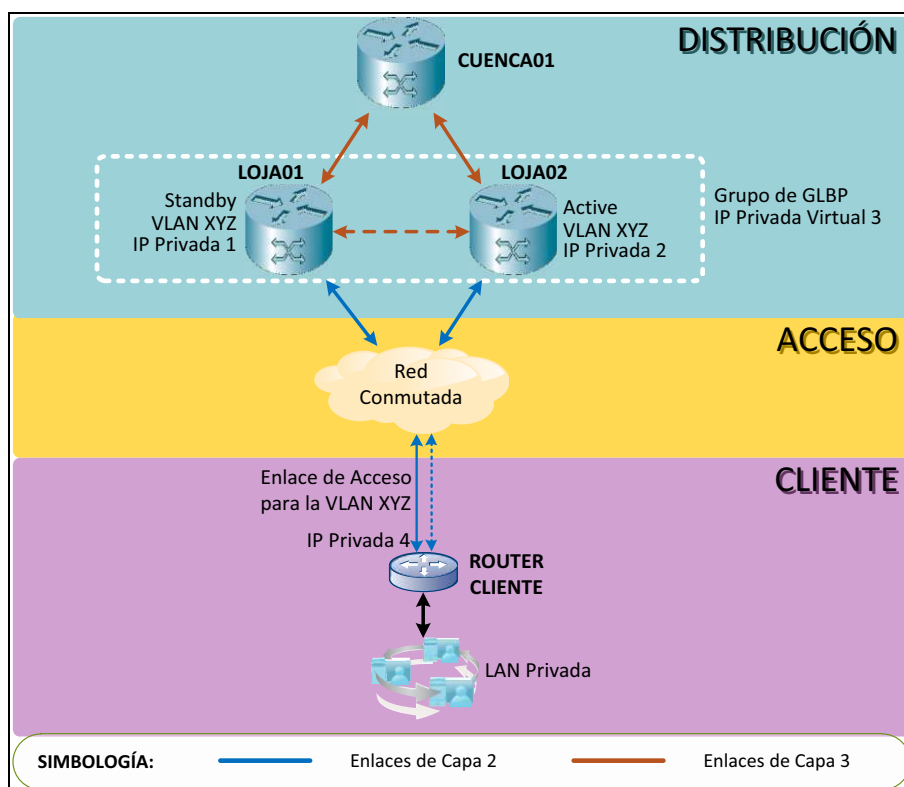


Figura 3.5 - Funcionamiento de GLBP

De esta forma se puede conseguir un escenario en el que el tráfico de ida, desde el cliente hacia el equipo MPLS en Cuenca, vaya por dos caminos; el primer camino a través de la Red de Acceso, LOJA01 y CUENCA01, y el segundo camino a través de Red de Acceso, LOJA02 y CUENCA01; el tráfico de regreso puede de igual forma balancear carga según una adecuada configuración de protocolo de enrutamiento.

En la figura anterior se puede observar que el equipo LOJA02 ha sido configurado como Activo y LOJA01 como *standby*; para el tráfico desde el cliente hacia el equipo MPLS en Cuenca se debe configurar todas las VLANs con balanceo de tráfico tipo “*WEIGHTED*”; y para que el tráfico de regreso también se distribuya entre ambos enlaces depende de la configuración del protocolo de enrutamiento.

3.2.3.2 Soluciones Escogidas para la Red de Acceso

Se puede tener algunas topologías en donde se consiga redundancia a nivel de Capa 2, por ejemplo en la Figura 3.6 se muestran dos escenarios de este tipo. En la Red de Acceso, por un lado se tiene una topología redundante entre los puertos de *switching* de un equipo PE y los *switches* de Acceso; y por otro lado se tiene una topología en anillo constituida únicamente por equipos de Capa 2.

En estas topologías redundantes se debe bloquear lógicamente ciertos enlaces, y evitar la formación de lazos que ocasionan serios problemas de desempeño en la red, a causa de tráfico replicado.

Entre las diferentes soluciones para escenarios en donde se tiene redundancia a nivel de Capa Enlace, se han escogido dos alternativas para manejar el tráfico; la primera alternativa es MST, y la segunda es REP que aunque es un protocolo propietario ha logrado reducir significativamente el tiempo de convergencia ante fallas en la red. Tanto MST como REP pueden balancear carga de tal forma que el tráfico se distribuya por toda la infraestructura física de la Red de Acceso.

3.2.3.2.1 Alta Disponibilidad en Capa Enlace con MST

a. Funcionamiento

Para trabajar con MST todos los equipos de la Red de Acceso que formen una topología redundante con presencia de lazos, deben pertenecer a una misma Región, los equipos que conformen dicha Región se encontrarán bajo un mismo control administrativo al compartir parámetros idénticos que validan su pertenencia dentro de la Región.

En la Figura 3.6 se muestran dos topologías, una formada por 5 equipos y otra formada por 4 equipos. Dentro del rediseño de esta red se han conseguido estos dos escenarios para la Red de Acceso, por lo que el tráfico de las Instancias debe

recorrer los caminos tal como se muestra en esta figura, para una correcta distribución del tráfico.

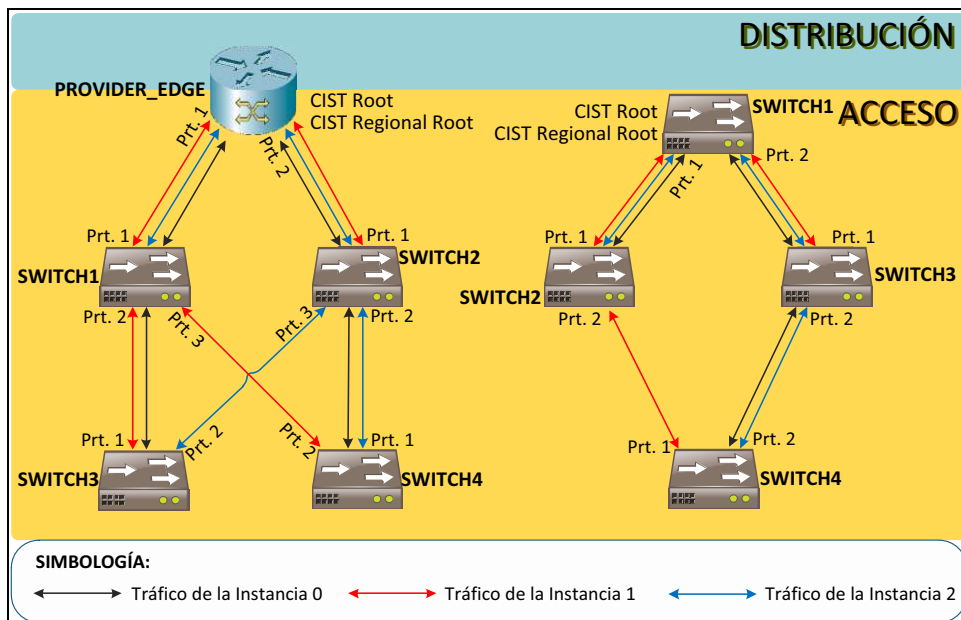


Figura 3.6 - Alta Disponibilidad en Capa Enlace con MST

De acuerdo con la topología lógica de esta red en la primera etapa de expansión, no se obtiene la interacción entre regiones, porque todas las regiones se encuentran en diferentes dominios de *broadcast* como se examinará más adelante; por lo tanto dentro de cada región el “CIST Root” es el mismo equipo que el “CIST Regional Root”. Este equipo deberá ser el *switch* con el *Bridge ID* más bajo entre los equipos dentro de su región.

Para todas las regiones se debe configurar los mismos parámetros para identificar a la región; a pesar de que no se tenga interacción entre regiones, se recomienda esto para mantener lo más simplificada posible la configuración por razones de *troubleshooting*.

b. Balanceo de Carga

Para lograr el balanceo de carga a través de toda la infraestructura física con este protocolo, se pueden asociar varias VLANs a una misma instancia, lo que permite

optimizar la carga computacional en los equipos, debido a que el procesamiento de BPDUs se realiza por cada instancia más no por cada VLAN; como consecuencia también se reduce el tráfico generado por las BPDUs. Esto se consigue al modificar los costos de MST en los enlaces que conectan a los equipos dentro de una Región, pero de forma diferente para cada Instancia.

En la Figura 3.6 se muestran los ejemplos del funcionamiento de MST en topologías redundantes para la Red de Acceso de la CNT-Loja. Se puede observar que se han definido tres Instancias: la Instancia 0 corresponde al tráfico de la VLAN Nativa o de Gestión, y las Instancias 1 y 2 que corresponden a dos grupos de VLANs diferentes.

El lograr que el tráfico recorra los caminos correspondientes a cada Instancia tal como se muestra en la Figura 3.6, se lo consigue mediante la configuración de costos en los puertos que conectan a todos los equipos.

Cada instancia realiza ciertos bloqueos lógicos evitando lazos; para el escenario de la izquierda que cuenta con 5 equipos, el bloqueo se realiza de la siguiente forma:

- **Instancia 0:** entre *SWITCH1 – SWITCH4* y entre *SWITCH2 – SWITCH3*.
- **Instancia 1:** entre *SWITCH2 – SWITCH4* y entre *SWITCH2 – SWITCH3*.
- **Instancia 2:** entre *SWITCH1 – SWITCH3* y entre *SWITCH1 – SWITCH4*.

Mientras que para el escenario de la derecha que cuenta con 4 equipos, el bloqueo se realiza como se indica a continuación:

- **Instancia 0:** entre *SWITCH2 – SWITCH4*.
- **Instancia 1:** entre *SWITCH3 – SWITCH4*.
- **Instancia 2:** entre *SWITCH2 – SWITCH4*.

En la Tabla 3.3 se presentan los costos de los enlaces para conseguir el balanceo de tráfico en una topología redundante, conformada por cinco equipos con funcionalidades de Capa 2; este escenario corresponde a la topología de la izquierda de la Figura 3.6.

INTERFACES	INSTANCIAS	PROVIDER_EDGE	SWITCH1	SWITCH2	SWITCH3	SWITCH4
Puerto 1	Instancia 0	10	10	10	10	10
	Instancia 1	10	10	10	10	20
	Instancia 2	10	10	10	20	10
Puerto 2	Instancia 0	10	10	10	20	20
	Instancia 1	10	10	20	20	10
	Instancia 2	10	20	10	10	20
Puerto 3	Instancia 0	----	20	20	----	----
	Instancia 1	----	10	20	----	----
	Instancia 2	----	20	10	----	----

Tabla 3.3 - Costos de MST en una topología redundante de 5 equipos

En la Tabla 3.4 se indican los costos de los enlaces para conseguir el balanceo de tráfico en una topología redundante conformada por cuatro equipos de Capa 2; este escenario corresponde a la topología de la derecha de la Figura 3.6.

INTERFACES	INSTANCIAS	SWITCH1	SWITCH2	SWITCH3	SWITCH4
Puerto 1	Instancia 0	10	10	10	20
	Instancia 1	10	10	10	10
	Instancia 2	10	10	10	20
Puerto 2	Instancia 0	10	20	10	10
	Instancia 1	10	10	20	20
	Instancia 2	10	20	10	10

Tabla 3.4 - Costos de MST en una topología redundante de 4 equipos

La implementación de MST con balanceo de carga requiere de cierta complejidad en la configuración y adiestramiento del personal; la configuración genérica presentada en esta sección se adapta a los escenarios que se tengan en la Red de Acceso, siempre y cuando todos los enlaces se encuentren operativos.

Si uno de los enlaces falla se recalculará automáticamente el camino para la recirculación del tráfico, en este caso también es posible modificar aún más los valores de los costos⁴¹ en los enlaces, con el objetivo de definir una ruta predecible por donde deba converger el protocolo en caso de falla de enlaces; sin embargo para reducir la complejidad en la configuración no se recomienda esto.

Finalmente, por fiabilidad se debe habilitar MST en todos los equipos con funcionalidades de Capa 2 que integren la red, de tal forma que se eviten lazos que se presentan en topologías con enlaces redundantes.

3.2.3.2.2 *Alta Disponibilidad en Capa Enlace con REP*

a. Funcionamiento

Mediante REP, todos los equipos de la Red de Acceso que tengan funcionalidades de Capa 2, y que formen una topología redundante con presencia de lazos deben tener habilitado este protocolo en los enlaces involucrados; el funcionamiento de REP se basa en anillos cerrados o abiertos llamados Segmentos, cada Segmento debe tener un “*Primary Edge*” y un “*Secondary Edge*” que son los puertos en donde inicia y termina el anillo.

Más adelante en la Figura 3.7 se observará que el Segmento 1 corresponde a un anillo cerrado, ya que el “*Primary Edge*” y el “*Secondary Edge*” se encuentran en el mismo equipo; mientras que el Segmento 2 es un anillo abierto, en donde el “*Primary Edge*” y el “*Secondary Edge*” se encuentran en equipos diferentes.

Los interfaces de los equipos que conforman un segmento se identifican mediante los “*Offset Numbers*”, los valores positivos van desde el “*Edge Primary*” hasta el “*Edge Secondary*” y los valores negativos desde el “*Edge Secondary*” hasta el “*Edge Primary*”. En la Figura 3.7 se indica esta numeración para cada segmento.

⁴¹ Costos asumidos, que permitirán tener balanceo de carga.

b. Balanceo de Carga ^[61]

Para lograr el balanceo de carga a través de toda la infraestructura física, se elige un grupo de VLANs cuyo tráfico será bloqueado en un puerto determinado llamado “*Preffered Port*”, mientras que el resto de VLANs serán siempre bloqueadas en el *Primary Edge*.

Para el segundo grupo de VLANs que se bloquean en el *Primary Edge* se obtiene una topología lógica con más saltos, en comparación con el primer grupo de VLANs que se bloquea en el *Preffered Port*; sin embargo en las pruebas de laboratorio se constató que al “caer” los enlaces se pierden pocos paquetes: uno o dos en el caso de la VLANs bloqueadas en el *Primary Edge*, mientras que no se registraron pérdidas para el grupo de VLANs bloqueado en el “*Preffered Port*”.

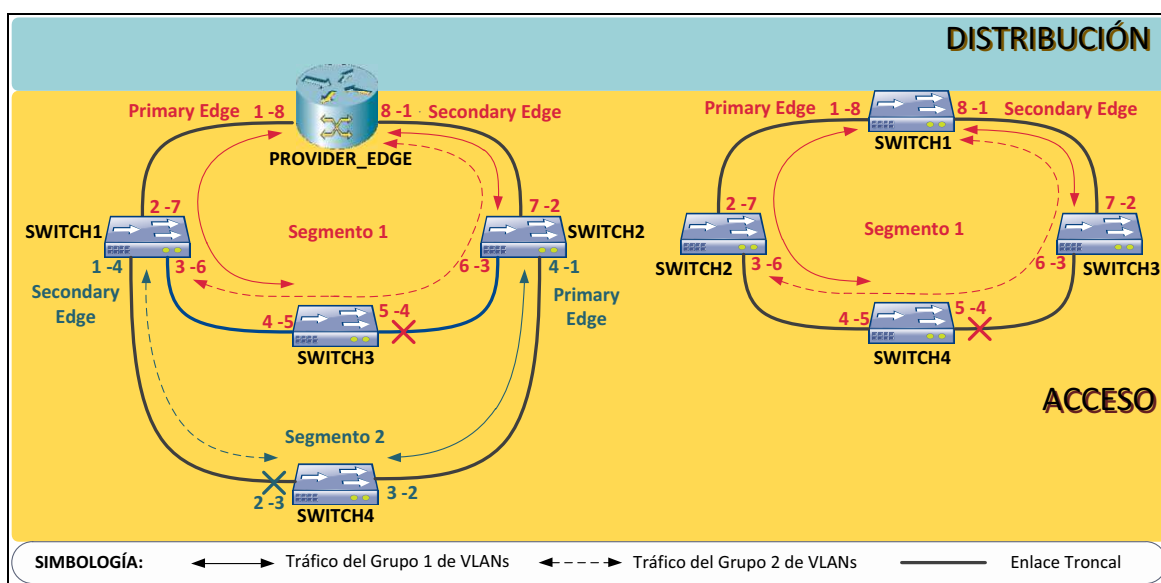


Figura 3.7 - Alta Disponibilidad en Capa Enlace con REP

Debido a los resultados de las pruebas de laboratorio, no es crítica la definición de las VLANs a ser bloqueadas en ambos puertos, basta con mantener un balance igual de las VLANs bloqueadas en el “*Preffered Port*” y en el “*Primary Edge*”. Para las topologías obtenidas en este proyecto se recomienda ubicar el “*Preffered Port*” en la posición:

$$Preferred_Port = \frac{Max_Offset_Number}{2} + 1$$

Es decir, el “*Max_Offset_Number*” del Segmento 1 es 8, por lo tanto el “*Preferred Port*” se ubicará en la posición 5; mientras que en el Segmento 2, el “*Max_Offset_Number*” es 4, por lo que el “*Preferred Port*” se ubicará en la posición 3. En la Figura 3.7 se observa mediante una línea continua el recorrido del tráfico del Grupo 1 de VLANs, que corresponde al tráfico bloqueado en el “*Preferred Port*”; y las líneas entrecortadas representan al tráfico del Grupo 2 de VLANs que se bloquean en el “*Primary Edge*”.

En la Figura 3.7 se muestran los dos ejemplos genéricos del funcionamiento de REP en topologías redundantes para la Red de Acceso de la CNT-Loja; una topología formada por 5 equipos que cuenta con dos Segmentos y otra formada por 4 equipos con un solo Segmento. Dentro del rediseño de esta red se obtienen cualquiera de estos dos escenarios en la Red de Acceso. Para visualizar mejor el funcionamiento de REP se han ubicado los equipos de diferente forma que en el caso anterior, sin embargo es la misma topología lógica de MST.

Como se puede observar en la Figura 3.7, se obtienen topologías con uno o dos segmentos; el Segmento 1 está formado por cuatro equipos, en este caso el “*Primary Edge*” y el “*Secondary Edge*” se configura en los puertos de Capa 2 de un mismo equipo; mientras que al Segmento 2 lo conforman tres equipos, en este caso el “*Primary Edge*” y el “*Secondary Edge*” se encuentran en dos equipos diferentes.

Cada segmento realiza ciertos bloqueos lógicos para el correcto balanceo de tráfico, el bloqueo en el Segmento 1 se realiza de la siguiente forma:

- Para el escenario de la izquierda con 5 equipos:
 - **Grupo 1 de VLANs:** bloqueo entre *SWITCH2* – *SWITCH3*.
 - **Grupo 2 de VLANs:** bloqueo entre *PROVIDER_EDGE* – *SWITCH1*.

- Para el escenario de la derecha con 4 equipos:
 - **Grupo 1 de VLANs:** bloqueo entre *SWITCH3* – *SWITCH4*.
 - **Grupo 2 de VLANs:** bloqueo entre *SWITCH1* – *SWITCH2*.

Mientras que para el Segmento 2, el bloqueo se realiza como se indica a continuación:

- Para el escenario de la izquierda con 5 equipos:
 - **Grupo 1 de VLANs:** bloqueo entre *SWITCH1* – *SWITCH4*.
 - **Grupo 2 de VLANs:** bloqueo entre *SWITCH2* – *SWITCH4*.

La implementación de REP con balanceo de carga es más sencillo de implementar que MST, y aunque no se logra implementar topologías lógicas que sean óptimas, en estos escenarios en que se tiene pocos equipos que forman un lazo, REP constituye una solución relativamente más simple y con mejores resultados que MST. Finalmente como medida de seguridad se recomienda no deshabilitar *Spanning Tree* en los equipos ya que REP se configura únicamente en los interfaces involucrados.

3.2.4 REDISEÑO DE LA RED

Al iniciar con el rediseño de la Red de Nodos, se incluye el equipo de Capa 3: LOJA02 en la OC, con esto se tienen dos equipos: LOJA01 y LOJA02 que se enlazan redundantemente hacia Cuenca.

Este proyecto se llevará a cabo en dos etapas, cada una contará con la inserción de cuatro nodos más a la red, y también se cambian algunos equipos de Capa 2 a Capa 3. Estos cambios y los nuevos nodos introducen variaciones en la red, por lo que en esta sección se presenta el rediseño de la topología física y consideraciones para la reingeniería para la topología lógica en cada etapa.

Finalmente se indican las características técnicas que deben soportar los equipos y se realiza una comparación entre dos marcas.

3.2.4.1 Primera Etapa

Para la primera etapa dentro de la expansión de la Red de Nodos se cuenta con cuatro equipos modulares Capa 3: dos en Loja - Centro, uno en Loja - Sur y uno en San Cayetano Bajo. En la primera etapa se planifica la construcción e incorporación de cuatro nodos más a la red en el sector Sur de la ciudad; también para esta etapa se proyecta el tendido de siete caminos de fibra para garantizar redundancia en los enlaces, y contar con el tendido de fibra que servirá para proyectarse a la siguiente etapa.

3.2.4.1.1 Esquema Físico de la Primera Etapa

Partiendo de la Red de Nodos actual con topología física en anillo se definen los nuevos caminos para el recorrido de los cables de fibra.

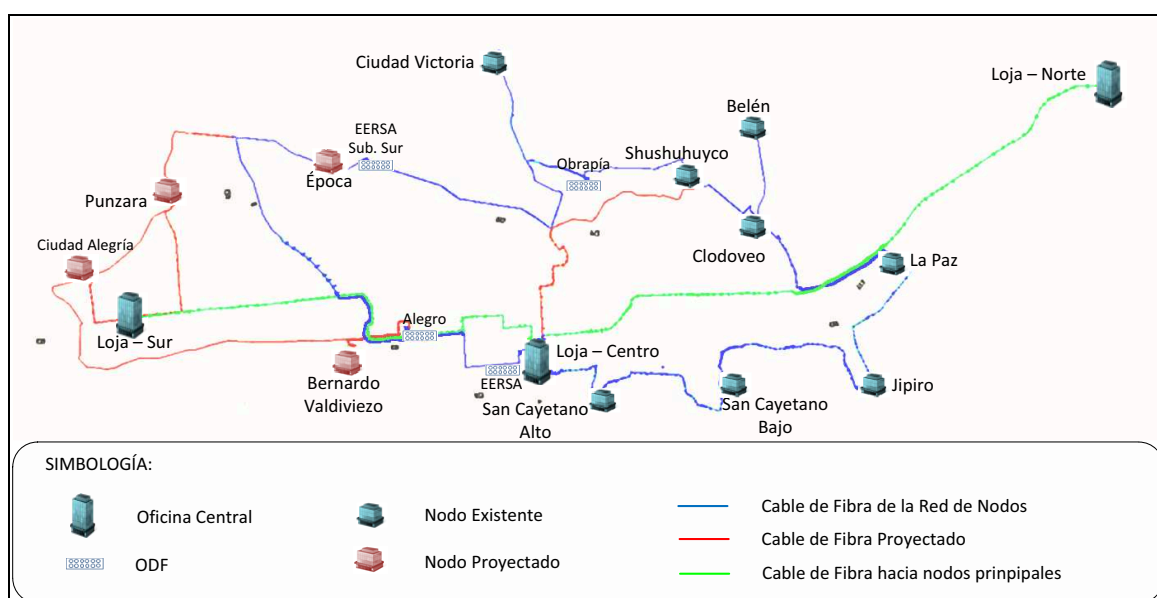


Figura 3.8 - Diagrama de la Red de Nodos Primera Etapa

En la Figura 3.8 se observa la red existente en forma de anillo (color azul), así como los Nodos Loja - Sur y Loja Norte que se enlazan con tendidos de fibra

subterráneo (color verde) a la matriz Loja - Centro, ODFs y los recorridos de fibra proyectados (color rojo) que se deben implementar en esta etapa. Los nuevos nodos (nodos color rojo) que se incorporarán a la red en esta etapa son:

- Época
- Punzara
- Ciudad Alegría
- Bernardo Valdivieso

Para realizar la proyección del nuevo tendido de fibra se ha tomado en cuenta la viabilidad para utilizar la canalización o postes existentes, y como resultado de este estudio se han proyectado siete recorridos de cables de fibra que se detallan a continuación:

- Recorrido Shushuhuayco – Loja Centro: consiste en un tramo de 3034 metros, de los cuales se va a reutilizar el cableado de fibra existente de 6 hilos de 865 metros que va desde la matriz Loja - Centro hasta el Hospital Isidro Ayora. También se requerirá implementar un empalme para la interconexión del cableado a reutilizar con el nuevo tendido de fibra.
- Recorrido Alegro – Bernardo Valdivieso: requiere un tendido de 795 metros de cable de fibra.
- Recorrido Bernardo Valdivieso – Ciudad Alegría: constituido por un tramo de 4028 metros. Para este recorrido se debe prever la futura inclusión de un nodo más en la siguiente etapa por lo que se recomienda dejar como reserva 20 metros adicionales en el cableado en el sector de El Rosal.
- Recorrido Ciudad Alegría – Loja Sur: consta de un tramo de 1176 metros de cable de fibra.
- Recorrido Loja Sur – Punzara: necesita un tendido de 1691 metros de cable de fibra.
- Recorrido Ciudad Alegría – Punzara: consiste en un tramo de 1859 metros de cable de fibra.

- Recorrido Punzara – Época: constituido por un tramo de 2301 metros. En este tramo se incluirá un nodo más en la siguiente etapa, y en este caso no se deja reserva de fibra porque es un tramo considerable, por lo que en la siguiente etapa se incluyen algunas consideraciones para este caso.

En la Tabla 3.5 se detalla la cantidad de metros del tendido de fibra en cada recorrido, ya sea ésta aérea o canalizada.

Recorrido	Distancia fibra aérea (m)	Distancia fibra canalizada (m)	Total (m)
Loja Centro – Shushuwayco	1609	1425	3034
Bernardo Valdivieso – Alegro	309	486	795
Bernardo Valdivieso – Ciudad Alegría	2799	1229	4028
Ciudad Alegría – Loja Sur	996	180	1176
Punzara – Loja Sur	1691	-----	1691
Punzara – Ciudad Alegría	1859	-----	1859
Punzara – Época	2301	-----	2301

Tabla 3.5 - Detalle del tendido de fibra en cada recorrido de la Primera Etapa

De todos estos nuevos cables de fibra, se utilizarán dos hilos para la interconexión de nodos, uno para transmisión y el otro para recepción entre los equipos Capa 2 o Capa 3. Los nuevos nodos que se incluyen en esta etapa, estructuralmente tienen igual equipamiento como el resto de nodos; es decir pueden estar conformados por un MSAN para la parte de telefonía, por un DSLAM dependiendo si existe o no demanda de Internet en el sector y por un *switch* que interconecta a los nodos a más del equipamiento pasivo.

En la Figura 3.9, se puede observar un esquema de la topología física de la Red de Nodos en esta Primera Etapa, en la figura se indica la distancia entre los Nodos. Los enlaces físicos existentes (color azul) son de 24 hilos de fibra, la capacidad del cableado de fibra subterráneo (color verde) es de 12 hilos desde Loja - Sur a Loja - Centro, los cuales se encuentran todos ocupados; y el cableado desde Loja - Centro hasta Loja - Norte 6 hilos, de los cuales dos se

encuentran libres; la capacidad para el nuevo cableado de fibra (color rojo) debe ser de 24 hilos, como ya se lo explicará más adelante.

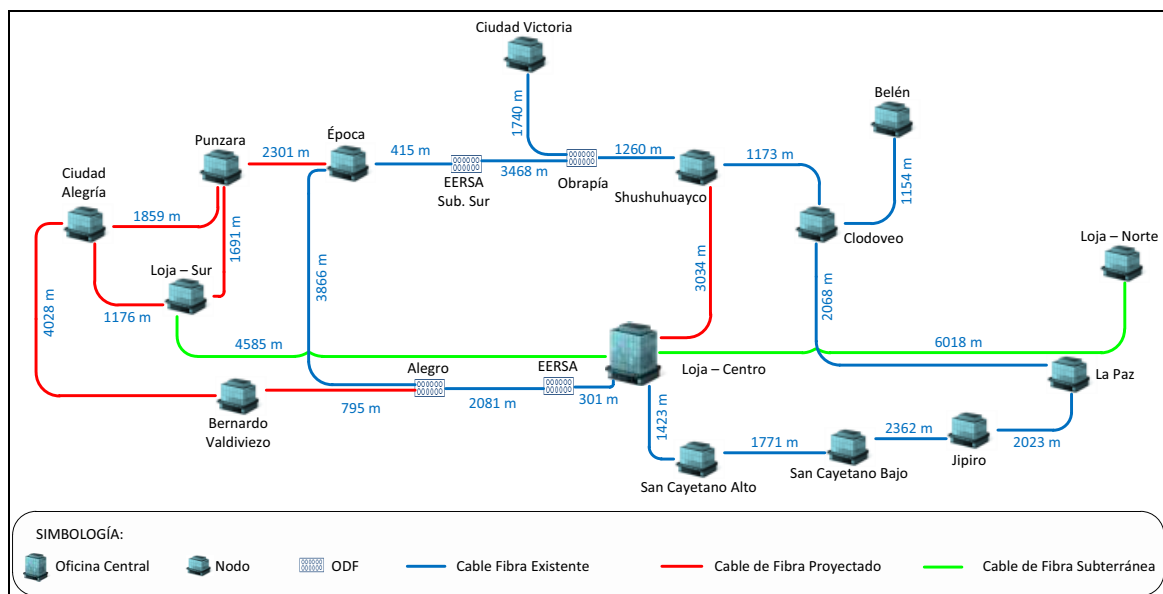


Figura 3.9 - Esquema de la Topología Física de la Red de Nodos, Primera Etapa

En el ANEXO E se adjunta el plano correspondiente a la Primera Etapa de la ampliación de esta red, en donde se puede visualizar de mejor manera el recorrido del cableado de fibra con medidas de distancias, ubicación exacta de los nodos, y la existencia de canalización y postes.

3.2.4.1.2 Esquema Lógico de la Primera Etapa

En la Figura 3.10 se puede observar que todos los equipos de Capa 3 constituyen la Red de Distribución. En la Matriz (Loja - Centro) se encuentran los dos equipos de Capa 3: LOJA01 y LOJA02, desde los cuales se conecta de manera redundante a otros equipos para interconectar a la Red de Acceso con el equipo MPLS en Cuenca.

Los equipos con funcionalidades de Capa 2 forman la Red de Acceso; estos equipos se encuentran agrupados por Zonas Geográficas. Tanto la Red de Distribución como la Red de Acceso han sido rediseñadas de tal manera que se cuente con enlaces redundantes.

En la Figura 3.10 se indican los recorridos de los enlaces lógicos; se muestra la abreviatura del nombre de los Nodos que mediante ODFs se conectan entre sí, que es por donde los enlaces lógicos deben atravesar; también se especifican las distancias para dichos enlaces lógicos.

Para el rediseño de la topología lógica de la red se ha analizado la utilización de enlaces físicos con los que se cuenta en esta primera etapa, también se han estudiado los posibles escenarios que se presentan ante la caída de enlaces y finalmente se ha considerado la mayor simplicidad posible.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones, en la Figura 3.10 se presenta el esquema de la topología lógica de la Red de la CNT-Loja en su Primera Etapa de Ampliación.

a. Análisis de las Zonas

La Zona Sur se conecta con LOJA01 y LOJA02 mediante dos enlaces de Capa 3 desde el equipo LOJASUR01, estos enlaces van por un mismo cable de fibra subterránea. LOJASUR01 se conecta con PUNZARA01 mediante dos enlaces lógicos que atraviesan dos caminos físicos diferentes y de igual forma se conecta con CIUDADALE01; PUNZARA01 y CIUDADALE01 se conectan con EPOCA01 y BERNARDO01 mediante caminos físicos diferentes, todo esto para garantizar la continuidad de servicios al caer enlaces.

La Zona Occidental se conecta con LOJA01 y LOJA02 mediante dos enlaces troncales con el equipo SHUSHUHUAYCO01, estos enlaces van por caminos físicos diferentes; para esta zona se ha conseguido una topología lógica en anillo con los *switches*: SHUSHUHUAYCO01, CIUDADVIC01, BELEN01 y CLODOVEO01. Ha sido necesaria la proyección de dos enlaces redundantes desde SHUSHUHUAYCO01 hacia CIUDADVIC01, y de igual forma hacia CLODOVEO01 debido a un análisis previo sobre la afectación de caída de enlaces en la zona.

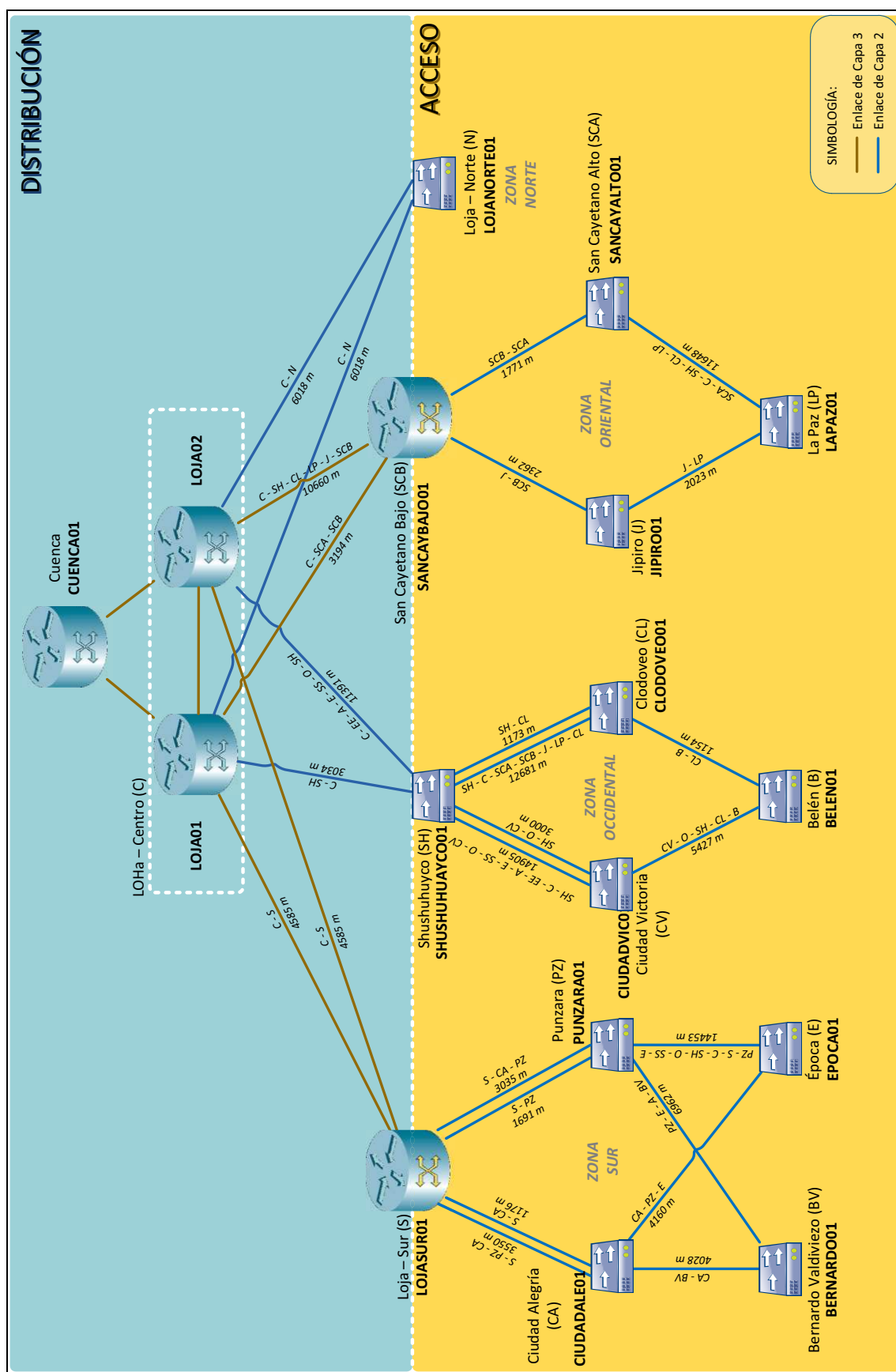


Figura 3.10 - Topología Lógica Propuesta para la Red de Nodos Primera Etapa

La Zona Oriental se conecta con LOJA01 y LOJA02 mediante dos enlaces de Capa 3 desde el equipo SANCAYBAJO01; estos enlaces van por caminos físicos diferentes. Para esta zona se ha conseguido una topología física y lógica en anillo con los *switches*: SANCAYBAJO01, JIPIRO01, LAPAZ01 y SANCAYALTO01, asegurando así alta disponibilidad para esta zona.

La Zona Norte se conecta con LOJA01 y LOJA02 mediante dos enlaces troncales desde el equipo LOHLNM01; estos enlaces van por un mismo cable de fibra subterránea; en esta primera etapa esta zona solo tiene un nodo.

En la Zona Sur y en la Zona Occidental se ha propuesto la creación de enlaces lógicos redundantes para la conexión entre dos nodos, esto se debe a que se ha visto la necesidad de contar con enlaces redundantes tal como se observa en la Figura 3.10, con el objetivo de asegurar la continuidad del servicio, debido a que la topología física de estas zonas dificultan la redundancia a nivel lógico.

b. Análisis de los Enlaces Físicos y Lógicos

Al “caer” una conexión física se pueden perder de uno a cinco enlaces lógicos, estas fallas afectan a una o dos zonas; sin embargo mediante este rediseño no se aísla ningún nodo debido a los caminos redundantes que se han establecido. En la Tabla 3.6 se indican los enlaces lógicos que atraviesan por todas las conexiones físicas para la Primera Etapa y su capacidad en cuanto a hilos de fibra oscura.

Enlace Físico	Enlaces Lógicos	Hilos Totales	Hilos A utilizar	Hilos Libres
Loja Centro – San Cay. Alto	La Paz – San Cay. Alto Shushuhuayco – Clodoveo	24	4	20
San Cay. Alto – San Cay. Bajo	San Cay. Alto – San Cay. Bajo Shushuhuayco – Clodoveo	24	4	20
San Cay. Bajo – Jipiro	San Cay. Bajo – Jipiro Shushuhuayco – Clodoveo	24	4	20
Jipiro – La Paz	Jipiro – La Paz Shushuhuayco – Clodoveo	24	4	20
La Paz – Clodoveo	La Paz – San Cay. Alto Shushuhuayco – Clodoveo	24	4	20

(continúa)

Enlace Físico	Enlaces Lógicos	Hilos Totales	Hilos A utilizar	Hilos Libres
Clodoveo – Belén	Clodoveo – Belén Ciudad Victoria – Belén	24	4	20
Clodoveo – Shushuhuayco	Ciudad Victoria – Belén Shushuhuayco – Clodoveo La Paz – San Cay. Alto	24	6	18
Shushuhuayco – Loja Centro	La Paz – San Cay. Alto Loja Centro – Shushuhuayco Shushuhuayco – Clodoveo Shushuhuayco – Ciudad Victoria Época – Punzara	24	10	14
Shushuhuayco – Otrapía	Época – Punzara Shushuhuayco – Ciudad Victoria Ciudad Victoria – Belén Loja Centro – Shushuhuayco	24	8	16
Otrapía – Ciudad Victoria	Ciudad Victoria – Belén 2 Shushuhuayco – Ciudad Victoria	24	6	18
Otrapía – EERSA Sub. Sur	Loja Centro – Shushuhuayco Shushuhuayco – Ciudad Victoria Época – Punzara	24	6	18
EERSA Sub. Sur – Época	Loja Centro – Shushuhuayco Shushuhuayco – Ciudad Victoria Época – Punzara	24	6	18
Época – Punzara	Punzara – Bernardo V. Ciudad Alegría – Época	24	4	20
Época – Alegro	Loja Centro – Shushuhuayco Shushuhuayco – Ciudad Victoria Punzara – Bernardo V.	24	6	18
Punzara – Ciudad Alegría	Loja Sur – Punzara Loja Sur – Ciudad Alegría Ciudad Alegría – Época	24	6	18
Punzara – Loja Sur	Loja Sur – Punzara Loja Sur – Ciudad Alegría Época – Punzara	24	6	18
Loja Sur – Ciudad Alegría	Loja Sur – Punzara Loja Sur – Ciudad Alegría	24	4	20
Ciudad Alegría – Bernardo V.	Ciudad Alegría – Bernardo V.	24	2	22
Bernardo V. – Alegro	Punzara – Bernardo V.	24	2	22
Alegro – EERSA	Shushuhuayco – Ciudad Victoria Loja Centro – Shushuhuayco	24	4	20
EERSA – Loja Centro	Shushuhuayco – Ciudad Victoria Loja Centro – Shushuhuayco	24	4	20
Loja Centro – Loja Sur	2 Loja Centro – Loja Sur Época – Punzara	24	6	18
Loja Centro – Loja Norte	2 Loja Centro – Loja Norte	24	4	20

Tabla 3.6 - Detalle de los enlaces físicos de Fibra para la Primera Etapa.

En todos los enlaces físicos quedan hilos disponibles en los cables de fibra; para el cableado subterráneo Loja-Sur – Loja-Centro – Loja-Norte, es necesario planificar un nuevo tendido de fibra debido a que ya no existe capacidad en estos

enlaces, y se recomienda que el nuevo tendido de fibra tenga una capacidad de 24 Hilos, tal como se lo explicará en el análisis de costos del siguiente capítulo.

El retardo se produce por la distancia que deben recorrer los datos a la velocidad de la luz, ya que todos los enlaces son de fibra óptica; a continuación se presenta un ejemplo del cálculo del retardo, considerando el peor caso que corresponde al enlace entre Shushuhuayco y Ciudad Victoria:

$$t_x = \frac{\text{distancia}}{V_c}$$

$$t_x = \frac{14905 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}$$

$$t_x = 0.05 \text{ mseg}$$

Este tiempo de retardo para el peor caso que se ha generado con este rediseño, no constituye un valor crítico, debido a que está muy por debajo del rango correspondiente a la sensibilidad para audio/video, que es de 150 – 200 ms.

En la Tabla 3.7 se presenta el cálculo de la atenuación para cada enlace lógico; en este cálculo se toma en cuenta la atenuación para la ventana de 1310 nm que es la que más genera pérdidas de potencia. También se considera el número de conectores presentes en los ODFs y empalmes de rigor. La atenuación para la ventana de 1310 nm es de 0.35 dB por kilómetro, la atenuación de cada empalme de fusión es de 0.1 dB y la atenuación de cada conector es de 0.5 dB. Todos estos datos se indican con más detalle en apartados posteriores, respecto al diseño de la red GPON.

Enlace Lógico	Enlaces físicos	Distancia Total (m)	Conectores	Empalmes	Atenuación (dB)
Loja Centro - Loja Sur	Loja Centro - Loja Sur	4585	4	3	3.9
Loja Centro - Loja Norte	Loja Centro - Loja Norte	6018	4	3	4.41
Loja Centro - Shushuhuayco	Loja Centro - Shushuhuayco	3034	4	2	3.26
	Loja Centro - Empresa Eléctrica - Alegre - Época - Subestación Sur - Obrapía - Shushuhuayco	11391	24	12	17.19

(continúa)

Enlace Lógico	Enlaces físicos	Distancia Total (m)	Conectores	Empalmes	Atenuación (dB)
Loja Centro - San Cay. Bajo	Loja Centro - San Cay. Alto - San Cay. Bajo	3194	8	4	5.52
	Loja Centro - Shushuhuayco - Clodoveo - La Paz - Jipiro - San Cay. Bajo	10660	20	10	14.73
Loja Sur - Ciudad Alegría	Loja Sur - Punzara - Ciudad Alegría	3550	8	4	5.64
	Loja Sur - Ciudad Alegría	1176	4	2	2.61
Loja Sur - Punzara	Loja Sur - Ciudad Alegría - Punzara	3035	8	4	5.46
	Loja Sur - Punzara	1691	4	2	2.79
Ciudad Alegría - Bernardo V.	Ciudad Alegría - Bernardo V.	4028	4	3	3.71
Ciudad Alegría - Época	Ciudad Alegría - Punzara - Época	4160	8	4	5.86
Punzara - Bernardo V.	Punzara - Época - Alegro - Bernardo V.	6962	12	6	9.04
Punzara - Época	Punzara - Loja Sur - Loja Centro - Shushuhuayco - Otrapía - Subestación Sur - Época	14453	24	12	18.26
Shushuhuayco - Ciudad Victoria	Shushuhuayco - Loja Centro - Empresa Eléctrica - Alegro - Época - Subestación Sur - Otrapía - Ciudad Victoria	14905	28	14	20.62
	Shushuhuayco - Otrapía - Ciudad Victoria	3000	8	4	5.45
Shushuhuayco - Clodoveo	Shushuhuayco - Clodoveo	1173	4	2	2.61
	Shushuhuayco - Loja Centro - San Cay. Alto - San Cay. Bajo - Jipiro - La Paz - Clodoveo	12681	24	12	17.64
Ciudad Victoria - Belén	Ciudad Victoria - Otrapía - Shushuhuayco - Clodoveo - Belén	5427	16	8	10.7
Clodoveo - Belén	Clodoveo - Belén	1154	4	2	2.6
San Cay. Bajo - Jipiro	San Cay. Bajo - Jipiro	2362	4	2	3.03
San Cay. Bajo - San Cay. Alto	San Cay. Bajo - San Cay. Alto	1771	4	2	2.82
Jipiro - La Paz	Jipiro - La Paz	2023	4	2	2.91
San Cay. Alto - La Paz	San Cay. Alto - Loja Centro - Shushuhuayco - Clodoveo - La Paz	11648	16	8	12.88

Tabla 3.7 - Detalle de los enlaces lógicos de Fibra para la Primera Etapa.

Para el cálculo de la cantidad de conectores que se presentan en la tabla anterior, se ha considerado el esquema de un nodo típico presentado en el capítulo anterior, recomendando la eliminación del ODF extra entre el equipo activo

(*switch* o *router*) y los ODFs de entrada/salida del nodo; por lo tanto en un nodo de paso se tendrían 2 ODFs, lo cual corresponde a 4 conectores. Mientras que en un nodo de origen/destino el recorrido de fibra solo debe atravesar un ODF para llegar al equipo activo, por lo que se obtienen 2 conectores en este caso.

Los empalmes se realizan en las inmediaciones de planta externa de cada nodo mediante mangas de empalmes o fusiones, estos empalmes también son requeridos cada 4000 metros para unir dos carretes de fibra; por lo tanto se considera que un nodo de paso introduce la atenuación de dos empalmes, mientras que un nodo de origen/destino emplea solo un empalme.

Los valores de atenuación obtenidos sirven para dimensionar adecuadamente los SFPs; para fibra óptica monomodo se tienen algunas variantes del estándar IEEE 802.3z, entre ellas se consideran las siguientes:

- 1000BASE-LX/LH, que aceptan señales con atenuación en el rango de -3 a -20 dB y permite alcanzar distancia de hasta 10 Km.
- 1000BASE-ZX, que aceptan señales con atenuación en el rango de -3 a -23 dB y permite alcanzar distancia de hasta 70 Km.

Por lo tanto en esta parte del proyecto se debe contar con 18 SFPs 1000BASE-LX/LH y 6 SFPs 1000BASE-ZX.

3.2.4.1.3 Consideraciones para la Red de Distribución

Todos los equipos de Capa 3 que forman la Red de Distribución deben soportar MPLS para su correcta integración con la Red de la CNT-EP; estos equipos son los que se encuentran ubicados en los Nodos: Loja - Centro, Loja - Sur y San Cayetano Bajo.

En la Figura 3.10 también se pueden observar las conexiones redundantes desde LOJA01 y LOJA02 en la Matriz, hacia equipos de Capa 2 en Shushuhuayco y Loja - Norte. En estos escenarios se debe implementar un protocolo para

Redundancia de *Gateways*; al realizar esto se logra balancear el tráfico desde los clientes conectados en la Zona Occidental Norte hacia los equipos de la Matriz, tal como se indicó en apartados anteriores.

Este escenario de *Gateways* Redundantes también se puede obtener al colocar un *switch* de acceso en la Matriz conectado redundantemente a los equipos de Capa 3: LOJA01 y LOJA02; para la interconexión de clientes corporativos que se ubican principalmente en el centro de la ciudad. Los protocolos que se ha recomendado utilizar son VRRP o GLBP dependiendo de la marca del equipo LOJA02; mientras que para el tráfico de regreso se puede obtener también balanceo de carga mediante el protocolo de enrutamiento entre el equipo de Cuenca: CUENCA01 y los equipos de Loja: LOJA01 y LOJA02.

3.2.4.1.4 Consideraciones para la Red de Acceso

La Red de Acceso está conformada por diferentes equipos de Capa 2 que se encuentran agrupados en zonas, cada zona tiene un equipo principal que es el que se encuentra conectado redundantemente a LOJA01 y LOJA02; a este equipo principal se enlazan un grupo de máximo cuatro equipos, de tal manera que se tienen topologías redundantes de cuatro *switches* formando un lazo, de máximo dos saltos de distancia hacia el equipo principal utilizando MST, o tres saltos mediante el empleo de REP.

ZONAS	NODO PRINCIPAL	NODOS SECUNDARIOS
Zona Sur	Loja - Sur (router MPLS)	Ciudad Alegría Punzara Bernardo Valdivieso Época
Zona Occidental	Shushuhuayco (switch)	Ciudad Victoria Clodoveo Jaramillo Belén
Zona Oriental	San Cayetano Bajo (router MPLS)	Jipiro San Cayetano Alto La Paz
Zona Norte	Loja - Norte (switch)	-----

Tabla 3.8 - Nodos por Zonas en la Primera Etapa.

En la Tabla 3.8 se indican los equipos que forman cada zona: el equipo principal dentro de cada zona y los equipos secundarios que se enlazan con el principal.

Para esta primera etapa la Zona Sur la conforman 5 nodos, la Zona Occidental y la Zona Oriental están formadas por 4 nodos, y en la Zona Norte se tiene un solo nodo. Dentro de las tres primeras zonas se forman lazos, por lo que es necesario de la implementación de un protocolo de Capa Enlace que maneje eficientemente el tráfico en estos escenarios. Se ha recomendado la implementación de MST o REP, dependiendo de la marca de los equipos involucrados. Para las Zonas Occidental y Sur se ha visto la necesidad de contar con ciertas conexiones físicas redundantes a más de una topología lógica redundante, esto debido a un análisis previo sobre la afectación de caída de conexiones físicas en estas zonas.

En estos escenarios, en donde se tienen conexiones lógicas redundantes entre equipos, se debe emplear un Protocolo de Agregación de Enlaces; las conexiones redundantes corresponden a dos enlaces con diferentes recorridos. Para estos enlaces lógicos redundantes que unen dos nodos, se puede emplear LACP o *EtherChannel* dependiendo de la marca de los equipos involucrados.

3.2.4.2 Segunda Etapa

En la segunda Etapa se planifica la construcción e incorporación de cuatro Nodos más a la red, distribuidos en el sector Norte y Sur de la ciudad; esto implica el análisis de una nueva topología física y lógica redundantes. También para esta etapa se proyecta el tendido de cinco caminos de fibra para garantizar la alta disponibilidad de enlaces.

3.2.4.2.1 Esquema Físico de la Segunda Etapa

Partiendo de la ampliación de la Red de Nodos de la primera etapa, se definen los nuevos caminos para el recorrido de los cables de fibra.

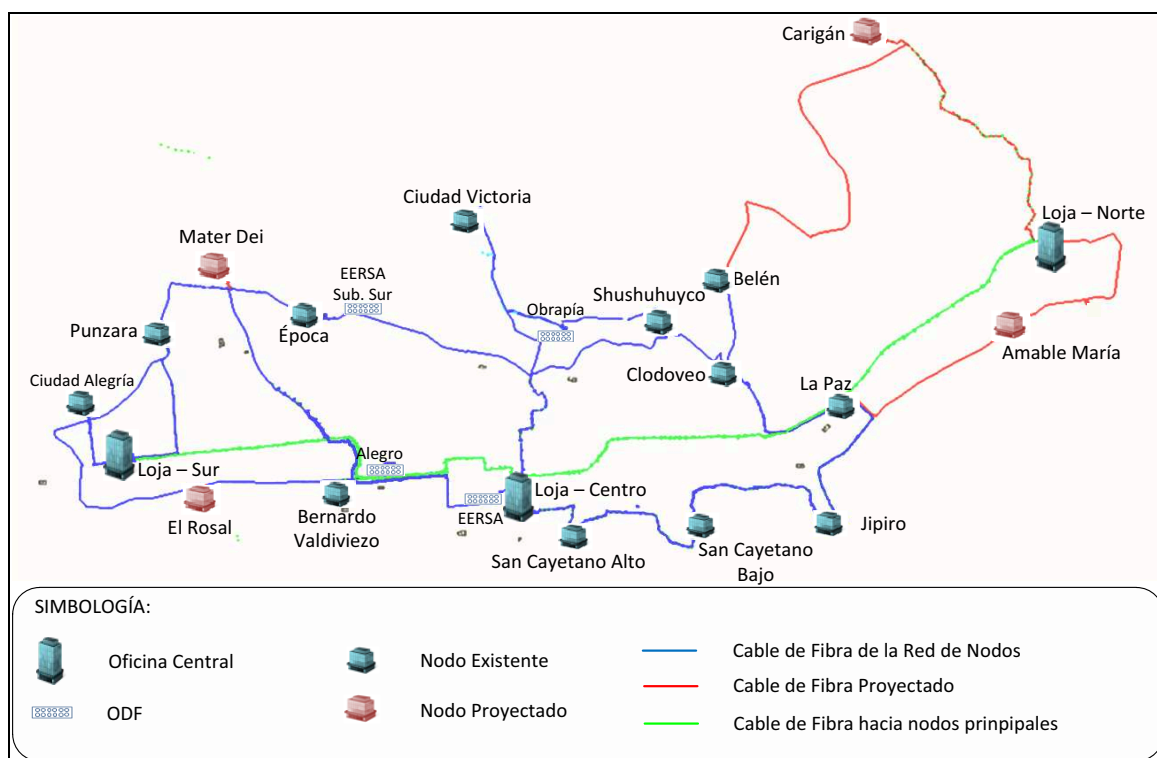


Figura 3.11 - Diagrama de la Red de Nodos Segunda Etapa

En la Figura 3.11 se observa en color azul el tendido con el que se cuenta al iniciar con esta etapa, los Nodos Loja - Sur y Loja Norte que se enlazan con tendidos de fibra subterránea (color verde) a la matriz Loja – Centro; también se puede visualizar los recorridos proyectados de fibra (color rojo) que se deben implementar en esta etapa. Los nuevos nodos (nodos color rojo) que se incorporan a la red son:

- Mater Dei
- El Rosal
- Carigán
- Amable María.

Adicionalmente se ha propuesto el cambio de los equipos Capa 2 en los nodos: Loja - Norte y Shushuhuyco a equipos Capa 3.

De igual forma que en la etapa anterior, para realizar la proyección del nuevo tendido de fibra se ha tomado en cuenta la viabilidad para utilizar o construir nueva canalización y postes; como resultado de este estudio se han proyectado cuatro recorridos de cables de fibra que se detallan a continuación:

- Recorrido La Paz – Amable María: constituido por un tramo de 1927 metros de cable de fibra.
- Recorrido Amable María – Loja Norte: consta de un tramo de 2213 metros de cable de fibra.
- Recorrido Loja Norte – Carigán: necesita un tendido de 3197 metros de cable de fibra.
- Recorrido Carigán – Belén: consiste en un tramo de 5231 metros de cable de fibra.

En la Tabla 3.9 se detalla la cantidad de metros del tendido de fibra en cada recorrido, ya sea ésta aérea o canalizada.

RECORRIDO	Distancia fibra aérea (m)	Distancia fibra canalizada (m)	Total (m)
La Paz– Amable María	1516	411	1927
Amable María– Loja Norte	2213	-----	2213
Loja Norte– Carigán	2886	311	3197
Carigán– Belén	5231	-----	5231

Tabla 3.9 - Detalle del tendido de fibra en cada recorrido de la Segunda Etapa

Los nuevos nodos que se incluyen en esta etapa, estructuralmente se constituyen igual que el resto de nodos; es decir pueden estar conformados por un MSAN para la parte de telefonía, por un DSLAM dependiendo si existe o no demanda de Internet en el sector y por un equipo de Capa 2 o 3 que interconecta al nodo con los demás nodos de la red.

otros equipos para interconectar a la Red de Acceso con el equipo MPLS en Cuenca. Los equipos con funcionalidades de Capa 2 forman la Red de Acceso; estos equipos se encuentran agrupados por Zonas Geográficas. Ambas redes han sido rediseñadas de tal manera que se cuente con enlaces redundantes.

Al igual que en la etapa anterior, en la Figura 3.13 se indican los recorridos de los enlaces lógicos, se muestra la abreviatura del nombre de los Nodos que mediante ODFs se conectan entre sí, y es por donde los enlaces lógicos deben atravesar, así como las distancias de dichos enlaces.

Para el rediseño de la topología lógica de la red, se ha analizado la utilización de enlaces físicos entre ODFs con los que se cuenta para esta segunda etapa. También se han estudiado los posibles escenarios que se presentan ante la caída de enlaces y finalmente se ha considerado la mayor simplicidad posible debido a trabajos de *troubleshooting*. Tomando en cuenta todas estas consideraciones, se ha rediseñado la Red de la CNT-Loja en la Segunda Etapa de Ampliación.

a. Análisis de las Zonas

La Zona Sur se conecta con LOJA01 y LOJA02 mediante dos enlaces de Capa 3 desde el equipo LOJASUR01, estos enlaces van por un mismo cable de fibra subterránea. LOJASUR01 se conecta con PUNZARA01 y con CIUDADALE01; estos dos últimos equipos se conectan con ELROSAL01 y BERNARDO01 mediante caminos físicos diferentes, todo esto para garantizar la continuidad de servicios al “caer” enlaces.

La Zona Occidental se conecta con LOJA01 y LOJA02 mediante dos enlaces de Capa 3 con el equipo SHUSHUHUAYCO01, estos enlaces van por caminos físicos diferentes; para esta zona se ha conseguido una topología física y lógica en anillo con los *switches*: SHUSHUHUAYCO01, CIUDADVIC01, EPOCA01 y MATERDEI01.

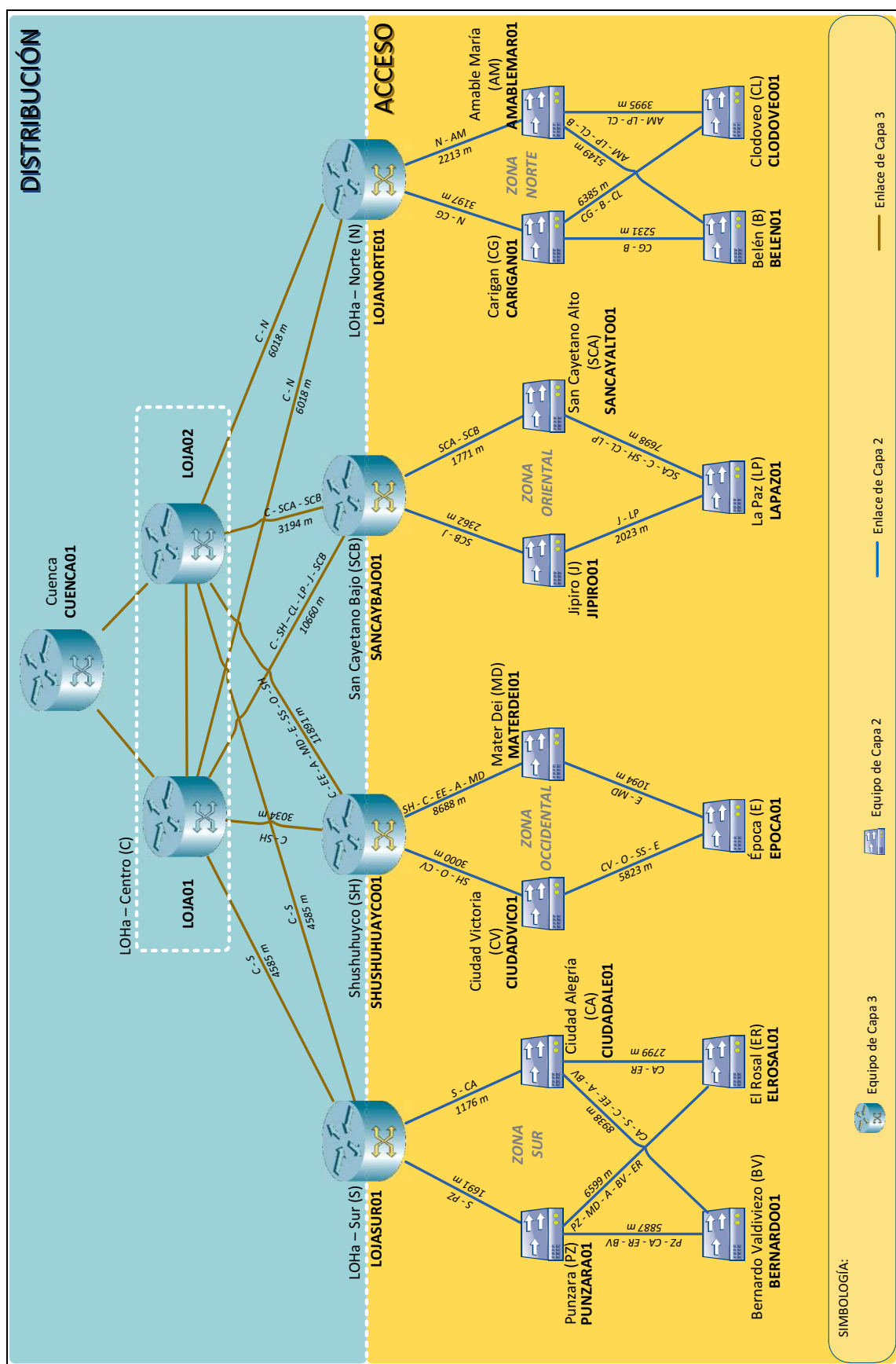


Figura 3.13 - Topología Lógica Propuesta para la Red de Nodos Segunda Etapa

La Zona Oriental se conecta con LOJA01 y LOJA02 mediante dos enlaces de Capa 3 desde el equipo SANCAYBAJO01, estos enlaces van por caminos físicos diferentes; para esta zona también se ha conseguido una topología física y lógica en anillo con los *switches*: SANCAYBAJO01, JIPIRO01, LAPAZ01 y SANCAYALTO01, asegurando así alta disponibilidad en esta zona.

La Zona Norte se conecta con LOJA01 y LOJA02 mediante dos enlaces de Capa 3 desde el equipo LOJANORTE01, estos enlaces van por un mismo cable de fibra subterránea. Para esta zona se ha conseguido una topología física en anillo; lógicamente LOJANORTE01 se conecta con AMABLEMAR01 y con CARIGAN01; que a su vez estos dos últimos equipos se conectan con BELEN01 y CLODOVEO01 mediante caminos físicos diferentes, para garantizar la continuidad de servicios al “caer” enlaces.

b. Análisis de los Enlaces Físicos y Lógicos

Al “caer” una conexión física se pueden perder de uno a tres enlaces lógicos, los cuales afectan a una o dos zonas; sin embargo mediante este rediseño no se aísla ningún nodo debido a los caminos redundantes que se han conseguido. En la Tabla 3.10 se indican los enlaces lógicos que atraviesan por todas las conexiones físicas para la Segunda Etapa y su capacidad en cuanto a hilos de fibra oscura.

Enlace Físico	Enlaces Lógicos	Hilos Totales	Hilos a utilizar	Hilos Disponibles
Loja Centro – San Cay. Alto	Loja Centro – Shushuhuayco Shushuhuayco – Mater Dei Ciudad Alegría – Bernardo V.	24	6	18
San Cay. Alto – San Cay. Bajo	San Cay. Alto – San Cay. Bajo	24	2	22
San Cay. Bajo – Jipiro	San Cay. Alto – Jipiro	24	2	22
Jipiro – La Paz	Jipiro – La Paz	24	2	22
La Paz – Amable María	Clodoveo – Amable María Belén – Amable María	24	4	20
Amable María – Loja Norte	Loja Norte – Amable María	24	2	22
Loja Norte – Carigán	Loja Norte – Carigán	24	2	22
Carigán - Belén	Carigán – Belén Carigán – Clodoveo	24	4	20

(continúa)

Enlace Físico	Enlaces Lógicos	Hilos Totales	Hilos a utilizar	Hilos Disponibles
Belén – Clodoveo	Belén – Amable María Carigán – Clodoveo	24	4	20
La Paz – Clodoveo	San Cay. Alto – La Paz Amable María – Clodoveo Belén – Amable María	24	6	18
Clodoveo – Shushuhuayco	San Cay. Alto – La Paz	24	2	22
Shushuhuayco – Loja Centro	San Cay. Alto – La Paz Loja Centro – Shushuhuayco Mater Dei – Shushuhuayco	24	6	18
Shushuhuayco – Otrapía	Loja Centro – Shushuhuayco Shushuhuayco – Ciudad Victoria	24	4	20
Otrapía – Ciudad Victoria	Shushuhuayco – Ciudad Victoria Ciudad Victoria – Época	24	4	20
Otrapía – EERSA Sub. Sur	Loja Centro – Shushuhuayco Ciudad Victoria – Época	24	4	20
EERSA Sub. Sur – Época	Loja Centro – Shushuhuayco Ciudad Victoria – Época	24	4	20
Época – Mater Dei	Mater Dei – Época	24	2	22
Mater Dei – Punzara	Punzara – El Rosal	24	2	22
Mater Dei – Alegro	Shushuhuayco – Mater Dei Punzara – El Rosal Loja Centro – Shushuhuayco	24	6	18
Punzara – Ciudad Alegría	Punzara – Bernardo V.	24	2	22
Punzara – Loja Sur	Loja Sur – Punzara	24	2	22
Loja Sur – Ciudad Alegría	Loja Sur – Ciudad Alegría Ciudad Alegría – Bernardo V.	24	4	20
Ciudad Alegría – El Rosal	Punzara – Bernardo V. Ciudad Alegría – El Rosal	24	4	20
El Rosal – Bernardo V.	Punzara – El Rosal Punzara – Bernardo V.	24	4	20
Bernardo V. – Alegro	Ciudad Alegría – Bernardo V. Punzara – El Rosal	24	4	20
Alegro – EERSA	Loja Centro – Shushuhuayco Shushuhuayco – Mater Dei Ciudad Alegría – Bernardo V.	24	6	18
EERSA – Loja Centro	Loja Centro – Shushuhuayco Shushuhuayco – Mater Dei Ciudad Alegría – Bernardo V.	24	6	18
Loja Centro – Loja Sur	2 Loja Centro – Loja Sur Ciudad Alegría – Bernardo V.	24	6	18
Loja Centro – Loja Norte	2 Loja Centro – Loja Norte	24	4	20

Tabla 3.10 - Detalle de los enlaces físicos de Fibra Segunda Etapa.

El retardo se produce por la distancia que deben recorrer los datos a la velocidad de la luz, porque todos los enlaces son de fibra óptica. A continuación se

presenta un ejemplo del cálculo del retardo para esta etapa, considerando el peor caso que corresponde al enlace entre Shushuhuayco y Loja Centro:

$$t_x = \frac{\text{distancia}}{V_c}$$

$$t_x = \frac{11891 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}$$

$$t_x = 0.04 \text{ mseg}$$

Este tiempo de retardo para el peor caso, que se ha generado con este rediseño en la segunda etapa de ampliación de la red, tampoco constituye un valor crítico, porque está muy por debajo del rango correspondiente a la sensibilidad para audio/video de 150 a 200 ms.

En la Tabla 3.11 se presenta el cálculo de la atenuación para cada enlace lógico; en este cálculo se toma en cuenta la atenuación para la ventana de 1310 nm que es la que más genera pérdidas de potencia, también se considera el número de conectores presentes en los ODFs y empalmes de rigor. La atenuación para la ventana de 1310 nm es de 0.35 dB por kilómetro, la atenuación de cada empalme de fusión es de 0.1 dB y la atenuación de cada conector es de 0.5 dB.

Enlace Lógico	Enlaces físicos	Distancia Total (m)	Conectores	Empalmes	Atenuación (dB)
Loja Sur - Loja Centro	Loja Sur - Loja Centro	4585	4	3	3.9
Shushuhuayco - Loja Centro	Shushuhuayco - Loja Centro	3034	4	3	3.36
	Loja Centro - Empresa Eléctrica - Alegro - Mater Dei - Época - Subestación Sur - Obrapia - Shushuhuayco	11891	28	14	19.56
Loja Centro - San Cay. Bajo	Loja Centro - San Cay. Alto - San Cay. Bajo	3194	8	4	5.52
	Loja Centro - Shushuhuayco - Clodoveo - La Paz - Jipiro - San Cay. Bajo	10660	20	10	14.73
Loja Centro - Loja Norte	Loja Centro - Loja Norte	6018	4	3	4.41
Loja Sur - Punzara	Loja Sur - Punzara	1691	4	2	2.79

(continúa)

Enlace Lógico	Enlaces físicos	Distancia Total (m)	Conectores	Empalmes	Atenuación (dB)
Loja Sur - Ciudad Alegría	Loja Sur - Ciudad Alegría	1176	4	2	2.61
Punzara - Bernardo V.	Punzara - Ciudad Alegría - El Rosal - Bernardo V.	5887	12	7	8.76
Punzara - El Rosal	Punzara - Mater Dei - Alegro - Bernardo V. - El Rosal	6599	16	8	11.11
Ciudad Alegría - Bernardo V.	Ciudad Alegría - Loja Sur - Loja Centro - Empresa Eléctrica - Alegro - Bernardo V.	8938	20	11	14.23
Ciudad Alegría - El Rosal	Ciudad Alegría - El Rosal	2799	4	3	3.28
Shushuhuayco - Ciudad Victoria	Shushuhuayco - Obrapía - Ciudad Victoria	3000	8	4	5.45
Shushuhuayco - Mater Dei	Shushuhuayco - Loja Centro - Empresa Eléctrica - Alegro - Mater Dei	8688	16	8	11.84
Ciudad Victoria - Época	Ciudad Victoria - Obrapía - Subestación Sur - Época	5823	12	6	8.64
Mater Dei - Época	Mater Dei - Época	1094	4	2	2.58
San Cay. Bajo - Jipiro	San Cay. Bajo - Jipiro	2362	4	2	3.03
San Cay. Bajo - San Cay. Alto	San Cay. Bajo - San Cay. Alto	1771	4	2	2.82
Jipiro - La Paz	Jipiro - La Paz	2023	4	2	2.91
San Cay. Alto - La Paz	San Cay. Alto - Loja Centro - Shushuhuayco - Clodoveo - La Paz	7698	16	8	11.49
Loja Norte - Carigán	Loja Norte - Carigán	3197	4	2	3.32
Loja Norte - Amable María	Loja Norte - Amable María	2313	4	2	3.01
Carigán - Belén	Carigán - Belén	5231	4	3	4.13
Carigán - Clodoveo	Carigán - Belén - Clodoveo	6385	8	4	6.63
Amable María - Belén	Amable María - La Paz - Clodoveo - Belén	5149	12	6	8.4
Amable María - Clodoveo	Amable María - La Paz - Clodoveo	3995	8	4	5.8

Tabla 3.11 - Detalle de los enlaces lógicos de Fibra Segunda Etapa.

La cantidad de conectores y empalmes se ha realizado de la misma forma que en la etapa anterior; los valores de atenuación obtenidos ayudan a dimensionar adecuadamente los SFPs, por lo tanto en esta parte del proyecto se debe contar con 24 SFPs 1000BASE-LX/LH y 2 SFPs 1000BASE-ZX.

3.2.4.2.3 Consideraciones para la Red de Distribución

Todos los equipos de Capa 3 que forman la Red de Distribución deben soportar MPLS, para su correcta integración con la Red de la CNT; estos equipos son los que se encuentran ubicados en los Nodos: Loja - Centro, Loja - Sur, Loja - Norte, Shushuhuayco y San Cayetano Bajo.

El escenario de *Gateways* Redundantes que se tenía en la Primera Etapa, también se puede conseguir en esta etapa al colocar un *switch* en la Matriz, conectado redundantemente a LOJA01 y LOJA02 para enlazar clientes corporativos que se ubican en el centro de la Ciudad.

Los protocolos que se ha recomendado utilizar son VRRP o GLBP dependiendo de la marca del equipo LOJA02; y el balanceo de carga para el tráfico de regreso se puede obtener mediante el protocolo de enrutamiento entre el equipo de Cuenca: CUENCA01 y los equipos de Loja: LOJA01 y LOJA02.

3.2.4.2.4 Consideraciones para la Red de Acceso

Para esta segunda etapa, la Red de Acceso está conformada por equipos de Capa 2 que se encuentran agrupados en zonas, cada zona tiene un equipo principal de Capa 3 que es el que se encuentra conectado redundantemente a LOJA01 y LOJA02; a este equipo principal se enlazan un grupo de máximo cuatro equipos, de tal manera que se obtengan topologías redundantes de cuatro *switches* formando un lazo y de máximo dos saltos de distancia hacia el equipo principal utilizando MST, o tres saltos mediante el empleo de REP.

Para esta segunda etapa la Zona Sur y Norte están conformadas por 5 equipos, mientras que la Zona Occidental y Oriental están formadas por 4 equipos; dentro de todas las zonas se forman lazos, por lo que es necesario de la implementación de un protocolo de Capa 2 que maneje eficientemente el tráfico en estos escenarios; se ha recomendado la implementación de MST o REP, dependiendo

de la marca de los equipos involucrados. En la Tabla 3.12 se indican los equipos que forman cada zona y el equipo principal para cada zona.

ZONAS	NODO PRINCIPAL (<i>routers</i> MPLS)	NODOS SECUNDARIOS (<i>switches</i>)
Zona Sur	Loja - Sur	Ciudad Alegría Punzara Bernardo Valdivieso El Rosal
Zona Occidental	Shushuhuayco	Ciudad Victoria Época Mater Dei
Zona Oriental	San Cayetano Bajo	Jipiro San Cayetano Alto La Paz
Zona Norte	Loja - Norte	Carigán Amable María Clodoveo Jaramillo Belén

Tabla 3.12 - Nodos por Zonas en la Segunda Etapa.

El tráfico dentro de cada zona debe balancearse para ocupar todos los enlaces, es por eso que se debe tomar ciertas consideraciones en la configuración para lograr este propósito, lo cual ya ha sido analizado en apartados anteriores.

3.2.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS QUE DEBEN SOPORTAR LOS EQUIPOS

En esta sección se presentan las características técnicas que deben soportar los equipos que forman parte de la Red de Nodos, para el correcto dimensionamiento de la solución.

3.2.5.1 Características Técnicas para los *Routers* MPLS

Estos *routers* MPLS son equipos que van a trabajar en la frontera del proveedor de servicios, por lo que deben ser equipos altamente confiables, que soporten gran carga de procesamiento; también deben presentar interfaces ópticos para enlazarse con la red de transporte IP/MPLS y con la red de acceso, y de esta

forma los clientes finales pueden acceder a los diferentes servicios que se les brinda. Por lo tanto estos equipos deben soportar una serie de protocolos y funcionalidades para una adecuada integración con la Red de la CNT-EP.

En la Tabla 3.13 se presentan las especificaciones técnicas con las que deben cumplir los *routers* MPLS.

Equipo	ROUTER MPLS
Cantidad	5
Puertos	<ul style="list-style-type: none"> • Puertos de fibra óptica para <i>Uplink</i>. • Tarjetas de puertos de fibra para acceso <i>Metro Ethernet</i>.
Características	Alta disponibilidad como: <ul style="list-style-type: none"> • Redundancia de procesador y/o • Redundancia de fuente.
Estándares	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.1Q, manejo de VLANs. • MPLS, túneles de Capa 2/3, QoS, distribución de etiquetas por LDP/RSVP, Ingeniería de tráfico y AToM (<i>Any Transport over MPLS</i>). • IS-IS, para la operación en conjunto con MPLS. • BGP/MP-BGP, para el correcto funcionamiento junto a MPLS. • VRRP, para escenarios con redundancia de <i>Gateways</i>. • MSTP, para el manejo de topologías redundantes en Capa Enlace. • LACP, para la agregación de enlaces en escenarios de enlaces redundantes.
Puertos SFPs	1000BASE-LX/ZX para fibra monomodo, ventana de trabajo: 1300 nm, alcance máximo de 10/70 Km.
Capacidad de Backplane	Mínimo 65 Mpps.
MTBF	Mínimo 20 años.
Gestión	Telnet, SSH, SNMP v1/v2c/v3

Tabla 3.13 - Detalle de requerimientos para los *Routers* MPLS

3.2.5.2 Características Técnicas para los *Switches Metro Ethernet*

Los *switches* que forman parte de la Red *Metro Ethernet* son equipos de alta disponibilidad, a los cuales se van a conectar los clientes corporativos. Deben soportar protocolos para el manejo de lazos de Capa Enlace.

En la Tabla 3.14 se presentan las características técnicas que deben cumplir estos equipos.

Equipo	SWITCH METRO ETHERNET
Cantidad	8
Puertos	<ul style="list-style-type: none"> • Al menos 2 puertos de fibra óptica para <i>Uplink</i> • Al menos 24 puertos de fibra para accesos
Estándares	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.1Q, manejo de VLANs. • MSTP, para el manejo de topologías redundantes en Capa Enlace.
Puertos SFPs	1000BASE-LX/ZX para fibra monomodo, ventana de trabajo: 1300 nm, alcance máximo de 10/70 Km.
Capacidad de Backplane	Mínimo 95 Mpps.
MTBF	Mínimo 20 años.
Gestión	Telnet, SSH, SNMP v1/v2c/v3

Tabla 3.14 - Detalle de requerimientos para los *Switches Metro Ethernet*

3.2.5.3 Características Técnicas para el cableado de fibra ^{[71] [72] [73]}

En esta sección se realiza una proyección del tráfico esperado, para dimensionar la capacidad en los enlaces que forman parte de la Red de Nodos; también se presenta el análisis acerca del tipo de fibra que se debe emplear en esta parte del proyecto.

3.2.5.3.1 Densidad de Tráfico en los enlaces

Para calcular la capacidad de los enlaces de fibra, se ha realizado una proyección en base al “Enlace 1” entre Loja y Cuenca; se ha empleado este enlace para los cálculos de la capacidad debido a que es el enlace más estable con el que cuenta. Los datos que se tiene registro son de un espacio de ocho meses, dividido en periodos, desde el 20 de marzo hasta el 23 de noviembre de 2011. Cada periodo corresponde a un tiempo de alrededor de 15 días, dentro del cual se han obtenido promedios de mediciones de tráfico para este enlace, tanto en el sentido descendente como en el ascendente de la transmisión de datos.

En la Tabla 3.15 se presentan estos datos tabulados, en donde se indica la fecha de inicio y fin de cada periodo, y la densidad de tráfico promedio que se ha registrado en este enlace.

Periodo	Desde – Hasta	Downstream	Upstream
1	20/3/2011 – 3/4/2011	183.46 Mbps	29.44 Mbps
2	4/4/2011 – 16/4/2011	188.32 Mbps	28.10 Mbps
3	17/4/2011 – 1/5/2011	178.95 Mbps	4.93 Mbps
4	2/5/2011 – 16/5/2011	162.42 Mbps	4.81 Mbps
5	17/5/2011 – 2/6/2011	155.33 Mbps	5.17 Mbps
6	3/6/2011 – 17/6/2011	114.49 Mbps	17.58 Mbps
7	18/6/2011 – 2/7/2011	85.99 Mbps	19.52 Mbps
8	3/7/2011 – 17/7/2011	135.80 Mbps	21.38 Mbps
9	18/7/2011 – 1/8/2011	239.44 Mbps	23.60 Mbps
10	2/8/2011 – 16/8/2011	233.45 Mbps	24.11 Mbps
11	17/8/2011 – 30/8/2011	250.94 Mbps	24.45 Mbps
12	1/9/2011 – 15/9/2011	293.60 Mbps	18.26 Mbps
13	16/9/2011 – 31/9/2011	294.30 Mbps	19.87 Mbps
14	1/10/2011 – 14/10/2011	282.84 Mbps	21.51 Mbps
15	15/10/2011 – 27/10/2011	386.67 Mbps	123.95 Mbps
16	28/10/2011 – 11/11/2011	323.94 Mbps	24.36 Mbps
17	12/11/2011 – 23/11/2011	347.54 Mbps	35.00 Mbps

Tabla 3.15 - Densidad de tráfico para el “Enlace 1”

A partir de los datos de la tabla anterior, en la Figura 3.14 se presenta la línea de tendencia para los periodos del 9 al 17, ya que los periodos anteriores al 9 han sido descartados para el cálculo del crecimiento del tráfico, porque los valores del tráfico están fuera del rango de la tendencia. También se indica la ecuación de la tendencia que se ha obtenido con la herramienta Excel.

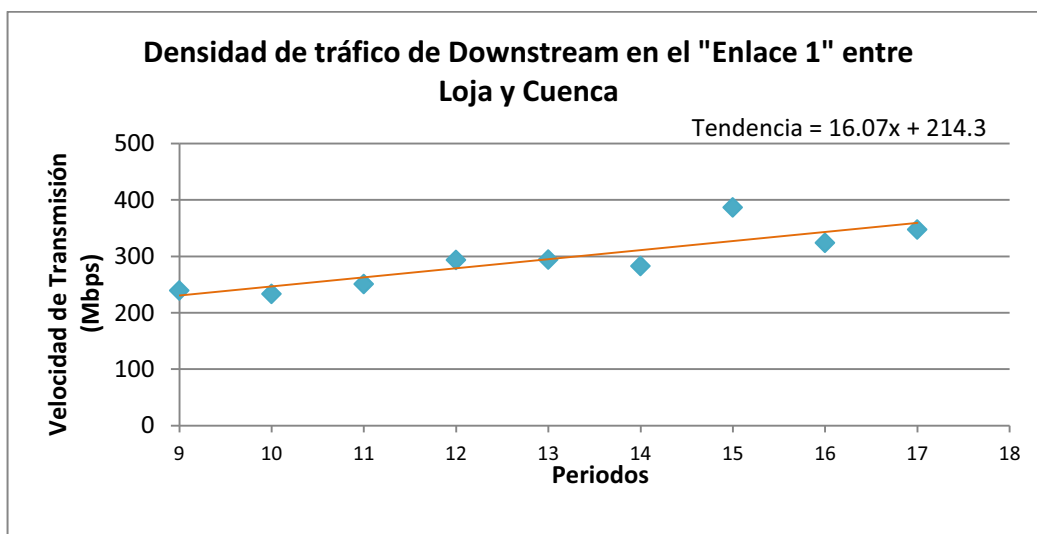


Figura 3.14 - Densidad del tráfico de *Downstream* en el “Enlace 1” entre Loja y Cuenca

La ecuación de la Tendencia ha sido calculada mediante Excel para periodos de 15 días. Para proyectar el tráfico respecto al crecimiento anual, se procede a convertir la ecuación de la tendencia, de espacios de 15 días a espacios anuales:

$$Tendencia = (16.07 \times 2 \times 12) x + 214.3$$

$$Tendencia = 385.68 x + 214.3$$

El cálculo del crecimiento del tráfico se lo realiza según la siguiente fórmula:

$$Crecimiento = \left[\frac{\text{Tráfico del año } (n)}{\text{Tráfico del año } (n - 1)} \times 100 \right] - 100$$

En la Tabla 3.16 se presenta la proyección del tráfico y el crecimiento del tráfico de *downstream* para cinco años.

Año	Tráfico Proyectado	Crecimiento en <i>Downstream</i> respecto al Año anterior
0	214.3 Mbps	-----
1	599.98 Mbps	179.97 %
2	985.66 Mbps	64.28 %
3	1371.34 Mbps	39.13 %
4	1757.02 Mbps	28.12 %
5	2142.7 Mbps	21.95 %

Tabla 3.16 - Cálculo del crecimiento del Tráfico en *Downstream* para los próximos 5 años

El tráfico de *upstream* se lo visualiza de mejor manera en la Figura 3.15. En este caso se han trazado dos líneas de tendencia, que corresponden a dos secciones de análisis, la primera sección comprende desde el periodo 6 al 11 y la segunda sección del 12 al 16; esto se debe a que el comportamiento de este tráfico de *upstream* ha experimentado un descenso en el periodo 12. De igual forma que en el caso anterior, se han descartado algunos valores que se encuentran fuera del rango de tendencia.

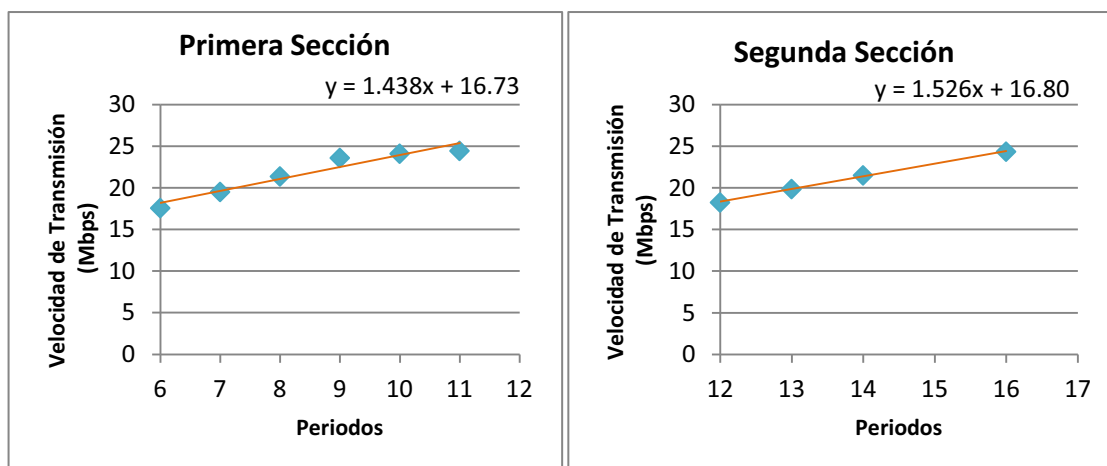


Figura 3.15 - Densidad del tráfico de *Upstream* en el “Enlace 1” entre Loja y Cuenca

Para proyectar el tráfico respecto al crecimiento anual, se procede a convertir la ecuación de la tendencia, de espacios de 15 días a espacios anuales; en este caso se obtienen dos ecuaciones de Tendencia, correspondientes a las dos secciones indicadas anteriormente:

$$Tendencia_1 = (1.438 \times 2 \times 12) x + 16.73$$

$$Tendencia_1 = 34.512 x + 16.73$$

$$Tendencia_2 = (1.526 \times 2 \times 12) x + 16.8$$

$$Tendencia_2 = 36.624 x + 16.8$$

De igual forma para el cálculo del crecimiento del tráfico, se emplea la siguiente fórmula:

$$Crecimiento = \left[\frac{\text{Tráfico del año } (n)}{\text{Tráfico del año } (n - 1)} \times 100 \right] - 100$$

En la Tabla 3.17 se presenta la proyección del tráfico y el crecimiento del tráfico de *upstream* para cinco años. En este caso se ha promediado el crecimiento del tráfico obtenido mediante las dos ecuaciones de la tendencia:

Año	Primera Sección Tendencia ₁ = 34.512 x + 16.73		Segunda Sección Tendencia ₂ = 36.624 x + 16.8		Promedio del Crecimiento del Tráfico en <i>Upstream</i>
	Tráfico Proyectado	Crecimiento en <i>Upstream</i> respecto al Año anterior	Tráfico Proyectado	Crecimiento en <i>Upstream</i> respecto al Año anterior	
0	16.73 Mbps	-----	16.8 Mbps	-----	-----
1	51.24 Mbps	206.29%	53.42 Mbps	218%	212.14%
2	85.75 Mbps	67.35%	90.05 Mbps	68.55%	67.95%
3	120.27 Mbps	40.25%	126.67 Mbps	40.67%	40.46%
4	154.78 Mbps	28.70%	163.30 Mbps	28.91%	28.80%
5	189.29 Mbps	22.30%	199.92 Mbps	22.43%	22.36%

Tabla 3.17 - Cálculo del crecimiento del Tráfico en *Upstream* para los próximos 5 años

Una vez obtenidos los valores del crecimiento anual del tráfico en *downstream* y en *upstream*, se procede a proyectar el tráfico esperado para los próximos 5 años en los enlaces correspondientes a la Red de Nodos de la CNT-Loja:

$$\text{Tráfico Esperado} = \text{Tráfico del año anterior} \times \left[1 + \left(\frac{\text{Crecimiento respecto al año anterior}}{100} \right) \right]$$

Crecimiento Down: Up:	Año 0: 2011 ----- ----- Bajada/Subida	Año 1: 2012 179.97% 212.14% Bajada/Subida	Año 2: 2013 64.28% 67.95% Bajada/Subida	Año 3: 2014 39.13% 40.46% Bajada/Subida	Año 4: 2015 28.12% 28.80% Bajada/Subida	Año 5: 2016 21.95% 22.36% Bajada/Subida
Enlace 1 Loja - Cuenca	759.1/100.9	2125.2/315	3491.2/529	4857.3/743	6223.2/957	7589.2/1171
Enlace 2 Loja - Cuenca	60.9/28.9	170.6/90.2	280.2/151.6	389.8/212.9	499.5/274.2	609.1/335.5
Enlace 3 Loja - Cuenca	64.8/39.8	181.4/124.1	298.1/208.5	414.7/292.8	531.3/377.2	648/461.5
Nodo San Cayetano Alto	10.1/1.2	28.4/3.6	46.6/6.1	64.8/8.5	83.1/11	101.3/13.5
Nodo San Cayetano Bajo	10.1/1.8	28.2/5.7	46.4/9.6	64.5/13.5	82.6/17.4	100.8/21.2
Nodo Jipiro	5.3/1.6	14.8/5	24.4/8.4	33.9/11.9	43.5/15.3	53/18.7
Nodo La Paz	25.2/7.2	70.6/22.5	116/37.7	161.4/53	206.8/68.3	252.3/83.6
Nodo Clodoveo Jaramillo	17.2/7.9	48.1/24.5	79.1/41.2	110/57.8	140.9/74.5	171.9/91.1
Nodo Belén	6.1/0.7	17.1/2.1	28/3.5	39/4.9	49.9/6.3	60.9/7.7
Nodo Shushuayco	2.7/0.7	7.6/2.1	12.6/3.5	17.5/4.9	22.4/6.3	27.3/7.7
Nodo Ciudad Victoria	14.1/2.5	39.5/7.8	64.9/13.1	90.3/18.4	115.7/23.7	141.1/29

Tabla 3.18 - Proyección del Tráfico para los siguientes 5 años

En la Tabla 3.18 se presenta la proyección del tráfico de los tres enlaces entre Loja y Cuenca, y del tráfico generado por cada nodo; esta proyección se ha realizado para cinco años, y tomando en cuenta el tráfico en horas de alta demanda según las Tablas 2.2 y 2.3 del capítulo anterior.

En la tabla también se indica el crecimiento del tráfico tanto de *downstream* como de *upstream*, respecto al año anterior; el tráfico actual corresponde al Año 0 (2011), y a partir de éste se ha proyectado para el resto de años.

De los valores obtenidos en la tabla anterior, se puede observar que al término de 5 años el tráfico se ha incrementado diez veces respecto al tráfico actual. Para los enlaces entre Loja y Cuenca será necesaria más capacidad para suplir esta demanda; los dos enlaces más que se tendrán con Machala y con Zamora Chinchipe, ayudarán con estos futuros requerimientos de capacidad.

El tráfico de los Nodos mantiene una baja ocupación de la capacidad de los enlaces, tomando en cuenta que todos los enlaces son de fibra monomodo con capacidad máxima de 1 Gbps.

3.2.5.3.2 Tipos de Fibra Óptica

Los tipos de fibra óptica a considerar son la UIT-T G.655 y G.652, debido a que son las más difundidas en tendidos ópticos. En la Tabla 3.19 se presentan las principales diferencias entre estos dos estándares.

En este proyecto se requiere del cableado de fibra óptica monomodo, cuya longitud de onda de trabajo sea en la banda O (1260 – 1360 nm) para el tráfico de *upstream*, en la banda S (1460 – 1530 nm) para el tráfico de *downstream* y en la banda C (1530 – 1565 nm) para el tráfico de video RF, que sea adecuado para aplicaciones de mediano alcance y nuevos servicios; esto de acuerdo a las especificaciones técnicas mencionadas anteriormente sobre los equipos.

Características	UIT-T G.652	UIT-T G.655
Tipo de Fibra	Monomodo	Monomodo
Rango de Longitud de Onda de Trabajo	Banda O: 1260 – 1360 nm Banda E: 1360 – 1460 nm Banda S: 1460 – 1530 nm Banda C: 1530 – 1565 nm Banda L: 1565 – 1625 nm	Banda S: 1460 – 1530 nm Banda C: 1530 – 1565 nm Banda L: 1565 – 1625 nm
Longitud de Onda de Operación Óptima	2da ventana: 1310 nm 3ra ventana: 1550 nm	3ra ventana: 1550 nm
Atenuación	2da ventana: 0.4 dB/Km 3ra ventana: 0.2 dB/Km	0.2 dB/Km
Coefficiente de Dispersión Cromática ⁴²	2da ventana: menor a 6 ps/nm.Km 3ra ventana: menor a 20 ps/nm.Km	4,6 ps/nm.Km
Aplicación	Menor distancia y menor ancho de banda que G.655.	Gran ancho de banda por multiplexación DWDM, largas distancias.
Costo	Menor costo que G.655.	Mayor costo por la complejidad en su fabricación.

Tabla 3.19 - Comparación de la Fibra UIT-T G.655 y UIT-T G.652

Se descarta a la fibra monomodo UIT-T G.655, debido a que su costo es mayor que la fibra G.652, y esta última aunque no está optimizada para el trabajo en la tercera ventana o banda C, sí soporta la multiplexación de al menos tres rangos de frecuencia, que es lo que se requiere en este proyecto; por lo tanto se ha elegido a la fibra óptica monomodo UIT-T G.652. En la Tabla 3.20 se presentan las diferencias de las subcategorías de este estándar elegido.

En la norma UIT-T G.652 se definen 4 subcategorías de la “A” a la “D”, primero se descartan las normas G.652A y G.652B porque no trabajan en las bandas requeridas para la tecnología GPON (bandas O, S y C); el estándar G.652D es el que presenta el menor coeficiente de PMD entre las normas restantes y es recomendado para implementaciones CWDM⁴³; por lo tanto se escoge la norma G.652D, que es la más empleada en Redes Metropolitanas.

⁴² Dispersión Cromática, produce una distorsión en la señal de recepción, debido a que cada una de las longitudes de onda viajan a velocidades diferentes, por lo que los rayos de luz que se emiten simultáneamente por un LED no llegan al mismo tiempo.

⁴³ CWDM (*Coarse wavelength Division Multiplexing*), es una tecnología que permite la multiplexación de múltiples señales ópticas (hasta 18) sobre un mismo hilo de fibra; es más barata que DWDM y se emplea en entornos metropolitanos.

CARACTERÍSTICAS	UIT-T G.652A	UIT-T G.652B	UIT-T G.652C	UIT-T G.652D
Longitud de Onda de Trabajo	<ul style="list-style-type: none"> Banda O: 1260 – 1360 nm Banda C: 1530 – 1565 nm 	<ul style="list-style-type: none"> Banda O: 1260 – 1360 nm Banda C: 1530 – 1565 nm Banda L: 1565 – 1625 nm 	<ul style="list-style-type: none"> Banda O: 1260 – 1360 nm Banda E: 1360 – 1460 nm Banda S: 1460 – 1530 nm Banda C: 1530 – 1565 nm Banda L: 1565 – 1625 nm 	<ul style="list-style-type: none"> Banda O: 1260 – 1360 nm Banda E: 1360 – 1460 nm Banda S: 1460 – 1530 nm Banda C: 1530 – 1565 nm Banda L: 1565 – 1625 nm
Pico de Atenuación en torno a 1383 nm	✓	✓	✗	✗
Atenuación a 1310 nm	0.5 dB/km	0.4 dB/km	0.4 dB/km	0.4 dB/km
Atenuación a 1550 nm	0.4 dB/km	0.35 dB/km	0.4 dB/km	0.4 dB/km
Coefficiente de PMD ⁴⁴	0.5 ps/√Km	0.2 ps/√Km	0.5 ps/√Km	0.2 ps/√Km

Tabla 3.20 - Comparación de las Subcategorías de la Fibra UIT-T G.652

Para este proyecto se emplea tendido de fibra aérea y canalizada, a continuación en la Tabla 3.21 se presenta un resumen de la cantidad de metros de cable proyectado (aéreo y canalizado), que se requiere para la ampliación de la Red de Nodos.

Cableado de Fibra	Distancia (m)	Recorrido
Cable aéreo 24 fibras ópticas monomodo ADSS G.652D (vanos 80 m)	2301	Punzara – Época
	1691	Punzara – Loja Sur
	1859	Punzara – Ciudad Alegría
	996	Ciudad Alegría – Loja Sur
	2799	El Rosal – Ciudad Alegría
	309	Bernardo Valdivieso – Alegro
	1609	Loja Centro – Shushuhuayco
	5231	Belén – Carigán
	2886	Carigán – Loja Norte
	2213	Loja Norte – Amable María
	1516	Amable María – La Paz
Cable canalizado 24 fibras ópticas monomodo G.652D	180	Ciudad Alegría – Loja Sur
	1229	Bernardo Valdivieso – El Rosal
	486	Bernardo Valdivieso – Alegro
	1425	Loja Centro – Shushuhuayco
	311	Carigán – Loja Norte
	411	Amable María – La Paz

Tabla 3.21 - Detalle del Cableado de fibra óptica

⁴⁴ PMD (Coeficiente de Dispersión por modo de Polarización), influye en los sistemas de fibra óptica de alta velocidad (más a 10 Gbps) y de larga distancia; mide el ensanchamiento de un pulso (pico segundos) por unidad de distancia (Km).

La cantidad de hilos de fibra óptica se ha determinado en base a un análisis previo. Considerando que para esta parte del proyecto se utilizan entre 2 y 6 hilos de fibra, se debe proyectar un cable con el crecimiento de al menos 50% o 9 hilos de fibra, es decir 12 hilos (a nivel comercial); tomando en cuenta que el precio del cable de 12 y 24 hilos de fibra no varía significativamente, se ha escogido el cable de 24 hilos de fibra.

Los cables de 24 hilos de fibra se utilizan para el tendido de fibra aérea; mientras que para el tendido de fibra canalizada se emplea cables de 24 o 48 hilos de fibra, típicamente, debido a que la ampliación de una red canalizada es muy costosa y es preferible sobredimensionar el tendido a tener que cambiarlo o instalar nuevo.



3.2.6 COMPARACIÓN DE EQUIPOS

Considerando que este proyecto se realiza para una empresa pública y cuya implementación se ejecuta mediante un proceso de compras públicas, en este apartado se presenta únicamente una evaluación de dos marcas comparables para *Routers MPLS* y *Switches Metro Ethernet*.

A continuación se presenta la comparación de los equipos entre los fabricantes más opcionados: Cisco y Huawei, debido a que la red de la CNT-EP cuenta con equipos principalmente de estas dos marcas; se debe tomar en cuenta la interoperabilidad entre fabricantes y la alta confiabilidad para este tipo de equipos, de los cuales depende la conectividad de amplios sectores, y un gran número de abonados entre residenciales y corporativos.

3.2.6.1 *Router MPLS* ^[74] ^[75] ^[76]

En la Tabla 3.22 se presenta la comparación de las principales características técnicas entre un *router* Cisco ME 3800X Series y un *router* de Huawei CX600-X3. Ambos equipos cumplen con los requerimientos mínimos que se han establecido en el apartado 3.2.5.1 para estos equipos.

ESPECIFICACIONES	Cisco ME 3800X Series Carrier Ethernet Switch Router	Huawei CX600-X3
Descripción	 <p>El Cisco ME 3800X Series Carrier Ethernet Switch Router es una plataforma de agregación convergente diseñada para el mercado comercial, móvil y de negocios. Amplía servicios de agregación de Carrier complementando a equipos 7600 Series y routers de la serie ASR 9000, proporcionando amplias características y escalabilidad de Capa 2 y Capa 3 de VPNs en un paquete compacto.</p>	 <p>Huawei CX600 Metro Services Platform (MSP) es un producto Metro Ethernet basado en una plataforma de enrutamiento. Se centra en los servicios Ethernet de acceso, agregación y transmisión en el área metropolitana. Ofrece confiabilidad de clase carrier, alta velocidad de forwarding, excelente gestión de QoS, alto procesamiento de servicios y capacidad de expansión.</p>
Redundancia en procesador/fuente	Redundancia en fuente.	Redundancia en procesador y fuente.
Slots	N/A	5 slots, incluye 2 MPUs y 3 LPUs.
Puertos	<ul style="list-style-type: none"> • 24 puertos SFPs Gigabit Ethernet • 2 puertos SFP+ 10 Gigabit Ethernet 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarjeta de 20 puertos SFP 100/1000Base-X • Tarjeta de 2 puertos XFP 10GBase LAN/WAN
Capacidad de Backplane	65 Mpps	300 Mpps
Memoria DRAM	Hasta 1 GB	1 GB, puede expandirse hasta 2 GB.
Memoria Flash	64 MB	32 MB
Protocolos de Enrutamiento	<ul style="list-style-type: none"> • IP routing: Static, RIPv1 y v2, EIGRP, OSPF, BGPv4, PIMSM, IS-IS, OSPF, HSRP, VRRP. • IPv6 Routing: EIGRP Support, IS-IS, BGP, OSPFv3, RIPv6. 	<ul style="list-style-type: none"> • IPv4: RIP, OSPF, IS-IS y BGP-4. • IPv6: RIPv6, OSPFv3, IS-ISv6 y BGPv6+.
Soporte MPLS	<ul style="list-style-type: none"> • LDP, Targeted LDP, RSVP, DiffServ, MPLS L2VPN/L3VPN, H-VPLS. • MPLS traffic engineering (incluyendo TE-FRR). • BGP with label distribution. 	<ul style="list-style-type: none"> • LDP sobre TE, VPLS, H-VPLS, policy-based routing in VPN. • MPLS L2VPNs. • VLL/VPLS L3VPNs. • QinQ, MPLS/BGP L3VPN.
Otros estándares y características	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.1s, 802.1w, 802.3ad, 802.3ah, 802.1ag, 802.3x full duplex, IEEE 802.1D, 802.1p, 802.1Q, • 802.3 10BASE-T, 802.3u 100BASE-T, 802.3ab 1000BASE-T, 802.3z 1000BASE-X. • MPLS Traffic Engineering (TE) y Fast Reroute (FRR). • BFD para OSPF, IS-IS, BGP, HSRP, EIGRP. 	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE802.1q, IEEE802.1p, IEEE 802.3ad y IEEE 802.1ab. • STP, RSTP, MSTP, • IP/LDP/VPN/TE/VLL FRR. • BFD para protocolos como: IS-IS, RSVP, LDP, TE, Label Switched Path (LSP), PW, OSPF, BGP, VRRP, PIM y RRP. • QoS en última milla.
Administración	Authentication, authorization, and accounting (AAA); TACACS+; Secure Shell (SSH) Protocol.	Protocolos de autenticación como PAP, CHAP, MSCHAP, RADIUS y Huawei TACACS HWTACACS.

(continúa)



ESPECIFICACIONES	Cisco ME 3800X Series Carrier Ethernet Switch Router	Huawei CX600-X3
Características ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Altura de Trabajo: < 3000m. • Temperatura ambiente: 0 a +40°C. • Humedad Relativa: 5% a 95%, no condensada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altura de trabajo: < 3000 metros. • Temperatura ambiente: 0°C a 45°C • Humedad Relativa: 5% a 85%, no condensada.

Tabla 3.22 - Tabla Comparativa para el *Router* MPLS

De acuerdo a las especificaciones técnicas de ambos equipos, se observa que el *router* Cisco es un equipo compacto que ocupa solo un HU y tiene fuente redundante; mientras que el *router* Huawei aunque ocupa más espacio, a más de la fuente redundante, tiene procesador redundante y presenta mayor capacidad de procesamiento. En cuanto a características de protocolos y estándares, ambos equipos cumplen con las características establecidas para este tipo de equipos.

3.2.6.2 *Switch Metro Ethernet* ^{[77] [78] [79]}

En la Tabla 3.23 se presenta la comparación de las principales características técnicas entre un *switch* Cisco Catalyst 4500-X Series y un *switch* Huawei Quidway S5700. Ambos equipos cumplen con las características mínimas que se han establecido en el apartado 3.2.5.2 para estos equipos. Tanto el *switch* Cisco como el *switch* Huawei, cumplen con las características mínimas requeridas para estos equipos; sin embargo se observa que el *switch* Cisco presenta mayor capacidad de procesamiento, mayor espacio de almacenamiento de direcciones MAC y los puertos son de 10 GE.

ESPECIFICACIONES	Cisco Catalyst 4500-X	Huawei Quidway S5700
Descripción	 <p>El Catalyst 4500-X es un <i>switch</i> de agregación que ofrece escalabilidad, virtualización simplificada de la red, los servicios integrados de red para entornos con limitaciones de espacio en las redes de <i>campus</i>.</p>	 <p>Los <i>switches</i> de la serie S5700 son la siguiente generación en el ahorro de energía, para satisfacer la demanda de ancho de banda de acceso y servicios <i>Ethernet</i> de agregación.</p>

(continúa)

ESPECIFICACIONES	Cisco Catalyst 4500-X	Huawei Quidway S5700
Redundancia en fuente	✓	✓
Puertos	<ul style="list-style-type: none"> • 32 Port 10GE 	<ul style="list-style-type: none"> • 24 puertos 100/1000Base-X • 4 puertos GE (10/100/1000BASET)
Capacidad de Switching	800 Gbps	128 Gbps
Capacidad de Backplane	250 Mpps	95.2 Mpps
Direcciones MAC	55 K	32 K
Cantidad de VLANs	4096	4 K
Estándares y Características	<ul style="list-style-type: none"> • 802.1D, 802.1w y 802.1s. • 802.3ad, 802.1p y 802.1Q. 	<ul style="list-style-type: none"> • STP, RSTP y MSTP • IGMP v1/v2/v3, PIM-SM/DM/SSM.
Administración	RMON I y II, TACACS+, SNMP, 802.1x.	802.1x, RADIUS, HWTACACS, NAC SSH v2.0, SNMP v1/v2/v3, RMON, Web NMS
Características ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Altura de Trabajo: < 3000m y > 60m, sobre y bajo el nivel del mar. • Temperatura ambiente: 0 a +40°C. • Humedad Relativa: 5% a 95%, no condensada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altura de Trabajo: < 3000m. • Temperatura ambiente: 0 a +50°C. • Humedad Relativa: 10% a 90%, no condensada.

Tabla 3.23 - Tabla Comparativa para el *Switch Metro Ethernet*

3.3 DISEÑO DE LA RED GPON

Luego de haber realizado un estudio de la situación actual de la canalización, tendidos de fibra existentes, considerando la disponibilidad para la reutilización de hilos de fibra y disponibilidad en la canalización para nuevos tendidos, se ha diseñado la red corporativa GPON de tal manera que se aproveche y potencialice la infraestructura existente. El OLT se ubicará en la matriz: Loja - Centro y los *splitters* se ubicarán dentro de cajas de distribución, de tal forma que se facilite la llegada hasta los clientes corporativos finales.

3.3.1 ANÁLISIS DEL SECTOR A CUBRIR

En esta sección se presenta un análisis del sector a cubrir con la red GPON. Se ha dividido al sector en zonas para facilitar su análisis, y también se presenta el respectivo estudio de clientes para cada zona.

3.3.1.1 División del Sector en Zonas

Para el diseño de esta red se han determinado las zonas que se van a cubrir con cada uno de los puntos de distribución, de acuerdo a la demanda de clientes, así como la ubicación de los puntos de distribución en cada zona y la facilidad de canalización o postes existentes para llegar a los clientes corporativos finales. El sector que abarca cada zona permite que desde cada punto de distribución se facilite la llegada hasta los clientes corporativos finales, en función de la posibilidad de usar canalización o postes para llegar hasta dichos clientes.

La división del sector en zonas ayuda al análisis del tipo, densidad y futuro crecimiento de clientes, esta división se la ha realizado de tal manera que una zona pequeña brinde servicio a un número determinado de clientes, que se encuentran concentrados en un sector geográfico pequeño; mientras que una zona grande brinde servicio a un número determinado de clientes equivalente al caso anterior, pero que se hallan dispersos en un sector geográfico mayor; en la Figura 3.16 se puede visualizar cada una de las zonas y el área a cubrir.

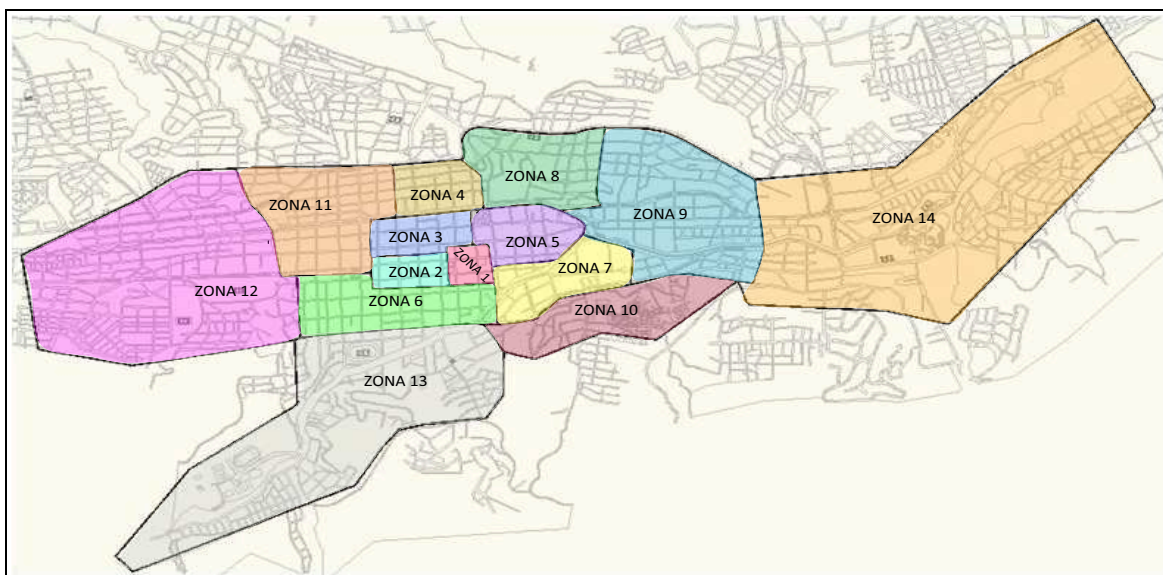


Figura 3.16 - Zonas a cubrir con cada Punto de Distribución

Se han determinado 14 zonas de acuerdo a la concentración y ubicación geográfica de clientes en los diferentes sectores de la ciudad; por ejemplo se

tiene una alta concentración de clientes existentes y potenciales en el centro urbano de la ciudad, por lo que este sector se ha dividido en varias zonas. Mientras que en los alrededores del centro de la ciudad, la concentración de clientes disminuye, de tal forma que las zonas más lejanas del centro abarcan sectores más extensos, obteniendo de esta forma todas las zonas que se ilustran en la figura anterior.

La empresa emplea una división de la ciudad en distritos de acuerdo a la facilidad para llegar hasta los diferentes clientes; sin embargo para este diseño se ha adoptado el nombre de zonas.

3.3.1.2 Análisis del número de Clientes por Zonas

Se obtuvieron 2 zonas con una capacidad máxima de 32 clientes corporativos entre existentes y potenciales, 10 zonas con una capacidad máxima de 16 clientes corporativos, una zona con una capacidad máxima de 24 clientes corporativos y una zona con una capacidad máxima de 8 clientes corporativos debido a su poca proyección de crecimiento empresarial.

Con esta red GPON se ofrecerá servicio a 148 clientes corporativos, las soluciones comerciales ofrecen tarjetas de 4 y 8 puertos GPON, y considerando que con este diseño se llega hasta a 32 clientes por puerto; se requieren de 5 puertos para cubrir a los 148 clientes corporativos, por lo que se necesitan de 2 tarjetas de 4 puertos GPON o de una tarjeta de 8 puertos GPON, por lo tanto el OLT tendrá la capacidad para llegar hasta a 256 ONUs.

Se va a considerar esta capacidad máxima de 256 clientes corporativos, debido al alto y rápido crecimiento de ventas de planes corporativos que se ha visto en los últimos meses; este comportamiento del mercado de clientes corporativos no se reflejó en la etapa de recopilación de información para el presente proyecto, y se analiza con más detalle en el capítulo 4. En la Tabla 3.24 se indica la zona, la ubicación de los puntos de distribución, los tipos de clientes por zona, el número

máximo de clientes por cada punto de distribución, el número de clientes iniciales y potenciales, y la capacidad para futuro crecimiento.

Zona	Ubicación del Punto de Distribución	Tipo	Clientes Iniciales	Clientes Potenciales	Capacidad Máxima	Futuro Crecimiento
1	Municipio	Gubernamental	11	7	32	14
2	Centro	Gubernamental Bancario	3	11	16	2
3	Centro Comercial Municipal	Comercial Gubernamental	3	17	32	12
4	Lauro G. y José Antonio E	Comercial	3	7	16	6
5	Quito y 18 de Noviembre	Comercial	2	7	16	7
6	EERSA	Comercial Gubernamental	2	10	16	4
7	Colegio Técnico	Educativo Comercial	2	3	16	11
8	Isidro Ayora	Educativo Comercial	2	4	16	10
9	SENPLADES	Comercial Gubernamental	4	10	24	10
10	San Cayetano Alto	Educativo Comercial	1	3	16	12
11	CNT Edificio Administrativo	Comercial Gubernamental	7	6	16	3
12	Cabo Minacho	Educativo Comercial	4	7	16	5
13	Estadio	Comercial	1	5	8	2
14	La Paz	Industrial Comercial	1	5	16	10
TOTAL			46	102	256	108

Tabla 3.24 - Detalle de las Zonas

Como se puede observar en la tabla, se ha dejado un amplio margen para un alto crecimiento de clientes y también se ha dejado una cierta capacidad disponible en los puntos de distribución para futuro crecimiento, dependiendo de cada zona y por razones explicadas anteriormente.

3.3.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO ^[50] ^[69]

Para empezar con el diseño de la red GPON, se debe conocer los beneficios y desventajas de utilizar un modelo centralizado o un modelo distribuido:

- **Modelo Centralizado:** se tiene un solo nivel de *splitting* ya sea que este se ubique en la matriz o en un punto remoto, los costos de despliegue por abonado son mayores, facilita el acceso de mantenimiento debido a que se reduce la ubicación de los posibles puntos de falla y proporciona resultados óptimos al realizar pruebas de campo con el OTDR⁴⁵.
- **Modelo Distribuido:** los *splitters* se despliegan en cascada hasta el usuario, los costos de despliegue por abonado son menores; el acceso de mantenimiento debe ser en el sitio de los *splitters*, y las pruebas de campo con el OTDR están ligadas a la ingeniería de la ODN.

Otro aspecto a tomar en cuenta para el diseño de esta red es el alcance máximo para la ODN. La UIT-T especifica un alcance físico máximo de 20 Km para los sistemas GPON; sin embargo en la práctica suelen proporcionar únicamente un alcance máximo de 15 a 18 Km, bajo las mejores condiciones.

Finalmente se debe considerar las pérdidas por atenuación en la ODN; se han definido cuatro clases para determinar los niveles de atenuación que pueden soportar los equipos para su correcto funcionamiento; en la Tabla 3.25 se indican dichas clases.

Clases	Niveles Ópticos
A	5 – 20 dB
B	10 – 25 dB
B+	13 – 28 dB
C	15 – 30 dB

Tabla 3.25 - Niveles de Atenuación en la ODN^[59]

La escasa difusión de equipos GPON que soportan la clase C se debe a algunos factores, esta clase se emplea cuando se requiere cubrir distancias considerables entre 20 y 40 Km, cuando se emplea niveles de *splitting* de 1:128 y muchos fabricantes lo recomiendan incluso al emplear niveles de *splitting* de 1:64;

⁴⁵ OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*), instrumento óptico-electrónico usado para estimar la longitud de la fibra, y su atenuación, incluyendo pérdidas por empalmes/conectores, y también puede detectar roturas de la fibra.

finalmente su costo respecto a equipos con clase B+ es mucho mayor. Por lo tanto se empleará equipos que cumplan con la clase B+ debido a que las distancias entre el OLT y las ONUs son relativamente menores y el nivel de *splitting* que se empleará en este diseño es de 1:32.

De acuerdo a recomendaciones técnicas, para el diseño de la red GPON se debe calcular una atenuación máxima de 25 dB en la ODN, a pesar que los equipos soportan hasta 28 dB con la Clase B+; esta recomendación se debe a que se deja un margen de 3 dB por atenuaciones en la ODN que sean difíciles de cuantificar como curvaturas en la fibra, nuevos empalmes a lo largo del recorrido de fibra, envejecimiento del tendido existente y fatiga en el tendido provocada por la tensión del cable, principalmente.

Por lo tanto, tomando en cuenta todas las consideraciones que se han analizado, esta red GPON utilizará ambos modelos: centralizado y distribuido. El modelo centralizado con un nivel de *splitting* de 1:32, y el modelo distribuido con dos niveles de *splitting* de 1:2 y de 1:16, según las zonas a cubrir; al emplear el modelo distribuido para algunas zonas, el primer nivel de *splitting* necesariamente debe estar ubicado en la OC, para facilitar trabajos de mantenimiento y *troubleshooting*.

La distancia máxima que se debe cubrir en este diseño es de 4 Km, en la mayoría de los casos; sin embargo en una zona se alcanzan distancias de hasta 9 Km, por lo que se deberán tomar en cuenta ciertas consideraciones en este caso. La atenuación que generan los conectores es un aspecto importante porque restringe el alcance de la ODN, en apartados posteriores se indica la ubicación de todos estos elementos.

3.3.3 DIAGRAMA GENÉRICO DE LA RED

En la Figura 3.17 se presenta un diagrama genérico para el diseño de esta red.

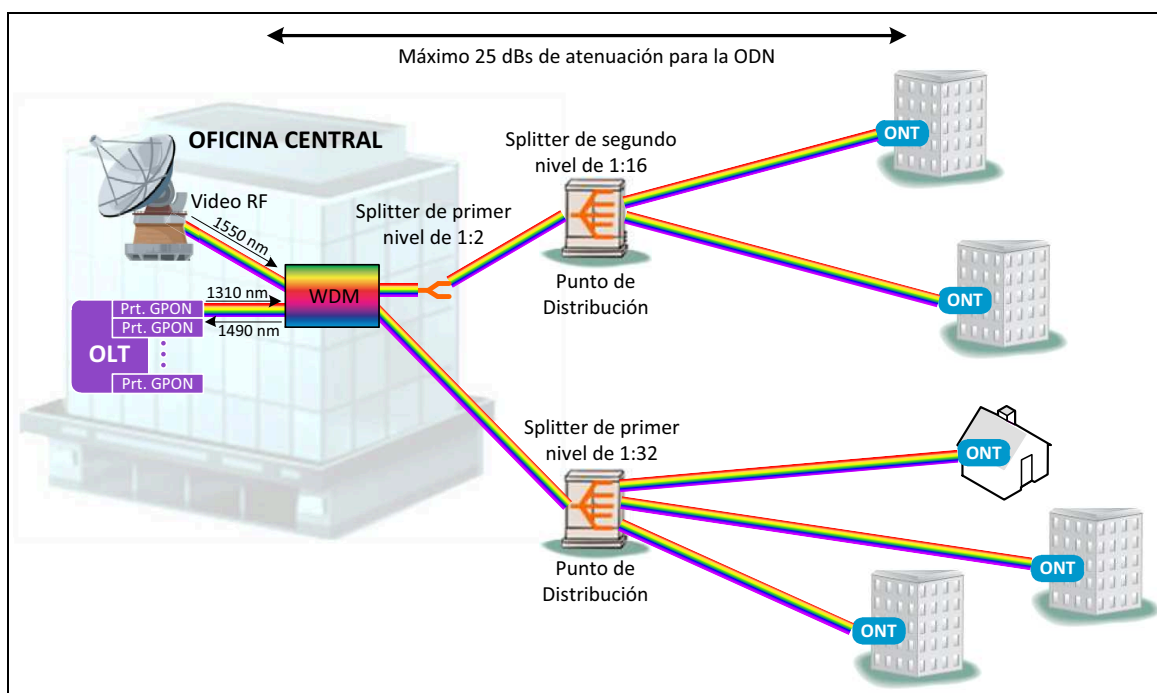


Figura 3.17 - Diagrama Genérico de la Red GPON

En la figura anterior se puede observar la ubicación del OLT en la OC, también se puede visualizar una topología que utiliza *splitters* centralizados y distribuidos; para el caso de *splitters* centralizados se emplea un *splitter* de 1:32 ubicado en el punto remoto de distribución. Mientras que para el caso de *splitters* distribuidos se han considerado dos niveles de *splitters* en cascada, un primer nivel ubicado en la OC con división de 1:2, de los cuales saldrán enlaces hacia los *splitters* de segundo nivel que se ubican dentro de los puntos de distribución y cuya división es de 1:16, para que de estos últimos se llegue hasta las ONTs de los clientes corporativos.

Se emplea la longitud de onda de 1490 nm para el tráfico en sentido descendente y la longitud de onda de 1310 nm para el tráfico en sentido ascendente; este tráfico corresponde a Internet, datos, VoIP, IPTV etc. Mientras que para la transmisión de video RF, se emplea la longitud de onda de 1550 nm y en el lado del cliente se utiliza una ONT con salida a cable coaxial. CNT emplea una VLAN de televisión, por lo tanto no se requiere que las ONTs empresariales tengan puertos BNC; y los televisores deben ser IP o utilizar un conversor a coaxial.

Esta solución de acceso con fibra óptica obedece al modelo FTTH/O debido a que se requiere llegar con fibra hasta el cliente final cumpliendo así con las Políticas Internas de la CNT.

3.3.4 RECORRIDO DE LA RED CORPORATIVA GPON

Los recorridos del tendido de fibra que se tiene en la ciudad de Loja siguen caminos desde la Oficina Central (OC), hasta el sitio mismo de los clientes; algunos de estos recorridos serán reutilizados para el diseño de la Red GPON debido a su ubicación estratégica que permite ubicar un punto de distribución, y desde éste poder llegar a un mayor número de clientes corporativos.

3.3.4.1 Topología Física de la Red

Luego de haber analizado la disponibilidad en la canalización y en los tendidos de fibra, se ha determinado el recorrido que el cableado debe seguir; para ubicar algunos puntos de distribución se ha tomado en cuenta la localización de pozos de revisión a lo largo de la canalización; sin embargo también será necesario la creación de nuevos empalmes y nuevos tendidos de fibra para conectar otros puntos de distribución.

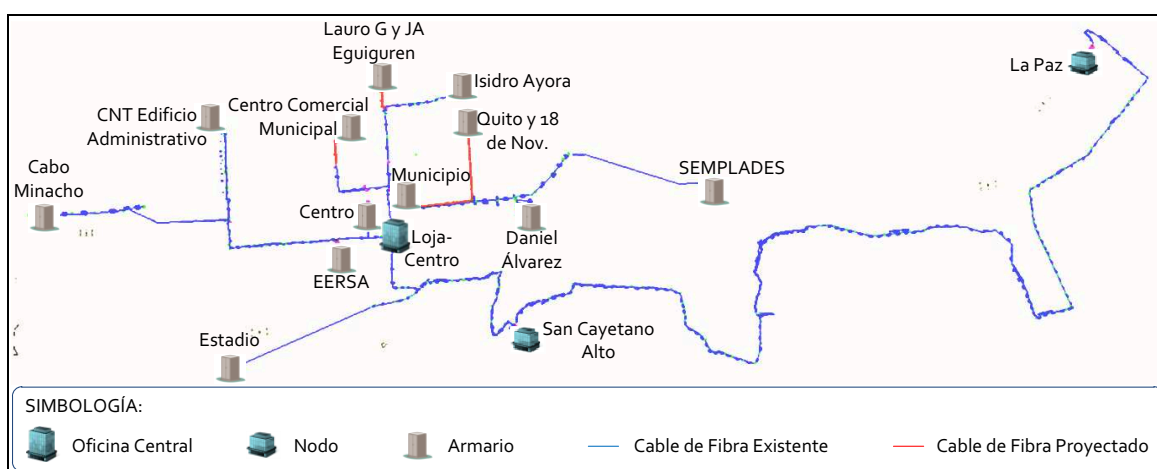


Figura 3.18 - Recorrido de la Red GPON

En la Figura 3.18 se muestra el recorrido de la red, la ubicación geográfica de los puntos de distribución con su respectivo nombre, los cables de fibra a reutilizar (color azul) y el nuevo tendido de fibra se muestran en color rojo.

En el caso de dos de los puntos de distribución ubicados en San Cayetano Alto y en La Paz, se utilizará el recorrido de fibra existente que forma parte del anillo de Nodos, debido a que estos cables de fibra cuentan con disponibilidad de hilos; dentro de estos Nodos se ubicarán *splitters*, para brindar servicio a clientes corporativos del sector.

Como se observa en la Figura 3.18, se ha considerado la ubicación de 14 puntos de distribución en sitios estratégicos para facilitar la llegada hasta los clientes corporativos finales; el recorrido de la red existente va desde la Oficina Central hasta empalmes, que servirán para conectar los puntos de distribución con la OC.

En el ANEXO G se incluye el plano correspondiente al diseño de la red GPON, en donde se puede observar de mejor manera la ubicación exacta de puntos de distribución, empalmes y distancias del tendido de fibra.

3.3.4.2 Tendidos de Fibra y empalmes

El diagrama de la red corporativa GPON se muestra en la Figura 3.19, en donde se puede observar empalmes existentes y proyectados; también se indican las respectivas distancias del tendido y la capacidad de los cables de fibra. Por ejemplo un cable de fibra de: 6H-4H-2H, indica que existe un cable de 6 hilos de los cuales 4 están ocupados y 2 se encuentran disponibles.

La ocupación en cuanto a hilos de fibra disponibles, corresponde a los tendidos de fibra luego del diseño de la red GPON. En la figura se puede observar los tendidos de fibra existentes (color azul) y que por su recorrido serán reutilizados para el diseño de la red corporativa GPON, se cuenta con hilos disponibles que serán utilizados para llegar a los diferentes puntos de distribución; será necesario

la proyección de cuatro tendidos de fibra adicionales (color rojo) y nuevos empalmes para poder llegar hasta los puntos de distribución.

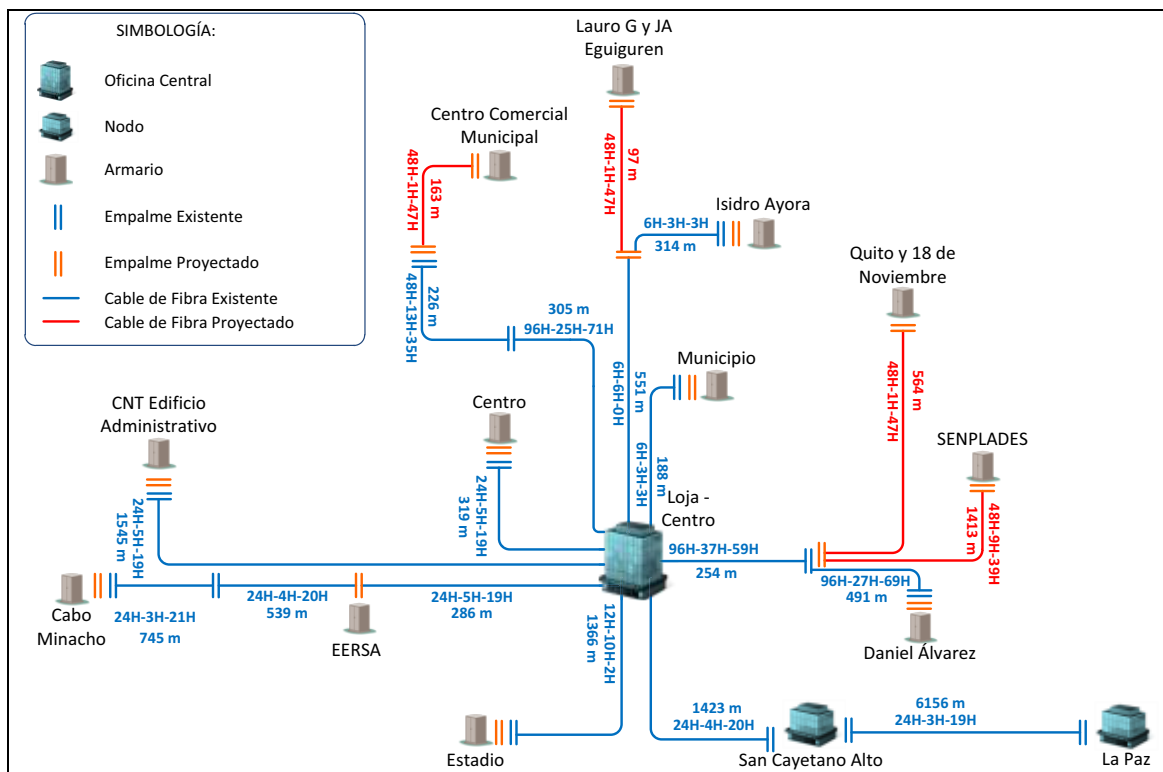


Figura 3.19 - Diagrama de la red GPON

3.3.4.3 Análisis de Distancias

Las distancias del recorrido existente están basadas en datos de planos, en donde se especifican medidas de canalización y las distancias entre postes existentes para la ciudad de Loja.

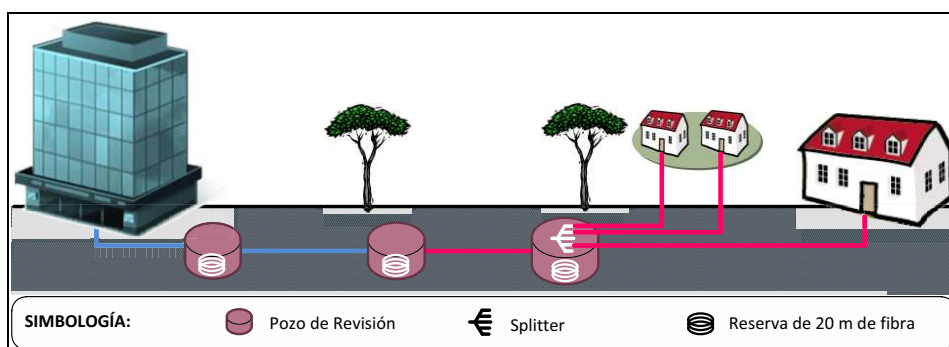


Figura 3.20 - Esquema del Tendido de Fibra Existente y Proyectado

En la Figura 3.20 se ilustra la distribución del tendido de fibra óptica para la red GPON, el tendido existente de fibra se muestra en color azul y el tendido proyectado o nuevo se indica en color rojo, este último se requiere para llegar hasta mangas de empalmes y hasta los clientes corporativos finales; también se indican los puntos en los cuales se deja fibra de reserva, estos puntos corresponden a los pozos de revisión en donde también se ubican mangas de empalmes para enlazar el tendido existente con el nuevo.

Para el nuevo tendido de fibra se ha tomado en cuenta 20 metros de reserva y que se deja en los pozos de revisión de la misma forma que lo hace el tendido de fibra existente.

En la Tabla 3.26 se detallan las distancias entre los puntos de distribución y la Oficina Central, desglosando la distancia del tendido de fibra existente y la cantidad en metros para el nuevo tendido de fibra; y finalmente se indica la distancia desde el punto de distribución hasta el cliente más lejano dentro de cada zona.

Zona	Ubicación del Punto de distribución	Distancia del Tendido de Fibra Existente (m)	Distancia de Nuevo Tendido de Fibra (m)	Distancia del Punto de Distribución al Cliente más lejano (m)	TOTAL (m)
1	Municipio	228	-----	200	428
2	Centro	359	-----	436	795
3	Centro Comercial Municipal	611	183	353	1147
4	Lauro G. y José Antonio E	622	117	444	1183
5	Quito y 18 de Noviembre	314	584	423	1321
6	EERSA	326	-----	916	1242
7	Colegio Técnico	805	-----	264	1069
8	Isidro Ayora	925	-----	1034	1959
9	SENPLADES	314	1433	1168	2915
10	San Cayetano Alto	1423	-----	867	2290
11	CNT Sucursal	1585	-----	290	1875
12	Cabo Minacho	1650	-----	1206	2856
13	Estadio	1406	-----	2259	3665
14	La Paz	7619	-----	1149	8768

Tabla 3.26 - Distancias en los tendidos de Fibra

3.3.5 ESTRUCTURA DE LA RED CORPORATIVA GPON

Tanto el modelo centralizado desde un sitio remoto, como el modelo distribuido permiten llegar hasta el cliente final con un ahorro significativo en la cantidad de hilos de fibra a utilizar, en comparación a una topología de *splitters* centralizados desde la Oficina Central, en donde se necesita un hilo de fibra por abonado desde la OC hasta el sitio mismo del cliente.

Por lo tanto se ubican *splitters* de 1:32 en los puntos de distribución, o se emplean *splitters* de primer nivel de 1:2 en la OC, y desde cada uno de estos *splitters* se llega a dos puntos de distribución con un segundo nivel de *splitting* de 1:16.

En la Figura 3.21 se pueden observar los equipos activos de la red GPON que son el OLT en la Oficina Central, y el ONT que hace la conversión óptica-eléctrica para brindar los servicios de voz, datos y video en el lado del abonado; mientras que los equipos pasivos son: ODF, *splitters*, conectores, empalmes y puntos de acceso.

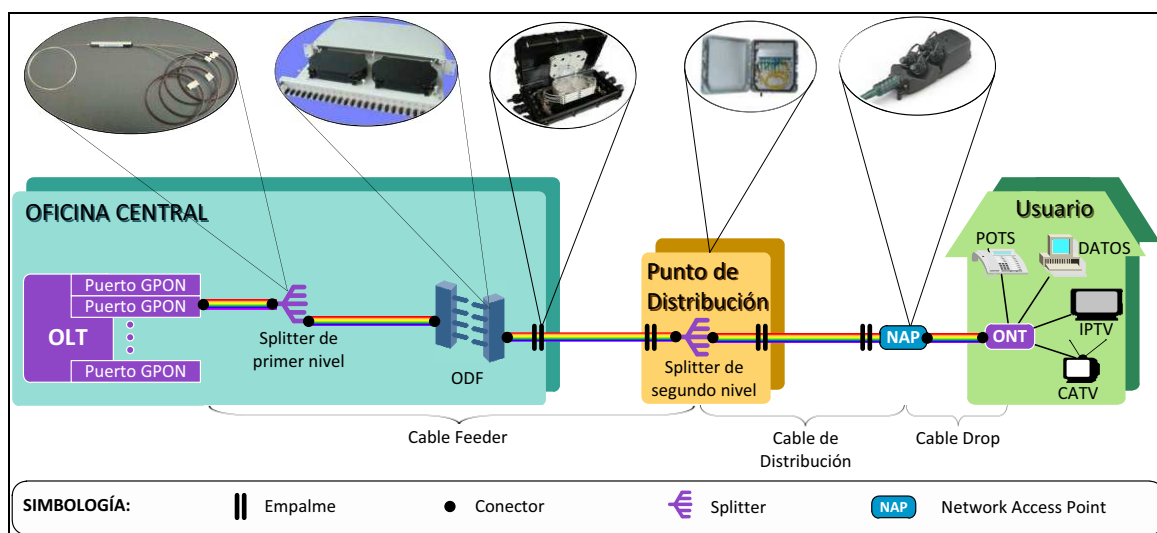


Figura 3.21 - Esquema de la *Optical Distribution Network*

El tendido de fibra se divide en tres secciones: cable *Feeder*, cable de Distribución y cable de *Drop*; el cable *Feeder* comprende desde un puerto GPON hasta el *splitter* de segundo nivel; el cable de Distribución va desde *splitter* de segundo

nivel hasta Terminal NAP, que es el punto en donde se fusiona el cable de fibra y se conecta el último tramo de fibra o cable de *Drop* con el ONT de cada cliente corporativo.

En la Figura 3.21 se ilustra la cantidad de conectores y su ubicación a lo largo de la ODN, se estima el empleo de máximo 7 o 9 conectores que corresponden a escenarios con uno y dos niveles de *splitting*, respectivamente; estos conectores se encuentran en la ODF de la Oficina Central, en *splitters*, puntos de acceso y en los equipos activos.

En el caso de los Nodos San Cayetano Alto y La Paz se ha considerado el esquema de un nodo típico presentado en el capítulo 2, recomendando la eliminación del ODF extra entre el equipo activo (*switch* o *router*) y los ODFs de entrada/salida del nodo; por lo tanto en un nodo se tendrían 2 ODFs, lo cual corresponde a 4 conectores. Por lo tanto en estos dos escenarios se sustituyen los ODFs por empalmes y se emplea *splitters* de fusión de segundo nivel, logrando así eliminar el uso de 2 conectores por ODF reemplazado, y 2 conectores más al reemplazar el *splitter* con conectores por un *splitter* de fusión.

Los empalmes que se requieren corresponden a la manga de empalme que siempre se encuentra en la planta externa de la Oficina Central, éste enlaza el cableado de fibra del interior de la OC con el cableado canalizado de planta externa; el punto de distribución en donde se ubica un *splitter* se encuentra dentro de pozos de revisión y para enlazar dicho punto de distribución con el cableado de fibra se requieren de dos empalmes; otro empalme de rigor que se necesita corresponde al empalme del NAP en las inmediaciones del cliente final. Finalmente otros empalmes que deben ser considerados son aquellos empalmes que se encuentran a lo largo del tendido de fibra existente.

La tecnología GPON permite una gran escalabilidad en la red mediante la instalación de más tarjetas GPON en el OLT, y gracias a la disponibilidad de hilos de fibra dentro del tendido existente y proyectado, es posible la ampliación de

esta red, ya sea ubicando más *splitters* dentro de los puntos de distribución o mediante la creación de nuevos puntos de distribución.

3.3.5.1 Estructura de la Oficina Central

En la Oficina Central se ubica el OLT con 8 puertos GPON desde los cuales se utilizan dos esquemas, el primero es llegar hasta *splitters* de 1:32 ubicados en puntos de distribución y el otro esquema es llegar a *splitters* de primer nivel con multiplexación de 1:2, y de éstos llegar hasta los *splitters* de segundo nivel de 1:16 ubicados en puntos de distribución. En el caso de las zonas 9 y 13, un *splitter* de segundo nivel se ubica también en la OC para llegar con 8 hilos de fibra más hacia la zona 9, y enviar los 8 restantes hacia la zona 13.

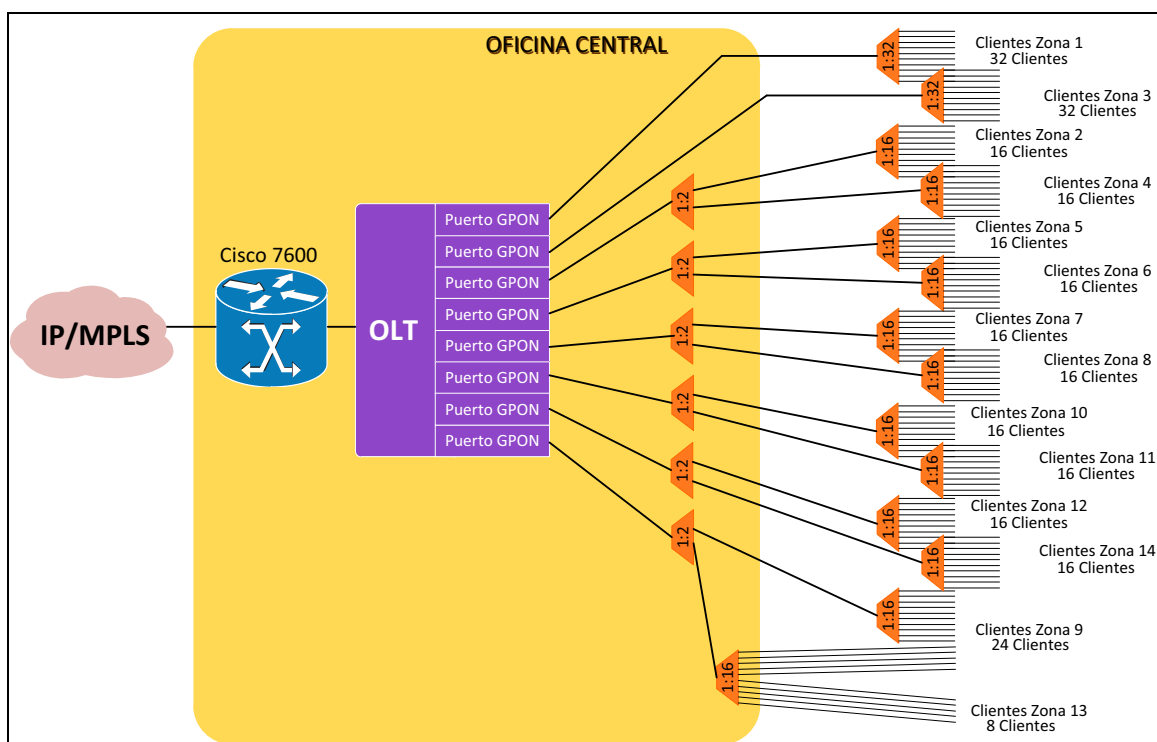


Figura 3.22 - Estructura de la Oficina Central

En la Figura 3.22 se muestra un esquema de la Oficina Central, según lo explicado anteriormente. Para la interconexión e integración de la Red Corporativa GPON con la red de la CNT, se debe tomar en cuenta algunas consideraciones. El tipo de puerto del *router* MPLS Cisco 7600 debe ser un SFP

de 10 Gbps que se va a enlazar con un puerto de *uplink* de 10 Gbps en la OLT; este enlace entre el router 7600 y la OLT debe ser troncal, y permitir el paso de todas las VLANs correspondiente a las de los clientes corporativos a brindar servicio.

3.3.5.2 Estructura de los Puntos de Distribución

De acuerdo a la Figura 3.22, se tienen dos puntos de distribución correspondientes a los ubicados en el Municipio y en el Centro Comercial Municipal, que contienen *splitters* de 1:32. Al punto de distribución ubicado en la zona 9 (SENPLADES) se llega con 9 hilos de fibra, mediante un *splitter* de 1:16 y 8 hilos más se brinda servicio a 24 clientes. Para el punto de distribución de la zona 13 (Estadio) se llega con 8 hilos de fibra para cubrir este sector de baja demanda; mientras que en el resto de zonas, los puntos de distribución tienen *splitters* de 1:16.

3.3.5.3 Análisis de pérdidas en la Red

En el cálculo de la atenuación para los casos críticos correspondientes al cliente más lejano y más cercano, se debe considerar algunos factores que influyen en la atenuación de la ODN, a continuación se indican los niveles de potencia y sensibilidad que soportan los equipos y la atenuación de los elementos de la ODN.

UIT-T G.984.2 CLASE B+	
Potencia de Transmisión	- 1.5 dBm a 5 dBm
Sensibilidad Máxima de Recepción	- 28 dBm
Sensibilidad Mínima de Recepción	- 10 dBm

Tabla 3.27 - Parámetros de Transmisión y Recepción de la Clase B+

La sensibilidad máxima y mínima de recepción según la especificación de la UIT-T G.984.2 para la clase B+, se indican en la Tabla 3.27; por lo tanto la sensibilidad

de recepción debe estar entre los -28 y -10 dBm, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P_{RX_{min}} \leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL} \leq P_{RX_{max}}$$

$$\alpha_{TOTAL} = -\alpha_{fibra} - \alpha_{conectores} - \alpha_{empalmes} - \alpha_{splitters}$$

La atenuación de potencia introducida por los diferentes elementos de la ODN se presenta en la Tabla 3.28, los conectores presentan una atenuación de 0.5 dB, en los empalmes la atenuación es de 0.1 dB, la atenuación en los *splitters* depende de su división e inserción del elemento en la línea de transmisión de la fibra, por lo tanto se considera que la atenuación total es de 3.5 dB por división de 1:2. Finalmente se indica la atenuación del cableado de fibra por kilómetro de distancia de acuerdo a las diferentes ventanas de trabajo.

ELEMENTOS		Atenuación (dB)
Conectores		0.5
Empalmes de Fusión		0.1
Empalmes Mecánicos		0.1
<i>Splitters</i>	1 : 2	3.5
	1 : 4	7
	1 : 8	10.5
	1 : 16	14
	1 : 32	17.5
	1 : 64	21
Fibra	1310 nm	0.35 x Km
	1490 nm	0.3 x Km
	1550 nm	0.25 x Km

Tabla 3.28 - Pérdidas de los diferentes elementos pasivos de la ODN

Normalmente para esta solución se emplean 7 o 9 conectores, como ya se lo explicó en apartados anteriores, sin embargo en el caso de los nodos San Cayetano Alto y La Paz es necesario emplear empalmes de fusión como reemplazo de las ODFs en cada Nodo, y utilizar *splitters* de fusión, en lugar de los *splitters* con conectores. De esta forma se reduce notablemente el número de

conectores necesarios, y aunque aumenta el número de empalmes, la atenuación se mantiene en un rango aceptable.

También para el cálculo de la atenuación en cada zona se ha tomado en cuenta aquellos empalmes existentes a lo largo del tendido de fibra y los nuevos empalmes que se requieren para la inclusión de los puntos de distribución; adicionalmente también se consideran los empalmes de los *splitters* de fusión y los empalmes que remplazan a las ODFs en los casos que han sido necesarias estas consideraciones.

En la Tabla 3.29 se presenta el detalle de la distancia total de la ODN, existencia de empalmes, número de conectores y el nivel de *splitting* en cada zona.

Zona	Ubicación del Punto de distribución	Alcance de la ODN (m)	Empalmes	Conectores	<i>Splitters</i>
1	Municipio	428	5	7	1:32
2	Centro	795	5	9	1:2 y 1:16
3	Centro Comercial Municipal	1147	7	7	1:32
4	Lauro G. y José Antonio E	1183	5	9	1:2 y 1:16
5	Quito y 18 de Noviembre	1321	6	9	1:2 y 1:16
6	EERSA	1242	4	9	1:2 y 1:16
7	Colegio Técnico	1069	7	9	1:2 y 1:16
8	Isidro Ayora	1959	6	9	1:2 y 1:16
9	SENPLADES	2915	6	9	1:2 y 1:16
10	San Cayetano Alto	2290	8	7	1:2 y 1:16
11	CNT Sucursal	1875	5	9	1:2 y 1:16
12	Cabo Minacho	2856	7	9	1:2 y 1:16
13	Estadio	3665	5	9	1:2 y 1:16
14	La Paz	8768	13	7	1:2 y 1:16

Tabla 3.29 - Cálculo del peor escenario en cada Zona

Con todas estas consideraciones se realiza el análisis para verificar y garantizar que con este diseño se llegue hasta el cliente más lejano, y sin quemar el equipo del usuario más cercano.

- Usuario más lejano: 8768 m

- a. Longitud de onda de trabajo: 1310 nm ($\alpha = 0.35$ dB por Km)

$$\begin{aligned}\alpha_{TOTAL} &= -(8.768 \times 0.35)dB - (7 \times 0.5)dB - (13 \times 0.1)dB - 17.5 dB = -25.4 dB \\ -28 dBm &\leq 5 dB - 25.4 dB \leq -13 dBm \\ -28 dBm &\leq -20.4 dB \leq -13 dBm\end{aligned}$$

- b. Longitud de onda de trabajo: 1550 nm ($\alpha = 0.25$ dB por Km)

$$\begin{aligned}\alpha_{TOTAL} &= -(8.768 \times 0.25)dB - (7 \times 0.5)dB - (13 \times 0.1)dB - 17.5 dB = -24.5 dB \\ -28 dBm &\leq 5 dB - 24.5 dB \leq -13 dBm \\ -28 dBm &\leq -19.5 dB \leq -13 dBm\end{aligned}$$

- Usuario más cercano: 428 m

- a. Longitud de onda de trabajo: 1310 nm ($\alpha = 0.35$ dB por Km)

$$\begin{aligned}\alpha_{TOTAL} &= -(0.428 \times 0.35)dB - (7 \times 0.5)dB - (5 \times 0.1)dB - 17.5 dB = -21.5 dB \\ -28 dBm &\leq 5 dB - 21.5 dB \leq -13 dBm \\ -28 dBm &\leq -16.7 dB \leq -13 dBm\end{aligned}$$

- c. Longitud de onda de trabajo: 1550 nm ($\alpha = 0.25$ dB por Km)

$$\begin{aligned}\alpha_{TOTAL} &= -(0.428 \times 0.25)dB - (7 \times 0.5)dB - (5 \times 0.1)dB - 17.5 dB = -21.6 dB \\ -28 dBm &\leq 5 dB - 21.6 dB \leq -13 dBm \\ -28 dBm &\leq -16.6 dB \leq -13 dBm\end{aligned}$$

Los valores de atenuación en cada caso han sido calculados según las Tablas 3.27, 3.28 y 3.29; como se puede observar en el cálculo de ambos casos críticos: para el cliente más lejano y para el cliente más cercano, los valores de sensibilidad de la norma UIT-T G.984.2 para la clase B+ abarcan los rangos de atenuación de potencia para el presente diseño.

3.3.6 SERVICIOS MULTIMEDIA ^{[50] [59] [70]}

En la Tabla 3.30 se indica la tasa de transmisión necesaria para obtener una buena calidad en los diferentes servicios multimedia, desde la perspectiva de un cliente empresarial o corporativo.

Servicio		Tasa de Transmisión	PYME	Subtotal
Telefonía	Básico	64 – 128 Kbps / llamada	50 llamadas simultáneas	3.2 Mbps
	Video Llamada	384 Kbps / llamada	5 llamadas simultáneas	2 Mbps
Video	Videoconferencia	1 – 2 Mbps / sitio	4 sitios remotos	4 Mbps
	SD-TV	1.6 Mbps	1 televisor	1.6 Mbps
	HD-TV	6 Mbps	1 televisor	6 Mbps
Televisión	SD-TV	1.6 Mbps	1 televisor	1.6 Mbps
	HD-TV	6 Mbps	1 televisor	6 Mbps
Datos	Plan empresarial PYMEs ⁴⁶ , sin compartición	2 Mbps	Usuarios dentro de la PYME	2 Mbps
TOTAL:				19 Mbps

Tabla 3.30 - Tasas de Transmisión para Servicios Multimedia

Las llamadas de voz por lo general requieren de velocidades de transmisión de 64 Kbps y 128 Kbps dependiendo del códec⁴⁷ empleado, otros factores a tomar en cuenta es la cantidad de usuarios en la red y el factor de simultaneidad de llamadas. Por lo tanto considerando que una mediana empresa en Ecuador es aquella que cuenta hasta con 100 trabajadores, y un factor de simultaneidad del 50% para llamadas de voz, se ha calculado un total de 3.2 Mbps para telefonía de un cliente corporativo. Los estándares más comunes que se emplean para el manejo de señales de voz son H.323 y SIP.

En videoconferencia se debe considerar factores como: códec de audio, códec de video, cantidad de imágenes por segundo, formato y resolución de video, principalmente; también se debe tomar en cuenta la cantidad de sitios remotos

⁴⁶ PYMEs, en Ecuador se considera una pequeña empresa a aquella que tiene entre 5 y 50 empleados, y una empresa mediana cuenta con 100 – 200 empleados.

⁴⁷ Códec, el codificador-decodificador transforma un archivo, un flujo de datos, o una señal; y la recupera o descifra del mismo modo para la reproducción o la manipulación en un formato más apropiado para estas operaciones. Los códecs son usados a menudo en videoconferencias y emisiones de medios de comunicación.

participantes. En escenarios punto – multipunto de videoconferencia, todos los sitios remotos establecen una sesión *full-duplex* hacia un concentrador, de tal forma que los sitios remotos requieren únicamente de la tasa de transmisión negociada con el concentrador; mientras que el concentrador requiere soportar una capacidad igual a la tasa de transmisión de todos los sitios remotos. Actualmente se emplea el estándar H.263 para videoconferencia y video llamada por la baja tasa de transferencia que requiere y su aceptable calidad.

Los tipos de canales de televisión son: de definición estándar (SD-TV) y de alta definición (HD-TV), en el primer caso es necesario contar con una conexión de al menos 1.6 Mbps y en el segundo caso de 6 Mbps. Estas tasas de transmisión requeridas han ido disminuyendo debido al desarrollo de los códecs para la compresión de audio y video como MPEG⁴⁸.

La tasa de transmisión de datos se ha estimado de 2 Mbps, debido a que los clientes corporativos de la ciudad de Loja en promedio contratan planes corporativos de esta capacidad de transmisión y éste corresponde al plan más contratado; esta tasa de transmisión para datos sin compartición abastece las necesidades de una PYME en Ecuador. Ésta información ha sido obtenida por parte del personal de CNT y de la herramienta OPEN.

De acuerdo a estos datos de la Tabla 3.30 se estima una tasa de transmisión de 19 Mbps por cliente empresarial bajo las condiciones más críticas, en las que se requiera de todos los servicios detallados en esta tabla; sin embargo considerando que los servicios de videoconferencia y televisión no son requeridos con tanta frecuencia, se puede establecer que un cliente empresarial de estas características necesita contar con un plan corporativo de alrededor de 10 Mbps para contar con todos estos servicios.

⁴⁸ MPEG (*Moving Picture Experts Group*), un grupo de trabajo que se formó para establecer estándares para la transmisión de audio y video. Los algoritmos de MPEG comprimen la información de los cambios de un *frame* al siguiente en pequeños paquetes que pueden ser transmitidos fácilmente y después descomprimidos.

La tecnología GPON trabaja típicamente con velocidades en *downstream* de 2.488 Gbps, por lo que al dividir esta capacidad entre todos los usuarios proporciona tasas de transmisión teóricas de: 39 Mbps por usuario con un nivel de *splitting* de 1:64 por puerto GPON y de 78 Mbps por usuario con un nivel de *splitting* de 1:32 por puerto GPON. Por lo tanto la velocidad de transferencia de datos que puedan contratar los usuarios no se ve limitada por la tecnología, sino por aspectos comerciales debido al alto costo de planes de estas características.

3.3.7 REQUERIMIENTOS PARA LA RED GPON

En esta sección se presentan las características o requerimientos que debe soportar la infraestructura activa y pasiva, para el correcto dimensionamiento de esta solución.

3.3.7.1 Requerimientos para el Equipamiento Activo

La infraestructura activa corresponde a la OLT en el lado del proveedor de servicios y a la ONT en el lado del cliente.

La OLT debe cumplir con algunos requerimientos para su correcto funcionamiento e integración con la red de la CNT-EP. En la Tabla 3.31 se indican las características mínimas que debe cumplir la OLT.

Equipo	OLT
Cantidad	1
Puertos	Mínimo 8 puertos GPON Mínimo 2 puertos 10 Gbps para <i>Uplink</i> con equipos IP/MPLS Puerto de consola
Estándares y Características	UIT-T G.984.1 – G.984.4 QoS, clasificación de tráfico por ONT o por aplicación <i>Hot Swap</i> , cambios de tarjetas en caliente 802.3ad, para puertos de <i>trunking</i> 802.1p, para prioridad de tráfico de diferentes aplicaciones 802.1q, soporte de VLANs 802.1d/1w, manejo de lazos en capa enlace
Longitudes de Onda	1310 nm para voz y datos en <i>Upstream</i> 1490 nm para voz y datos en <i>Downstream</i> 1550 nm para video

(continúa)

Sensibilidad de Recepción	- 13 a - 28 dBm según la Clase B+
Potencia de Transmisión	- 1.5 a 5 dBm según la Clase B+
Gestión	Gestión Mediante CLI o GUI SNMP v1, v2c, v3, Telnet, SSH

Tabla 3.31 - Detalle de requerimientos para la OLT

Las ONTs son de tipo empresarial, en la Tabla 3.32 se presentan las características mínimas que deben cumplir para su correcto funcionamiento dentro de este ámbito.

Equipo	ONT de tipo <i>Indoor</i>
Cantidad	256
Puertos	<ul style="list-style-type: none"> • 1 puerto GPON • Mínimo 2 puertos 100 Base-T • Mínimo 1 puerto POTS para telefonía analógica
Estándares y características	UIT-T G.984.1 – G.984.4 QoS, para asignación de ancho de banda por demanda 802.1p, para prioridad de tráfico de diferentes aplicaciones
Longitudes de Onda	1310 nm para voz y datos en <i>Upstream</i> 1490 nm para voz y datos en <i>Downstream</i> 1550 nm para video
Sensibilidad de Recepción	- 13 a - 28 dBm según la Clase B+
Potencia de Transmisión	- 1.5 a 5 dBm según la Clase B+
Gestión	Gestión Mediante CLI o GUI SNMP v1, v2c, v3, Telnet, SSH
Características Eléctricas	110 VAC @ 60 Hz

Tabla 3.32 - Detalle de requerimientos para las ONT

3.3.7.2 Requerimientos para el Equipamiento Pasivo

La infraestructura pasiva corresponde a la ODN, la cual está conformada por *splitters*, empalmes, conectores, ODFs y el cableado de fibra óptica. Para el cableado de *Feeder* y de Distribución de fibra óptica para se empleará la norma G.652D, debido a que este estándar abarca el rango de trabajo entre las bandas O y L, y también permite alcanzar amplias distancias. Este cableado debe ser de 24 hilos *Loose tube – all dielectric*⁴⁹ para uso en ducto, esta cantidad de hilos

⁴⁹ *Loose tube – all dielectric*, se refiere a cables dieléctricos de fibra óptica en los cuales los hilos de fibra se encuentran dentro de tubos holgados o *buffer*, que brinda a la fibra protección y rigidez adicional.

permite tener escalabilidad por crecimiento futuro y por las razones comerciales que serán explicadas en apartados posteriores en el capítulo 4.

Mientras que para el último tramo de fibra o cableado de *Drop* se recomienda el estándar UIT-T G.657. Esta norma introduce dos categorías: G.657A y G.657B, la categoría A es totalmente compatible con las fibras monomodo UIT-T G.652, y la categoría B no es necesariamente compatible con UIT-T G.652; por lo tanto se emplea fibra G.657A para el cableado de *Drop*. El cableado de fibra va canalizado en el centro urbano de la ciudad, y se recomienda el cable de tipo *Flat Dielectric Cable* preconectorizado⁵⁰; viene en múltiples longitudes que van desde 75 y 2000 pies (24 y 610 m).

Los puntos de distribución son cajas de conectorización con accesorios que se ubican dentro de la canalización, es en donde se realizan los empalmes de fusión y derivaciones, y también pueden alojar *splitters*; dentro de estas cajas se ubican *splitters* de 1:16 y 1:32 con conectores SC.

También se requieren *splitters* de 1:16 sin conectores para las zonas de San Cayetano Alto y La Paz, *splitters* con conectores SC de 1:2 y uno de 1:16 ubicados en la OC, todos estos *splitters* que se ubican en los Nodos o en la OC se deben montar en el *rack*.

Los empalmes de fusión se ubicarán de igual forma dentro de la canalización en mangas o bandejas de empalmes. También se requiere de *patch cords* de fibra para conectar el OLT con los *splitters* y estos últimos con el ODF, además de los enlaces de *uplink*; y un ODF ubicado en la Oficina Central cuya capacidad sea de al menos 24 hilos de fibra, con conectores FC. Los puntos de accesos finales o NAPs, constituyen el último punto de conexión hacia los ONTs del cliente y se ubican en las proximidades del mismo, para la interconexión a uno o varios clientes.

⁵⁰ *Flat Dielectric Cable* preconectorizado, se refiere a cables de forma ovalada-plana, dieléctricos, de fácil manipulación y livianos que ya vienen con el conector (generalmente SC) para enlazarse con el equipo terminal del cliente.

En la Tabla 3.33 se presenta un resumen de los requerimientos de la infraestructura pasiva que corresponde a la ODN; la cantidad de metros para el cable de *Drop* se ha calculado en base al promedio de las distancias de los clientes hasta los correspondientes puntos de distribución para cada zona, según los datos de la Tabla 3.26; la cantidad de metros de cable *Feeder* y de Distribución también corresponde a la Tabla 3.26.

ITEM	DETALLE	CANTIDAD
Cable G.657A	Cableado de Drop para 256 clientes iniciales, conectores estándar SC.	8960
Patch Cords	De 10 m con conectores LC/LC. De 10 m con conectores LC/FC. De 10 m con conectores FC/FC. De 10 m con conectores LC/SC. De 10 m con conectores SC/SC.	25
	De 5 m con conectores LC/LC. De 5 m con conectores LC/FC. De 5 m con conectores FC/FC. De 5 m con conectores LC/SC. De 5 m con conectores SC/SC.	25
ODF	24 puertos, para montar en <i>RACK</i> de 19 pulgadas	1
Splitters 1:2 para <i>Rack</i> con conectores SC	Ubicados en la Oficina Central para montar en <i>Rack</i>	6
Caja de Conectorización con Splitters 1:16 con conectores SC	Zonas 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 y 12. Se ubican dentro de las cajas de distribución o conectorización.	9
Splitters 1:16 para <i>Rack</i> Sin conectores	Zonas 10 y 14 para montar en <i>Rack</i>	2
Splitters 1:16 para <i>Rack</i> Con conectores	Ubicado en la Oficina Central	1
Caja de Conectorización con Splitters 1:32 con conectores SC	Zonas 1 y 3 Se ubican dentro de las cajas de distribución o conectorización.	2
Mangas de empalmes de fusión para Red GPON	Para ubicar dentro de ductería	5
NAPs	Puntos de acceso hacia 2, 4 y 6 usuarios finales.	100
SFPs 1000BaseLX	Para cubrir distancias de hasta 10 Km, con atenuaciones de hasta -20 dB.	24
SFPs 1000BaseZX	Para cubrir distancias de hasta 70 Km, con atenuaciones de hasta -23 dB.	6
Mangas de empalmes de fusión para Red de Nodos	Necesarios al considerar carretes de fibra de 4000 metros	2

Tabla 3.33 - Detalle de requerimientos para el Equipamiento Pasivo



3.3.8 COMPARACIÓN DE EQUIPOS

En este apartado se presenta la comparación de equipos entre dos fabricantes; tomando en cuenta que las ONTs deben ser de la misma marca que la OLT, debido que aún no existe la interoperabilidad entre fabricantes para estos equipos, en esta sección se presentan dos soluciones del equipamiento activo correspondiente a dos fabricantes: Alcatel-Lucent y Huawei.

En un siguiente capítulo se presentará la selección de la mejor alternativa tomando en cuenta el costo-beneficio de los equipos, a más de las características técnicas.

3.3.8.1 OLT ^[80] ^[81] ^[82]

En la Tabla 3.34 se presenta la comparación de las principales características técnicas entre una OLT Alcatel-Lucent ISAM FTTU 7342 P-OLT y una OLT Huawei MA5600T OLT. Ambos equipos cumplen con las características mínimas que se han establecido en el apartado 3.3.7.1 para estos equipos.

ESPECIFICACIONES	Alcatel - Lucent ISAM FTTU 7342 P-OLT	Huawei MA5600T OLT
Descripción	 <p>El sistema ISAM FTTU (<i>Intelligent Services Access Manager Fiber to the User</i>) es la solución de Alcatel-Lucent para redes GPON, se basa en estándares de la FSAN, provee servicios de <i>triple play</i> (voz, video y datos) sobre un solo hilo de fibra; logra la integración con redes de voz y video tradicionales, y soporta servicios de nueva generación como IPTV y VoIP.</p>	 <p>Es la primera plataforma de acceso que integra una serie de servicios, provee DSL y acceso óptico integrado; ofrece alta densidad de servicios ADSL2+, VDSL2, POTS, ISDN, GPON y acceso de fibra <i>Ethernet</i> P2P, servicios <i>triple play</i> y servicios de líneas arrendadas de tipo TDM/ATM/<i>Ethernet</i> para clientes empresariales.</p>

(continúa)

ESPECIFICACIONES	Alcatel - Lucent ISAM FTTU 7342 P-OLT	Huawei MA5600T OLT
Alta disponibilidad	Redundancia en procesador.	Redundancia en procesador.
Capacidad de <i>Switching</i>	500 Gbps.	3.2 Tbps.
Puertos de <i>Uplink</i>	Tarjeta controladora con 4 puertos de 1 Gbps y un puerto de 10 Gbps.	Hasta 4 puertos de 1 Gbps o de 10 Gbps para <i>uplink</i> .
Puerto de Consola	✓	✓
Puertos GPON	4 puertos GPON por tarjeta.	8 puertos GPON por tarjeta.
Tarjetas	Hasta 14 tarjetas GPON por OLT.	Hasta 16 tarjetas GPON por OLT.
Factor de <i>Splitting</i>	1:32 por puerto GPON. 1:64 por puerto en distancias cortas.	1:32 por puerto GPON. 1:64 por puerto en distancias cortas.
Tasas de transmisión	2.488/1.25 Gbps por puerto GPON según la especificación G.984.3.	2.488/1.25 Gbps por puerto GPON según la especificación G.984.3.
Sensibilidad de Recepción	- 13 a - 28 dBm según la Clase B+	- 13 a - 28 dBm según la Clase B+
Potencia de Transmisión	- 1.5 a 5 dBm según la Clase B+	- 1.5 a 5 dBm según la Clase B+
Estándares y Características	<ul style="list-style-type: none"> • Priorización de tráfico, flujo de tráfico administrado por VLAN. • Funciones de IGMP <i>proxy/snooping</i>. • Priorización y diferenciación de tráfico. 	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.1Q, QinQ VLAN. • IGMP v2/v3. • Priorización de tráfico: 802.1p, diferenciación de servicios. • Control de ancho de banda, HQoS
Longitudes de Onda	<ul style="list-style-type: none"> • 1310 nm para voz y datos en <i>Upstream</i> • 1490 nm para voz y datos en <i>Downstream</i> • 1550 nm para video 	<ul style="list-style-type: none"> • 1310 nm para voz y datos en <i>Upstream</i> • 1490 nm para voz y datos en <i>Downstream</i> • 1550 nm para video
Administración	Mediante el sistema de administración 5520 AMS (<i>Access Management System</i>).	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante un sistema de gestión unificada <i>iManager</i> U2000 para los equipos. • Con el sistema N2510 se gestiona la ODN.

Tabla 3.34 - Tabla Comparativa para la OLT

De la tabla comparativa acerca de las características de ambos equipos, tanto la OLT Huawei como la OLT Alcatel-Lucent cumplen con las características mínimas requeridas para estos equipos; sin embargo se observa que la OLT Huawei presenta mayor capacidad de procesamiento y mayor flexibilidad de crecimiento.

3.3.8.2 ONT ^[83] ^[84]

Considerando que las ONTs deben ser del mismo fabricante que la OLT, en la Tabla 3.35 se presenta la comparación de las principales características técnicas entre una ONT Alcatel-Lucent I-220E *INDOOR*-ONT y una ONT Huawei HG8240

INDOOR-ONT. Ambos equipos cumplen con las características mínimas que se han establecido en el apartado 3.3.7.1 para estos equipos.



ESPECIFICACIONES	Alcatel - Lucent I-220E <i>INDOOR-ONT</i>	Huawei HG8240 <i>INDOOR-ONT</i>
Descripción	 <p>Los ONTs de las series <i>Indoor</i> están diseñados para el fácil acceso de la fibra óptica hasta los hogares, pueden ser montadas en paredes o colocarlos sobre un escritorio; LEDs externos indican el estado operacional del equipo.</p>	 <p>Es una solución para escenarios de FTTH, este ONT de tipo <i>indoor</i> es empleado para usuarios SOHO; ofrece alto rendimiento para asegurar una excelente experiencia con VoIP, Internet y servicios de video HD.</p>
Puertos de Servicio	<ul style="list-style-type: none"> • 2 interfaces POTS, con interfaces RJ-11. • 2 interfaces <i>Fast Ethernet</i>, con interfaces 10/100Base-T. 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 interfaces POTS, RJ-11. • 4 interfaces <i>Gigabit Ethernet</i>, RJ-45.
Puertos GPON	Incluye un puerto GPON SC	Incluye un puerto GPON SC.
Factor de <i>Splitting</i>	1:32 por puerto GPON. 1:64 por puerto en distancias cortas.	1:32 por puerto GPON. 1:64 por puerto en distancias cortas.
Tasas de transmisión	2.488/1.25 Gbps por puerto GPON según la especificación G.984.3.	2.488/1.25 Gbps por puerto GPON según la especificación G.984.3.
Sensibilidad de Recepción	- 13 a - 28 dBm según la Clase B+	- 13 a - 28 dBm según la Clase B+
Potencia de Transmisión	- 1.5 a 5 dBm según la Clase B+	- 1.5 a 5 dBm según la Clase B+
Estándares y Características	<ul style="list-style-type: none"> • Administración dinámica del ancho de banda y QoS. • Cliente SIP para la conversión de POTS a VoIP. • 802.1p, Autenticación IEEE 802.1x. • IGMPv3 <i>snooping</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • 802.1p y VLANs. • FEC en <i>Upstream/downstream</i>. • IGMP V2&V3 <i>snooping</i>. • Soporte de protocolos SIP y H.248. • Consumo de energía ajustable.
Longitudes de Onda	<ul style="list-style-type: none"> • 1310 nm para voz y datos en <i>Upstream</i>. • 1490 nm para voz y datos en <i>Downstream</i>. • 1550 nm para video. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1310 nm para voz y datos en <i>Upstream</i>. • 1490 nm para voz y datos en <i>Downstream</i>. • 1550 nm para video.
Administración	Administración remota por un sistema de gestión de Alcatel-Lucent.	Administración remota por un sistema de gestión de Huawei.
Características Eléctricas	110 – 120 VAC @ 60 Hz	110 – 240 VAC @ 50 – 60 Hz
Administración	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante OMCI, Alcatel-Lucent 5528. • Web-based Access Manager (WAM). • Alcatel-Lucent 5523 AWS (<i>Network Management System</i>). 	Administración local mediante <i>Web</i> y administración remota mediante OMCI.

Tabla 3.35 - Tabla Comparativa para las ONTs

De la tabla comparativa acerca de las características de ambos equipos, se observa que la ONT Huawei presenta 4 interfaces GE y 2 interfaces POTS; mientras que la ONT de Alcatel-Lucent tiene 2 interfaces FE y 2 interfaces POTS; y ambos modelos comparten similares características y protocolos.

4 ANÁLISIS DE COSTOS

Como parte de la evaluación de un proyecto, es importante considerar a más de la factibilidad técnica, la factibilidad financiera. En este capítulo se presenta el análisis costo – beneficio, de la implementación de este proyecto en conjunto, que incluye la ampliación de la Red MAN de Nodos y la implementación de la Red GPON; partiendo de un presupuesto referencial de los equipos elegidos como óptimos para ambas redes.

4.1 INTRODUCCIÓN

La reingeniería y rediseño de la Red MAN de Nodos tiene como objetivo transformar a la red actual de la CNT-Loja, en una red de alta disponibilidad que evite las multas y penalizaciones de la SUPERTEL, que son causadas por la caída de enlaces e interrupción de servicios. Por otro lado la red GPON pretende brindar los mismos servicios corporativos, pero mediante una red que potencializa la infraestructura de planta externa con la que cuenta la CNT-Loja.

Por lo tanto para este proyecto, el estudio costo – beneficio se enfoca en analizar la demanda de servicios por parte de clientes residenciales de telefonía, e Internet; al igual que los servicios de telefonía, Internet y datos para clientes corporativos. Todos estos clientes se ven involucrados en la implementación de este proyecto, ya que al ampliar y proveer una Red MAN de alta disponibilidad, todos los clientes de la CNT-EP se benefician, incluyendo a los usuarios corporativos que dispondrán de un *backbone* redundante.

Para realizar este análisis, se establece un cronograma de la ampliación de la Red MAN de Nodos y de la implementación de la Red GPON. Se establece un presupuesto referencial que abarca inversiones fijas y nominales; también se consideran otros gastos indispensables para la puesta en operación del proyecto, como costos de mantenimiento y publicidad. Mientras que para evaluar los

ingresos del proyecto, se considera el ahorro de las multas y penalizaciones que establece la SUPERTEL por la caída de enlaces y falla en servicios, y se toma en cuenta el costo de los diferentes servicios ofrecidos y el crecimiento en ventas de los mismos. Finalmente a partir de todos estos datos se presenta la evaluación financiera de la implementación del proyecto, mediante el análisis de algunos de los principales indicadores financieros.

4.2 CRONOGRAMA

Mediante el cronograma de la Figura 4.1, se indica la distribución de los periodos de tiempo mensuales, para poner en marcha el proyecto de ampliación de la Red MAN de Nodos y la implementación de la Red GPON para la CNT-Loja; para la elaboración del cronograma se ha empleado el Diagrama de *Gantt* desde su fase inicial, hasta que el proyecto esté en operación.

Dado que la implementación de este proyecto se planificó realizarse en dos etapas, se ha dividido el cronograma en tres fases de modo de facilitar su realización y control. Estas fases son: Inicio, Ejecución de la Primera Etapa de Ampliación de la Red de Nodos y Red GPON, y Ejecución de la Segunda Etapa de Ampliación de la Red de Nodos.

En la primera fase se realizan *site surveys* y la planificación de la ejecución del proyecto; en la segunda fase se implementa la Primera Etapa de Ampliación de la Red MAN de Nodos y la Red GPON; y la tercera fase empieza desde el siguiente año, ya que el presupuesto para este proyecto se divide en dos años para su ampliación.

El detalle de las actividades se observa en el siguiente Diagrama de *Gantt* de la Figura 4.1.

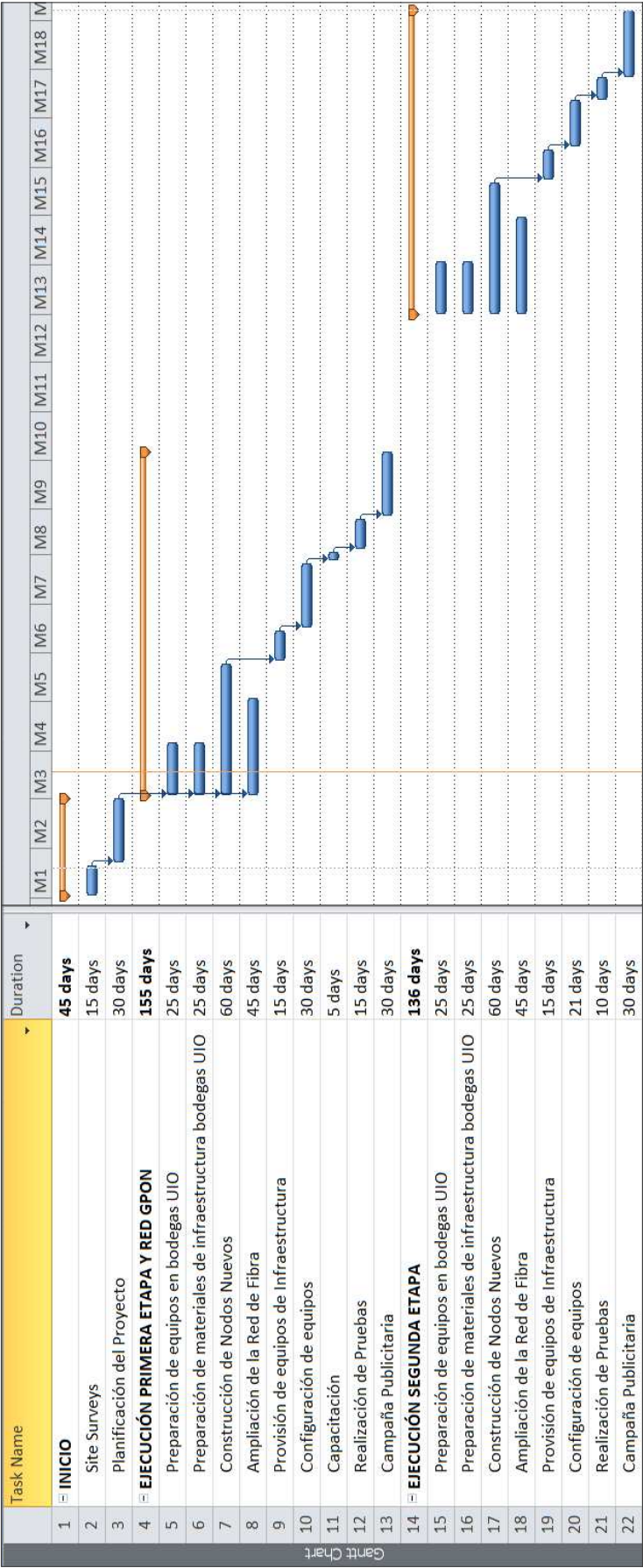


Figura 4.1 - Cronograma del Proyecto

4.3 PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL PROYECTO

A más de analizar la factibilidad técnica, es necesario analizar la viabilidad económica, para seleccionar un equipo del fabricante que ofrezca los mejores beneficios requeridos de acuerdo a su costo y que constituya la solución más económica. El cálculo del presupuesto referencial ayuda a identificar la magnitud de la inversión para la prestación de servicios, y la determinación del monto para el normal funcionamiento del proyecto luego de su implementación. Este presupuesto ha sido dividido en inversiones fijas e inversiones nominales, para facilitar su análisis.

Las cotizaciones se adjuntan en el Anexo H, aquí se incluyen los precios de lista de equipos Cisco proporcionados por DESCAR, precios referenciales de equipamiento Huawei y Alcatel-Lucent facilitados por las respectivas empresas; otros precios referentes al presente proyecto incluyen el costo de la obra civil de la construcción de los Nodos.

4.3.1 INVERSIONES FIJAS ^[85]

Las inversiones fijas son aquellas que se realizan sobre bienes tangibles, por lo que se utilizan para garantizar la operación del proyecto; no son objeto de comercialización por parte de la empresa y se adquieren para utilizarse durante su vida útil. Para poner en marcha el proyecto de ampliación de la Red MAN de Nodos, se requiere de equipos activos y de la red pasiva de fibra óptica. Mientras que para poner en marcha el proyecto de implementación de la Red GPON, se necesita equipamiento activo, pasivo y del tendido de fibra óptica.

4.3.1.1 Equipamiento Activo

El equipamiento activo para la ampliación de la Red MAN de Nodos, consiste en *switches* y *routers*. De acuerdo a los requerimientos técnicos se han elegido dos marcas comparables por sus características técnicas: Cisco y Huawei; y para la

otra parte del proyecto acerca de la implementación de la Red GPON, se requiere de una OLT y ONTs; de igual forma, de acuerdo a los requerimientos técnicos se han elegido dos marcas comparables: Alcatel-Lucent y Huawei.

En cuanto a la Garantía Técnica, el Contratista, para asegurar la calidad de los equipos, materiales y *software* que suministra, y principalmente del servicio que se presta a través de ellos, deberá presentar una Garantía Técnica, la que se mantendrá vigente hasta un año después de la Entrega Recepción del Proyecto.

4.3.1.1.1 Router MPLS

En la Tabla 4.1 se presenta una comparación de características para el *router* MPLS en que difieren ambos fabricantes; también se presenta el precio y la selección de la mejor solución.



ESPECIFICACIONES	Cisco ME 3800X Series Carrier Ethernet Switch Router	Huawei CX600-X3
Modelo		
Redundancia en procesador/fuente	Redundancia en fuente.	Redundancia en procesador y fuente.
Slots	N/A	5 slots, incluye 2 MPUs y 3 LPUs.
Puertos	<ul style="list-style-type: none"> • 24 puertos SFPs <i>Gigabit Ethernet</i> • 2 puertos SFP+ 10 <i>Gigabit Ethernet</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarjeta de 20 puertos SFP 100/1000Base-X • Tarjeta de 2 puertos XFP 10GBase LAN/WAN
Capacidad de Backplane	65 Mpps	300 Mpps
Memoria DRAM	Hasta 1 GB	1 GB, puede expandirse hasta 2 GB.
Memoria Flash	64 MB	32 MB
MTBF	21.16 años	23.57 años
Precio	\$36,770.00	\$15,400.00
Selección	x	✓

Tabla 4.1 - Comparación y Selección de los *Routers* MPLS

Se ha seleccionado al *Router* de Huawei debido a que estos equipos serán ubicados en Nodos Principales, desde los cuales se expande una Red de Acceso formada por tres o cuatro nodos más; por lo tanto estos equipos deben ser

altamente confiables, ya que de ellos depende la conectividad de hasta cinco sectores de la ciudad. Se ha elegido a los *Routers* MPLS Huawei porque ofrecen redundancia en procesador, mejor capacidad de *backplane*, mayor tiempo de MTBF⁵¹ y su precio referencial es la mitad que su equivalente en marca Cisco.

4.3.1.1.2 *Switch Metro Ethernet*

En la Tabla 4.2 se presenta una comparación de las características para el *switch Metro Ethernet* en que difieren ambos fabricantes, al igual que el precio y la selección de la mejor solución.



ESPECIFICACIONES	Cisco Catalyst 4500-X	Huawei Quidway S5700
Modelo		
Puertos	• 32 Port 10GE	• 24 puertos 100/1000Base-X • 4 puertos GE (10/100/1000BASET)
Capacidad de Switching	800 Gbps	128 Gbps
Capacidad de Backplane	250 Mpps	95.2 Mpps
Direcciones MAC	55 K	32 K
MTBF	22.8 años	No Especifica
Precio	\$53,025.00	\$50,000.00
Selección	✓	x

Tabla 4.2 - Comparación y Selección de los Switches Metro *Ethernet*

Se ha seleccionado al modelo de Cisco debido a que la diferencia en precios referenciales es reducida, y considerando los beneficios del modelo de Cisco en cuanto al mayor número de puertos y capacidad, gran diferencia respecto a su capacidad de *switching* y *backplane*, y soporte de un número mayor de direcciones MAC.

⁵¹ MTBF (*Mean Time Between Failures*), representa el lapso de tiempo que se predice entre fallas inherentes, respecto a un sistema en operación.

Respecto al costo, los equipos marca Cisco son más costosos que su equivalente en marca Huawei; sin embargo los precios que se indican en la Tabla 4.2 corresponden a los precios de lista o referenciales, y los precios reales podrían bajar hasta más del 50% en ambos modelos⁵².

4.3.1.1.3 Optical Line Terminal

En la Tabla 4.3 se presenta una comparación de características para la OLT en que difieren ambos fabricantes, también se presenta el precio y la selección de la mejor solución.



ESPECIFICACIONES	Alcatel - Lucent ISAM FTTU 7342 P-OLT	Huawei MA5600T OLT
Modelo		
Capacidad de Switching	500 Gbps.	3.2 Tbps.
Puertos de Uplink	Tarjeta controladora con 4 puertos de 1 Gbps y un puerto de 10 Gbps.	Hasta cuatro puertos de 1 Gbps o de 10 Gbps para <i>uplink</i> .
Puertos GPON	4 puertos GPON por tarjeta.	8 puertos GPON por tarjeta.
Tarjetas	Hasta 14 tarjetas GPON por OLT.	Hasta 16 tarjetas GPON por OLT.
Precio	\$50,000.00	\$35,000.00
Selección	x	✓

Tabla 4.3 - Comparación y Selección de la OLT

Se ha seleccionado a la solución Huawei porque al comparar las diferencias en las características técnicas, el modelo de Huawei ofrece mejor capacidad de *switching* y estos equipos facilitan el crecimiento de la solución, al soportar una mayor cantidad de puertos GPON. Adicionalmente la solución Huawei es más económica que la de Alcatel-Lucent.

⁵² Información proporcionada por el personal de CNT-EP.

4.3.1.1.4 Optical Network Terminal

En la Tabla 4.4 se presenta una comparación de características para las ONTs en que difieren ambos fabricantes, al igual que el precio para estos equipos.



ESPECIFICACIONES	Alcatel - Lucent I-220E INDOOR-ONT	Huawei HG8240 INDOOR-ONT
Modelo		
Puertos de Servicio	<ul style="list-style-type: none"> • 2 interfaces POTS (RJ-11). • 2 interfaces <i>Fast Ethernet</i>, con interfaces 10/100Base-T. 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 interfaces POTS (RJ-11). • 4 interfaces <i>Gigabit Ethernet</i>, RJ-45.
Precio	\$330,00	\$250.00
Selección	x	✓

Tabla 4.4 - Comparación y Selección de las ONTs

Se ha seleccionado al ONT Huawei, porque estos equipos deben ser de la misma marca que el OLT y este modelo de equipos terminales de cliente también presenta mejores características respecto al número de puertos y mejor precio.

4.3.1.1.5 Costo Total del Equipamiento Activo

En la Tabla 4.5 se presenta un resumen de los gastos de la adquisición del equipamiento activo, necesario para la implementación de este proyecto:

DETALLE	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	COSTO PRIMERA ETAPA Y RED GPON	COSTO SEGUNDA ETAPA
	Primera Etapa	Segunda Etapa			
<i>Router MPLS</i>	3	2	\$15,400.00	\$46,200.00	\$30,800.00
<i>Switch Metro Ethernet</i>	4	4	\$53,025.00	\$212,100.00	\$212,100.00
OLT	1	0	\$35,000.00	\$35,000.00	\$0.00
ONTs	256	0	\$250.00	\$64,000.00	\$0.00
PRECIO PARCIAL:				\$357,300.00	\$242,900.00
Repuestos (5%):				\$17,865.00	\$12,145.00
PRECIO TOTAL:				\$375,165.00	\$255,045.00

Tabla 4.5 - Detalle de la inversión inicial del Equipamiento Activo

4.3.1.2 Red Pasiva

La red pasiva para la ampliación de la Red MAN de Nodos, consiste en el tendido de fibra óptica que enlaza a los nodos, empalmes y módulos SFPs. Para la otra parte del proyecto de la implementación de la Red GPON, consiste en el tendido de fibra óptica y el equipamiento pasivo: un ODF, *patch cords* de fibra, cajas de conectorización con accesorios, *splitters* y puntos de acceso finales para fibra óptica.

4.3.1.2.1 Tendido de Fibra Óptica

Para el cálculo del monto económico que se requiere para la implementación de la red de planta externa, necesaria para este proyecto, se ha tomando en cuenta la implementación del proyecto en dos etapas. A continuación se presenta el detalle de la inversión en una Primera Etapa de la Ampliación de la Red de Nodos y de la Red GPON.

PROYECTO CNT-LOJA	CABLEADO DE FIBRA	DISTANCIA (metros)	RECORRIDO	PRECIO
Ampliación de la Red MAN de Nodos	Cable aéreo 6 fibras ópticas monomodo ADSS G.652D (vanos 80 m)	2301	Punzara – Época	\$5,913.57
		1691	Punzara – Loja Sur	\$4,345.87
		1859	Punzara – Ciudad Alegría	\$4,777.63
		996	Ciudad Alegría – Loja Sur	\$2,559.72
		2799	El Rosal – Ciudad Alegría	\$7,193.43
		309	Bernardo Valdivieso – Alegro	\$794.13
		1609	Loja Centro – Shushuhuayco	\$4,135.13
	Cable canalizado 6 fibras ópticas monomodo G.652D	180	Ciudad Alegría – Loja Sur	\$559.80
		1229	Bernardo Valdivieso – El Rosal	\$3,822.19
		486	Bernardo Valdivieso – Alegro	\$1,511.46
		1425	Loja Centro – Shushuhuayco	\$4,431.75
Implementación de la Red GPON	Cable Feeder Canalizado G.652D de 24 hilos	2317	Nuevo tendido de cable Feeder hasta puntos de distribución.	\$7,205.87
	Cable de Distribución Canalizado G.652D de 24 hilos	78600	Cableado de Distribución 786 m en promedio por 100 ubicaciones de puntos de acceso o NAPs.	\$244,446.00
PRECIO TOTAL PRIMERA ETAPA Y RED GPON:				\$291,696.55

Tabla 4.6 - Inversión del tendido de cableado de fibra óptica en la Primera Etapa y Red GPON

En la Tabla 4.7 se detalla la inversión del tendido de fibra óptica para la Segunda Etapa de Ampliación de la Red de Nodos.

PROYECTO CNT-LOJA	CABLEADO DE FIBRA	DISTANCIA (metros)	RECORRIDO	PRECIO
Ampliación de la Red MAN de Nodos	Cable aéreo 6 fibras ópticas monomodo ADSS G.652D (vanos 80 m)	5231	Belén – Carigán	\$13,443.67
		2886	Carigán – Loja Norte	\$7,417.02
		2213	Loja Norte – Amable María	\$5,687.41
		1516	Amable María – La Paz	\$3,896.12
	Cable canalizado 6 fibras ópticas momomodo G.652D	311	Carigán – Loja Norte	\$967.21
		411	Amable María – La Paz	\$1,278.21
PRECIO TOTAL SEGUNDA ETAPA:				\$32,689.64

Tabla 4.7 - Inversión del tendido de cableado de fibra óptica en la Segunda Etapa

Los costos calculados sobre la implementación del tendido de fibra se basan en valores referenciales del precio del metro instalado de fibra óptica de 24 hilos, tanto aérea como canalizada. Estos precios incluyen materiales y mano de obra:

- \$ 2.57 por metro de tendido de cable aéreo de 24 hilos de fibra óptica monomodo ADSS G.652 para vanos de 80 metros.
- \$ 3.11 por metro de tendido de cable canalizado 24 hilos de fibra óptica momomodo G.652.

4.3.1.2.2 Equipamiento Pasivo

El equipamiento pasivo corresponde a los elementos adicionales como: empalmes que son necesarios para unir cables de fibra, considerando que generalmente los carretes son de 4000 metros; también se ha incluido como equipamiento pasivo a los SFPs que van en los *switches* y *routers* de la Red MAN de Nodos. Adicionalmente la Red GPON requiere para su correcto funcionamiento un ODF, *splitters*, empalmes de fusión, *patch cords* y NAPs.

El precio referencial del equipamiento pasivo para la Red GPON ha sido provisto por Huawei y el detalle se encuentra en el Anexo H. En la Tabla 4.8 se presenta

un resumen de los gastos de la adquisición del equipamiento pasivo, necesario para la implementación de la Primera Etapa del Proyecto y de la Red GPON.

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
Cable G.657A	Cableado de Drop para 256 clientes iniciales, conectores estándar SC.	8960	\$20.00	\$179,200.00
Patch Cords	De 10 m con conectores LC/LC.	25	\$9.37	\$234.25
	De 10 m con conectores LC/FC.			
	De 10 m con conectores FC/FC.			
	De 10 m con conectores LC/SC.			
	De 10 m con conectores SC/SC.			
	De 5 m con conectores LC/LC.	25	\$7.40	\$185.00
	De 5 m con conectores LC/FC.			
	De 5 m con conectores FC/FC.			
	De 5 m con conectores LC/SC.			
	De 5 m con conectores SC/SC.			
ODF	24 puertos, para montar en <i>Rack</i> de 19 pulgadas	1	\$1,200.00	\$1,200.00
Splitters 1:2 para <i>Rack</i> con conectores SC	Ubicados en la Oficina Central para montar en <i>Rack</i>	6	\$600.00	\$3,600.00
Caja de Conectorización con Splitters 1:16 con conectores SC	Zonas 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 y 12. Se ubican dentro de las cajas de distribución o conectorización.	9	\$1,000.00	\$9,000.00
Splitters 1:16 para <i>Rack</i> Sin conectores	Zonas 10 y 14 para montar en <i>Rack</i>	2	\$400.00	\$800.00
Splitters 1:16 para <i>Rack</i> Con conectores	Ubicado en la Oficina Central	1	\$800.00	\$800.00
Caja de Conectorización con Splitters 1:32 con conectores SC	Zonas 1 y 3 Se ubican dentro de las cajas de distribución o conectorización.	2	\$1,200.00	\$2,400.00
Mangas de empalmes de fusión para Red GPON	Para ubicar dentro de ductería	5	\$1,500.00	\$7,500.00
NAPs	Puntos de acceso hacia 2, 4 y 6 usuarios finales.	100	\$330.00	\$33,000.00
SFPs 1000BaseLX	Para cubrir distancias de hasta 10 Km, con atenuaciones de hasta -20 dB.	18	\$995.00	\$17,910.00
SFPs 1000BaseZX	Para cubrir distancias de hasta 70 Km, con atenuaciones de hasta -23 dB.	6	\$3,995.00	\$23,970.00
Mangas de empalmes de fusión para Red de Nodos	Necesarios al considerar carretes de fibra de 4000 metros	1	\$1,500.00	\$1,500.00
PRECIO TOTAL PRIMERA ETAPA Y RED GPON:				\$281,299.25

Tabla 4.8 - Detalle de la inversión inicial del Equipamiento Pasivo de la Primera Etapa y de la Red GPON

En la Tabla 4.9 se indican los gastos de la adquisición del equipamiento pasivo, necesario para la implementación de la Segunda Etapa del proyecto.

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
SFPs 1000BaseLX	Para cubrir distancias de hasta 10 Km, con atenuaciones de hasta -20 dB.	6	\$995.00	\$5,970.00
Mangas de empalmes de fusión para Red de Nodos	Necesarios al considerar carretes de fibra de 4000 metros	1	\$1,500.00	\$1,500.00
PRECIO TOTAL SEGUNDA ETAPA:				\$7,470.00

Tabla 4.9 - Detalle de la inversión inicial del Equipamiento Pasivo de la Segunda Etapa

4.3.1.2.3 Costo Total de la Red Pasiva

En la Tabla 4.10 se presenta un resumen del costo total de la red pasiva de este proyecto en conjunto, diferenciando los costos tanto para la primera etapa como para la segunda etapa, porque son rubros que se aplican en diferentes periodos de análisis.

RED PASIVA	COSTO
Tendido de Fibra Óptica Primera Etapa y Red GPON	\$291,696.55
Equipamiento Pasivo Primera Etapa y Red GPON	\$281,299.25
TOTAL PRIMERA ETAPA Y RED GPON:	\$572,995.80
Tendido de Fibra Óptica Segunda Etapa	\$32,689.64
Equipamiento Pasivo Segunda Etapa	\$7,470.00
TOTAL SEGUNDA ETAPA:	\$40,159.64
TOTAL PRIMERA, RED GPON Y SEGUNDA ETAPA:	\$613,155.44

Tabla 4.10 - Costo Total de la Red Pasiva

4.3.1.3 Obra Civil y Otras Inversiones

A más de los equipos activos y de la red de fibra óptica, se requiere de la obra civil de la construcción de Casetas o Nodos, incluyendo la parte eléctrica, climatización, racks, ODFs, MDFs, MSAN, IP/DSLAM y repuestos. En la Tabla 4.11 se presenta un resumen de estos gastos que también son parte de la Inversión Inicial.

RUBRO	PRECIO PARCIAL (1 Nodo)	COSTO TOTAL PRIMERA ETAPA (4 Nodos)	COSTO TOTAL SEGUNDA ETAPA (4 Nodos)
Obra Civil de un Nodo o Caseta:	\$23,548.84	\$94,195.36	\$94,195.36
TOTAL OBRA CIVIL:	\$23,548.84	\$94,195.36	\$94,195.36
MSAN:	\$30,000.00	\$120,000.00	\$120,000.00
DSLAM:	\$40,000.00	\$160,000.00	\$160,000.00
Repuestos del MSAN y DSLAM (5%):	\$3,500.00	\$14,000.00	\$14,000.00
Sistema de Energía:	\$5,570.10	\$22,280.40	\$22,280.40
Aire Acondicionado:	\$4,629.90	\$18,519.60	\$18,519.60
Repuestos de los Sistemas de Energía y Aire Acondicionado (5%):	\$510.00	\$2,040.00	\$2,040.00
TOTAL EQUIPAMIENTO ACTIVO:	\$84,210.00	\$336,840.00	\$336,840.00
Racks de piso abierto de 19", 2.2 MTS:	\$1,960.00	\$7,840.00	\$7,840.00
2 MDFs (Mediana Capacidad):	\$5,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00
3 ODFs de 48 puertos SC:	\$6,000.00	\$24,000.00	\$24,000.00
TOTAL EQUIPAMIENTO PASIVO:	\$12,960.00	\$51,840.00	\$51,840.00
TOTAL:	\$120,718.84	\$482,875.36	\$482,875.36

Tabla 4.11 - Costo Total de la Obra Civil y Otros Gastos de los Nuevos Nodos ^[61]

4.3.2 DEPRECIACIÓN DE ACTIVOS FIJOS

En la Tabla 4.12 se presenta el detalle de la depreciación de los activos fijos.

ACTIVOS FIJOS	COSTO	DEPRECIACIÓN ANUAL PRIMER AÑO	DEPRECIACIÓN ANUAL ACUMULADA DESDE EL SEGUNDO AÑO
Equipamiento Activo Primera Etapa y Red GPON	\$375,165.00	\$75,033.00	\$75,033.00
Equipamiento Activo Segunda Etapa	\$255,045.00	\$0.00	\$51,009.00
Red Pasiva Primera Etapa y Red GPON	\$572,995.80	\$57,299.58	\$57,299.58
Red Pasiva Segunda Etapa	\$40,159.64	\$0.00	\$4,015.96
Obra Civil Primera Etapa	\$94,195.36	\$4,709.77	\$4,709.77
Obra Civil Segunda Etapa	\$94,195.36	\$0.00	\$4,709.77
MSAN, DSLAM, Energía y Climatización para Nodos: Primera Etapa	\$336,840.00	\$67,368.00	\$67,368.00
MSAN, DSLAM, Energía y Climatización para Nodos: Segunda Etapa	\$336,840.00	\$0.00	\$67,368.00
Racks, MDFs, ODFs para Nodos: Primera Etapa	\$51,840.00	\$5,184.00	\$5,184.00
Racks, MDFs, ODFs para Nodos: Segunda Etapa	\$51,840.00	\$0.00	\$5,184.00
TOTAL:	\$2,209,116.16	\$209,594.35	\$341,881.08

Tabla 4.12 - Depreciación Anual de los Activos Fijos

Los activos fijos comprometidos en el proceso de producción van perdiendo valor a consecuencia de su uso y también por efecto de la obsolescencia, debido al desarrollo tecnológico.

De acuerdo al reglamento vigente de la Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno del Impuesto a la Renta, los equipos de cómputo y *software* no deben superar el 33% anual; por lo tanto se considera una depreciación del 20% anual para el equipamiento activo (vida útil de 5 años) y del 10% anual para el equipamiento pasivo (vida útil de 10 años); mientras que la depreciación de la obra civil es del 5% anual.

4.3.3 INVERSIONES NOMINALES Y AMORTIZACIÓN

Al igual que la depreciación de los activos fijos, la amortización se aplica a los activos nominales o intangibles; éstos deben ser amortizados en la medida en que se van utilizando, gastando o consumiendo. En la Tabla 4.13 se presenta un resumen de los activos nominales y su respectiva amortización anual.

ACTIVOS NOMINALES	COSTO	AMORTIZACIÓN ANUAL PRIMER AÑO	AMORTIZACIÓN ANUAL ACUMULADO DESDE EL SEGUNDO AÑO
Gastos de Instalación	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Primera Etapa: Configuración de Equipos 7 Equipos (Switches y Routers)	\$1,700.00	\$85.00	\$85.00
Capacitación Tecnología GPON	\$9,000.00	\$450.00	\$450.00
TOTAL PRIMERA ETAPA Y RED GPON:	\$10,700.00	\$535.00	\$535.00
Gastos de Reconfiguración de equipos	\$620.00	\$0.00	\$31.00
Gastos de Instalación	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Segunda Etapa: Configuración de Equipos 6 Equipos (Switches y Routers)	\$1,700.00	\$0.00	\$85.00
TOTAL SEGUNDA ETAPA:	\$2,320.00	\$0.00	\$116.00
TOTAL PRIMERA ETAPA, RED GPON Y SEGUNDA ETAPA:	\$13,020.00	\$535.00	\$651.00

Tabla 4.13 - Amortización Anual de los Activos Nominales

La amortización anual según la Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno, establece que en el caso de los activos intangibles, la amortización se efectuará

dentro de los plazos previstos en el respectivo contrato o en un plazo de veinte años; es decir la amortización sería del 5% anual. ^[93]

Las inversiones nominales o diferidas incluyen principalmente los siguientes gastos:

- **Gastos de Instalación:** el proveedor se encarga de la instalación de equipos en sitio y los costos de facturación incluyen gastos de instalación.
- **Configuración de Equipos:** por parte del personal de CNT, al tratarse de equipos de Distribución y Acceso.
- **Gastos por capacitación:** por concepto de la Tecnología GPON, se ha estimado un valor de \$450.00 por persona y un cupo máximo de 20 participantes.
- **Gastos de reconfiguración de equipos:** considerando que la ampliación de la Red de Nodos se planifica en dos etapas, al implementar la segunda etapa se requiere de la migración de configuraciones de equipos y de la reconfiguración de los equipos de la etapa anterior, a más de la configuración de los nuevos equipos; por lo tanto se estima un presupuesto de \$620,00 para cubrir con los gastos de un ingeniero que realice la reconfiguración y migraciones en sitio.

4.3.4 INVERSIÓN INICIAL (I₀)

Por lo tanto la inversión inicial entre activos fijos y nominales asciende a \$1,441,176.36 para iniciar con la implementación del proyecto, y \$780,339.80 en gastos de inversión para la segunda etapa del proyecto desde el siguiente año:

INVERSIÓN INICIAL	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN PRIMER AÑO	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN SEGUNDO AÑO
Activos Fijos	\$1,431,036.16	\$778,080.00
Activos Nominales	\$10,700.00	\$2,320.00
TOTAL:	\$1,441,736.16	\$780,400.00

Tabla 4.14 - Inversión Inicial del Proyecto

4.4 GASTOS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROYECTO

Se refiere a los gastos o egresos durante los cinco años desde la puesta en marcha del proyecto, necesarios para que el mismo continúe con su normal funcionamiento.

4.4.1 GASTOS OPERATIVOS

Los gastos operativos más importantes son los siguientes:

GASTOS OPERATIVOS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Contratos de Mantenimiento Red Pasiva	\$0.00	\$32,162.77	\$35,487.72	\$35,487.72	\$35,487.72	\$35,487.72
Mantenimiento Equipos de Acceso	\$1,020.00	\$1,020.00	\$1,360.00	\$1,360.00	\$1,360.00	\$1,360.00
Mantenimiento Equipos de Distribución	\$680.00	\$680.00	\$1,360.00	\$1,360.00	\$1,360.00	\$1,360.00
Soporte Técnico del Proveedor	\$330.00	\$1,360.00	\$2,040.00	\$2,040.00	\$2,040.00	\$2,040.00
TOTAL:	\$2,030.00	\$35,222.77	\$40,247.72	\$40,247.72	\$40,247.72	\$40,247.72

Tabla 4.15 - Gastos Operativos para 5 años de funcionamiento

Para la estimación del costo de mantenimiento de la red pasiva, se ha considerado un 10% del costo de la misma; el mantenimiento de los 14 equipos de Acceso se realiza una vez al año, mientras que el mantenimiento de los 6 equipos de Distribución se realiza dos veces al año. En un día se logra dar mantenimiento hasta a cuatro sitios o Nodos, los gastos de un ingeniero ascienden a \$140,00 por día, más gastos de transporte Quito-Loja-Quito y movilización: \$200,00.

El soporte técnico del proveedor incluye actualización de *software*, mantenimiento preventivo y reemplazo de partes; se lo realiza una vez al año para los equipos de Core y Distribución, y cuesta \$330,00 por equipo.

4.4.2 GASTOS DE VENTAS

Los gastos de ventas son necesarios para promocionar el servicio de Internet Corporativo a empresas, y avisar a la ciudadanía acerca de la disponibilidad de servicios por la ampliación de la red. En la Tabla 4.16 se presenta una estimación de estos gastos, que incluyen la campaña publicitaria que se renueva cada 2 años y el plan de difusión en medios de comunicación por un mes, que se debe realizar 3 veces al año. Estos rubros han sido obtenidos de empresas publicitarias de Quito y Loja.

GASTOS DE VENTAS		AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Campaña de Publicidad	Mensaje comunicacional	\$2,000.00	\$0.00	\$2,000.00	\$0.00	\$2,000.00	\$0.00
	Desarrollo piezas gráficas volantes	\$300.00	\$0.00	\$300.00	\$0.00	\$300.00	\$0.00
	Desarrollo de <i>story board</i> para spot	\$1,200.00	\$0.00	\$1,200.00	\$0.00	\$1,200.00	\$0.00
Plan de Medios para 3 meses	Televisión canales Locales (UVTelevisión, EcotelTV)	\$67,500.00	\$67,500.00	\$67,500.00	\$67,500.00	\$67,500.00	\$67,500.00
	Prensa (La Hora)	\$5,000.00	\$5,000.00	\$5,000.00	\$5,000.00	\$5,000.00	\$5,000.00
TOTAL:		\$76,000.00	\$72,500.00	\$76,000.00	\$72,500.00	\$76,000.00	\$72,500.00

Tabla 4.16 - Gastos de Ventas para 5 años de funcionamiento

4.4.3 GASTOS TOTALES DE FUNCIONAMIENTO

En la Tabla 4.17 se muestra un resumen de los desembolsos correspondientes a cinco años de operación del proyecto:

GASTOS DE OPERACIÓN	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Gastos Operativos	\$2,030.00	\$35,222.77	\$40,247.72	\$40,247.72	\$40,247.72	\$40,247.72
Gastos de Ventas	\$76,000.00	\$72,500.00	\$76,000.00	\$72,500.00	\$76,000.00	\$72,500.00
TOTAL:	\$78,030.00	\$107,722.77	\$116,247.72	\$112,747.72	\$116,247.72	\$112,747.72

Tabla 4.17 - Gastos Totales de Operación

4.5 INGRESOS DEL PROYECTO

Para establecer los ingresos del proyecto de la mejor forma posible, para los primeros cinco años de funcionamiento, es necesario proyectar un modelo de crecimiento del número de clientes y como consecuencia el crecimiento de ventas de los diferentes servicios. En este apartado se presenta el costo de los servicios, para luego según el modelo de crecimiento de ventas, estimar los ingresos de los cinco primeros periodos.

Se toma en cuenta a todos los usuarios de la ciudad de Loja de los diferentes servicios que ofrece CNT, debido a que al contar con una red de alta disponibilidad y más amplia, se benefician todos los usuarios, entre nuevos y antiguos; por lo tanto los ingresos corresponden a la cantidad total de usuarios que se proyectan para los próximos cinco años de funcionamiento del proyecto.

4.5.1 COSTO DEL SERVICIO

El costo de los diferentes servicios depende principalmente del nivel de atención al cliente según su prioridad. Los clientes residenciales o populares se los considera como clientes masivos, y su prioridad es menor que la de un cliente empresarial o corporativo, el cual cancela un valor mayor por el servicio.

4.5.1.1 Clientes Masivos

Este tipo de clientes contratan los servicios de telefonía e Internet.

4.5.1.1.1 *Servicio de Telefonía* ^[88]

Para el caso de la telefonía en la ciudad de Loja, se ha calculado que el 78.88% de los usuarios que tienen acceso al servicio de telefonía corresponde al sector urbano, es decir que pertenecen a la Categoría B (Residencial); mientras que el

21.12% restante pertenece al sector rural, por lo que a este porcentaje de usuarios se les factura mediante la Categoría A (Popular).

Categoría	Instalaciones Principales dentro de una Zona Urbana	Pensión Básica Mensual	Derecho de Minutos
A	\$ 30,00	\$ 0,93/Mes	200
B	\$ 60,00	\$ 6,20/Mes	150
C	\$ 60,00	\$ 12,00/Mes	N/A

Tabla 4.18 - Tarifas del Servicio de Telefonía ^[89]

El promedio de facturación de clientes, también conocido como ARPU (*Average Revenue Per User*), se ha establecido de \$1.94 para la Categoría A y de \$17.93 para la Categoría B, como valor mensual promedio que se le factura a cada cliente; estos valores se han obtenido de estudios previos realizados en conjunto con personal de CNT.

4.5.1.1.2 Servicio de Internet Residencial ^[61]

El costo del servicio de Internet para los usuarios masivos se indica en la Tabla 4.19. La mayoría de clientes de este servicio contratan los planes de 1000/250 Kbps y 1500/250 Kbps.

Velocidad Downstream	Velocidad Upstream	Tarifa	Tarifa Inc. IVA	Inscripción
1000 Kbps.	250 Kbps.	\$ 18.00	\$ 20.16	\$ 50.00
1500 Kbps.	250 Kbps.	\$ 24.90	\$ 27.89	\$ 50.00
2000 Kbps.	500 Kbps.	\$ 39.90	\$ 44.69	\$ 50.00
3000 Kbps	500 Kbps.	\$ 49.90	\$ 55.89	\$ 50.00
5000 kbps.	500 Kbps.	\$ 84.90	\$ 95.09	\$ 50.00
9000 kbps	700 Kbps.	\$ 145.00	\$ 162.40	\$ 50.00

Tabla 4.19 - Tarifas del Servicio *Fast Boy* ^[90]

Para el cálculo de este servicio, se ha determinado el valor promedio de facturación (ARPU) entre todos los clientes con los que se cuenta hasta la fecha en la ciudad de Loja, obteniendo el valor promedio de \$27.86 mensuales.

4.5.1.2 Clientes Corporativos ^[61] ^[62]

Los clientes corporativos contratan servicios de telefonía, Internet y datos; algunos contratan uno, dos, o los tres servicios. Los valores monetarios de facturación de los diferentes servicios que se presentan en los siguientes apartados, se emplearán para el cálculo de los ingresos de ventas, y se han obtenido de un promedio mensual de las planillas de los clientes, según los servicios que tengan contratados con la empresa.

4.5.1.2.1 Servicio de Telefonía

Se ha establecido un promedio de \$422.66 para el servicio de telefonía de clientes corporativos en la ciudad de Loja, estos usuarios pertenecen a la Categoría C según la Tabla 4.18 de tarifas para este servicio.

4.5.1.2.2 Servicio de Internet Corporativo

Los clientes corporativos han sido divididos en 2 grupos, en un primer grupo están aquellos que hayan contratado planes menores a 1 Mbps, estos clientes registran una facturación mensual promedio de \$97.55 e inscripción inicial de \$113.54, estos usuarios contratan en su gran mayoría planes ADSL. Mientras que un segundo grupo de clientes corporativos lo conforman clientes SDSL que contratan planes mayores a 1 Mbps, registran una facturación mensual promedio de \$419.55 e inscripción inicial de \$215.96, éstos corresponden a los clientes de la Red GPON.

Del total de usuarios corporativos del servicio de Internet, se ha calculado que para el año 2011 un 52.87% contratan planes corporativos con capacidad de transmisión mayor o igual a 1 Mbps, mientras que el 47.13% restante contratan planes con capacidad de transmisión menor a 1 Mbps. Mientras que hasta julio de 2012 estos porcentajes variaron a 25.79% y 74.21%, respectivamente; por lo tanto se tomarán estos últimos porcentajes para proyectar las ventas de este servicio.

4.5.1.2.3 Servicio Corporativo de Datos

Para establecer el costo promedio de este servicio, se ha estimado un valor promedio mensual de \$307.26 y un promedio para inscripción al servicio de \$219.12; estos clientes contratan el servicio para Datos Terrestres Local e Interurbano, para enlazar sitios remotos dentro y fuera de la ciudad.

4.5.2 MODELO DE CRECIMIENTO DE VENTAS ^[61] ^[91]

La identificación de las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto tangible e intangible o servicio, permiten a la empresa adaptar decisiones de *marketing* en función de la fase en la que el producto se encuentra en el mercado. A continuación se definen estas etapas:

- **Introducción:** lanzamiento del producto al mercado, crecimiento de ventas lento y continuo, en esta etapa aún no existen utilidades debido a la inversión inicial para la introducción del producto.
- **Crecimiento:** consolidación y desarrollo del producto en el mercado, crecimiento de ventas rápido y ya se registran utilidades.
- **Madurez:** estabilización de la demanda por el producto, las utilidades se equilibran, dejan de ser tan altas.
- **Declive:** baja la demanda y las utilidades disminuyen.

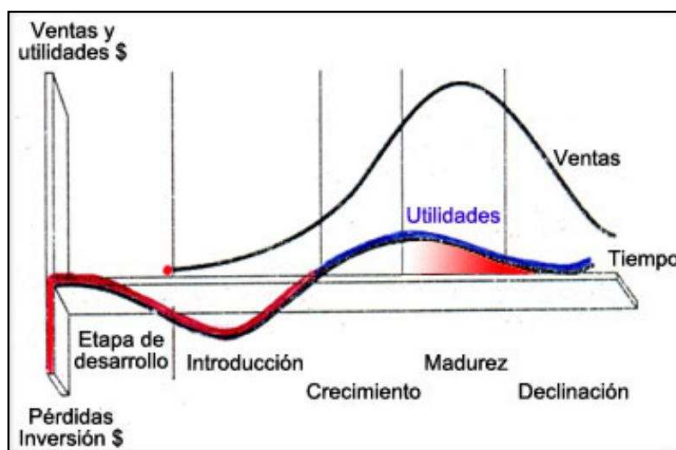


Figura 4.2 - Ciclo de Vida de un Producto ^[92]

En la Figura 4.2 se observa un modelo clásico del ciclo de vida de un producto, sin embargo para este proyecto se ha establecido un Modelo de Crecimiento de Madurez Estable; éste corresponde a una fase inicial de introducción y crecimiento exponencial, en donde las ventas crecen rápidamente, seguido por una fase de madurez logarítmica o lineal, en la cual las ventas se estabilizan.

Como primer paso para determinar un modelo de crecimiento de ventas, se identifica la etapa de crecimiento en la que se encuentra el producto, en este caso de tipo intangible por lo que en adelante se referirá a este como servicio; luego se determina mediante Excel una ecuación exponencial, logarítmica, o lineal, que se adapte mejor con la tendencia del modelo de ventas.

El modelo de crecimiento de clientes que se presentó en el Capítulo 2, difiere un poco de los modelos del crecimiento de ventas, debido a que para el crecimiento de clientes se empleó una proyección lineal, y de esa forma fue posible dimensionar la capacidad en cuanto a usuarios para este proyecto. Mientras que para el modelo de crecimiento de ventas de servicios, se analiza más a detalle el aumento lineal o logarítmico de ventas, y la tendencia en la facturación por parte de los clientes masivos o corporativos respecto a los diferentes servicios; y de esta forma se logra obtener un modelo más real sobre los ingresos de la empresa.

Un modelo de crecimiento lineal indica que el número de ventas del servicio es constante y sostenible, lo cual equivale al caso óptimo dentro de este análisis; mientras que un modelo de crecimiento logarítmico indica que el número de ventas del servicio se estabiliza mientras baja la demanda, en este caso se trata del escenario crítico. En los siguientes apartados se analizan ambos casos: óptimo y crítico para los diferentes servicios.

4.5.2.1 Usuarios Masivos

Para el análisis de un modelo de crecimiento de ventas de servicios de telefonía e Internet a usuarios masivos, se presentan dos modelos según ambos servicios.

4.5.2.1.1 Servicio de Telefonía

El servicio de telefonía para usuarios masivos se encuentra muchos años en el mercado. Inicialmente la operadora que brindaba este servicio para la ciudad de Loja era PACIFICTEL hasta el año 2008, luego el servicio es brindado por CNT hasta la actualidad; por lo tanto este servicio se encuentra en su etapa de madurez. En las Figuras 4.3 y 4.4 se observa el modelo de crecimiento de ventas de este servicio de telefonía para usuarios masivos.

a. Caso Óptimo

A partir de los datos sobre clientes existentes desde el año 2008 hasta el año 2011, se ha proyectado la cantidad de ventas para los próximos cinco años hasta el 2016; al analizar la gráfica de tendencia del crecimiento de ventas, se ha establecido la ecuación lineal que es la que mejor se adapta a este modelo, tomando en cuenta los datos entre 2010 y 2011:

$$\text{Tendencia Óptima de Ventas} = 4179x + 46767$$

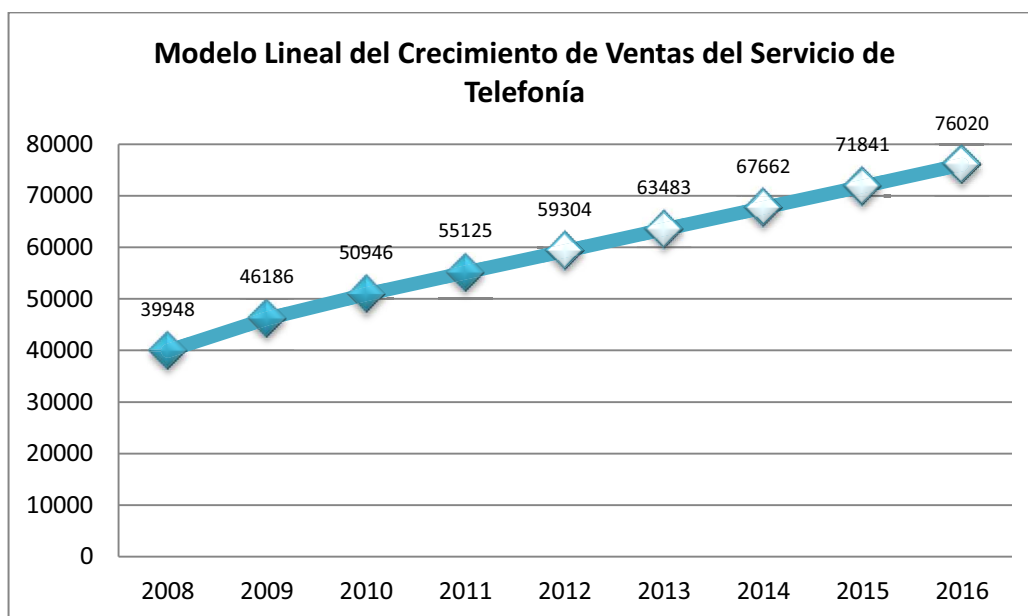


Figura 4.3 - Modelo Óptimo del Crecimiento de Ventas del Servicio de Telefonía para Usuarios Masivos

b. Caso Crítico

De igual forma que en el caso anterior, a partir de los datos sobre clientes existentes desde el año 2008 hasta el año 2011, se ha proyectado la cantidad de ventas para los próximos cinco años hasta el 2016; al analizar la gráfica de tendencia del crecimiento de ventas, se ha determinado la ecuación logarítmica para este modelo, tomando en cuenta los datos entre 2008 y 2011:

$$\text{Tendencia Crítica de Ventas} = 10785 \ln(x) + 39482$$

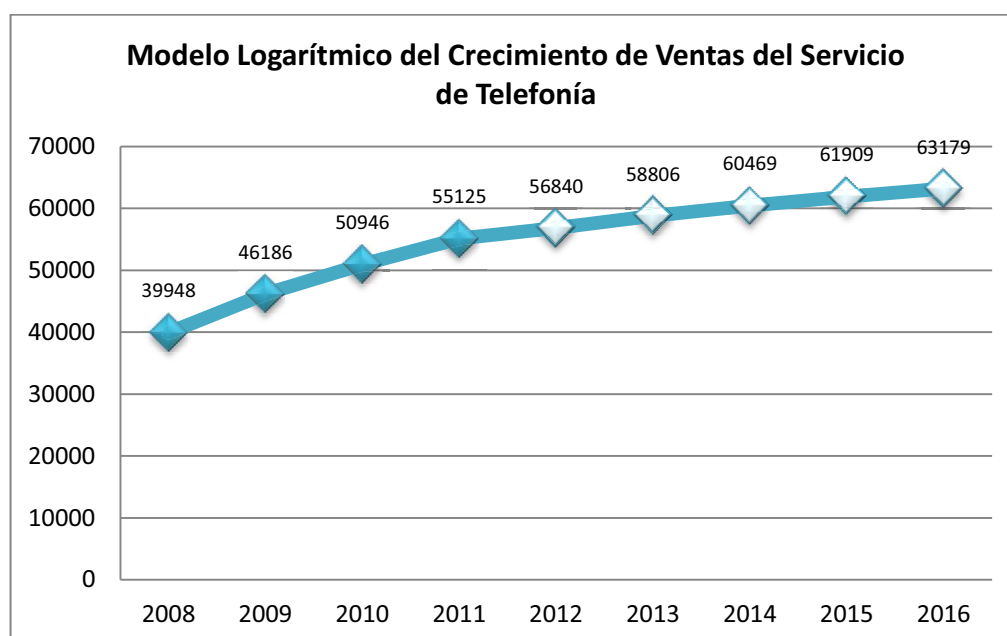


Figura 4.4 - Modelo Crítico del Crecimiento de Ventas del Servicio de Telefonía para Usuarios Masivos

4.5.2.1.2 Servicio de Internet Residencial

Para este servicio se puede observar claramente en las Figuras 4.5 y 4.6, las diferentes etapas por las que pasó este servicio. La etapa de introducción del servicio al mercado comprende hasta el año 2009, la etapa de crecimiento de ventas entre 2009 y 2010, y finalmente la etapa de madurez desde el año 2010 en adelante.

a. Caso Óptimo

Por lo tanto, el modelo de crecimiento de ventas de este servicio corresponde al inicio de su etapa de madurez, se utilizó los datos entre 2010 y 2011 para proyectar valores hasta el 2016, obteniendo la siguiente ecuación lineal:

$$\text{Tendencia Óptima de Ventas} = 2258x + 4145$$

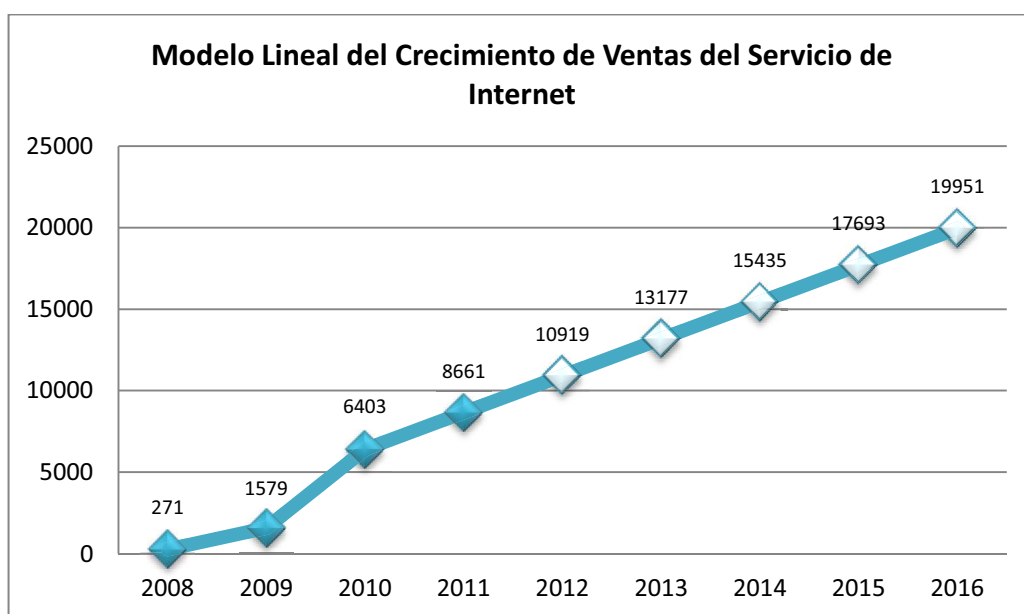


Figura 4.5 - Modelo Óptimo del Crecimiento de Ventas del Servicio de Internet para Usuarios Masivos

b. Caso Crítico

A partir de los datos sobre clientes existentes desde el año 2009 hasta el año 2011, se ha proyectado la ecuación logarítmica y la cantidad de ventas para los próximos cinco años hasta el 2016:

$$\text{Tendencia Crítica de Ventas} = 6501.6 \ln(x) + 1664.6$$

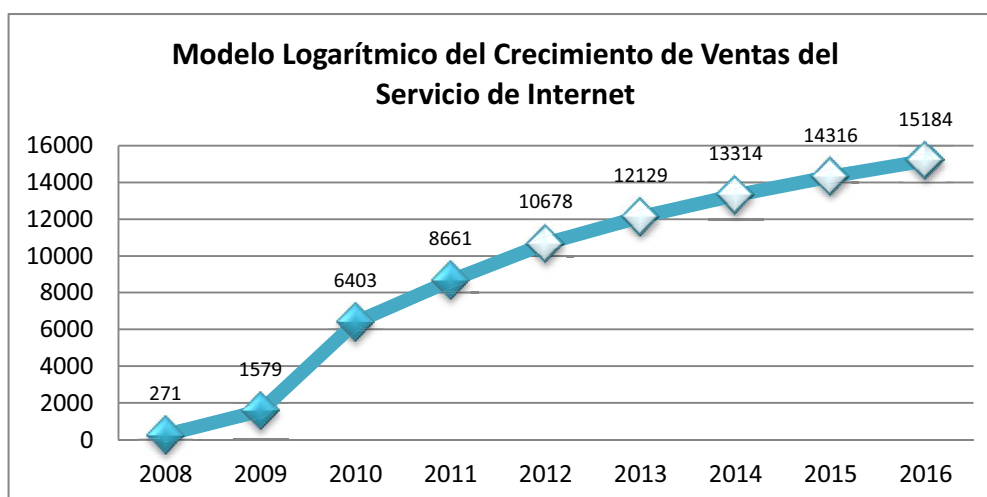


Figura 4.6 - Modelo Crítico del Crecimiento de Ventas del Servicio de Internet para Usuarios Masivos

4.5.2.2 Usuarios Corporativos

De igual forma que para los clientes masivos, para el análisis de un modelo de crecimiento de ventas de los servicios de telefonía, Internet y datos para usuarios corporativos, se presentan diferentes modelos de cada uno de estos servicios.

4.5.2.2.1 Servicio de Telefonía

El servicio de telefonía para el sector empresarial, también ha existido desde hace algún tiempo brindado por el ex - PACIFICTEL y luego por CNT; por lo tanto este servicio se encuentra en su etapa de madurez.

a. Caso Óptimo

A partir de los datos desde el año 2010 hasta el año 2011, se ha proyectado la cantidad de ventas para los próximos cinco años hasta el 2016; al analizar la gráfica de tendencia del crecimiento de ventas, se ha establecido la ecuación lineal que es la que mejor se adapta a este modelo:

$$\text{Tendencia Óptima de Ventas} = 17.67x + 436.9$$

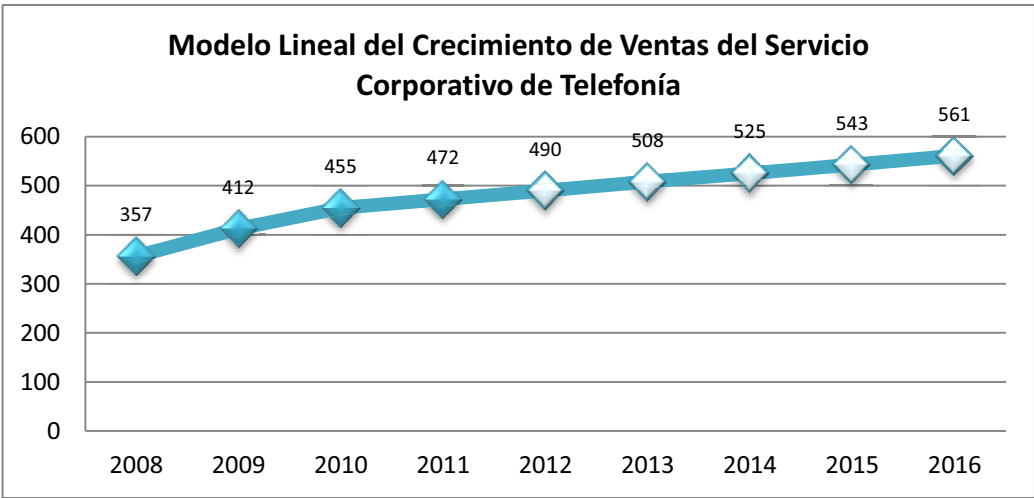


Figura 4.7 - Modelo Óptimo del Crecimiento de Ventas del Servicio de Telefonía para Usuarios Corporativos

b. Caso Crítico

Para el modelo crítico del crecimiento de ventas de este servicio se utilizaron los datos entre 2009 y 2011 para proyectar valores hasta el 2016, obteniendo la siguiente ecuación logarítmica:

$$Tendencia\ Crítica\ de\ Ventas = 55.45 \ln(x) + 413.27$$

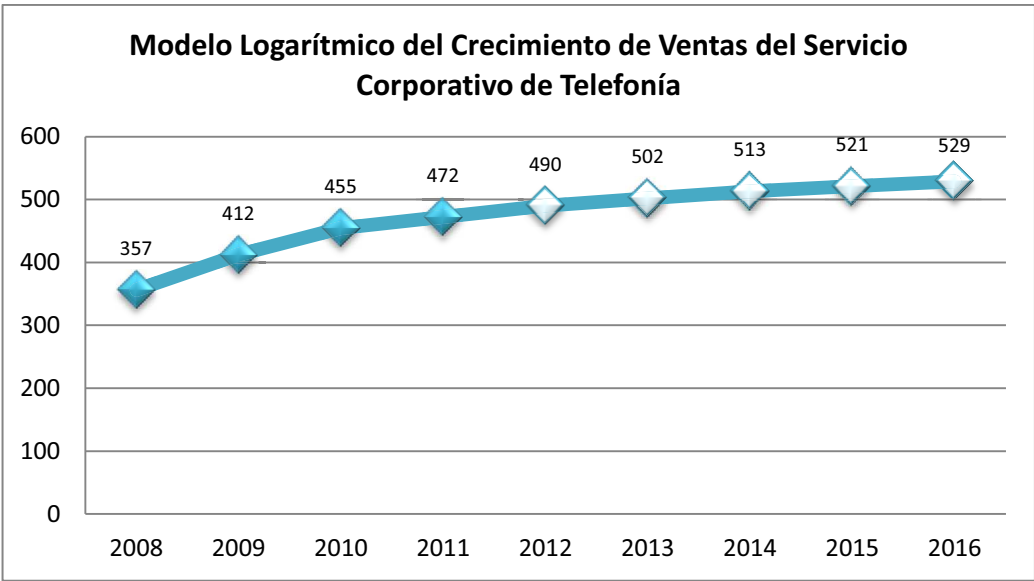


Figura 4.8 - Modelo Crítico del Crecimiento de Ventas del Servicio de Telefonía para Usuarios Corporativos

4.5.2.2.2 Servicio de Internet Corporativo

Para el análisis de un modelo de ventas correspondiente al servicio de Internet para usuarios corporativos, se ha tomado en cuenta el aumento de usuarios desde el año 2009 hasta julio de 2012; esto debido a que el modelo de ventas a proyectar para los próximos cinco años, corresponde a las etapas de crecimiento y madurez, y por lo tanto es más complejo proyectar la tendencia que en los casos anteriores; por lo que fue necesario acceder a los datos que se obtuvieron hasta julio de 2012.

a. Caso Óptimo

Se puede observar un gran crecimiento entre los años 2011 a 2012, por lo que a partir de este último año debe empezar una siguiente etapa; por ello se ha proyectado valores del crecimiento de ventas, correspondientes a la etapa de madurez, la cual empieza en el año 2012. En el caso óptimo se establece una ecuación lineal que representa un crecimiento constante de ventas, por lo tanto para el cálculo de esta ecuación se toman valores entre los años 2010 y 2012.

$$\text{Tendencia Óptima de Ventas} = 89.5x - 47$$

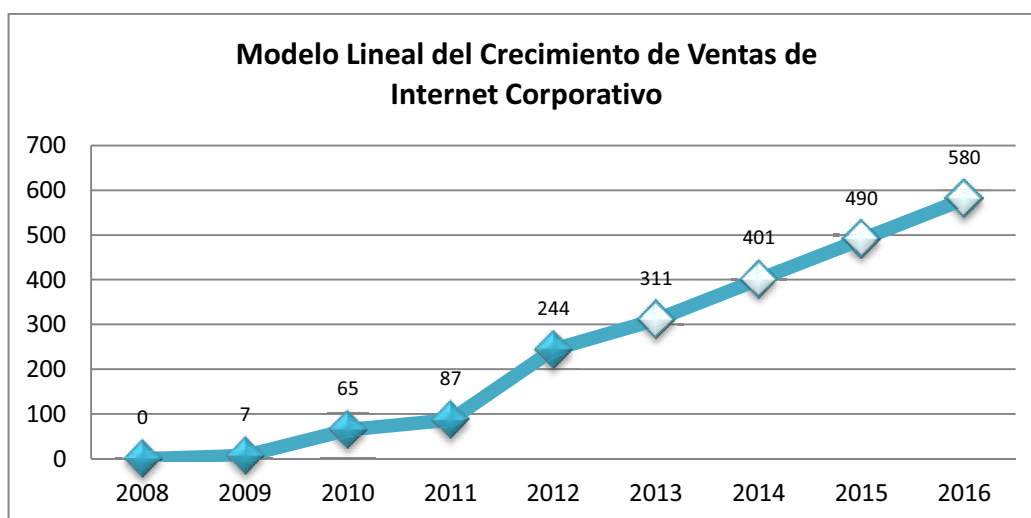


Figura 4.9 - Modelo Óptimo del Crecimiento de Ventas del Servicio de Internet Corporativo

b. Caso Crítico

Para el caso crítico se ha proyectado un modelo de tendencia mediante una ecuación logarítmica, ya que como se ha visto en estos servicios, al ingresar a la etapa de madurez disminuyen las ventas al estabilizarse la demanda del servicio; por lo tanto para el cálculo de esta ecuación se toman valores entre los años 2011 y 2012.

$$\text{Tendencia Crítica de Ventas} = 226.5 \times \ln(x) + 87$$

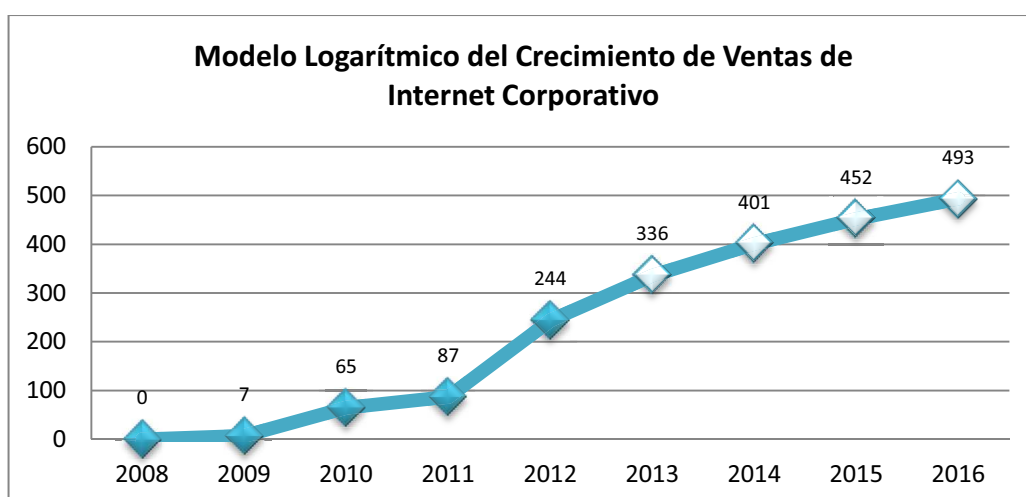


Figura 4.10 - Modelo Crítico del Crecimiento de Ventas del Servicio de Internet Corporativo

4.5.2.2.3 Servicio Corporativo de Datos

Los clientes corporativos que contratan el servicio de datos, generalmente contratan también el servicio de telefonía, o telefonía e Internet; por lo tanto el cálculo del modelo de ventas de este servicio, se lo ha determinado de la misma forma que para los servicios anteriores.

En las Figuras 4.11 y 4.12 se presenta el modelo del crecimiento de ventas para este servicio, según el caso óptimo y crítico, respectivamente.

a. Caso Óptimo

En la Figura 4.11 se indica la proyección del modelo de crecimiento de ventas del servicio corporativo de datos para el caso óptimo; se han tomado los valores correspondientes a los años 2008 a 2012, obteniendo la siguiente ecuación lineal:

$$Tendencia\ Óptima\ de\ Ventas = 16.62 x + 16.3$$

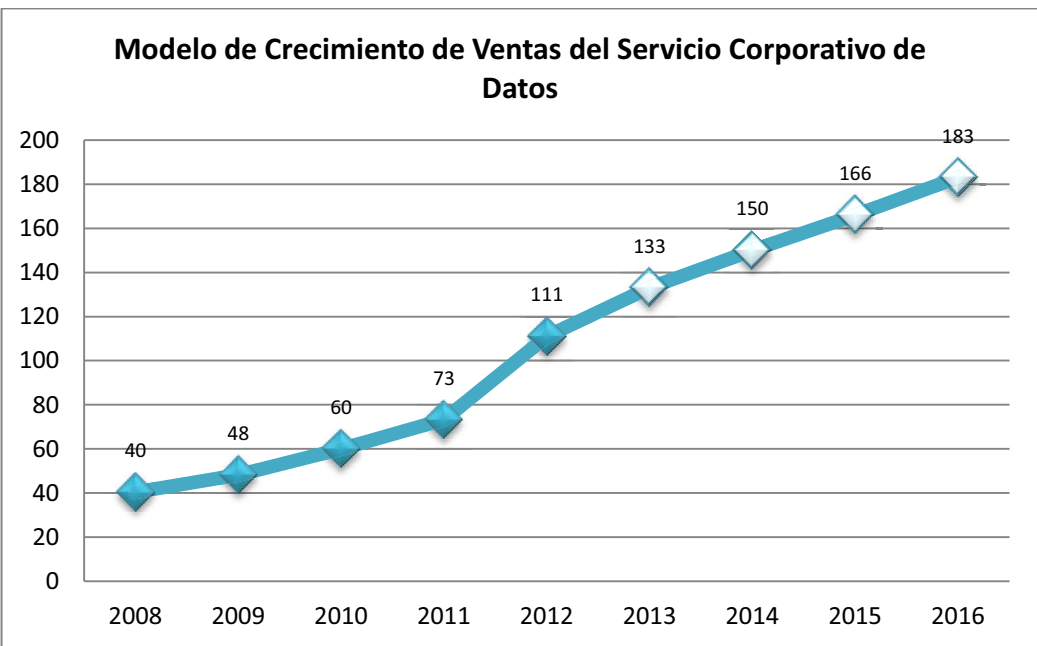


Figura 4.11 - Modelo Óptimo del Crecimiento de Ventas del Servicio Corporativo de Datos

b. Caso Crítico

Para el modelo crítico del crecimiento de ventas de este servicio se utilizó los datos entre 2011 y 2012 para proyectar valores hasta el 2016, obteniendo la siguiente ecuación logarítmica:

$$Tendencia\ Crítica\ de\ Ventas = 54.822 \ln(x) + 73$$

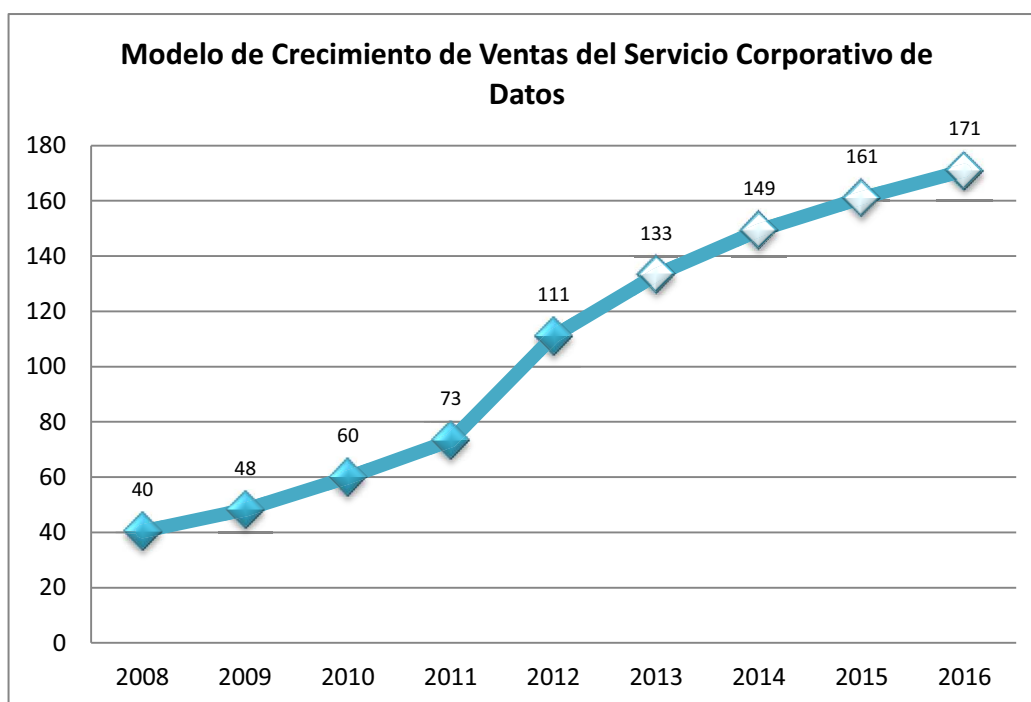


Figura 4.12 - Modelo Crítico del Crecimiento de Ventas del Servicio Corporativo de Datos

4.5.3 INGRESOS TOTALES ^[61]

En las Tablas 4.20 y 4.21 se presenta el detalle de los ingresos anuales para los primeros cinco años de funcionamiento del proyecto. Se ha considerado para estos cálculos el valor promedio de facturación para cada servicio como ya se ha indicado en apartados anteriores, y también los diferentes modelos del crecimiento de ventas para los servicios según los sectores: masivo y corporativo, y para cada caso: óptimo y crítico.

Como dato adicional se conoce que alrededor del 20% del total de los ingresos anuales, constituyen las ganancias netas para la empresa, el resto de ingresos se utiliza en pago de servicios básicos, sueldos de los empleados, nuevos proyectos, pago de multas y penalizaciones a la SUPERTEL, pago de permisos de funcionamiento, contratos con el Municipio de Loja y EERSA en cuanto al alquiler de postes y canalización, entre otros; por lo tanto para los cálculos del flujo de efectivo se tomará en cuenta solo este porcentaje del total de ingresos.

SERVICIO		Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5	
		Usuarios	Ingresos	Usuarios	Ingresos	Usuarios	Ingresos	Usuarios	Ingresos	Usuarios	Ingresos
Telefonia	Mensualidad Masivos Categoría A	12528	\$291,651.84	13410	\$312,184.80	14293	\$332,741.04	15176	\$353,297.28	16059	\$373,853.52
	Inscripción Inicial de Nuevos Clientes Categoría A	882	\$26,460.00	883	\$26,490.00	883	\$26,490.00	883	\$26,490.00	883	\$26,490.00
	Mensualidad Masivos Categoría B	46776	\$10,064,324.16	50073	\$10,773,706.68	53369	\$11,482,874.04	56665	\$12,192,041.40	59961	\$12,901,208.76
	Inscripción Inicial de Nuevos Clientes Categoría B	3297	\$197,820.00	3296	\$197,760.00	3296	\$197,760.00	3296	\$197,760.00	3296	\$197,760.00
	Mensualidad Corporativos Categoría C	490	\$2,485,240.80	508	\$2,576,535.36	525	\$2,662,758.00	543	\$2,754,052.56	561	\$2,845,347.12
Internet Residencial	Inscripción Inicial de Nuevos Clientes Categoría C	18	\$1,080.00	17	\$1,020.00	18	\$1,080.00	18	\$1,080.00	17	\$1,020.00
	Mensualidad Promedio	10919	\$2,641,524.48	13177	\$3,187,779.84	15435	\$3,734,035.20	17693	\$4,280,290.56	19951	\$4,826,545.92
	Usuarios Nuevos	2258	\$112,900.00	2258	\$112,900.00	2258	\$112,900.00	2258	\$112,900.00	2258	\$112,900.00
Servicio Corporativo	Internet Corporativo < 1	181	\$211,878.60	231	\$270,408.60	298	\$348,838.80	364	\$426,098.40	431	\$504,528.60
	Inscripción Inicial de Nuevos Clientes < 1 Mbps	50	\$5,677.00	67	\$7,607.18	66	\$7,493.64	67	\$7,607.18	65	\$7,380.10
	Internet Corporativo > 1	63	\$317,179.80	80	\$402,768.00	103	\$518,563.80	126	\$634,359.60	149	\$750,155.40
	Inscripción Inicial de Nuevos Clientes > 1 Mbps	17	\$3,671.32	23	\$4,967.08	23	\$4,967.08	23	\$4,967.08	24	\$5,183.04
	Corporativo de Datos	111	\$409,270.32	133	\$490,386.96	150	\$553,068.00	166	\$612,061.92	183	\$674,742.96
TOTAL DE INGRESOS ANUALES:		\$16,773,498.96		\$18,368,239.54		\$19,987,075.52		\$21,606,731.02		\$23,230,750.40	
UTILIDAD NETA ANUAL (20%):		\$3,354,699.79		\$3,673,647.91		\$3,997,415.10		\$4,321,346.20		\$4,646,150.08	

Tabla 4.20 - Total de Ingresos del Proyecto a lo largo de 5 años para el Caso Óptimo

SERVICIO		Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5	
		Usuarios	Ingresos	Usuarios	Ingresos	Usuarios	Ingresos	Usuarios	Ingresos	Usuarios	Ingresos
Telefonia	Mensualidad Masivos Categoría A	12007	\$279,522.96	12422	\$289,184.16	12774	\$297,378.72	13078	\$304,455.84	13346	\$310,694.88
	Inscripción Inicial de Nuevos Clientes Categoría A	415	\$12,450.00	352	\$10,560.00	304	\$9,120.00	268	\$8,040.00	240	\$7,200.00
	Mensualidad Masivos Categoría B	44833	\$9,646,268.28	46384	\$9,979,981.44	47695	\$10,262,056.20	48831	\$10,506,477.96	49833	\$10,722,068.28
	Inscripción Inicial de Nuevos Clientes Categoría B	1551	\$93,060.00	1311	\$78,660.00	1136	\$68,160.00	1002	\$60,120.00	896	\$53,760.00
	Mensualidad Corporativos Categoría C	490	\$2,485,240.80	503	\$2,551,175.76	513	\$2,601,894.96	521	\$2,642,470.32	529	\$2,683,045.68
	Inscripción Inicial de Nuevos Clientes Categoría C	13	\$780.00	10	\$600.00	8	\$480.00	8	\$480.00	6	\$360.00
Internet Residencial	Mensualidad Promedio	10678	\$2,583,221.76	12129	\$2,934,247.68	13314	\$3,220,922.88	14316	\$3,463,326.72	15184	\$3,673,313.28
	Usuarios Nuevos	1451	\$72,550.00	1185	\$59,250.00	1002	\$50,100.00	868	\$43,400.00	766	\$38,300.00
Servicio Corporativo	Internet Corporativo < 1	181	\$211,878.60	249	\$291,479.40	298	\$348,838.80	336	\$393,321.60	366	\$428,439.60
	Inscripción Inicial de Nuevos Clientes < 1 Mbps	68	\$7,720.72	49	\$5,563.46	38	\$4,314.52	30	\$3,406.20	26	\$2,952.04
	Internet Corporativo > 1	63	\$317,179.80	87	\$438,010.20	103	\$518,563.80	116	\$584,013.60	127	\$639,394.20
	Inscripción Inicial de Nuevos Clientes > 1 Mbps	24	\$5,183.04	16	\$3,455.36	13	\$2,807.48	11	\$2,375.56	9	\$1,943.64
	Corporativo de Datos	111	\$409,270.32	133	\$490,386.96	149	\$549,380.88	161	\$593,626.32	171	\$630,497.52
	Inscripción Nuevos Usuarios Datos	22	\$4,820.64	16	\$3,505.92	12	\$2,629.44	10	\$2,191.20	8	\$1,752.96
TOTAL DE INGRESOS ANUALES:			\$16,129,146.92		\$17,136,060.34		\$17,936,647.68		\$18,607,705.32		\$19,193,722.08
UTILIDAD NETA ANUAL (20%):			\$3,225,829.38		\$3,427,212.07		\$3,587,329.54		\$3,721,541.06		\$3,838,744.42

Tabla 4.21 - Total de Ingresos del Proyecto a lo largo de 5 años para el Caso Crítico

4.6 MULTAS POR FALLAS DE ENLACES ^[61]

La red de CNT para la ciudad de Loja, constituye una de las áreas más conflictivas debido a su estructura y topología lógica, la misma que ya se analizó en el Capítulo 2; se ha estimado que las pérdidas anuales por fallas de equipos y enlaces, que ocasionan discontinuidad o intermitencia de servicios para los clientes, es de alrededor del 10% del total de ingresos anuales. Esta pérdida se tomará en cuenta para el cálculo del Flujo de Efectivos solo en el año 0, porque la implementación de este proyecto, pretende evitar estas multas y penalizaciones.

Este porcentaje (10%) refleja las pérdidas a causa de multas y penalizaciones en contra de CNT por parte de la SUPERTEL, y la exoneración en el cobro de servicios a clientes con SLAs.

4.7 FLUJO DE EFECTIVO ^[94]

El flujo de efectivo es la diferencia entre los ingresos y los egresos que se producen en un determinado período de tiempo; para este estudio se consideran cinco años.

Para este análisis se presenta un flujo de efectivo sin financiamiento o puro, porque al implementarse el proyecto, los gastos de inversión son cubiertos por la empresa.

No se toma en cuenta la participación de trabajadores en utilidades, porque al tratarse de una empresa pública, ésta no paga utilidades a sus empleados; la empresa tampoco paga impuesto a la renta, según lo establecido en la Ley de Régimen Tributario vigente hasta la fecha.

En las Tablas 4.22 y 4.23, se indica el Flujo de Efectivo tanto para el caso óptimo, como para el caso crítico.

DETALLE	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingresos Netos Anuales por Ventas:	\$0.00	\$181,619.99	\$2,848,360.32	\$6,703,699.88	\$10,886,470.54	\$15,390,545.08
Multas y Penalizaciones:	\$1,480,305.30	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Gastos de Funcionamiento:	\$78,030.00	\$132,859.58	\$142,075.54	\$138,575.54	\$142,075.54	\$138,575.54
Gastos Operativos:	\$2,030.00	\$60,359.58	\$66,075.54	\$66,075.54	\$66,075.54	\$66,075.54
Gastos de Ventas:	\$76,000.00	\$72,500.00	\$76,000.00	\$72,500.00	\$76,000.00	\$72,500.00
Depreciación de Activos Fijos:	\$0.00	\$209,594.35	\$341,881.08	\$341,881.08	\$341,881.08	\$341,881.08
Amortización de Activos Nominales:	\$0.00	\$535.00	\$651.00	\$651.00	\$651.00	\$651.00
Intereses:	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Utilidad antes de participación e impuestos:	-\$78,030.00	-\$161,368.94	\$2,363,752.70	\$6,222,592.26	\$10,401,862.92	\$14,909,437.45
Participación de Trabajadores (15%):	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Utilidad Neta antes de impuestos:	-\$78,030.00	-\$161,368.94	\$2,363,752.70	\$6,222,592.26	\$10,401,862.92	\$14,909,437.45
Impuesto a la Renta (35%):	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Utilidad Neta sin depreciaciones ni amortizaciones:	-\$78,030.00	-\$161,368.94	\$2,363,752.70	\$6,222,592.26	\$10,401,862.92	\$14,909,437.45
Depreciación de Activos Fijos:	\$0.00	\$209,594.35	\$341,881.08	\$341,881.08	\$341,881.08	\$341,881.08
Amortización de Activos Nominales:	\$0.00	\$535.00	\$651.00	\$651.00	\$651.00	\$651.00
Utilidad Neta con depreciaciones y amortizaciones:	-\$78,030.00	\$48,760.41	\$2,706,284.78	\$6,565,124.34	\$10,744,395.00	\$15,251,969.53
Gastos de Inversión Inicial:	\$1,614,744.50	\$874,048.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Activos Fijos:	\$1,431,036.16	\$778,080.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Activos Nominales:	\$10,700.00	\$2,320.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
IVA (12%):	\$173,008.34	\$93,648.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
FLUJO DE FONDOS:	-\$3,173,079.80	-\$825,287.59	\$2,706,284.78	\$6,565,124.34	\$10,744,395.00	\$15,251,969.53

Tabla 4.22 - Flujo de Fondos para el Caso Óptimo

DETALLE	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingresos Netos Anuales por Ventas:	\$0.00	\$52,749.58	\$2,052,795.38	\$4,812,985.21	\$7,710,886.57	\$10,722,491.28
Multas y Penalizaciones:	\$1,480,305.30	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Gastos de Funcionamiento:	\$78,030.00	\$132,859.58	\$142,075.54	\$138,575.54	\$142,075.54	\$138,575.54
Gastos Operativos:	\$2,030.00	\$60,359.58	\$66,075.54	\$66,075.54	\$66,075.54	\$66,075.54
Gastos de Ventas:	\$76,000.00	\$72,500.00	\$76,000.00	\$72,500.00	\$76,000.00	\$72,500.00
Depreciación de Activos Fijos:	\$0.00	\$209,594.35	\$341,881.08	\$341,881.08	\$341,881.08	\$341,881.08
Amortización de Activos Nominales:	\$0.00	\$535.00	\$651.00	\$651.00	\$651.00	\$651.00
Intereses:	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Utilidad antes de participación e impuestos:	-\$78,030.00	-\$290,239.34	\$1,568,187.75	\$4,331,877.58	\$7,226,278.94	\$10,241,383.66
Participación de Trabajadores (15%):	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Utilidad Neta antes de impuestos:	-\$78,030.00	-\$290,239.34	\$1,568,187.75	\$4,331,877.58	\$7,226,278.94	\$10,241,383.66
Impuesto a la Renta (35%):	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Utilidad Neta sin depreciaciones ni amortizaciones:	-\$78,030.00	-\$290,239.34	\$1,568,187.75	\$4,331,877.58	\$7,226,278.94	\$10,241,383.66
Depreciación de Activos Fijos:	\$0.00	\$209,594.35	\$341,881.08	\$341,881.08	\$341,881.08	\$341,881.08
Amortización de Activos Nominales:	\$0.00	\$535.00	\$651.00	\$651.00	\$651.00	\$651.00
Utilidad Neta con depreciaciones y amortizaciones:	-\$78,030.00	-\$500,368.69	\$1,225,655.67	\$3,989,345.50	\$6,883,746.86	\$9,898,851.58
Gastos de Inversión Inicial:	\$1,614,744.50	\$874,048.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Activos Fijos:	\$1,431,036.16	\$778,080.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Activos Nominales:	\$10,700.00	\$2,320.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
IVA (12%):	\$173,008.34	\$93,648.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
FLUJO DE FONDOS:	-\$3,173,079.80	-\$1,374,416.69	\$1,225,655.67	\$3,989,345.50	\$6,883,746.86	\$9,898,851.58

Tabla 4.23 - Flujo de Fondos para el Caso Crítico

4.8 EVALUACIÓN FINANCIERA

Una vez obtenido el flujo de efectivo para los próximos cinco años de funcionamiento del proyecto, se realiza la evaluación financiera para el caso óptimo y crítico.

4.8.1 TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR)

La TMAR es la tasa de referencia en la cual se basa para invertir o no en el proyecto, es el ingreso anual que se requiere ganar como mínimo para considerar que el proyecto es rentable; por lo tanto la TMAR representa la tasa de crecimiento real del proyecto por encima de la inflación. Para su cálculo se toma en cuenta la tasa de inflación anual del país y el premio al riesgo:

$$TMAR = \text{Inflación Anual} + \text{Premio al Riesgo}$$

$$TMAR = 5.00\% + 8.64\%$$

$$TMAR = 13.64\%$$

La Inflación Anual es el incremento generalizado de los precios de bienes y servicios con relación a una moneda, calculado durante un período de tiempo igual a un año; cuando el nivel general de precios sube, cada unidad de moneda alcanza para comprar menos bienes y servicios, es decir que la inflación refleja la disminución del poder adquisitivo de la moneda. Esta tasa es calculada estadísticamente, a través del Índice de Precios al Consumidor del Área Urbana, a partir de una canasta de bienes y servicios demandados por los consumidores de estratos medios y bajos, a través de encuestas.

El riesgo país es un concepto económico que ha sido abordado académica y empíricamente mediante la aplicación de metodologías de la más variada índole; éste evidencia el verdadero crecimiento del dinero, y se le llama así porque el inversionista siempre arriesga su dinero y por hacerlo merece una ganancia adicional sobre la inflación.

Inflación Mensual (jun. 12)	0.18%
Inflación Acumulada (ene. - jun. 12)	2,40%
Inflación Anual (may. 11 - jun. 12)	5,00%
Salario Unificado	\$ 292
Canasta Básica (junio 2012)	\$586,18
Ingreso Familiar Mensual	\$545,07
Canasta Vital (junio 2012)	\$426.42
Tasa de Interés Activa (referencial) (jul. 12)	8,17%
Tasa de Interés Pasiva (referencial) (jul. 12)	4,53%
Población	14,483.499
Tasa de Desempleo (Junio 2012)	5.2%
Tasa de Subempleo (mar. 12)	43,9%
Ocupados Plenos (mar. 12)	49,9%
RILD (millones USD) (23-jul-12)	4357.24
Indice Riesgo País (11-jul-12)	864
Barril Petróleo (WTI) (USD)	85.38

Figura 4.13 - Principales Indicadores Económicos según CEDATOS ^[87]

4.8.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El VAN es una técnica que permite evaluar el rendimiento de una inversión. Consiste en traer todos los flujos de efectivo de un período, a un valor presente considerando una tasa de descuento, partiendo del concepto que el valor del dinero en el presente no es el mismo dentro de un tiempo. Por lo tanto el resultado del valor actual neto tiene uno de estos tres significados:

VAN	DECISIÓN
> 0 , mayor a cero	Aceptable
= 0 , igual a cero	Indiferente
< 0 , menor a cero	Rechazo

Tabla 4.24 - Tabla de decisión sobre la Inversión según el VAN

Para el cálculo del VAN se emplea la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_t}{(1+k)^t}$$

Donde:

I_0 : Inversión Inicial en el Año 0

FNE : Flujo de efectivo en cada periodo

k : Tasa efectiva de referencia, en este caso es igual a la TMAR

t : Periodo del flujo de fondos para el cual se realiza el cálculo

n : Número de periodos

Por lo tanto, el cálculo del VAN para el caso óptimo da como resultado:

$$\begin{aligned} VAN &= -\$3,173,079.80 + \frac{-\$825,287.59}{(1 + 0.1364)^1} + \frac{\$2,706,284.78}{(1 + 0.1364)^2} + \frac{\$6,565,124.34}{(1 + 0.1364)^3} \\ &\quad + \frac{\$10,744,395.00}{(1 + 0.1364)^4} + \frac{\$15,251,969.53}{(1 + 0.1364)^5} \\ VAN &= \$31,074,355.18 \end{aligned}$$

Y el cálculo del VAN para el caso crítico da como resultado:

$$\begin{aligned} VAN &= -\$3,173,079.80 + \frac{-\$1,374,416.69}{(1 + 0.1364)^1} + \frac{\$1,225,655.67}{(1 + 0.1364)^2} + \frac{\$3,989,345.50}{(1 + 0.1364)^3} \\ &\quad + \frac{\$6,883,746.86}{(1 + 0.1364)^4} + \frac{\$9,898,851.58}{(1 + 0.1364)^5} \\ VAN &= \$17,327,693.76 \end{aligned}$$

Tanto para el análisis del caso óptimo, como para el caso crítico, se han obtenido valores positivos, lo cual significa que el proyecto es viable y que conviene su inversión.

4.8.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La TIR es otra técnica para evaluar la viabilidad de un proyecto. Esta técnica convierte las entradas futuras de efectivo a valores presentes, y los iguala con la inversión inicial del proyecto; es decir, la TIR es la tasa que hace que el VAN sea cero.

TIR	DECISIÓN
> TMAR	Rentable
= TMAR	Indiferente
< TMAR	No Rentable

Tabla 4.25 - Tabla de decisión sobre la Inversión según la TIR

Por lo tanto, para el cálculo de la TIR se iguala la fórmula del VAN a cero:

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_t}{(1 + TIR)^t}$$

Según los valores del flujo de efectivo para el caso óptimo, se calcula la TIR:

$$\begin{aligned}
 0 = & -\$3,173,079.80 + \frac{-\$825,287.59}{(1 + TIR)^1} + \frac{\$2,706,284.78}{(1 + TIR)^2} + \frac{\$6,565,124.34}{(1 + TIR)^3} \\
 & + \frac{\$10,744,395.00}{(1 + TIR)^4} + \frac{\$15,251,969.53}{(1 + TIR)^5} \\
 & TIR = 82.34\%
 \end{aligned}$$

De igual forma, de acuerdo a los valores tabulados del flujo de efectivo para el caso crítico, se calcula la TIR:

$$\begin{aligned}
 0 = & -\$3,173,079.80 + \frac{-\$1,374,416.69}{(1 + TIR)^1} + \frac{\$1,225,655.67}{(1 + TIR)^2} + \frac{\$3,989,345.50}{(1 + TIR)^3} \\
 & + \frac{\$6,883,746.86}{(1 + TIR)^4} + \frac{\$9,898,851.58}{(1 + TIR)^5} \\
 & TIR = 53.03\%
 \end{aligned}$$

Al obtener un valor de la TIR mayor que el de la TMAR en ambos casos, implica que el proyecto es viable. Se ha empleado la herramienta Excel para obtener los valores de la TIR en cada caso.

4.8.4 PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI)

El PRI es un último criterio de evaluación de proyectos, que indica el periodo de tiempo en el cual se recupera la inversión inicial, mediante el flujo de fondos. Por

lo tanto el PRI es un indicador que mide la liquidez del proyecto y el riesgo relativo, al anticiparse a eventos financieros a corto plazo.

4.8.4.1 Caso Óptimo

Este cálculo del PRI del caso óptimo, corresponde a los valores del flujo de efectivo para dicho caso:

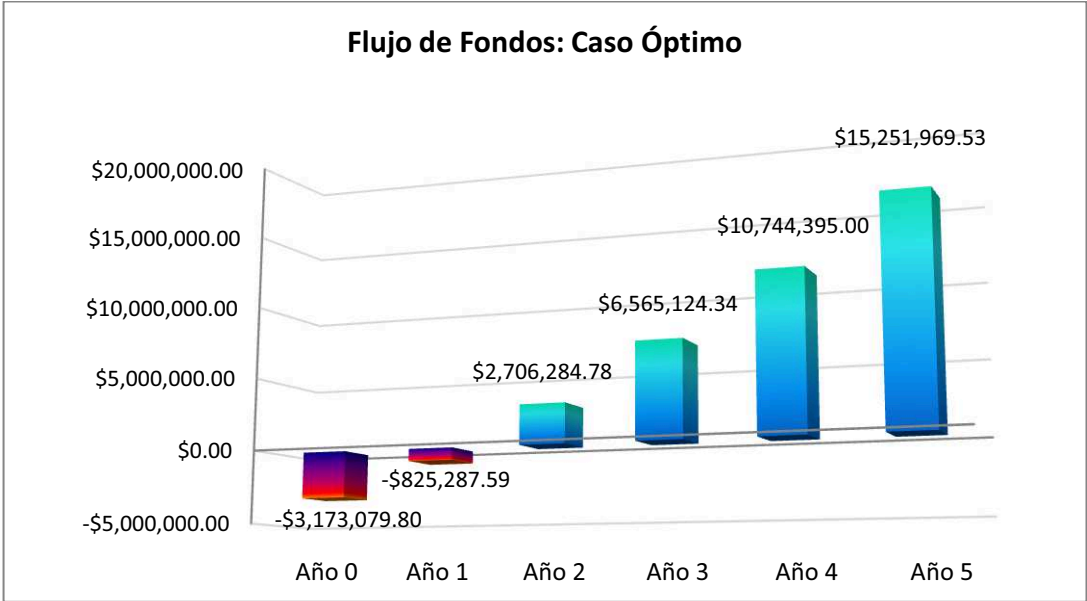


Figura 4.14 - Esquema del Flujo de Efectivo para el Caso Óptimo

Para el cálculo del periodo de recuperación de la inversión se suman los valores del flujo de efectivo hasta cubrir el costo de la inversión inicial. En la Tabla 4.26 se presenta el Flujo de Efectivo Acumulado para el caso óptimo.

PERIODOS	FLUJO DE FONDOS:	FLUJO DE FONDOS ACUMULADO:
AÑO 0	-\$3,173,079.80	-----
AÑO 1	-\$825,287.59	-\$3,998,367.39
AÑO 2	\$2,706,284.78	-\$1,292,082.61
AÑO 3	\$6,565,124.34	\$5,273,041.73
AÑO 4	\$10,744,395.00	\$16,017,436.72
AÑO 5	\$15,251,969.53	\$31,269,406.26

Tabla 4.26 - Flujo de Efectivo Acumulado para el Caso Óptimo

El periodo de recuperación se encuentra entre el segundo y el tercer año, y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$PRI = \frac{\text{Flujo de Fondos Acumulado Año 2}}{\text{Flujo de Fondos Año 3}} \times 12 (\text{meses})$$

$$PRI = \frac{\$1,292,082.61}{\$6,565,124.34} \times 12$$

$$PRI = 2.36 \sim 3 \text{ meses}$$

Por lo tanto el periodo de recuperación de la inversión para el caso óptimo es de dos años y tres meses.

4.8.4.2 Caso Crítico

Este cálculo del PRI corresponde al flujo de efectivos para el caso crítico:

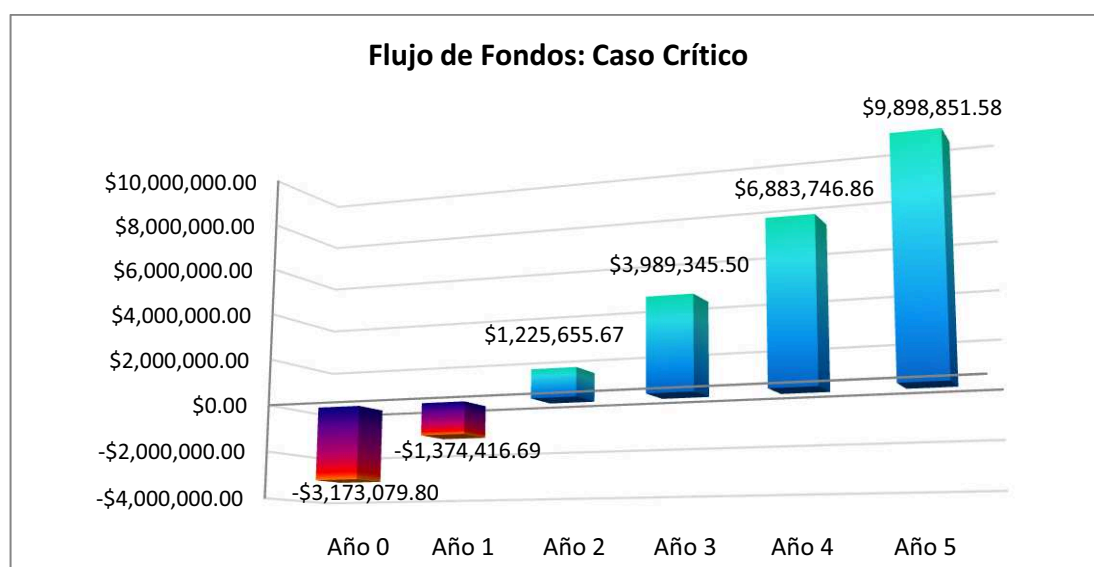


Figura 4.15 - Esquema del Flujo de Efectivo para el Caso Crítico

De igual forma que en el caso anterior, para el cálculo del periodo de recuperación de la inversión se suman los valores de flujo de efectivo hasta cubrir el costo de la inversión inicial. En la Tabla 4.27 se presenta el Flujo de Efectivo Acumulado para el caso crítico.

PERIODOS	FLUJO DE FONDOS:	FLUJO DE FONDOS ACUMULADO:
AÑO 0	-\$3,173,079.80	-----
AÑO 1	-\$1,374,416.69	-\$4,547,496.49
AÑO 2	\$1,225,655.67	-\$3,321,840.82
AÑO 3	\$3,989,345.50	\$667,504.69
AÑO 4	\$6,883,746.86	\$7,551,251.55
AÑO 5	\$9,898,851.58	\$17,450,103.13

Tabla 4.27 - Flujo de Efectivo Acumulado para el Caso Crítico

El periodo de recuperación para este caso también se encuentra entre el segundo y el tercer año, el cálculo es el siguiente:

$$PRI = \frac{\text{Flujo de Fondos Acumulado Año 2}}{\text{Flujo de Fondos Año 3}} \times 12 \text{ (meses)}$$

$$PRI = \frac{\$3,321,840.82}{\$3,989,345.50} \times 12$$

$$PRI = 9.99 \sim 10 \text{ meses}$$

Por lo tanto el periodo de recuperación de la inversión para el caso crítico es de dos años y diez meses.

4.8.5 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

Según el Valor Actual Neto (VAN) del flujo de efectivo en los diferentes periodos, se concluye que tanto en el caso óptimo, como en el caso crítico, el proyecto es viable; se garantiza la recuperación de la inversión, y se producen ganancias tomando en cuenta el valor del dinero en el tiempo.

De igual forma, la Tasa Interna de Retorno (TIR) que se obtuvo en el caso óptimo fue de 82.34%, mientras que en el caso crítico fue de 53.03%; por lo tanto en ambos casos la TIR es mayor a la rentabilidad mínima requerida, correspondiente a la TMAR calculada de 13.64%, y se concluye que según este indicador, el proyecto es rentable.

Finalmente, el tercer indicador de viabilidad del proyecto que se empleó para este análisis, es el cálculo del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI); el cual se ha estimado de dos años y tres meses, y de dos años y diez meses, para los casos: óptimo y crítico, respectivamente. A partir de este tiempo se empieza a obtener ganancias luego de haber recuperado la inversión total del proyecto; el tiempo calculado corresponde al periodo esperado para este tipo de proyectos, y además este tiempo es inferior al tiempo de vida útil del proyecto: 20 años para la obra civil, 10 años para la red pasiva y 5 años para el equipamiento activo.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalmente es este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones, surgidas a lo largo de la realización de este proyecto.

5.1 CONCLUSIONES

5.1.1 RED DE NODOS

La tecnología empleada en la red de telecomunicaciones, el alto rendimiento y disponibilidad, además de la implementación de una arquitectura con servicios diferenciados; se convierten en los pilares fundamentales de una empresa portadora de servicios que marca la diferencia en cuanto a la calidad del servicio que brinda a sus clientes; lo cual se ve reflejado en una mayor cantidad de ventas y como consecuencia mejor rentabilidad y confiabilidad en la empresa.

En este proyecto los equipos de Capa 3 deben trabajar con IS-IS, MPLS, y con sus funcionalidades como calidad de servicio (QoS), ingeniería de tráfico, inclusión de redes privadas virtuales de Capa 2 y de Capa 3, para conseguir una correcta integración con el resto de la red de la CNT-EP.

Todos los equipos de Capa 3 soportan IS-IS como protocolo de enrutamiento de estado de enlace, el cual es utilizado por MPLS para que los *routers* conozcan la topología completa de la red y para establecer los LSPs; también se requiere de la configuración de MP-BGP para la distribución de la información de ruteo entre los sitios remotos de clientes, al implementar túneles de Capa 3.

Para los diseños de redes se pretende conseguir alta disponibilidad y redes autoconfigurables ante fallas, mediante la combinación de equipos y enlaces redundantes, junto con la tecnología adecuada, que permitan un balanceo de carga entre enlaces y una rápida convergencia ante eventualidades. Para lograr

este objetivo se emplean diseños de redes jerárquicas con tres niveles: Núcleo, Distribución y Acceso.

Con este rediseño se consigue alta disponibilidad física en los niveles de acceso y distribución, al contar con enlaces redundantes y un diseño jerárquico redundante; y mediante la reingeniería de la red, también se consigue alta disponibilidad lógica en los niveles de acceso y distribución, al implementar protocolos como MST/REP, VRRP/GLB y MPLS, los cuales manejan la alta disponibilidad de la red y permiten su convergencia automática.

Al contar con una topología redundante a nivel de Distribución, se emplean protocolos de Redundancia de *Gateways* como: VRRP, HSRP, GLBP; que proveen de alta disponibilidad a la red en cuanto a pérdidas de comunicación con el *Default Gateway*. Como conclusiones del Anexo C acerca de las Pruebas de Laboratorio de Protocolos de Redundancia de *Gateways*, se pueden citar las siguientes:

- Para que un cliente cuente con *uplinks* redundantes hacia dos *Gateways* Físicos, es necesario usar al menos una Red WAN con máscara de 29 bits, ya que se requiere de una IP para cada *router*, una IP virtual y la IP del cliente.
- De acuerdo al normal funcionamiento de la red de CNT, bajo este esquema planteado en el presente proyecto, para que un cliente acceda al servicio de Internet debe tener una Red Privada para el enlace WAN y una IP Pública para hacer NAT en la LAN; esto con el objetivo de no desperdiciar las IPs Públicas que cada vez son más escasas. Mientras que, para que un cliente acceda al servicio de datos, basta con que cuente con una Red Privada para el enlace WAN.
- Un *router* no participa en HSRP/GLBP cuando “cae” el enlace hacia la LAN del cliente, porque en este escenario el cliente solo contaría con un *uplink*, entonces el tráfico de entrada o salida debe pasar a través de un solo equipo. Sin embargo un cliente corporativo de CNT-EP cuenta con dos o

tres enlaces redundantes, por lo que tendría dos o tres *uplinks* de última milla hacia la red de acceso del proveedor.

- Considerando que tanto HSRP como GLBP son protocolos propietarios de Cisco, es posible su utilización en escenarios que cuenten únicamente con equipos de esta marca, y si se tiene un escenario con equipos de diferente fabricante, se recomienda utilizar VRRP que es un protocolo muy similar a HSRP y está estandarizado en la IETF publicación RFC-5798.

Al contar con una topología redundante en el nivel de Acceso, existen varios protocolos que ofrecen control de lazos en Capa Enlace, como: MST y REP; que son los más empleados hoy en día. Del Anexo D acerca de las Pruebas de Laboratorio con Protocolos de Redundancia en Capa Enlace, se concluye que:

- MST presenta un mejor tiempo de convergencia que otros protocolos similares de *Spanning Tree* como STP y PVST; ya que su convergencia ante eventualidades se basa en RSTP y genera menor cantidad de BPDUs que PVST, por lo que es ampliamente utilizado en redes redundantes de acceso, con equipos de Capa 2.
- Considerando que REP es un protocolo propietario de Cisco se recomienda su utilización en escenarios que cuenten únicamente con equipos de esta marca, ya que a pesar de su compatibilidad con otros fabricantes, éste es un protocolo relativamente nuevo y su interoperabilidad puede generar problemas.
- De ser posible es aconsejable utilizar REP para este tipo de escenarios en donde se quiera brindar redundancia a nivel de equipos de capa 2, porque si se toma en cuenta el total de paquetes perdidos tanto para MST como para REP, este último generó menor cantidad de pérdidas.
- Si se tiene un escenario con equipos de diferente fabricante, se recomienda utilizar MST y en topologías con conmutadores que generen dos saltos como máximo hacia el *Gateway*.

Para la agregación de enlaces se emplean protocolos como LACP y PAgP. El funcionamiento de estos protocolos es muy similar, ambos negocian automáticamente parámetros necesarios con los equipos vecinos, para la correcta agregación de enlaces; sin embargo LACP está estandarizado y deberá ser empleado en escenarios con equipos de diferentes marcas, mientras que PAgP puede ser empleado solo entre equipos marca Cisco.

El rediseño de la Red *Metro Ethernet* que corresponde al Nivel de Acceso dentro del diseño jerárquico, permitió contar con una topología física redundante en anillos, de tal forma que cada Zona cuente con alta disponibilidad y esté protegida contra eventuales fallas en los enlaces. Para este diseño, la red está formada por anillos de hasta cuatro *switches*, para evitar el retardo producido cuando los datos atraviesan algunos equipos hacia el destino y para no sobrecargar la capacidad de los enlaces.

Al contar también con equipos redundantes en el Nivel de Distribución, que corresponde a la Red de Distribución formada por equipos de Capa 3, se consigue escalabilidad para el crecimiento y expansión de la red. Una buena práctica para el rediseño de esta parte de la Red MAN de Nodos, es conseguir topologías lógicas de Capa 3 en triángulos, mas no en cuadrados, de tal forma que desde un *router* se tenga dos rutas con el mismo costo y un salto de distancia hacia los equipos del Nivel de Núcleo, esto con el objetivo de distribuir carga.

La meta global que hoy en día se pretende conseguir con la disponibilidad anual de servicios es del 99.999%, es decir un servicio puede no estar disponible por un lapso de tiempo máximo de 5 minutos al año; sin embargo ésta una meta muy ambiciosa, difícil de conseguir y alcanzada por pocas empresas de *carrier class* a nivel mundial. Actualmente CNT ofrece disponibilidad del 99.999% mensual a nivel de *backbone* para el servicio de datos, al no alcanzar esta meta se generan multas; y el incumplir con la disponibilidad especificada en los SLAs individuales con clientes corporativos, también representa pérdidas para la empresa.

Paradójicamente, la complicada alta disponibilidad se consigue mediante la mayor simplicidad posible en los diseños físicos y lógicos de redes de comunicación; evitando la generación de puntos de falla que se obtienen en arquitecturas complejas.

La alta disponibilidad es difícil de cuantificar ya que depende de muchos factores o puntos de falla; la disponibilidad de un equipo está dada por la fórmula:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Es muy importante tomar en cuenta el tiempo promedio entre fallas que presenta un equipo, porque la disponibilidad de una red también depende del *performance* de todos los equipos en conjunto; el tiempo promedio de reparación establece pautas como: elementos o equipos de repuesto, personal técnico disponible, tiempo de respuesta ante fallas, entre otros, que también influyen en la disponibilidad de un servicio. Entonces aparece un nuevo factor: el costo de todos estos nuevos elementos que se integran para lograr dicho objetivo; si se pretende alcanzar la meta de los cinco nueves, el costo sería muy elevado en relación a los beneficios obtenidos.

El costo de la implementación de este rediseño y reingeniería de alta disponibilidad es una inversión que se recupera en menos de tres años, y el beneficio que se obtiene es muy amplio, ya que se evitaría en gran parte las multas y penalizaciones por pérdida e intermitencia de servicios, que anualmente le cuestan a la empresa alrededor de \$1,400.000.00 anuales solo por parte de CNT-Loja.

A más de la alta disponibilidad alcanzada con este proyecto, también se ha conseguido un diseño escalable que permitirá la ampliación futura de la red.

Se ha dado prioridad a fabricantes como Cisco y Huawei porque la red de la empresa cuenta con una infraestructura de red formada mayoritariamente por

equipos de estas dos marcas; adicionalmente se considera que si la empresa adquiere una gran cantidad de equipos de un mismo modelo, ya sea a Cisco o a Huawei, se puede conseguir altos descuentos; por lo tanto los precios que se presentan solo sirven como referencia, mas no han sido el principal determinante para la selección de la mejor opción.

La recopilación de información es de mucha importancia, ya que permite definir y dimensionar varios parámetros, y características técnicas de la infraestructura de telecomunicaciones; también sirve para proyectar modelos de crecimiento en cuanto a ventas, capacidad de enlaces, características específicas que deben soportar los equipos, etc. Por lo tanto, la etapa de la obtención de información constituye la base a partir de la cual se desarrolla un proyecto.

La identificación de las diferentes fases del ciclo de vida de los servicios ofertados por la empresa, permiten tomar decisiones de *marketing* en función de la fase en la que el producto se encuentra en el mercado, ya sea: Introducción, Crecimiento, Madurez, o Declive. En este proyecto se emplearon dos modelos de crecimiento, de usuarios y de ventas:

- **Modelo de Crecimiento de Usuarios:** para dimensionar la solución en cuanto a capacidad del número de usuarios y tráfico soportado por la red, se empleó un modelo de crecimiento lineal, porque corresponde al peor escenario, en el que el número de clientes crece constantemente, y los enlaces deben soportar dicha demanda de capacidad extra para el tráfico de datos.
- **Modelo de Crecimiento de Ventas:** mientras que para estimar los ingresos, se proyectó un modelo con crecimiento logarítmico o lineal, porque de igual forma corresponde al peor escenario, en el que el número de ventas del servicio se estabiliza (crecimiento logarítmico), o en el mejor de los casos es constante (crecimiento lineal), lo cual constituye un modelo realista dentro de este análisis.

5.1.2 RED GPON

Con el diseño de la red GPON para la ciudad de Loja, se consigue escalabilidad en cuanto a abarcar un mercado más grande de clientes corporativos; también se logra una plataforma que permita brindar nuevos y mejores servicios.

El crecimiento de la cantidad de usuarios corporativos demanda una tecnología más adecuada para cubrir un mercado más grande y escalable. La tecnología GPON permite conseguir la optimización de recursos y potencializar la infraestructura existente en una red. Con GPON se tiene la ventaja de poder llegar con un solo hilo de fibra óptica hasta a 32 clientes finales, en la práctica, por lo que constituye la solución más viable.

La tendencia es llegar con fibra óptica hasta el CPE de cada usuario, por lo que esta solución se adapta perfectamente a la mencionada tendencia, tomando en cuenta requerimientos actuales y futuros de usuarios, para acceder a servicios cada vez más exigentes en cuanto a capacidad de transmisión.

Las tasas de transmisión que esta tecnología ofrece, hace que se convierta en la solución ideal para los actuales y futuros requerimientos en cuanto a capacidad de transmisión, para soportar aplicaciones como *Video Streaming*, HDTV, TV en 3D, etc. Además facilita su adaptación hacia nuevos sistemas de *Next Generation* PON que ofrecerán mayores velocidades de transmisión.

El alcance teórico de una red GPON es de 20 Km, sin embargo esto es posible solo si se cuenta con un tendido de fibra en línea recta (evitando curvaturas de la fibra); tampoco es viable emplear niveles de *splitting* de 1:64, porque esto sería posible solo si se redujera las distancias hasta máximo unos cuantos cientos de metros. Por lo tanto para este diseño se ha considerado una distancia máxima de 10 Km y con dos niveles de *splitting* hasta llegar a 32 clientes.

En el diseño de esta red existieron dos Zonas alejadas, en donde fue necesario emplear ciertas consideraciones para mantenerse dentro del rango de atenuación de los 25 dB recomendados; como por ejemplo: no emplear *splitters* con conectores, sino *splitters* de fusión y también emplear empalmes en lugar de los ODFs con conectores.

Los servicios de video/televisión pueden ser ofrecidos simultáneamente mediante dos métodos distintos: RF e IPTV. Con RF se emplea la tercera longitud de onda, mientras que el servicio de IPTV es tratado como señal de datos, e incorpora capacidades de QoS y *multicast* IP; de tal forma que el proveedor de servicios pueda ofrecer varios canales con calidad estándar y HDTV, así como proporcionar servicios interactivos y personalizados, lo cual no es factible con video RF.

Existen algunos fabricantes de soluciones GPON, para este proyecto se ha elegido a Huawei como la mejor elección, debido a que no solo cumple y supera en características técnicas a otras marcas, sino que Huawei presenta ciertos adelantos como la red inteligente de fibra, que permite detectar los puntos exactos de falla de forma automática.

5.2 RECOMENDACIONES

5.2.1 RED DE NODOS

Un diseño jerárquico es muy recomendable para lograr escalabilidad en la red, y facilita la implementación de protocolos que ayudan a manejar la alta disponibilidad.

El presente proyecto puede ser tomado como base para la implementación de topologías lógicas en otras provincias del Ecuador, ya que la estructura de las diferentes redes de la CNT en cada provincia es muy similar.

Se recomienda configurar los diferentes protocolos propuestos en este proyecto, de la forma más simplificada posible debido a que de esta forma se disminuyen los posibles puntos de falla.

La redundancia de enlaces para una Red Metropolitana puede resultar muy compleja, se recomienda la capacitación del personal encargado de enlaces de transmisión, para que el proveer de alta disponibilidad en enlaces físicos sea un proceso eficiente y no genere más problemas de los que pretende resolver.

Considerando que la alta disponibilidad en una red se consigue mediante una serie de factores que reflejan la afectación en la calidad de un servicio, se recomienda exigir mejores tiempos de respuesta por parte de proveedores de equipos y servicios, invertir en elementos o equipos de repuesto, personal técnico disponible; además de una continua capacitación del personal.

Las recomendaciones del Anexo C acerca de las Pruebas de Laboratorio respecto a Protocolos de Redundancia de *Gateways* con HSRP y GLBP, son las siguientes:

- Se debe configurar las prioridades para la elección del *router* Activo, para HSRP/VRRP o el peso del balanceo de tráfico para GLBP, de tal forma que el caso de HSRP/VRRP al caer el interfaz de *track*, converja el protocolo y pase a estado Activo el *router* que se encontraba en estado de *Standby*; o converjan los *Forwarders* para el caso de GLBP.
- Se recomienda para estos escenarios balancear el tráfico también con el protocolo de enrutamiento; es decir no solo desde los *routers* que forman el grupo de HSRP/GLBP hacia el cliente, sino también desde los *routers* hacia la red interna, y con esto conseguir una óptima utilización del ancho de banda de los enlaces.
- Si se requiere realizar trabajos de *troubleshooting*, es muy útil utilizar el comando *debug* seguido del tipo de evento que se quiera mostrar.

Del Anexo D acerca de las Pruebas de Laboratorio respecto a Protocolos de Redundancia en Capa Enlace con MST y REP, se puede recomendar lo siguiente:

- Por razones de *troubleshooting*, es recomendable mantener la configuración e implementación de estos protocolos lo más simple posible; en el caso de MST la configuración es bastante compleja para lograr el balanceo de carga, mientras que para el caso de REP, la configuración es bastante simple.
- Se debe considerar en un diseño de este tipo, la cantidad máxima de equipos capa 2 que pueden formar un lazo, para el caso de MST es de 8 y para REP es 32 en los peores escenarios.

Se recomienda el empleo de protocolos adicionales para complementar la convergencia rápida, existen algunas opciones entre propietarias y estandarizadas que permiten minimizar notablemente los tiempos de convergencia. Por ejemplo BFD (*Bidirectional Forwarding Detection*), estandarizado en el RFC 5880, es muy empleado para ayudar a mejorar el tiempo de convergencia en: MST, VRRP, MPLS, LACP, OSPF, IS-IS, entre otros.

Los clientes corporativos deben tener al menos dos enlaces hacia la red de acceso; esto con el objetivo de contar con redundancia en última milla, mejorar la calidad del servicio y ayudar a cumplir los objetivos de disponibilidad de los SLAs.

Al emplear protocolos propietarios se restringe su uso a la adquisición de una sola marca; por lo tanto es preferible emplear protocolos estandarizados que permitan la interoperabilidad entre diferentes fabricantes. Sin embargo, en muchos casos los protocolos propietarios son más eficientes que los estandarizados, por lo tanto se recomienda el uso de éstos en el caso en que la red cuente con áreas específicas de una sola marca; o que los beneficios del empleo de protocolos propietarios sean mayores a los estandarizados y merezcan su inversión en equipos de la marca en particular.

Al elegir un equipo se debe realizar un análisis más a fondo acerca del *performance* del mismo, no solo basándose en las características técnicas que el fabricante publica, sino también en análisis realizados por organismos internacionales, acerca del porcentaje de cumplimiento de las características que presentan los diferentes fabricantes. Por ejemplo una página en línea que provee esta información es: www.currentanalysis.com.

Considerando que los tendidos de fibra óptica han sido sobredimensionados por las razones explicadas en apartados anteriores, se recomienda arrendar algunos de los hilos sobrantes, lo cual representaría más ingresos para la empresa.

5.2.2 RED GPON

Dentro del diseño de estas redes, es recomendable mantener dicho diseño con niveles de atenuación de alrededor de 25 dB, entre el cableado de fibra, conectores, empalmes y la atenuación introducida por los *splitters*; ya que a pesar que los equipos (OLT y ONUs) soportan hasta 28 dB de atenuación, se dejan los 3 dB de margen para parámetros como curvaturas, envejecimiento de materiales, impurezas, etc.

Como ya se mencionó anteriormente, los equipos terminales ONTs, no cuentan con salidas a cable coaxial, ya que CNT brinda televisión mediante una VLAN y no por RF; si el cliente no posee televisores IP se requiere de un equipo adicional que convierte la señal de Video IP a señal analógica, para ser transmitida hacia el televisor convencional mediante cable coaxial.

Otra recomendación de diseño es proyectar la red pasiva de fibra óptica empleando un modelo con la menor cantidad de puntos de falla, como sea posible; esto con el objetivo de simplificar la detección de fallas en el tendido de fibra y disminuir la cantidad de sitios para el acceso a mantenimiento.

Es recomendable que los equipos: OLT y ONTs sean del mismo fabricante, ya que la interoperabilidad entre diferentes marcas aún no está garantizada.

Se recomienda la migración gradual de cobre a fibra óptica para los tendidos de cable, ya que la fibra permite brindar una gama mucho más amplia de servicios y permite cubrir grandes distancias, lo cual no es el caso del par trenzado de cobre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ANÓNIMO, "*Integración de infraestructuras mediante NGN*". Disponible en línea el 24 de julio de 2011: <http://es.scribd.com/doc/71410214/Integracion-NGN>

- [02] ANÓNIMO, "*Capítulo 2: Arquitectura NGN*". Disponible en línea el 24 de julio de 2011: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/211/3/Capitulo%202.pdf>

- [03] OSPINA, J., "*Redes de nueva generacion NGG una vision hacia la implementacion de cloud computing*", Colombia, 2008. Disponible en línea el 28 de noviembre de 2011: <http://es.scribd.com/doc/57693194/Paper2-Cristian-4>

- [04] TELEFÓNICA, "*Las Telecomunicaciones de Nueva Generación*". Disponible en línea el 5 de marzo de 2012:
http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/docs/repositorio/es_ES/TelefonicaySI/Publicaciones/teleco_n_g.pdf

- [05] ESTRELLA, D., "*Diseño de un prototipo de red de nueva generación NGN (New Generation Network) basado en una arquitectura Metro Ethernet para proveer servicio de VoIP*". Escuela Politécnica Nacional, 2007.

- [06] LATACUNGA, C., "*Estudio de los mecanismos deprotección y restauración de las redes de nueva generación basadas en MPLS*", Escuela Politécnica Nacional, 2009.

- [07] QUINTANA, B., "*Red nacional de comunicaciones públicas de voz de larga distancia basada en tecnología NGN / VoIP*", Chile, 2003. Disponible en línea el 24 de julio de 2011:
http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/metitulo/.../MEMO_FIN_AGV.doc

- [08] HARIT, P., *"Next Generation Network"*, India, 2010. Disponible en línea el 5 de marzo de 2012:
<http://es.scribd.com/doc/35947975/Next-Generation-Network-Report>
- [09] EGLI, P., *"MPLS – Multiprotocol Label Switching – RFC3031"*, 2011. Disponible en línea el 11 de marzo de 2012:
<http://es.scribd.com/mobile/doc/44681908?query=mpls+rfc3031>
- [10] HIDALGO, P., *"Redes de Área Extendida"*, Escuela Politécnica Nacional, 2009.
- [11] ANÓNIMO, *"Estudio Integral de Redes de Nueva Generación y Convergencia"*, 2007. Disponible en línea el 24 de noviembre de 2011:
http://www.imaginar.org/ngn/manuales/Convergencia_NGN.pdf
- [12] WOLFGANG, R., *"MPLS overview"*, 2001. Disponible en línea el 11 de marzo de 2012:
<http://wallu.pagesperso-orange.fr/MPLS-overview.pdf>
- [13] CISCO, *"MPLS advanced concepts and developments in MPLS"*, 2004. Disponible en línea el 11 de marzo de 2012:
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/iosswrel/ps6537/ps6557/prod_presentation0900aecd8031204c.pdf
- [14] HANSPAL, A., *"Cisco MPLS - Traffic Engineering for VPNs"*, 2003. Disponible en línea el 11 de marzo de 2012:
<http://penta.ufrgs.br/gter13/MPLS-TE-CISCO.ppt>
- [15] CISCO, *"Introduction to MPLS"*. 2004. Disponible en línea el 11 de marzo de 2012:
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/iosswrel/ps6537/ps6557/prod_presentation0900aecd8031205f.pdf

- [16] RAZA, K., *"MPLS VPN Configurations"*. 1999. Disponible en línea el 25 de enero de 2012: <http://es.scribd.com/doc/48433568/MPLS-VPN-Configurations>
- [17] ÁLVAREZ, S., *"QoS in MPLS Networks"*. CISCO, 2004. Disponible en línea el 11 de marzo de 2012:
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/iosswrel/ps6537/ps6557/ps6607/prod_presentation0900aecd8031280f.pdf
- [18] CANALIS, M., *"MPLS Multiprotocol Label Switching: Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI"*, Argentina. Disponible en línea el 11 de marzo de 2012:
<http://exa.unne.edu.ar/depar/areas/informatica/SistemasOperativos/MPLS.PDF>
- [19] HIDALGO, C.; LAGUAPILLO, D., *"Diseño e implementación de un laboratorio que permita emular y probar servicios IP y MPLS de la red de backbone Cisco de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT"*, Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [20] CISCO, *"Introduction to DWDM Technology"*. USA, 2001. Disponible en línea el 19 de julio de 2011:
http://www.cisco.com/en/US/products/hw/optical/ps2011/products_technical_reference_chapter09186a00802342dc.html
- [21] CAIZALUISA, J., *"Estudio para la integración de la técnica de multiplexación DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) dentro de un enlace Quito - Guayaquil que utilice SDH como técnica de transmisión para una mediana empresa portadora"*, Escuela Politécnica Nacional, 2009.
- [22] CISCO, *"CCNA Exploration 2: Concepts and Routing Protocols"*, 2007.
- [23] TAYYAB, M., *"How to Select a Best Routing Protocol for your Network"*, Canadá, 2010. Disponible en línea el 14 de marzo de 2012:

<http://www.ampublisher.com/August%202010/NIS-1008-011-How-to-Select-Best-Routing-Protocol.pdf>

- [24] CISCO, *"Introduction to Intermediate System-to-Intermediate System Protocol"*, 2002. Disponible en línea el 14 de noviembre de 2011:
http://www.cisco.com/en/US/products/ps6599/products_white_paper09186a00800a3e6f.shtml

- [25] SORICELLI, J., *"Chapter 7: Intermediate System to Intermediate System (IS-IS)"*, Juniper. Disponible en línea el 14 de marzo de 2012:
<http://es.scribd.com/doc/7630179/Sybex-Juniper-Jncia-Study-Guide>

- [26] CISCO, *"Integrated IS-IS Routing Protocol Overview"*, 2011. Disponible en línea el 14 de noviembre de 2011:
http://www.cisco.com/en/US/docs/ios-xml/ios/iproute_isis/configuration/12-4/irs-ovrvw.pdf

- [27] CISCO, *"IS-IS Introduction"*. Disponible en línea el 14 de marzo de 2012:
<http://map.twnic.net.tw/ip93/doc/k/is-is.pdf>

- [28] BALCHUNAS, A., *"IS-IS"*, 2007. Disponible en línea el 14 de marzo de 2012: <http://es.scribd.com/doc/39968272/Ccnp-Routing-Study-Guide>

- [29] SMITH, P., *"ISIS Tutorial"*, Cisco, 2009. Disponible en línea el 14 de marzo de 2012:
<http://www.menog.org/presentations/menog-4/MENOG4-ISIS-Tutorial.pdf>

- [30] CISCO, *"Multilayer Campus Architectures & Design Principles"*. Disponible en línea el 18 de marzo de 2012:
<http://www.cisco.com/web/CA/plus/assets/pdf/Multilayer-Campus-Architectures-and-Design-Principles-MMONTANEZ.pdf>

- [31] CISCO, *"Designing and Managing High Availability IP Networks"*, 2004. Disponible en línea el 18 de marzo de 2012:
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/iosswrel/ps6537/ps6550/prod_presentation0900aecd8031069b.pdf
- [32] CISCO, *"Campus Network for High Availability Design Guide"*, 2008. Disponible en línea el 18 de marzo de 2012:
http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Campus/HA_recovery_DG/campusRecovery.html
- [33] SIERRA, J., *"Redundancy and load balancing at IP layer in access and aggregation networks"*, Finlandia: Aalto University, 2011. Disponible en línea el 18 de marzo de 2012:
<https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/3682>
- [34] STRETCH, J., *"First Hop Redundancy"*. Disponible en línea el 16 de febrero de 2012:
<https://nsrc.org/workshops/2009/summer/presentations/day3/first-hop-redundancy.pdf>
- [35] DELL, *"Router Redundancy with VRRP"*, 2004. Disponible en línea el 16 de febrero de 2012:
http://www.dell.com/downloads/global/products/pwcnt/en/app_note_32.pdf
- [36] CISCO, *"Configuring GLBP"*, 2010. Disponible en línea el 26 de enero de 2012:
http://www.cisco.com/en/US/docs/ios-xml/ios/ipapp_fhrp/configuration/xr-3s/fhrp-glbp.pdf
- [37] IBÁÑEZ, G., *"Contribucion al diseño de redes campus Ethernet autoconfigurables"*. España: Universidad Carlos III de Madrid, 2005. Disponible en línea el 22 de marzo de 2012:
http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/11520/1/guillermo_ibanez_tesis.pdf

- [38] CISCO, *"CCNA Exploration 3: LAN Switching and Wireless"*, 2007.
- [39] TU, C., *"Cloud-Scale Data Center Network Architecture"*, Taiwan, 2011. Disponible en línea el 22 de marzo de 2012:
<http://www.ecsl.cs.sunysb.edu/tr/rpe22.pdf>
- [40] LAPUKHOV, P., *"Understanding MSTP"*. Disponible en línea el 22 de marzo de 2012: <http://blog.ine.com/2010/02/22/understanding-mstp/>
- [41] CISCO, *"Understanding and Configuring Multiple Spanning Trees"*. Disponible en línea el 22 de marzo de 2012
<http://www.cisco.com/en/US/docs/switches/lan/catalyst4500/12.2/18ew/configuration/guide/mst.pdf>
- [42] CISCO, *"Designing and Deploying with the Resilient Ethernet Protocol"*, 2009. Disponible en línea el 31 de enero de 2012
<http://es.scribd.com/doc/33211333/8/REP-Segments-don%E2%80%99t-introduce-loops>
- [43] CISCO, *"CHAPTER 17: Configuring Resilient Ethernet Protocol"*. Disponible en línea el 1 de febrero de 2012
http://www.cisco.com/en/US/docs/switches/metro/me3400/software/release/12.2_58_ex/configuration/guide/swrep.pdf
- [44] CISCO, *"Cisco Resilient Ethernet Protocol"*, 2007. Disponible en línea el 11 de enero de 2012
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps6568/ps6580/prod_white_paper0900aecd806ec6fa.pdf
- [45] CISCO, *"Link Aggregation Control Protocol (LACP) (802.3ad) for Gigabit Interfaces"*, 2007. Disponible en línea el 27 de marzo de 2012:
http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_2sb/feature/guide/gigeth.pdf

- [46] H3C, "*Operation Manual – Link Aggregation*". Disponible en línea el 27 de marzo de 2012: <http://www.h3c.com/portal/download.do?id=713690>

- [47] CISCO, "*Cisco EtherChannel Technology*", 2003. Disponible en línea el 28 de marzo de 2012:
http://www.cisco.com/en/US/tech/tk389/tk213/technologies_white_paper09186a0080092944.shtml

- [48] BALCHUNAS, A., "*EtherChannel*", 2009. Disponible en línea el 28 de marzo de 2012: <http://es.scribd.com/doc/79163300/Ether-Channel>

- [49] FINN, N., "*Port Aggregation Protocol*", Cisco, 1998. Disponible en línea el 28 de marzo de 2012:
http://www.ieee802.org/3/trunk_study/april98/finn_042898.pdf

- [50] LATTANZI, M.; GRAF, A., "*Redes FTTx Conceptos y Aplicaciones*". IEEE-Argentina. Disponible en línea el 30 de marzo de 2012:
<http://es.scribd.com/doc/52110212/TUTORIAL-9-Lattanzi-y-Graf-IEEE>

- [51] BOCK, C., "*Upgrade paths from existing copper-based access solutions to advanced agile wavelength-routed passive optical networks*", Universitat Politècnica de Catalunya, 2006. Disponible en línea el 30 de marzo de 2012:
<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6903/01Cbm01de01.pdf?sequence=1>

- [52] CEVALLOS, R.; MONTALVO, R.; VINUEZA, M., "*Estudio y Diseño de una Red de Última Milla, Utilizando la Tecnología G-PON, Para el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito*", Escuela Politécnica Nacional, 2010.

- [53] HUAWEI, "*Next-Generation PON Evolution*". Disponible en línea el 30 de marzo de 2012: http://www.huawei.com/ilink/en/.../HW_077443

- [54] FENG, W., *"The Requirements and Evolution to Next Generation Optical Access Network"*, Huawei. Disponible en línea el 30 de marzo de 2012:
<http://www.oecc2009.org/paper/MWD8.pdf>

- [55] BSNL, *"GPON Basis"*. India : BSNL. Disponible en línea el 29 de marzo de 2012:
<http://es.scribd.com/doc/86033161/Gpon-Basics-Bsnl>

- [56] CEVALLOS, R.; MONTALVO, R., *"Estudio y diseño de una red de última milla, utilización de la Tecnología GPON, para el sector del nuevo Aeropuerto de Quito"*, Escuela Politécnica Nacional, 2010.

- [57] WIKITEL, *"UA-Redes PON GPON derivados"*, Disponible en línea el 29 de marzo de 2012:
http://es.wikitel.info/wiki/UA-Redes_PON_GPON_derivados#REDES_GPON_Y_DERIVADOS

- [58] UIT-T, *"G.984.1 Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics"*, UIT-T, 2008.

- [59] PTCL Training & Development Team, *"GPON/FTTH"*, OPTCL. Disponible en línea el 29 de marzo de 2012:
<http://es.scribd.com/doc/61831931/GPON-Fundamentals>

- [60] YAAKOV, S.; ZVIKA, E., *"Passive Optical Networks"*, Disponible en línea el 1 de abril de 2012: <http://es.scribd.com/doc/74027355/3/Why-fiber>

- [61] CNT-EP, *"Información proporcionada por el personal de GESTIÓN ATM-IP/MPLS de la CNT-EP"*. Quito - Ecuador, 2011.

- [62] CNT-EP, *"Información proporcionada por el personal de la CNT-EP"*, Loja - Ecuador", 2011.

- [63] HUAWEI, *"Información proporcionada por el personal de Huawei. Loja - Ecuador"*, 2011.
- [64] HUAWEI, *"Huawei - Products"*. Disponible en línea el 26 de abril de 2012:
<http://www.huawei.com/en/products/index.htm>
- [65] SRI, *"Contribuyentes Especiales"*. Disponible en línea el 28 de abril de 2012:
<http://www.sri.gob.ec/web/guest/334>
- [66] CONATEL Resolución No. 282-11-CONATEL-2002, *"Requisitos técnicos y especificaciones de calidad para la prestación de servicios portadores de telecomunicaciones (norma técnica)"*.
- [67] PACIFICTEL-SUPERTEL, *"Contrato modificadorio, ratificadorio y codificadorio de la concesión de servicios finales y portadores de telecomunicaciones, otorgado por la secretaría nacional de telecomunicaciones a favor de PACIFICTEL S.A."*. Disponible en línea el 5 de abril de 2012:
<http://www.pacifictel.net.ec/transparencia/docs/ContratoConcesion.pdf>
- [68] SUPERTEL, *"Estadísticas de interrupciones del Servicio de Telefonía Fija"*, 2011. Disponible en línea el 5 de abril de 2012:
<http://www.supertel.gob.ec/index.php/20120131342/telefonía-fija/estadísticas-de-interrupciones-del-servicio-de-telefonía-fija.supertel>
- [69] CNT-HUAWEI-ALCATEL, *"Pruebas de implementación de una red GPON"*, febrero 2012.
- [70] POLYCOM, *"Preparing your IP network for High Definition Video Conferencing"*, 2007. Disponible en línea el 13 de abril de 2012:
http://www.polycom.com/global/documents/services/professional_services/high_definition_readiness_services/whitepaper_preparing_your_ip_network_for_hd_video_conferencing.pdf

- [71] ANÓNIMO, "*Capítulo 4: Red de acceso con FTTB para aplicar tecnología VDSL2*", Disponible en línea el 10 de abril de 2012:
<http://es.scribd.com/doc/60813645/3/FIBRA-OPTICA-INTRODUCIDA-EN-DUCTOS-SUBTERRANEOS>
- [72] ROMÁN, R.; HIDALGO, P., "*Diseño de la ampliación de la red de comunicación de EMELNORTE utilizando fibra óptica y tecnología inalámbrica*". Quito - Ecuador.
- [73] DRAKA, "*Cables de telecomunicación de fibra óptica*". Disponible en línea el 6 de mayo de 2012:
<http://communications.draka.com/sites/eu/es/Pages/Cables-de-telecomunicacion-de-fibra-optica.aspx>
- [74] CISCO, "*Data Sheet: Cisco ME 3800X Series Carrier Ethernet Switch Router*". Disponible en línea el 25 de mayo de 2012:
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps10905/ps10965/product_bulletin_c25-629133.html
- [75] HUAWEI, "*Product Overview: CX600 Metro Services Platform*". Disponible en línea el 7 de junio de 2012:
http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw_093089.pdf
- [76] HUAWEI, "*Product Description: HUAWEI CX600 Metro Services Platform*", 2010. Disponible en línea el 26 de mayo de 2012:
<http://www.huawei.com/pt/dl?f=572>
- [77] CISCO, "*Data Sheet: Cisco Catalyst 4500-X Series Fixed 10 Gigabit Ethernet Aggregation Switch*", 2012. Disponible en línea el 8 de junio de 2012:
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps10902/ps12332/data_sheet_c78-696791.pdf

- [78] HUAWEI, *"Hardware Description: S5700&S5710 Series Ethernet Switches"*, 2012. Disponible en línea el 26 de mayo de 2012:
http://enterprise.huawei.com/ilink/enenterprise/download/HW_134387

- [79] HUAWEI, *"Huawei Enterprise S5700"*. Disponible en línea el 26 de mayo de 2012:
<http://enterprise.huawei.com/en/products/network/switch/data-center-switch/hw-131612.htm>

- [80] ALCATEL-LUCENT, *"Alcatel-Lucent 7342 ISAM FTTU (ANSI)"*. Disponible en línea el 4 de mayo de 2012:
http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/!ut/p/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKLd4w3dnTRL8h2VAQADYR9IA!!?LMSG_CABINET=Solution_Product_Catalog&LMSG_CONTENT_FILE=Products/Product_Detail_000417.xml&LMSG_PARENT=null#tabAnchor1

- [81] DOCSTOC, *"MA6500T_GPON_Product"*. Disponible en línea el 4 de mayo de 2012:
http://www.docstoc.com/docs/68944761/02-MA6500T_GPON_-Product-Description

- [82] HUAWEI, *"The First Aggregation OLT for Vertical Industry, Huawei SmartAX MA5600T Series Product"*. Disponible en línea el 26 de mayo de 2012:
http://enterprise.huawei.com/ilink/cnenterprise/download/EN_MA5600T_BR

- [83] ALCATEL-LUCENT, *"Data Sheet: Alcatel-Lucent 7342 ONT Family"*. Disponible en línea el 4 de mayo de 2012:
<http://www.alcatel-lucent.com/.../DocumentStreamerSe...>

- [84] HUAWEI, *"Data Sheet: HG8240 GPON Terminal"*. Disponible en línea el 4 de mayo de 2012:

http://enterprise.huawei.com/en/products/network/access-network/pon-one/en_hg8240.htm

- [85] MIRANDA, J., "*Gestión de Proyectos*", Cuarta Edición.
- [86] REINOSO, V., "*Ingeniería Financiera*", 2008.
- [87] CEDATOS, "*Indicadores Económicos*". Disponible en línea el 24 de junio de 2012: <http://www.cedatos.com.ec/>
- [88] INEC, "*Ecuador en Cifras*". Disponible en línea el 25 de junio de 2012: <http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/cienciaTecnologia.html#>
- [89] CNT, "*Línea Telefónica Residencial*". Disponible en línea el 25 de junio de 2012: http://www.cnt.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=31&Itemid=19
- [90] CNT, "*Fast Boy*". Disponible en línea el 25 de junio de 2012: http://www.cnt.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=80:fastboy&catid=26:prodinte?Itemid=21
- [91] BAENA, V.; MORENO, M., "*Instrumentos de Marketing*". Disponible en línea el 2 de julio de 2012: http://books.google.com.ec/books?id=VVRnDIACSCkC&pg=PA48&lpg=PA48&dq=marketing+insercion+crecimiento+madurez+declive&source=bl&ots=8Um-Varidi&sig=xMJ_VcXNGeAGnavB84azyKjml7c&hl=es-419&sa=X&ei=Gmn8T_enFeSM0QHx4fiFBw&ved=0CFcQ6AEwBQ#v=onepage&q=marketing%20
- [92] ANÓNIMO, "*Ciclo de Vida de un Producto*". Disponible en línea el 2 de julio de 2012:

http://diseño.idoneos.com/index.php/Dise%C3%B1o_Industrial/Marketing/Ciclo_del_producto

- [93] IMPUESTOS ECUADOR, *"Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno"*. Disponible en línea el 2 de julio de 2012:

http://www.impuestosecuador.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=49

- [94] HONORABLE CONGRESO NACIONAL, *"Ley de Régimen Tributario Interno"*, 2004.

- [95] ANÓNIMO, *"Tecnologías de Acceso de Nueva Generación"*, Escuela Politécnica Nacional. Disponible en línea el 14 de noviembre de 2012:

<http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/15000/8560/2/T%2011227%20CAPITULO%202.pdf>