

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED PORTADORA METRO
ETHERNET PARA LA CIUDAD DE QUITO CON TECNOLOGÍAS
802.3ah, 802.1ad Y 802.1ah**

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

LUIS EDUARDO CAMPOS JIMÉNEZ

luisitoeduardo@hotmail.com

PAULINA FERNANDA SANTANA PASTRANO

paulifsp@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PABLO HIDALGO

phidalgo@ieee.org

Quito, octubre 2008

DECLARACIÓN

Nosotros, Paulina Fernanda Santana Pastrano y Luis Eduardo Campos Jiménez, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Luis Campos

Paulina Santana

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paulina Fernanda Santana Pastrano y Luis Eduardo Campos Jiménez, bajo mi supervisión.

Ing. Pablo Hidalgo
DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

Este proyecto es solo el signo visible de la culminación de una etapa, una etapa que por sus retos y enseñanzas ha sido verdaderamente hermosa y gratificante... mas el trabajo apenas empieza y aquí estoy de pie, con todas mis armas listas. Pero quiero antes, dejar escrito en piedra, que todo el esfuerzo y cariño que he entregado, van dedicados a la persona que más va a disfrutar este triunfo, mi madre, porque del mismo modo en que ella compartió mis alegrías, preocupaciones y desvelos, lo hago hoy yo, y esta victoria también es de ella.

Paulina

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a tres personas que han sido fundamentales durante toda mi vida. A mi madre, que es mi fuente de inspiración, mi ejemplo a seguir, y que gracias a su esfuerzo, su tenacidad, su cariño y su dedicación, he podido salir adelante y culminar una etapa más en mi camino. A mi abuelita, el centro de nuestra familia, que con su ternura, su sencillez y su ejemplo de fortaleza, nos inculcó los valores que han permitido mantenernos unidos y luchar por nuestros objetivos. Finalmente lo dedico, a un ser muy especial que construyó las bases de mi vida, y se convirtió en la luz que guía mi camino desde el cielo, mi papá Alfredito.

Luis Campos

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todas aquellas personas que han sido parte de este proyecto, todas de una misma manera, regalándome su apoyo, ánimo y cariño.

A mi familia, que aunque no siempre entendían mi carrera y querían que repare el televisor, me entregaron soplos de aliento para no desmayar, y torbellinos de amor para continuar. Son mis hermanas, mi madre y mi abuelita el dulce ejemplo de dedicación y trabajo, que siempre trato de seguir.

A mis amigos, porque formaron también parte de mi aprendizaje, como compañeros y maestros. Su sonrisa y compañía han sido muy importantes.

A Luis, mi compañero, que además de formar parte de mi familia y mis amigos, tiene un lugar en mi alma, vida y corazón diseñado únicamente para él. Sin él, el sabor de mis días y especialmente de este éxito no sería el mismo. Mil gracias y besos para ti.

Gracias Padre, por todo lo que me has dejado aprender en la vida, por todas las personas que has puesto en mi camino, por ser Tú el amor y fortaleza que alimenta mi existir, porque conocerte ha sido el mejor regalo que he recibido.

Paulina

AGRADECIMIENTO

Cuando se alcanza una meta y se triunfa, existen muchas personas detrás de estos triunfos. Por ello quiero expresar mi agradecimiento a todos quienes han hecho posible la elaboración de este Proyecto. Primeramente a Dios por darme la vida y a mi madre por darme su apoyo, su comprensión y su cariño; a mi familia por su respaldo, su estímulo y su ayuda durante este proceso. A Paulina mi compañera durante este proyecto, por su esfuerzo, su amor y su comprensión, de igual forma a toda su familia; a mis compañeros y amigos por su amistad y ayuda durante el camino recorrido para alcanzar esta meta.

Un agradecimiento muy especial a nuestro director de proyecto Ing. Pablo Hidalgo por su apoyo y acertada orientación.

Luis Campos

CONTENIDO

CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xx
RESUMEN	xxi
PRESENTACIÓN	xxii

CAPÍTULO 1

EVOLUCIÓN DE ETHERNET

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL A LA TECNOLOGÍA ETHERNET	1
1.2 ETHERNET EN LAS REDES NG	3
1.3 ETHERNET EN REDES DE ÁREA METROPOLITANA	8
1.4 ESTANDARIZACIÓN Y TECNOLOGÍAS DE METRO ETHERNET	12
1.4.1 METRO ETHERNET FORUM	12
1.4.1.1 Atributos de Carrier Ethernet	13
1.4.1.2 Especificaciones Técnicas del MEF	15
1.4.1.3 Conceptos de Servicios Metro Ethernet	17
1.4.1.4 Atributos y Parámetros de Servicios Metro Ethernet	21
<i>1.4.1.4.1 Atributos de la interfaz física Ethernet</i>	21
<i>1.4.1.4.2 Atributos de Entrega de Tramas de Servicio</i>	22
<i>1.4.1.4.3 Atributos de Perfil de Ancho de Banda y Parámetros de Tráfico</i>	24
<i>1.4.1.4.4 Atributos de Identificación de Clase de Servicio (CoS)</i>	26
<i>1.4.1.4.5 Atributos de Rendimiento</i>	27
<i>1.4.1.4.6 Atributo de Soporte de Etiquetas de VLAN</i>	30
<i>1.4.1.4.7 Atributos de Multiplexación de Servicios</i>	31

1.4.1.4.8	<i>Atributo de Bundling</i>	31
1.4.1.4.9	<i>Atributos de Filtros de Seguridad</i>	32
1.4.2	ESTÁNDARES DE LA IEEE PARA EL DESARROLLO DE REDES METRO ETHERNET	32
1.4.2.1	Estándar IEEE 802.3 (Ethernet)	33
1.4.2.2	Estándar IEEE 802.3ah (<i>Ethernet First Mile</i>)	34
1.4.2.2.1	<i>EFM sobre par de cobre (EFMC)</i>	35
1.4.2.2.2	<i>EFM sobre fibra punto a punto (EFMF)</i>	36
1.4.2.2.3	<i>EFM sobre fibra punto a multipunto (EFMP)</i>	36
1.4.2.3	Estándar IEEE 802.1Q	39
1.4.2.4	Estándar IEEE 802.1ad (<i>Provider Bridges</i>)	40
1.4.2.5	Estándar IEEE 802.1ah (<i>Provider Backbone Bridges</i>)	41
1.4.3	ESTANDARIZACIÓN DE LA IETF PARA REDES METRO ETHERNET	43

CAPÍTULO 2

LOS SERVICIOS PORTADORES EN QUITO Y ARQUITECTURAS METRO ETHERNET PLANTEADAS

2.1	ANÁLISIS GENERAL DE LAS TELECOMUNICACIONES	47
2.1.1	LAS REDES DE TRANSPORTE A NIVEL MUNDIAL	54
2.1.1.1	Comparación de Ethernet con tecnologías de transporte actuales	55
2.1.2	LAS REDES DE ACCESO A NIVEL MUNDIAL	57
2.2	SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR Y PRINCIPALMENTE EN LA CIUDAD DE QUITO	60
2.2.1	EVOLUCIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES	60
2.2.2	ANÁLISIS DEL MERCADO DE TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR	62
2.2.3	LOS SERVICIOS PORTADORES EN EL ECUADOR	64
2.2.4	SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TELECOMUNICACIONES EN QUITO	67

2.2.4.1	Análisis de las tecnologías y operadores de servicios portadores	68
2.3	ARQUITECTURAS PARA EL DISEÑO DE REDES METRO ETHERNET	74
2.3.1	RED DE USUARIO	77
2.3.2	RED DE ACCESO	78
2.3.3	RED DE CONCENTRACIÓN, DISTRIBUCIÓN O AGREGACIÓN	80
2.3.3.1	Instancias de Servicio en la Red de Agregación o <i>Provider Bridge Network</i> (PBN)	82
2.3.3.2	Segregación de Instancias de Servicio	83
2.3.4	RED TRONCAL O DE <i>BACKBONE</i>	84
2.3.4.1	<i>Backbone</i> con VPLS sobre MPLS (Híbrido)	84
2.3.4.1.1	<i>Funcionamiento del Backbone VPLS</i>	85
2.3.4.1.1.1	<i>Creación de Pseudowires</i>	87
2.3.4.1.1.2	<i>Aprendizaje MAC y envío de paquetes</i>	88
2.3.4.2	<i>Backbone</i> Ethernet con IEEE 802.1ah (Ethernet Puro)	91
2.3.4.2.1	<i>Fortalecimiento del Backbone 802.1ah con Provider Backbone Bridging – Traffic Engineering (PBB-TE)</i>	98
2.4	ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ARQUITECTURA PARA EL DISEÑO DEL <i>CARRIER</i> METRO ETHERNET	104
2.4.1	BENEFICIOS DE UN <i>BACKBONE</i> IEEE 802.1ah CON TECNOLOGÍA PBB-TE	108
2.4.2	EXPERIENCIA DE MERCADO EN CASOS DE ÉXITO	115

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA RED PORTADORA ETHERNET

3.1	SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE QUITO	117
3.1.1	PRINCIPALES TRANSFORMACIONES URBANO-ESPACIALES	118
3.1.2	DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	119
3.2	DEFINICIÓN DE ZONAS DE ACUERDO A LA SECTORIZACIÓN DE QUITO	122

3.3	CONCENTRACIÓN DE EMPRESAS EN LA CIUDAD DE QUITO	124
3.4	ESTUDIO DE LA DEMANDA DE SERVICIOS PORTADORES	127
3.4.1	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ABONADOS INICIALES	127
3.4.1.1	Proyección de los Abonados de Servicios Portadores en Quito	128
3.4.1.1.1	<i>Densidad de Penetración de Servicios Portadores</i>	128
3.4.1.1.2	<i>Curva de Crecimiento de la Densidad del Servicio Portador</i>	129
3.4.1.2	Factor de Crecimiento de las Empresas en Quito	131
3.4.1.3	Estimación de usuarios para el año 2008	132
3.5	DETERMINACIÓN DE LA TOPOLOGÍA Y NODOS DE LA RED DE ACUERDO A LAS ZONAS DE COBERTURA	135
3.5.1	TIPOS DE NODOS	135
3.5.1.1	Nodos de Acceso	135
3.5.1.2	Nodos de Distribución	136
3.5.1.3	Nodos de Núcleo	137
3.5.2	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS NODOS DE LA RED	140
3.5.2.1	Ubicación geográfica de los Nodos de Acceso	140
3.5.2.2	Ubicación geográfica de los Nodos de Distribución	142
3.5.2.3	Ubicación geográfica de los Nodos de Núcleo: e-PBB y c-PBB	144
3.6	ANÁLISIS DE TRÁFICO	152
3.6.1	DIMENSIONAMIENTO DE LOS NODOS DE LA RED METRO ETHERNET	154
3.6.2	DETERMINACIÓN DE LA MATRIZ DE TRÁFICO AL AÑO 2008	157
3.6.3	PROYECCIÓN DE TRÁFICO AL AÑO 2018	162
3.6.4	DESCRIPCIÓN DE LOS ENLACES Y SELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN	165
3.7	ATRIBUTOS DE ADMINISTRACIÓN DE TRÁFICO	171
3.7.1	PARÁMETROS DE PERFIL DE ANCHO DE BANDA	172
3.7.2	PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL SERVICIO	174
3.8	MECANISMOS DE OPERACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SERVICIOS	178
3.8.1	ETHERNET OAM	179
3.8.1.1	Servicio OAM: <i>Connectivity Fault Management IEEE 802.1ag</i>	185

3.8.1.1.1	<i>Protocolos de Administración de Fallas de Conectividad</i>	185
3.8.1.1.2	<i>Dominio de Mantenimiento</i>	185
3.8.1.1.3	<i>Nodos de mantenimiento</i>	185
3.8.1.2	<i>Ethernet Local Management Interface (E-LMI)</i>	186
3.8.1.3	<i>Link Layer OAM (IEEE 802.3ah OAM)</i>	187
3.9	SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA NUEVA INFRAESTRUCTURA DE RED	187
3.9.1	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE EQUIPOS PARA NODOS DE RED	188
3.9.2	SOLUCIONES Y FABRICANTES DE EQUIPOS PARA <i>CARRIER</i> METRO ETHERNET	193
3.9.2.1	Solución <i>Carrier</i> Metro Ethernet de Nortel	193
3.9.2.2	Solución <i>Carrier</i> Ethernet de <i>Extreme Networks</i>	200
3.9.3	ELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED <i>CARRIER</i> METRO ETHERNET	207
3.10	ANÁLISIS LEGAL	217
3.10.1	ORGANISMOS DE CONTROL	217
3.10.2	LEGISLACIÓN	218
3.10.2.1	Concesión o Título habilitante	218
3.10.2.1.1	<i>Duración</i>	218
3.10.2.1.2	<i>Valor de la Concesión</i>	219
3.10.2.1.3	<i>Requisitos para la Concesión</i>	219
3.10.2.2	Segmentos de Red Portadora	220
3.10.2.3	Otros Permisos	221
3.10.2.4	Supervisión Técnica	221
3.10.2.4.1	<i>Acciones de Control</i>	221
3.10.2.5	Tarifas	222
3.10.2.6	Contratos de Servicio	223
3.10.2.7	Disposición Transitoria Única	223
3.11	ANÁLISIS DE COSTOS	223
3.11.1	INVERSIÓN INICIAL EN EQUIPOS	223
3.11.2	CONCESIONES Y PERMISOS	225
3.11.3	COSTOS DE PLANTA EXTERNA	225

3.11.4 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	226
CAPÍTULO 4	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
4.1 CONCLUSIONES	227
4.2 RECOMENDACIONES	232
BIBLIOGRAFÍA	235
ANEXOS	239

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Comparación de Ethernet con tecnologías WAN tradicionales	9
Tabla 1.2	Áreas de trabajo del MEF según Especificaciones y Atributos Metro Ethernet	18
Tabla 2.1	Requisitos de las aplicaciones actuales y ancho de banda por usuario	53
Tabla 2.2	Operadores de Servicios Portadores a mayo del 2008	65
Tabla 2.3	Tabla 2.3 Usuarios y enlaces de servicios portadores 2003-2007	65
Tabla 2.4	Tabla 2.4 Usuarios y enlaces de servicios portadores por operador a septiembre 2007	66
Tabla 2.5	Operadores de servicios portadores en Quito a septiembre 2007	69
Tabla 2.6	Comparación de tecnologías de Backbone: PBB / PBB-TE VS. VPLS	106
Tabla 3.1	Distribución de Zonas según sectores de DMQ	122
Tabla 3.2	Extracto del Anexo 1	126
Tabla 3.3	Concentración de Empresas en las Zonas del DMQ	127
Tabla 3.4	Densidad de Penetración de Servicios Portadores en Quito	129
Tabla 3.5	Factor de Crecimiento de Empresas en Quito	131
Tabla 3.6	Proyección de crecimiento de las empresa de Quito al 2008	132
Tabla 3.7	Densidad de Penetración de Servicios Portadores en Quito, años 2007 y 2008	132
Tabla 3.8	Porcentaje de Clientes por Empresa Prestadoras de Servicios Portadores	134
Tabla 3.9	Distribución de Clientes por Empresas de Servicios Portadores	134
Tabla 3.10	Datos de Abonados para el Año 2008	135
Tabla 3.11	Nodos de Acceso de la Red Metro Ethernet	141
Tabla 3.12	Nodos de Distribución de la Red Metro Ethernet	142
Tabla 3.13	Nodo de Distribución Carcelén	142
Tabla 3.14	Nodo de Distribución Cotocollao	143
Tabla 3.15	Nodo de Distribución El Inca	143
Tabla 3.16	Nodo de Distribución El Girón	143
Tabla 3.17	Nodo de Distribución Quitumbe	144
Tabla 3.18	Nodo de Distribución Conocoto	144
Tabla 3.19	Nodos e-PBB del <i>Backbone</i> de la red Metro Ethernet	145

Tabla 3.20	Nodo e-PBB Concepción	145
Tabla 3.21	Nodo e-PBB Ñaquito Bajo	146
Tabla 3.22	Nodo e-PBB Mariana de Jesús	146
Tabla 3.23	Nodo e-PBB Seminario Mayor	146
Tabla 3.24	Nodo e-PBB Centro Histórico	147
Tabla 3.25	Nodo e-PBB Recreo	147
Tabla 3.26	Nodo e-PBB Quito Sur	147
Tabla 3.27	Nodos c-PBB del <i>Backbone</i> de la Red Metro Ethernet	148
Tabla 3.28	Nodos Acceso, Distribución y Núcleo por Zona de Cobertura.	149
Tabla 3.29	Distribución de Clientes iniciales y capacidad de transmisión por zonas	152
Tabla 3.30	Distribución de capacidad de transmisión por sectores dentro de cada zona	153
Tabla 3.31	Cobertura de los Nodos de Acceso y cálculo de su Capacidad de Transmisión	154
Tabla 3.32	Dimensionamiento de Tráfico en los Nodos de Acceso (ePB) y Distribución (PB)	156
Tabla 3.33	Dimensionamiento del Tráfico en los Nodos de Acceso (ePB), Distribución (PB) y Extremos del Núcleo (e-PBB)	157
Tabla 3.34	Descripción del Tráfico de los Enlaces de la Red Metro Ethernet	158
Tabla 3.35	Matriz de Tráfico al año 2008	161
Tabla 3.36	Densidad de abonados para el año 2008 y 2009.	162
Tabla 3.37	Proyecciones para el Año 2018.	163
Tabla 3.38	Matriz de Tráfico al año 2018	164
Tabla 3.39	Características de los Enlaces de la red Metro Ethernet	166
Tabla 3.40	Especificaciones de interfaces de Fibra Óptica	169
Tabla 3.41	Medios de transmisión de los Enlaces de la red	170
Tabla 3.42	Definición de ID CoS por tipo de aplicación	172
Tabla 3.43	Definición de CIR para servicios Ethernet	177
Tabla 3.44	Definición de Atributos de Tráfico por Servicio	178
Tabla 3.45	Clasificación de los Puntos de Mantenimiento	185
Tabla 3.46	Requisitos técnicos equipos de Nodos de Acceso	188
Tabla 3.47	Requisitos técnicos equipos de Nodos de Concentración	190

Tabla 3.48	Requisitos técnicos equipos de Nodos de Núcleo	191
Tabla 3.49	Comparación de los equipos de núcleo de Norte y Extreme Networks	208
Tabla 3.50	Requerimiento de Interfaces hacia la red de cada nodo	210
Tabla 3.51	Selección de Equipos y Módulos para cada Nodo del Carrier Ethernet	213
Tabla 3.52	Costos de Inversión Inicial en Equipos	224
Tabla 3.53	Costos por Concesiones y Permisos	225
Tabla 3.54	Costos de Planta Externa	225
Tabla 3.55	Costos de Operación y Mantenimiento	226
Tabla 3.56	Costos Referenciales para la Implementación del Diseño	226

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Demanda de Equipos Metro Ethernet	10
Figura 1.2	Atributos de un <i>Carrier</i> Ethernet según el MEF	13
Figura 1.3	Estandarización del MEF a través del tiempo	17
Figura 1.4	Modelo de Red Metro Ethernet	18
Figura 1.5	EVCs Punto a Punto	20
Figura 1.6	EVC Multipunto a Multipunto	20
Figura 1.7	Ejemplo de Multiplexación de Servicios en el UNI A	31
Figura 1.8	Ejemplo de <i>Bundling</i>	31
Figura 1.9	Formato de la Trama Ethernet	34
Figura 1.10	Formato de la Trama IEEE 802.1Q	39
Figura 1.11	Formato de la Trama IEEE 802.1ad	41
Figura 1.12	Formato de la Trama IEEE 802.1ah	42
Figura 1.13	Modelo de Referencia VPLS	46
Figura 2.1	Conexiones Ethernet en Europa Occidental por tipo de topología	56
Figura 2.2	Etapas de las Telecomunicaciones en Ecuador	62
Figura 2.3	Distribución de los Ingresos del Mercado Ecuador – año 2001	63
Figura 2.4	Distribución de los Ingresos del Mercado Ecuador – año 2005	64
Figura 2.5	Usuarios y enlaces de servicios portadores 2003-2007	66
Figura 2.6	Porcentaje de usuarios de servicios portadores por operador a septiembre 2007	67
Figura 2.7	<i>Backbone</i> de Telconet para la ciudad de Quito	71
Figura 2.8	Infraestructura Tecnológica de Suratel a nivel Nacional	73
Figura 2.9	Infraestructura Tecnológica Base de Suratel en ciudades de cobertura	74
Figura 2.10	Áreas de una Red Portadora	76
Figura 2.11	Funcionamiento de IEEE 802.1ad	91
Figura 2.12	Esquema General de un <i>Backbone</i> MPLS con VPLS	85
Figura 2.13	Aprendizaje VPLS	86
Figura 2.14	Señalización <i>pseudowire</i>	87

Figura 2.15 Aprendizaje MAC y envío de paquetes	88
Figura 2.16 Respuesta al envío de un paquete	89
Figura 2.17 Las direcciones MAC de cliente y proveedor están visibles en todas las redes	92
Figura 2.18 Las direcciones MAC de cliente y proveedor se separan completamente en cada UNI	92
Figura 2.19 MAC-in-MAC IEEE 802.1ah	93
Figura 2.20 Instancias de Servicio IEEE 802.1ah	95
Figura 2.21 Evolución del Estándar Ethernet	98
Figura 2.22 <i>Provider Backbone Bridging – Traffic Engineering</i>	101
Figura 2.23 Configuración Ethernet <i>trunks</i> con PBB-TE	103
Figura 2.24 Provisión en un switch frontera de la red PBB/PBB-TE	104
Figura 2.25 Arquitectura de <i>Carrier Ethernet</i> seleccionada	109
Figura 2.26 Funcionamiento del <i>Carrier Ethernet</i>	112
Figura 3.1 Descripción Topológica de Quito	117
Figura 3.2 División parroquial del Distrito Metropolitano de Quito	120
Figura 3.3 División parroquial Urbana del DMQ	121
Figura 3.4 Distribución de Zonas urbanas de DMQ	123
Figura 3.5 Distribución de Zonas suburbanas de Quito	124
Figura 3.6 Curva de densidad de los Servicios Portadores en Quito	131
Figura 3.7 Crecimiento de las Empresas en Quito	132
Figura 3.8 Nodos de Acceso	136
Figura 3.9 Nodos de distribución	137
Figura 3.10 Nodos del Núcleo	138
Figura 3.11 Esquema completo de los Nodos de la Arquitectura seleccionada	139
Figura 3.12 Distribución de nodos por capas de la red Metro Ethernet	150
Figura 3.13 Distribución Geográfica de Nodos en el DMQ	151
Figura 3.14 Perfiles de Ancho de banda definidos por el MEF	173
Figura 3.15 Muestra de la relación entre el CIR, EIR, CBS y EBS, con códigos de colores	174
Figura 3.16 Latencia de trama	175

Figura 3.17 Ethernet OAM	181
Figura 3.18 Servicios OAM MEPs y MIPs	184
Figura 3.19 Ethernet <i>Local Management Interface</i>	186
Figura 3.20 <i>Link</i> OAM – IEEE 802.3ah OAM	187
Figura 3.21 Equipo <i>Metro Ethernet Routing Switch</i> 8600 de Nortel	195
Figura 3.22 Equipos <i>Metro Ethernet Services Units</i> 1800 de Nortel	199
Figura 3.23 Equipo <i>BlackDiamond 12802R</i> de <i>Extreme Networks</i>	205
Figura 3.24 Equipo <i>BlackDiamond 12804R</i> de <i>Extreme Networks</i>	207

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1	Muestreo Aleatorio Simple	125
Ecuación 3.2	Densidad de Penetración de Servicios Portadores	128
Ecuación 3.3	Densidad de Servicio según Gompertz	129
Ecuación 3.4	Densidad de Servicios Portadores en Quito	130
Ecuación 3.5	Densidad de Crecimiento del servicio para el Nuevo Carrier Ethernet	163
Ecuación 3.6	<i>Jitter</i> o Variación de latencia	176
Ecuación 3.7	Pérdida de paquetes	177

RESUMEN

En el presente proyecto se ha diseñado una red portadora de comunicaciones para la ciudad de Quito basada en Ethernet como tecnología de transporte para el acceso (802.3ah, *Ethernet First Mile*), distribución (802.1ad o Q-in-Q) y núcleo (802.1ah o MAC-in-MAC). Esta red permitirá la integración de mayor ancho de banda que demandan los nuevos procesos y aplicaciones de negocio.

En el primer capítulo se realiza un breve estudio de la tecnología Ethernet y el proceso de evolución que ha tenido para extenderse de las redes LAN hacia redes MAN y WAN. Se revisan los mecanismos y protocolos que la han convertido en una alternativa para ofrecer conectividad con calidad de proveedor, así como los organismos que han trabajado en su estandarización.

En el segundo capítulo se analiza la situación actual de las telecomunicaciones en el Ecuador, en cuanto a proveedores, servicios y tecnologías de las redes portadoras. Se realiza un estudio de las diferentes arquitecturas de *Carriers* Ethernet; de este modo, se selecciona la solución más adecuada, definiendo capas, nodos, y protocolos a utilizarse.

En el capítulo 3 se obtiene la curva de densidad de penetración de servicios portadores en el sector empresarial de Quito y se estima el número de usuarios iniciales según la concentración de empresas en la ciudad, lo que sirve como punto de partida para la disposición geográfica y dimensionamiento de nodos y enlaces de la red. Además, de acuerdo al tráfico generado de nodo a nodo, se genera la matriz de tráfico inicial del sistema. A partir de ella, y de la ecuación del crecimiento de servicios de la nueva red se proyecta la matriz para el año 2018.

Se seleccionan los equipos que respondan a los requisitos técnicos de los nodos, se realiza el análisis legal para su operación en el país y se calcula el presupuesto referencial para la implementación del *Carrier* Ethernet. Sin embargo la fase de implementación no está dentro del alcance de este proyecto.

PRESENTACIÓN

Tradicionalmente, en el Ecuador las empresas han construido sus redes locales utilizando Ethernet, a la vez que dependen de servicios como líneas privadas TDM, *Frame Relay*, y ATM para sus redes de área extendida; sin embargo para muchas de estas empresas, sus *WANs* existentes no ofrecen la capacidad de transmisión y calidad de servicio requerida para las aplicaciones y servicios manejados en la actualidad.

Estas tecnologías *WAN* ofrecen escalabilidad limitada y el aprovisionar ancho de banda adicional es costoso y complejo. Es así que se propone a Ethernet como tecnología base, ampliamente consolidada por organismos de normalización (IEEE, MEF, IETF), para soportar los servicios de banda ancha de próxima generación.

Este cambio hacia Ethernet provocará reducción de costos de operación e infraestructura IT (tecnologías de información), debido a factores como el disponer de una base de conocimiento en esta tecnología ampliamente favorable dentro de las empresas, rápida adaptación e interoperabilidad con topologías locales y versiones existentes, y la facilidad con la que se logrará la consolidación de servidores y centros de almacenamiento.

Además, el trabajar en este proyecto con datos reales exclusivos para los servicios portadores en el Ecuador, permitirá que su diseño sea una verdadera alternativa para la solución de un *carrier* que esté acorde a nuestra realidad.

CAPÍTULO 1

EVOLUCIÓN DE ETHERNET

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL A LA TECNOLOGÍA ETHERNET

[1]

Ethernet en su versión original, fue la primera solución de conectividad que permitió compartir recursos a nivel de área local con total independencia del medio físico. Introducida en 1972 por Robert Metcalfe y estandarizada más tarde por la IEEE¹ bajo la recomendación 802.3, ha llegado a ser la tecnología más conocida para la implementación de redes de área local (*Local Area Network - LAN*), manteniéndose hasta ahora como el estándar predominante en este escenario.

Su éxito ha sido consistente pues sus altas prestaciones, economía, capacidad de autoconfiguración, independencia de direccionamiento IP (*Internet Protocol*), confiabilidad, así como su simplicidad de instalación, operación y mantenimiento han logrado que Ethernet abarque prácticamente todo el mercado LAN, de manera que casi todo el tráfico de datos se origina y termina con una conexión Ethernet.

En un principio las redes de ámbito local, y Ethernet en particular, nacieron siendo esencialmente de medio compartido y alta capacidad, a diferencia de las tecnologías WAN (*Wide Area Network - Red de Área Extendida*) que se basaban en la conmutación, y con caudales de transmisión inferiores a los disponibles en las LAN.

En la actualidad, las redes LAN son mayoritariamente conmutadas, punto a punto, full-dúplex; incorporan multiplexación mediante etiquetamiento VLAN² (*Virtual*

¹ IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

² VLAN: Mecanismo utilizado para agrupar estaciones de trabajo y servidores en agrupaciones lógicas que no están restringidos a un segmento físico o *switch*.

Local Area Network) 802.1Q y de prioridades (802.1p), e inclusive soportan distancias de transmisión idénticas a las permitidas por los enlaces WAN convencionales.

Conforme ha surgido la demanda por nuevas aplicaciones, con mayores velocidades y anchos de banda para diferentes ámbitos, Ethernet ha evolucionado también en capacidad, adaptándose a estas necesidades con un alto grado de disponibilidad.

A mediados de los años 80, la capacidad de Ethernet (10 Megabits por segundo – 10 Mbps) era más que suficiente para los sistemas de aquella época. A principios de los años 90, los sistemas se hicieron mucho más rápidos y los usuarios comenzaron a tener problemas de “cuellos de botella” provocados por la reducida capacidad de las redes LAN Ethernet.

En 1995, el IEEE anunció la norma para Ethernet a 100 Mbps. A ésta, le siguieron normas para Gigabit Ethernet GE (mil millones de bits por segundo) en los años de 1998 y 1999. En junio del 2002, el IEEE aprobó la norma para Ethernet a 10 Gigabits por segundo (Gbps), es decir que el mismo protocolo que trasportaba datos a 3 Mbps en 1973, trabaja ahora a 10 Gbps.

Es claro, que el estándar Ethernet original (IEEE 802.3) ha debido renovarse varias veces para incorporar nuevos medios de transmisión que permitan velocidades más altas; sin embargo, es importante destacar que se han mantenido sus características originales.

Todas las normas Ethernet 802.3 conforman una misma familia. Existen diferencias entre ellas, pero son mayores sus similitudes. El hecho de mantener las tramas originales en cada nueva norma quiere decir que los protocolos de la familia 802.3 son todos compatibles e interoperables, una de las claves de su éxito.

Con la introducción de Gigabit Ethernet, que comenzó como una tecnología LAN, se han logrado expandir las fronteras, convirtiendo a Ethernet en un estándar de área metropolitana e incluso de redes de área extendida.

1.2 ETHERNET EN LAS REDES NG [2][3]

El proceso de cambio que está experimentando el sector de las telecomunicaciones es uno de los más significativos que se ha registrado. Con la aparición de una nueva generación de arquitecturas de red emerge también un nuevo portafolio de servicios en los que se mezclan voz, datos y video.

Tradicionalmente las redes IP han sido la base del negocio de la transmisión de datos, manteniendo un aislamiento completo respecto a las redes de voz; así los tipos de tráfico que se cursan por las distintas redes de telecomunicaciones se originan en fuentes o medios de distinta naturaleza, tales como la voz, telefonía, datos, video, videoconferencias, etc. Este tráfico debe ser atendido en tiempo casi real, o tiempo real, dependiendo de los requerimientos de las fuentes que las originan y del receptor en el extremo remoto; por ello las redes que transportan estas aplicaciones tienen que ser capaces de satisfacer las exigencias de cada una de estas aplicaciones.

Esta situación ha provocado una segmentación natural del mercado de telecomunicaciones que en determinados casos, ha llegado al extremo que sean operadores distintos los que dan soporte a cada red.

Para solucionar estos problemas han surgido en el mercado multitud de equipos, técnicas, tecnologías y protocolos, que combinados de una manera adecuada pueden permitir la realización de modelos de red que proporcionen tanto al cliente corporativo como al cliente residencial, todo tipo de servicios multimedia en una sola red convergente. Estos modelos son llamados en el mundo de las telecomunicaciones Redes de Nueva Generación o *Next Generation Network* (NGN).

Una Red de Nueva Generación es la solución esperada por aquellos operadores que buscan reducir en forma notable los costos de desarrollo de nuevos servicios, acelerar el tiempo de su comercialización, y disminuir los costos operativos. Esto junto a la presión de la industria y entidades de estandarización obligó a la Unión Internacional de Telecomunicaciones sector de Normalización UIT-T a forzar el ritmo de trabajo para disponer lo antes posible de los estándares para las NGN. El Grupo de Estudio 13 de la UIT-T publicó en el año 2005 las primeras recomendaciones, definiendo en la Recomendación Y.2001 a una red de nueva generación, como:

“Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas por la QoS, y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a redes y a proveedores de servicios y/o servicios de su elección. Se soporta movilidad generalizada que permitirá la prestación coherente y ubicua de servicios a los usuarios”³.

Se contempla además, las características fundamentales que deberán tener las NGN:

- La transferencia estará basada en paquetes.
- Las funciones de control están separadas de las capacidades de portador, llamada/sesión, y aplicación/servicio.
- Desacoplamiento de la provisión del servicio de transporte, para lo que se proveen interfaces abiertas.
- Soporte de una amplia gama de servicios, aplicaciones y mecanismos basados en construcción de servicios por bloques (incluidos servicios en tiempo real, servicios de flujo continuo y servicios multimedia).
- Tener capacidades de banda ancha con calidad de servicio (QoS *Quality of Service*) extremo a extremo.

³ Tomado de la versión en Español de la Recomendación. Y.2001

- Tener interoperabilidad con redes tradicionales a través de interfaces abiertas.
- Movilidad generalizada.
- Acceso sin restricciones de los usuarios a diferentes proveedores de servicios.
- Diferentes esquemas de identificación.
- Convergencia entre servicios fijos y móviles.
- Independencia de las funciones relativas al servicio con respecto a las tecnologías subyacentes de transporte.
- Soporte de múltiples tecnologías de última milla.
- Cumplimiento de todos los requisitos reglamentarios, por ejemplo en cuanto a comunicaciones de emergencia, seguridad, privacidad, interceptación legal, etc.

La idea básica es lograr que una única red transporte toda la información y servicios que brinda un proveedor (video, voz y datos), encapsulándola para ello en paquetes. Por lo tanto, uno de los factores clave de las redes NGN es la convergencia de la red, es decir, permitir a los proveedores unificar recursos y procedimientos de gestión.

Otro de los objetivos de fondo que diferencian a las redes NGN frente a sus predecesoras, es la característica de generalidad en el acceso a los servicios, conocido en algunos ámbitos como nomadismo.

En el campo de las redes NGN es necesario determinar su alcance y definición, ya que erróneamente se tiende a equiparar las redes NGN con el término “*all-IP*”, basándose en que dicha red se construye en torno al protocolo IP. Sin embargo, este protocolo es una de las posibles alternativas en las que se fundamenta la convergencia basada en paquetes; además IP tiene fuertes signos de vejez, y grandes limitaciones que impiden el desarrollo de las redes del futuro, evidenciándose las carencias que tienen las soluciones IP clásicas en temas como la capacidad, la calidad de servicio, la seguridad, la fiabilidad y la capilaridad.

Bajo este contexto, se puede indicar como principales problemas para la evolución de IP la seguridad, que se ha vuelto un verdadero desafío, no escala ni permite ingeniería de tráfico, además consume gran cantidad de energía.

Actualmente las soluciones y propuestas planteadas utilizan una arquitectura clásica con dispositivos basados en *bridges* IEEE 802.1 o *routers* IP y sus correspondientes tablas de encaminamiento. Mediante el protocolo IP de Internet el encaminamiento de los paquetes supone procesos que consumen mucha energía. Anteriormente en la década de 1970 cuando se trabajaba a velocidades de 9,6 Kbps, el consumo de energía era irrelevante, sin embargo cuando se pasa a los 10 Gbps, resulta casi imposible. Cada vez que llega un paquete IP, pasa a una memoria para posteriormente consultar en una tabla y enviarlo a la etapa siguiente; esto resulta en consumo de energía que crece exponencialmente según va aumentando la velocidad. Los procesadores más rápidos funcionan a 4 GHz y parece que ahora los fabricantes tienden a soluciones de múltiples procesadores sin aumentar de velocidad, mientras que Ethernet está generalizado a 10 Gigabits por segundo y se ha probado a 100 Gigabits por segundo⁴. Es decir, que la velocidad de las redes ha superado claramente a la de los procesadores.

Por otro lado, el protocolo IP era necesario cuando había que comunicarse a través de varias redes de distintos tipos. Sin embargo la evolución de la tecnología hace que a lo largo del tiempo, la complejidad de la red se vaya reduciendo para poder aumentar la velocidad. De esta forma los antiguos sistemas SNA (*System Network Architecture*) y OSI (*Open System Interconnection*), que eran arquitecturas y modelos de referencia de siete niveles, fueron sustituidos por el TCP/IP, que corresponde a una arquitectura de cuatro niveles. Actualmente, siguiendo esta tendencia, el futuro conlleva la implementación de tecnologías basadas en Ethernet, similar a una red de

⁴ El IEEE ha creado el estándar IEEE 802.3ba, que actualmente se encuentra en desarrollo, para normalizar redes Ethernet a 100 Gbps. En la práctica, las demostraciones de 100 Gigabit Ethernet ya están listas. El pasado noviembre, un grupo de organizaciones montaron una demostración de Ethernet 100 Gbps que demostró que la tecnología es viable y capaz de implementarse en redes ópticas actuales con anchos de banda de 10 Gbps. Estas pruebas enfatizaron cómo las tecnologías de siguiente generación pueden alcanzar los anchos de banda necesarios y sus usuarios trabajar con aplicaciones basadas en Web y continuar siendo rentables. La elección de usar estas nuevas tecnologías es decisión de los *carriers*.

datagramas IP, pero de dos niveles. Por ello, no tiene ningún sentido que se siga usando la arquitectura TCP/IP sobre Ethernet, repitiendo dos veces lo mismo, para construir una red IP sobre una sola red Ethernet. La solución es quitar lo que sobra, que es lo que consume energía, empleando un interfaz de nivel 2, en lugar del interfaz de nivel 4 del TCP/IP, conceptos sobre los cuales se está desarrollando una nueva arquitectura llamada UETS (*Universal Ethernet Telecommunications Service*)⁵. De este modo, al operar sobre una única red Ethernet, el que desee usar IP lo usa y el que no lo desee no lo hace.

Muchas son las iniciativas, tanto a nivel de estandarización (IEEE, ITU-T, MEF⁶) como en proyectos que están tratando de dar respuesta a la problemática planteada por las redes NGN haciendo uso de Ethernet como tecnología de paquetes. Todas ellas fundamentan su decisión en las bondades ampliamente conocidas de Ethernet: sencillez, flexibilidad, alta capacidad, bajo costo (catalizador de la implantación).

Así nos encontramos ante propuestas de redes NGN en la que se aglutina diferentes tecnologías en acceso y troncal como Ethernet sobre MPLS (*Transport Multiprotocol Label Switching*) o EoMPLS, Ethernet sobre SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) o EoSDH, Circuitos Virtuales Ethernet EVC's con VPLS (*Virtual Private LAN Services*), etc. Todas ellas, en resumen, buscan llevar la E-LANs (redes Ethernet de área local) a las E-MANs (redes Ethernet de área metropolitana) y E-WANs (redes Ethernet de área extendida). Cualquiera que sea la solución elegida, el coste por puerto de cliente, frente a una solución Ethernet pura (Ethernet de extremo a extremo), va a ser muy importante. Al mismo tiempo, el equipamiento del núcleo de red, siempre tendrá mayores dificultades de configuración y mantenimiento al tratarse de una mezcla de tecnologías dado que se realiza en definitiva, transporte Ethernet con tecnologías no Ethernet.

⁵ UETS (Servicio Universal de Telecomunicaciones Ethernet), plataforma multiservicio de nueva generación, diseñada específicamente para permitir la convergencia de la voz, los datos, el video de alta definición y los sistemas inalámbricos fijos y móviles, en una sola red basada en Ethernet. (<http://www.lmdata.es/uets-esp.pdf>)

⁶ MEF: *Metro Ethernet Forum*

1.3 ETHERNET EN REDES DE ÁREA METROPOLITANA [4] [5] [6]

Durante muchos años, Ethernet ha sido el protocolo dominante en las redes LAN. Su sencillez no sólo lo hizo más fácil de operar, sino que consiguió un mercado extremadamente rentable. Sin embargo, en las redes MAN (*Metropolitan Area Network*) y WAN, la historia fue diferente, pues los proveedores de servicios ofrecen tecnologías mucho más complicadas que brindan limitado ancho de banda como son: las líneas dedicadas, servicios *Frame Relay* y ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). Además dichas soluciones de proveedor suelen combinar múltiples tecnologías, haciendo necesaria la traducción entre las diferentes pilas de protocolos. Esta conversión tiene problemas de desempeño, conflictos en la traducción por las particularidades de cada protocolo, y dificultades en la labor de gestión asociada al sistema final resultante.

Desde el punto de vista de los usuarios, las necesidades están creciendo significativamente. Las nuevas aplicaciones multimedia requieren un gran ancho de banda, la necesidad de centralizar el almacenamiento y servidores, y el impulso para estrategias de continuidad comercial remotas, están exigiendo que los servicios existentes de las redes metropolitanas deban ofrecer un mayor rendimiento.

Sin embargo las tecnologías que popularmente se han manejado hasta ahora como “tecnologías de *carrier*”, ofrecen escalabilidad limitada a los usuarios, y sobretodo, el aprovisionar ancho de banda adicional es costoso y complejo. Por estos motivos las empresas se han visto obligadas a distribuir sus recursos de tecnología y adoptar soluciones como la proliferación de aplicaciones a través de múltiples ubicaciones.

Lo que realmente quieren las empresas para mejorar su productividad y mantener un posicionamiento competitivo en sus respectivas industrias, es conectar sus nodos sin la complejidad de las tecnologías MAN y WAN tradicionales, volteando hacia las redes **Metro Ethernet**.

Una Red Metropolitana Ethernet (MEN) es una red que conecta LANs geográficamente separadas de forma directa, o áreas mucho más grandes a través de una red WAN, utilizando Ethernet como protocolo principal.

Gracias a los nuevos estándares de Ethernet, que permiten velocidades de 1 y 10 Gbps (100 Gbps en un futuro), esta tecnología, típicamente LAN, ha comenzado a invadir las redes metropolitanas como soporte de nuevas ofertas multiservicio.

Ethernet como tecnología de portador no sólo conservará la sencillez de la red, sino que ofrecerá conectividad de banda ancha mucho más conveniente que permitirá aumentar la capacidad de sus WANs y soportar aplicaciones sofisticadas y efectivas en costos.

Como se puede ver en la comparación realizada en la tabla 1.1, Ethernet presenta varias ventajas con respecto a otras alternativas WAN.

Características	Ethernet	Frame Relay	ATM
Escalabilidad	10 Mbps a 10 Gbps	56 Kbps a 45 Mbps	1.5 Mbps a 622 Mbps
QoS	Soportado	Limitado	Alta
Flexibilidad del Servicio	Alta	Baja	Baja
Eficiencia del Protocolo	Alta	Media	Baja
Optimizado para IP	Sí	No	No
Aprovisionamiento	Rápido	Lento	Lento
CPE: Costo por Puerto	Bajo	Medio	Alto
Costo/Mb	Bajo	Medio	Alto

Tabla 1.1 Comparación de Ethernet con tecnologías WAN tradicionales [7]

Los nodos de una red MEN pueden ser *switches* o *routers* dependiendo de su localización en la red, del servicio que proporcionan y de la protección deseada.

Este nuevo método de transportar tramas Ethernet nativas sobre redes de área metropolitana y redes de área amplia permitirá trabajar con aplicaciones que hasta ahora no era rentable, ya fuera porque resultan muy caras de desplegar en entornos convencionales o porque consumen demasiado ancho de banda. Con Ethernet a 10 Gbps será posible transferir los contenidos de un disco duro de 10 Gigabytes en 8 segundos o hacer *backup* de un sistema de almacenamiento corporativo de 2 Terabytes en 27 minutos; y, aunque en principio su aplicación está más orientada a datos, tiene la capacidad de transportar fácilmente voz y video.

En algunas partes del mundo, ya se ha confiado en esta tecnología y como resultado de ello, los ingresos anuales por Servicios Ethernet han coronado los \$5,9 billones en el año 2005 y se estima que lleguen a los \$ 22,5 billones para el 2009.⁷

La demanda de equipos de Metro Ethernet alcanzó los \$ 3,1 billones anuales en el 2004, y se proyecta que se dupliquen a 7,6 billones de dólares para el 2008.⁸

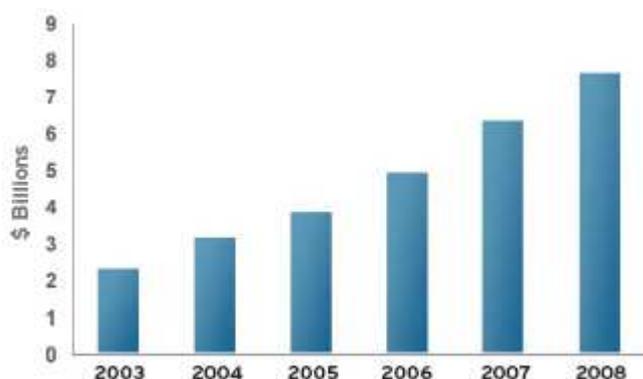


Figura 1.1 Demanda de Equipos Metro Ethernet [4]

Fuente: *Infonetics Research*, Noviembre 2005

El invertir en Metro Ethernet, no solo se beneficia por los costes y mejoras operativas de Ethernet, sino que se obtendrá una infraestructura convergente capaz de hacer frente a las aplicaciones más populares de la época.

⁷Fuente: *Infonetics Research*, *Ethernet Services Annual Worldwide Market Size and Forecast*, April 2006.

⁸Fuente: *Infonetics Research*, *Worldwide Metro Ethernet Equipment Forecast*, September 2005

El despliegue de Ethernet frente a otras tecnologías usadas en redes MAN hasta ahora, se basa en razones tales como:

- **Bajo coste**

Los costes para implantar la infraestructura (cable, conectores, tarjetas, equipos de interconexión, etc.) son significativamente menores por su relativa simplicidad técnica y las economías de escala. Además, los costes de configuración y mantenimiento de una red Ethernet también son menores que los de una red *Frame Relay* o ATM; Ethernet sólo requiere conectar los equipos, sin mayor configuración.

- **Provisión rápida bajo demanda**

Los servicios Ethernet ofrecen un amplio rango de velocidades de 1 Mbps a 10 Gbps en incrementos de 1 Mbps o menos, pudiendo ser provistos de forma rápida y bajo demanda.

- **Transparencia y fácil integración de redes LAN en redes MAN**

Debido a que el 98% de las LAN están implementadas sobre Ethernet, no es necesaria una conversión de protocolos entre LAN y MAN. Esto facilita enormemente la integración eficiente de las redes del cliente (LAN) con las del operador (MAN).

- **Base de conocimiento**

Ethernet es la tecnología predominante en las redes de comunicaciones, por lo que su conocimiento está ampliamente difundido y como tecnología de proveedor será mucho más fácil de aprender que otras como ATM o *Frame Relay*.

El Desafío de Metro Ethernet

Mientras que los usuarios finales están convencidos de los beneficios en costos de Ethernet, ellos están exigiendo que se provea los mismos niveles de rendimiento que han tenido en Líneas dedicadas (*Leased lines*), *Frame Relay* y ATM. Para que Ethernet alcance la clase de penetración predicha por los

analistas, se requiere que Ethernet evolucione y despliegue las mismas propiedades de las tecnologías WAN actuales.

El *Metro Ethernet Forum* ha definido esta evolución como "*Carrier Ethernet*", para la cual se han definido cinco atributos, detallados más adelante en el estudio de la estandarización de las Redes Metro Ethernet.

1.4 ESTANDARIZACIÓN Y TECNOLOGÍAS DE METRO ETHERNET

Ethernet es una tecnología que ha conseguido evolucionar desde su origen en las LAN hasta convertirse en una alternativa para ofrecer conectividad con calidad de proveedor. Así con el propósito de desarrollar rápidamente Ethernet en redes de área metropolitana y de área extendida, varios organismos internacionales de estandarización han propuesto estándares técnicos aplicables. Esto ha sido posible gracias a un gran esfuerzo realizado desde los principales organismos de estandarización (ITU-T, IEEE, MEF).

1.4.1 METRO ETHERNET FORUM [8] [9]

El *Metro Ethernet Forum* (Foro Metro Ethernet) es una organización sin fines de lucro cuya misión es proveer orientación y acelerar la adopción global de redes y servicios Ethernet. Su principal objetivo es conseguirlo con simplicidad y una excelente relación costo/beneficio. Fue fundada en el 2002 por el padre de esta tecnología Bob Metcalfe y desde entonces ha sido presidida por Nan Chen.

El MEF es una alianza global que está compuesta por más de 120 empresas dedicadas a las telecomunicaciones, entre ellas: proveedores de servicio, titulares de grandes operadores de intercambio, vendedores de equipo de redes, vendedores de equipo de prueba y otras prominentes compañías que comparten sus frutos en Metro Ethernet.

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

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

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

1.4.1.1 Atributos de *Carrier Ethernet* [10] [4]

Los atributos de un *Carrier Ethernet* (figura 1.2) según el MEF son:

- Estandarización con servicios existentes / Soporte TDM / *Standardized Services*
 - Escalabilidad / *Scalability*
 - Confiabilidad / *Reliability*
 - Gestión de Servicios / *Service Management*
 - Estricta Calidad de Servicio / *Quality of Service*
-
- **Estandarización con Servicios Existentes/ Soporte TDM**

Si bien los proveedores de servicio están observando un sustancial crecimiento en potenciales servicios Ethernet, las líneas dedicadas o arrendadas existentes son todavía una importante fuente de ingresos para ellos, por lo que tendrán que

ser capaces de mantener este servicio e interactuar con ellos mientras migran a una Red Portadora Metro Ethernet.

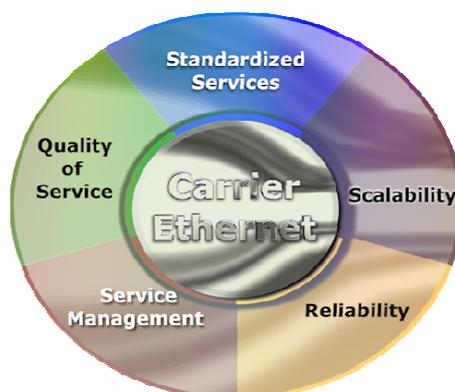


Figura 1.2 Atributos de un Carrier Ethernet según el MEF [10]

Los fabricantes de los equipos de *networking*, tiene el desafío de agregar las funcionalidades Ethernet a nivel de portador, sin perder la excelente relación costo-beneficio que desde un principio hizo atractiva a Ethernet.

- **Escalabilidad**

Los proveedores requieren que la red escale hasta soportar 100.000 usuarios, enfocados a servir áreas metropolitanas y regionales.

- **Confiabilidad**

Esto implica la fiabilidad y resistencia que la red pueda ofrecer, que provea una disponibilidad del 99,999% tal como se lo hace actualmente.

Una de las herramientas de referencia para buscar estas metas ha sido el logro de SONET (*Synchronous Optical Network*, Red Óptica Sincrónica) / SDH al proporcionar capacidades de recuperación de enlace de 50 ms, así como los mecanismos de protección contra fallas en nodos y enlaces extremo a extremo.

- **Gestión de Servicio**

Los proveedores de servicio requieren desarrollar sistemas de administración de redes y servicios, de forma que mediante una rápida configuración la red pueda soportar nuevas prestaciones.

Además, del mismo modo que es importante mantener los servicios del cliente en funcionamiento, los proveedores deben ser capaces de demostrar que efectivamente se ha cumplido con ello.

Normalmente esto se mide con los SLAs (*Service Level Agreements*) planteados entre el cliente y el operador, quien debe mantener estas mediciones de rendimiento como herramientas de respaldo ante cualquier tipo de reclamo.

Si ocurriera un fallo, el proveedor tiene que contar con funcionalidades de *troubleshooting* para localizar la falla, identificar qué servicios han sido impactados y así reaccionar adecuadamente.

- **Estricta Calidad de Servicio (QoS)**

Los proveedores de servicios deben ser capaces de ofrecer a sus clientes los niveles de servicio adecuados para cumplir con los requerimientos de calidad de las aplicaciones actuales.

Los mecanismos convencionales de QoS proporcionan las funcionalidades para dar prioridad a los diferentes flujos de tráfico; pero el tener un estricto nivel de QoS asegurará que los parámetros de nivel de servicio se cumplan de manera garantizada a través de toda la red, permitiendo que los clientes cuenten con el desempeño determinista que reciben de los servicios de líneas dedicadas existentes.

1.4.1.2 Especificaciones Técnicas del MEF [10]

Hasta ahora el MEF ha aprobado 19 especificaciones técnicas. Las tres últimas fueron aprobadas en la segunda reunión trimestral del año 2007, en Orange County (California) con el fin de hacer frente a necesidades operacionales, cubriendo las áreas de operaciones de servicios, administración y mantenimiento OAM (MEF 17), pruebas de conformidad para la simulación de circuitos sobre Ethernet (MEF 18) y pruebas para el UNI (*User Network Interface*) de tipo 1 (MEF 19).

- **MEF 2** *Requirements and Framework for Ethernet Service Protection*
- **MEF 3** *Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks*
- **MEF 4** *Metro Ethernet Network Architecture Framework*
 Part 1: Generic Framework
- **MEF 6** *Metro Ethernet Services Definitions Phase I*
- **MEF 7** *EMS-NMS Information Model*
- **MEF 8** *Implementation Agreement for the Emulation of PDH Circuits over Metro Ethernet Networks*
- **MEF 9** *Abstract Test Suite for Ethernet Services at the UNI*
- **MEF 10.1** *Ethernet Services Attributes Phase 2*
- **MEF 11** *User Network Interface (UNI) Requirements and Framework*
- **MEF 12** *Metro Ethernet Network Architecture Framework*
 Part 2: Ethernet Services Layer
- **MEF 13** *User Network Interface (UNI) Type 1 Implementation Agreement*
- **MEF 14** *Abstract Test Suite for Traffic Management Phase 1*
- **MEF 15** *Requirements for Management of Metro Ethernet*
 Phase 1 Network Elements
- **MEF 16** *Ethernet Local Management Interface*
- **MEF 17** *Service OAM Framework and Requirements*
- **MEF 18** *Abstract Test Suite for Circuit Emulation Services*
- **MEF 19** *Abstract Test Suite for UNI Type 1*

La norma MEF 10.1 reemplazó y mejoró la norma MEF 10 (*Ethernet Services Definition Phase 1*), y reemplazó totalmente las especificaciones MEF 1 y MEF 5.

En la figura 1.3 se puede ver en una escala de tiempo cómo ha ido surgiendo la estandarización de dichas normas.

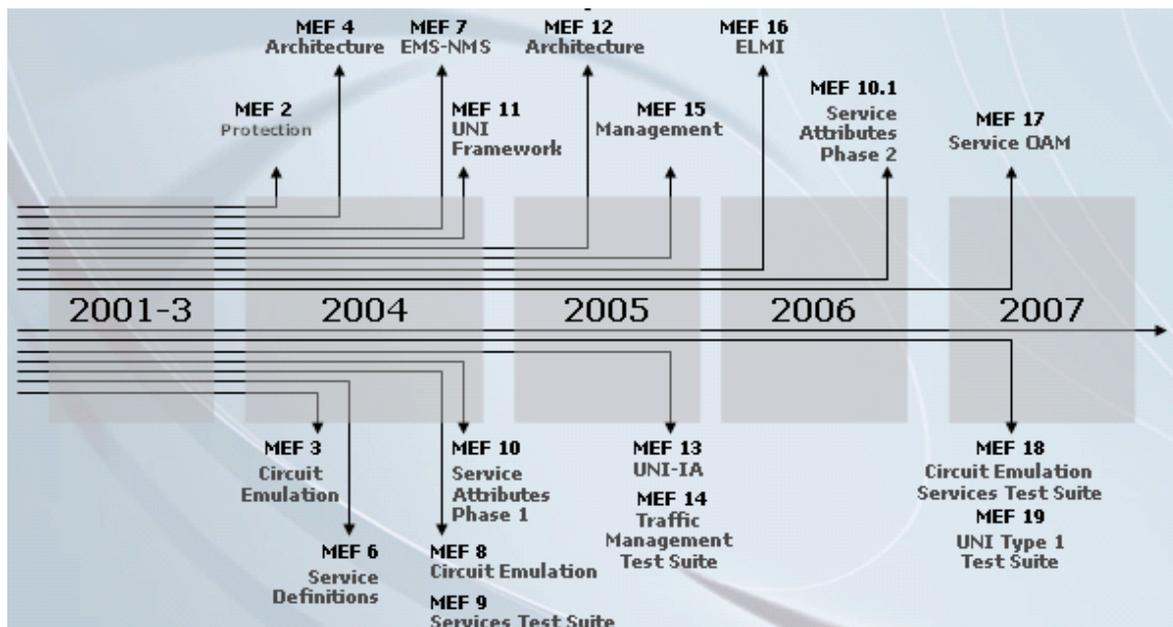


Figura 1.3 Estandarización del MEF a través del tiempo [10]

Dentro del Comité Técnico del MEF se han definido cuatro Grupos de Trabajo específicos para cada área a tratarse en una red Metro Ethernet y son:

1. Área de Servicios / *Service Area*
2. Área de Arquitectura / *Architecture Area*
3. Área de Gestión / *Management Area*
4. Área de Pruebas y Mediciones / *Test and Measurement Area*

La tabla 1.2 detalla las especificaciones del MEF en las que se han tratado los atributos para un *Carrier Ethernet*, y las áreas responsables de cada uno de ellos.

1.4.1.3 Conceptos de Servicios Metro Ethernet [11] [12] [13]

Para los servicios Ethernet, el MEF define un conjunto de atributos y parámetros que describen los servicios y acuerdos de nivel de Servicio (SLA) entre el *carrier* Metro Ethernet y sus usuarios

Carrier Ethernet Attributes					
MEF Specs	Standardized Services	Service Management	Reliability	Quality of Service	Scalability
MEF 2			Architecture Area		
MEF 3	Service Area			Service Area	
MEF 4	Architecture Area				
MEF 6	Service Area			Service Area	Service Area
MEF 7		Management Area			
MEF 8	Service Area				
MEF 9	Test & Measurement Area		Test & Measurement Area		
MEF 10.1	Service Area			Service Area	Service Area
MEF 11	Architecture Area				
MEF 12	Architecture Area				Architecture Area
MEF 13	Architecture Area				
MEF 14	Test & Measurement Area		Test & Measurement Area	Test & Measurement Area	
MEF 15		Management Area			
MEF 16		Management Area			
MEF 17		Management Area			
MEF 18	Test & Measurement Area		Test & Measurement Area		
MEF 19	Test & Measurement Area		Test & Measurement Area		

Tabla 1.2 Áreas de trabajo del MEF según Especificaciones y Atributos Metro Ethernet [10]

Este estudio se basará en el modelo de red básico de servicios Metro Ethernet, compuesto por una Red Metropolitana Ethernet, infraestructura perteneciente a un proveedor de servicios, a la cual los usuarios acceden mediante sus propios equipos: CEs (*Customer Equipments*). Un CE puede ser un *router*, o *switch* IEEE 802.1Q que se conectan a la red través de UNIs.

La UNI es la interfaz estándar Ethernet, que define el punto de demarcación entre el equipo del cliente y la red del proveedor de servicio Ethernet (ver figura 1.4).

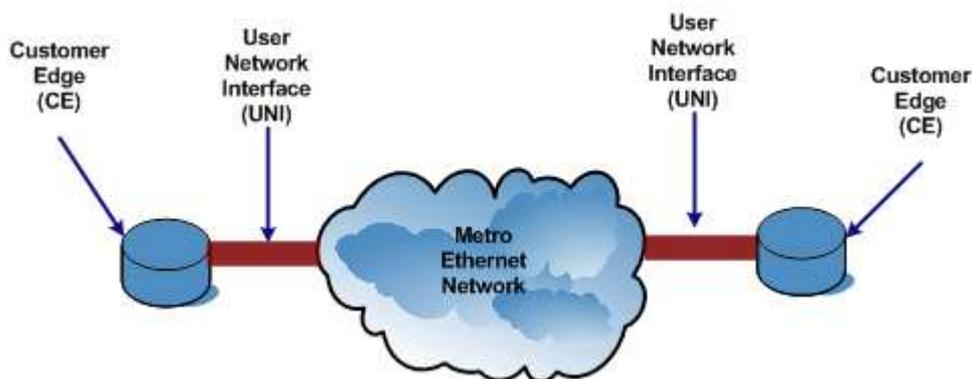


Figura 1.4. Modelo de Red Metro Ethernet

a) EVC (*Ethernet Virtual Connection*)

Un EVC es la asociación entre una o más interfaces UNIs. En otras palabras, un EVC es un túnel lógico que conecta dos nodos (P2P - *Point to Point*) o múltiples nodos (MP2MP – *Multipoint to Multipoint*).

Es un túnel virtual que proporciona al usuario servicios de extremo a extremo atravesando múltiples redes MEN. Un EVC tiene dos funciones:

- Conectar dos o más sitios (UNIs) habilitando la transferencia de tramas Ethernet entre ellos.
- Impedir la transferencia de datos entre usuarios que no son parte del mismo EVC; y así permitir tener privacidad y seguridad, de forma similar a los Circuitos Virtuales Permanentes (PVC) de *Frame Relay* y ATM.

Se suele decir que los UNIs “pertenecen a un EVC”. Un UNI dado puede soportar más de un EVC, mediante la Multiplexación de Servicios. Un EVC siempre es bi-direccional en el sentido que las tramas pueden originarse en cualquier extremo (UNI) del EVC.

Un EVC puede ser usado para construir VPN (*Virtual Private Network*) de nivel 2. El MEF ha definido dos tipos de EVC:

- Punto a Punto (E-Line)
- Multipunto a Multipunto (E-LAN)

1. EVC Punto a Punto: E-LINE

El servicio E-Line proporciona un EVC punto a punto entre dos interfaces UNI. Esta asociación dependerá del tipo de servicio a entregarse entre ambos puntos.

Dentro del tipo de servicio E-Line se incluye una amplia gama de servicios. El más sencillo consistente en un ancho de banda simétrico, no comprometido, para transmisión de datos en ambas direcciones, mientras que un servicio más sofisticado sería, por ejemplo, una línea E-Line, que ofrezca velocidades y retardos máximos asegurados entre las dos interfaces UNI.

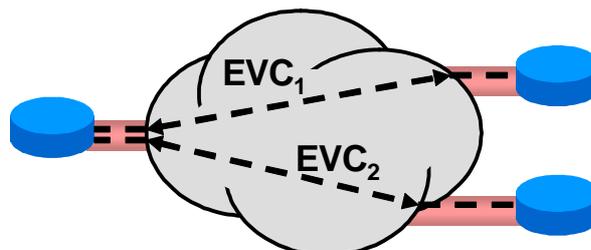


Figura 1.5 EVCs Punto a Punto

2. EVC Multipunto a Multipunto: ELAN

El tipo de servicio E-LAN proporciona conectividad multipunto a multipunto. Conecta dos o más interfaces UNI. Los datos enviados desde un UNI llegarán a uno o más UNI destino. Cada uno de ellos está conectado a un EVC multipunto.

A medida que va creciendo la red y se van añadiendo más interfaces UNI, éstos se conectarán al mismo EVC multipunto, simplificando enormemente la configuración de la misma. Desde el punto de vista del usuario, la E-LAN se comporta como una LAN.

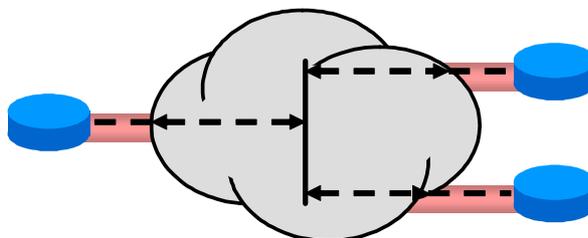


Figura 1.6 EVC Multipunto a Multipunto

1.4.1.4 Atributos y Parámetros de Servicios Metro Ethernet [11]

El MEF ha desarrollado un *framework* de servicios Ethernet que ayudará a los suscriptores y proveedores manejar una nomenclatura común cuando hablen de los diversos servicios Ethernet y sus respectivos atributos.

Los atributos se definen como las capacidades de los diferentes tipos de servicio. Algunos atributos aplican a los puntos de acceso UNI, mientras que otros a los canales virtuales EVC.

Para cada tipo de servicio (E-Line y E-LAN), el MEF ha definido los siguientes atributos de servicio y sus correspondientes parámetros que definen las capacidades de un tipo de servicio determinado:

- Atributos de la Interfaz Física Ethernet
- Atributos de Entrega de Trama de servicio
- Atributos de Perfil de Ancho de Banda y Parámetros de Tráfico
- Atributos de Identificación de Clase de Servicio
- Atributos de Rendimiento
- Atributos de Soporte de Etiquetamiento VLAN
- Atributos de Multiplexación de Servicios
- Atributos *Bundling*
- Atributos de Filtros de Seguridad

1.4.1.4.1 Atributos de la Interfaz Física Ethernet

Para los puntos de acceso UNI se aplican los siguientes parámetros:

- Medio físico: definen los medios especificados en el estándar 802.3. Por ejemplo se incluye 10Base-T, 100Base-T, 1000 Base-SX.
- Velocidad: definen las velocidades utilizadas por Ethernet: 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps y 10 Gbps.

- Modo: define si el enlace es *Full Dúplex* o *Half Dúplex* o si los puertos soportan auto negociación.
- Capa MAC: define qué capa MAC es soportada por el estándar IEEE 802.3.

1.4.1.4.2 Atributos de Entrega de Tramas de Servicio

Debido a que la red Metro Ethernet se comporta como una red de conmutación LAN, se debe diferenciar claramente cuáles tramas necesitan inundarse a través de la red y cuáles no. En una típica red LAN, las tramas que atraviesan la red de datos pueden ser de datos o de control.

Algunos servicios Ethernet soportan todos los tipos de unidades de datos de protocolo Ethernet (*Protocol Data Units = PDUs*), pero otros no. Para garantizar la plena funcionalidad de la red del cliente, es importante que el abonado y proveedor hayan acordado qué tipo de tramas se permitirá transportar.

El atributo de servicio EVC puede definir si una trama en particular debe ser descartada, entregada incondicionalmente, o si su entrega es condicional para cada par ordenado de UNI.

a) Tramas de Servicio de Datos

Las diferentes posibilidades de tramas de datos Ethernet son:

o **Tramas *Unicast***

Son tramas que tienen una dirección MAC destino específica. Si la dirección MAC destino es conocida por la red, la trama se entrega en el destino exacto. Si la dirección MAC es desconocida, el proceder de la LAN es inundarla dentro de una VLAN particular.

o **Tramas *Multicast***

Son tramas que se transmiten a un grupo selecto de destinos. Para ello toda trama tendrá marcado el bit menos significativo (LSB), de la

dirección de destino en 1, a excepción de las tramas *Broadcast* que tienen todos los bits de su dirección MAC destino establecidos en 1.

- **Tramas *Broadcast***

La IEEE 802.3 define la dirección de difusión con una MAC destino FF-FF-FF-FF-FF-FF.

b) Tramas de Servicio de Protocolos de Control de Capa 2

Los paquetes de control de procesamiento de capa 2 son diferentes a los paquetes control de protocolos de ciertas aplicaciones específicas. Por ejemplo, los paquetes BPDU (*Bridge PDU*) se necesitan para STP (*Spanning Tree Protocol*). El proveedor de servicios puede decidir transmitir o descartar esos paquetes a través del EVC, en función de su prestación. Estas tramas tienen direcciones MAC destino específicas; algunos protocolos de control de capa 2 comparten dichas direcciones.

La siguiente es una lista de protocolos capa 2 normalizados que pueden fluir a través de una EVC:

- Tramas de control MAC IEEE 802.3x: IEEE 802.3x es un mecanismo XON / XOFF de control de flujo que permite a una interfaz Ethernet enviar tramas de PAUSA cuando hay congestión en la salida del *switch* Ethernet. Las tramas de control 802.3x tienen la dirección MAC destino 01-80-C2-00-00-01.
- *Link Aggregation Control Protocol* (LACP): Este protocolo permite la agrupación dinámica de múltiples interfaces Ethernet entre dos *switches* para formar un túnel más grande. La dirección MAC de destino para controlar estas tramas es 01-80-C2-00-00-02.
- Autenticación de puerto IEEE 802.1x: Este protocolo permite a un usuario (un puerto Ethernet) ser autenticado en la red a través de

un servidor externo, tal como un *RADIUS*. La dirección MAC destino es 01-80-C2-00-00-03.

- Protocolo de registro genérico de atributos (GARP): La dirección MAC de destino es 01-80-C2-00-00-2X.
- STP: La dirección MAC de destino es 01-80-C2-00-00-00.
- *All-bridge multicast*: La dirección MAC destino es 01-80-C2-00-00-10.

1.4.1.4.3 Atributos de Perfil de Ancho de Banda y Parámetros de Tráfico

El MEF ha definido un grupo de perfiles de ancho de banda que pueden ser aplicados en el UNI o en el EVC. Un perfil de ancho de banda es un límite de la velocidad en la que las tramas Ethernet pueden atravesar un UNI o EVC. El administrar estos perfiles de ancho de banda puede resultar complicado. Para las conexiones P2P, donde existe un solo EVC entre dos sitios, será muy fácil calcular el ancho de banda entrante y saliente del túnel. Sin embargo, para los casos de servicios multipunto, donde pueden existir múltiples EVCs en una misma interfaz física, será difícil determinar el perfil de ancho de banda de un EVC. En estos casos el perfil de ancho de banda puede resultar más práctico limitarlo por UNI.

Los atributos de perfil de ancho de banda que caracterizan a un servicio son los siguientes:

- Ancho de banda de Entrada y Salida del UNI
- Ancho de banda de Entrada y Salida del EVC
- Ancho de banda de Entrada y Salida por Identificador CoS
- Ancho de banda de Entrada por UNI destino de cada EVC
- Ancho de banda de Salida por UNI fuente de cada EVC

Los perfiles de ancho de banda de un servicio, son determinados por los siguientes parámetros:

- **CIR (*Committed Information Rate* - Tasa Comprometida de Información):** Es la velocidad de transmisión promedio garantizada que la red debe entregar a un servicio bajo las condiciones de operación normal. Es una cantidad promedio de información que se ha transmitido, teniendo en cuenta latencia, pérdidas, etc.

Se puede determinar un determinado CIR por VLAN en la interfaz UNI; de igual forma, la suma de todos los CIRs no debe exceder la velocidad física del puerto. Se expresa en bits por segundo y debe ser mayor que 0.

$$CIR \geq 0$$

El CIR tiene un parámetro adicional asociado, denominado *Committed Burst Size* (CBS) o Tamaño de Ráfaga Comprometida.

El CBS es el tamaño máximo de ráfaga de tráfico que se puede transmitir sobre el CIR sin ser descartado o distribuido. Las tramas que están dentro de un perfil adecuado son aquellas que cumplen los parámetros del CIR y CBS. El CBS debe ser especificado en *bytes*.

Cuando el CIR > 0, el CBS debe ser mayor o igual al tamaño del mayor MTU (*Maximum Transmission Unit*) de entre todos los EVCs que aplican a un determinado perfil de ancho de banda.

- **EIR (*Excess Information Rate* – Tasa de Información Pico) -** El EIR especifica la tasa de tráfico por encima del CIR, que se permite transmitir en la red si ésta no está congestionada, es decir sin ningún compromiso de desempeño definido. Se expresa en bits por segundo y debe ser mayor que 0.

$$EIR \geq 0$$

El EIR tiene un parámetro asociado adicional, llamado *Excess Burst Size* (EBS) o tamaño máximo de Ráfaga. El EBS es el tamaño máximo del tráfico a ráfagas que se admite sin ser descartado para cumplir el EIR. El EBS puede ser especificado en *bytes*.

1.4.1.4.4 Atributos de Identificación de Clase de Servicio (CoS)

El desempeño obtenido en la entrega de cada servicio se determinará por la instancia de Clase de Servicio definida en las tramas transportadas por el respectivo EVC. La instancia de Clase de Servicio se especifica en cada trama con un Identificador de Clase de Servicio, definido en uno o más campos de dichas tramas.

Se tienen diversos identificadores de CoS, entre los que constan:

a) Puerto Físico

Es la forma más sencilla de aplicar QoS al puerto UNI de la conexión. Todo el tráfico que entra y sale del puerto recibe la misma CoS.

b) Origen / destino de direcciones MAC

Este tipo de clasificación se utiliza para dar diferentes tipos de servicios, basándose en las combinaciones de direcciones MAC origen y destino. Si bien este modelo es muy flexible, según el tipo de servicio puede ser muy difícil de administrar.

Si el equipo del cliente (CPE) en los extremos de las conexiones son *switches* capa 2 que forman parte un servicio LAN-to-LAN, cientos o miles de direcciones MAC tendrían que ser supervisadas.

Por otra parte, si los CPEs son *routers*, las direcciones MAC que se supervisarían serían de las interfaces del mismo *router*; por lo tanto, las direcciones MAC serán mucho más manejables.

c) VLAN ID

Es una forma muy práctica de asignación de CoS si el cliente tiene diferentes servicios en el puerto físico; cada servicio se define por una VLAN ID (estas VLANs podrían ser asignadas por el *Carrier*).

d) El campo 802.1p

El campo 802.1p permite al portador asignar hasta ocho diferentes niveles de prioridad para el tráfico de clientes. Éste es un método que puede utilizarse para diferenciar entre el tráfico de VoIP y el tráfico regular o diferenciar entre tráfico de alta prioridad y el de *best effort*.

En la práctica, los proveedores de servicios es probable que no excedan de dos o tres niveles de prioridad, en aras de la capacidad de administración.

e) Diffserv / IP ToS (Type of Service)

El Diffserv / IP ToS es un campo de 3 bits que está en el interior del paquete IP y se utiliza para proporcionar ocho diferentes clases de servicio conocida como precedencia IP. Este campo es similar al campo 802.1p que se utiliza también para establecer prioridades básicas, pero se diferencian de éste en que se encuentra en el interior de la Cabecera IP en lugar de ser parte de la etiqueta 802.1Q de Ethernet. Diffserv ha definido además un esquema de CoS mucho más sofisticado que la simple transmisión de prioridad definida por el ToS. Diffserv permite 64 valores diferentes de CoS llamado *Diffserv Codepoints* (DSCPs).

1.4.1.4.5 Atributos de Rendimiento

Los atributos de rendimiento indican la calidad del servicio experimentada por el suscriptor. El MEF ha definido cuatro tipos de atributos de rendimiento: Disponibilidad, Latencia o retardos, *Jitter* o variación de latencia y Pérdidas.

a) Disponibilidad

La Disponibilidad es especificada por los siguientes parámetros de servicio:

• Tiempo de activación de servicios de una UNI

Especifica el tiempo desde que un servicio, nuevo o modificado, ha sido ordenado hasta que esté activo y utilizable. Hay que recalcar que una de las principales propuestas de valor de servicio Ethernet es la capacidad de reducir el Tiempo de activación de un servicio a pocas horas con respecto a las semanas y meses que requería el modelo tradicional de telecomunicaciones.

• Tiempo medio de Restauración de UNI - UNI *Mean Time to Restore* (MTTR)

Especifica el tiempo que le toma a la UNI de pasar de estado no disponible hasta restablecerse. La indisponibilidad puede ser causada por una falla, como por ejemplo una fibra cortada.

• Tiempo de activación de servicios de un EVC

Especifica el tiempo desde que un servicio, nuevo o modificado, ha sido ordenado hasta que esté activo y utilizable. El tiempo de activación de un servicio en el EVC se inicia cuando se activan todas las UNIs. Para una EVC multipunto, por ejemplo, el servicio se considera activo cuando todas las UNIs están activas y en funcionamiento.

• Disponibilidad de un EVC

Especifica la frecuencia con la que el EVC de un abonado cumple o supera las latencias, pérdidas, y *jitter* en el desempeño de sus servicios. Si un EVC no cumple los criterios de rendimiento, se considera fuera de servicio.

• Tiempo medio de Restauración de EVC – EVC *Mean Time to Restore* (MTTR)

Especifica el tiempo que le toma al EVC pasar de estado no disponible hasta restablecerse nuevamente. Muchos de los mecanismos de

restauración pueden ser realizados en la Capa física (L1), capa MAC (L2), o capa de red (L3).

b) Latencia

Latencia es un parámetro crítico que impacta de forma significativa la calidad de servicio (QoS) en las aplicaciones de tiempo real. La latencia tradicionalmente se especifica en una dirección como retardo en un solo sentido o retardo extremo a extremo.

La latencia entre dos puntos de una red metro es la acumulación de latencias, a partir del UNI en un extremo, pasando por la red metropolitana, hasta el UNI del extremo final.

La latencia en la UNI se ve afectada por la velocidad de la línea de conexión de la UNI y por el tamaño de la trama Ethernet soportada. Por ejemplo, la conexión de una UNI con 10 Mbps y tamaño de trama de 1518 bytes causaría 1,2 milisegundos, de retardo en la transmisión ($1518 \cdot 8 / 10^6$).

La red Metro Ethernet por sí misma introduce latencias adicionales basadas en la velocidad del *backbone* y del nivel de congestión que presente.

La latencia influirá además en los siguientes atributos:

- a. Perfil de ancho de banda de entrada y salida por cada identificador de CoS (éste es un atributo de servicio de UNI).
- b. Identificador de clase de servicio (éste es un atributo de servicio EVC)

c) Jitter

El *Jitter* es otro atributo que afecta a la calidad de un servicio. Es conocido también como Variación de Latencia. Tiene un efecto adverso en las aplicaciones de tiempo real como telefonía IP.

El *Jitter* se relaciona con los siguientes atributos de servicio:

- Perfil de ancho de banda de entrada y salida por cada identificador de CoS
- Identificador de Clase de servicio

d) Pérdidas

La Pérdida indica el porcentaje de tramas Ethernet que se encuentran registradas y que no han sido entregados entre 2 UNIs durante un intervalo de tiempo dado. En un EVC P2P, por ejemplo, si 100 tramas han sido enviadas desde una UNI, y 90 de éstas son recibidas por la UNI del otro extremo, la pérdida sería $(100 - 90) / 100 = 10\%$.

La pérdida puede tener efectos negativos, dependiendo del tipo de aplicación. Las aplicaciones como correo electrónico y navegación *WEB* pueden tolerar más pérdidas que aplicaciones de VoIP, por ejemplo.

La tasa de pérdidas influirá en los siguientes atributos:

- Perfil de ancho de banda de entrada y salida por cada identificador de CoS
- Identificador de Clase de servicio

1.4.1.4.6 Atributo de Soporte de Etiquetas de VLAN

El etiquetamiento VLAN proporciona otro conjunto de capacidades que son verdaderamente importantes para los servicios portadores. Las etiquetas VLAN dentro de una organización son indicativos de diferentes dominios lógicos de difusión, como son los distintos grupos de trabajo.

Metro Ethernet crea otro entorno en el que la red Ethernet soporta múltiples redes empresariales que comparten la misma infraestructura, y en la que cada empresa puede mantener su propio esquema de segmentación. Es por eso que el soportar diferentes niveles de VLANs y la capacidad para manipular sus etiquetas VLAN se ha convertido en un tema muy importante.

1.4.1.4.7 Atributos de Multiplexación de Servicios

La Multiplexación de servicios es usada para soportar múltiples instancias de EVCs en una misma conexión física, permitiendo que un mismo cliente pueda acceder a diferentes servicios por el mismo enlace Ethernet (ver figura 1.7).

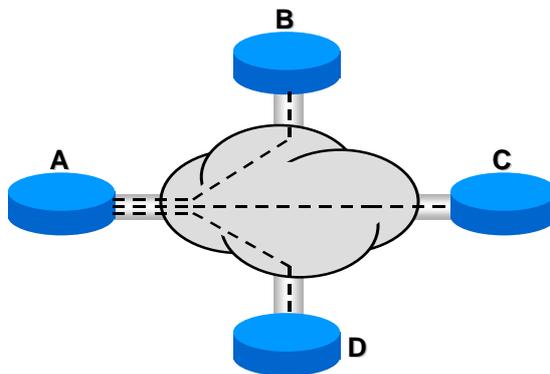


Figura 1.7 Ejemplo de Multiplexación de Servicios en el UNI A

1.4.1.4.8 Atributo de Bundling

Este atributo permite que dos o más VLAN IDs puedan ser mapeadas por un mismo EVC de la UNI.

UNI A		UNI B		UNI C	
CE-VLAN ID	EVC	CE-VLAN ID	EVC	CE-VLAN ID	EVC
47,48,49	EVC ₁	47,48,49	EVC ₁	1	EVC ₂
113	EVC ₃	1	EVC ₂	47	EVC ₃

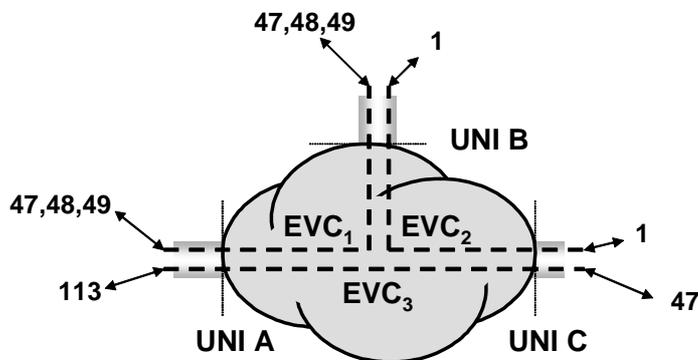


Figura 1.8 Ejemplo de Bundling

1.4.1.4.9 Atributos de Filtros de Seguridad

Los filtros de seguridad son las listas de control de acceso MAC que la red portadora puede usar para bloquear a que ciertas direcciones no sean parte del EVC. Es una alternativa de protección por dirección MAC, en las que se pueden basar para permitir o denegar tráfico.

Otro de los logros de MEF es la creación de un estándar de operación, administración y gestión (OAM) que permita la globalidad de la red a nivel de operador, así como la definición de una interfaz *network-to-network* que optimice la gestión del tráfico y garantice al cliente un determinado ancho de banda y un mismo nivel de servicio de extremo a extremo cuando deba ser cubierto por dos operadores diferentes.

1.4.2 ESTÁNDARES DE LA IEEE PARA EL DESARROLLO DE REDES METRO ETHERNET

IEEE corresponde a las siglas de *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización de áreas técnicas de ingeniería. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros de telecomunicaciones, ingenieros electrónicos e ingenieros en informática.

Actualmente, el IEEE es el encargado de crear las normas pertinentes correspondientes a las especificaciones que se van desarrollando sobre Ethernet, debido a esto trabaja en la definición normalizada de la conectividad y las interfaces necesarias para construir redes de área metropolitana y de área extendida.

Dentro del desarrollo del presente proyecto se hará uso de varias normas dadas por este organismo, debido a esto se procederá a realizar un estudio de los principales estándares para Redes Metro Ethernet. Previamente es importante

que se haga una retrospectiva sobre las normas dadas por este organismo de estandarización para la tecnología Ethernet, para así poder analizar su evolución y realizar una comparación con los estándares que surgieron posteriormente.

En febrero de 1980 se formó en el IEEE un comité de redes locales con la intención de estandarizar un sistema de 1 o 2 Mbps, que básicamente era Ethernet, al que se le asignó el número 802. Decidieron estandarizar el nivel físico, el de enlace y superiores. Dividieron el nivel de enlace en dos subniveles: el de enlace lógico, encargado de la lógica de reenvíos, control de flujo y comprobación de errores, y el subnivel de acceso al medio, encargado de arbitrar los conflictos de acceso simultáneo a la red por parte de las estaciones.

El comité IEEE 802 estudia los estándares que actúan sobre redes de ordenadores, concretamente y según su propia definición sobre redes de área local y redes de área metropolitana.

1.4.2.1 Estándar IEEE 802.3 (Ethernet)

El estándar Ethernet (la red del éter) fue desarrollado originalmente por Digital, Intel y Xerox por lo cual, la especificación original se conoce como Ethernet DIX. Posteriormente fue adoptada para su estandarización por el comité de redes locales (LAN) de la IEEE como IEEE 802.3 y fue publicado por primera vez en 1985.

Si se considera la normalización, el estándar tiene unas 3.000 páginas, pero si se busca lo esencial, Ethernet es el formato de transporte de información más sencillo que puede existir: una trama con la dirección de destino, la dirección de origen, la longitud del mensaje y los datos.

Puede funcionar sobre cualquier medio físico, con fibras ópticas hasta 100 Gigabits por segundo (100.000 millones de bits por segundo), récord de velocidad en redes, habiéndose demostrado su funcionamiento a través de un enlace de

4.000 kilómetros⁹. Sobre cables de cobre está aprobada la norma de 10 Gigabits por segundo, y existen sistemas para transmitir Ethernet sobre pares telefónicos, cables de energía eléctrica (PLC o *Power Line Cord*) e inalámbricos (WiFi, WiMAX).

Preámbulo (7 bytes)	SOF (1 bytes)	Dirección de destino MAC (DA) (6 bytes)	Dirección de origen MAC (SA) (6 bytes)	Tipo de Trama (Ethertype) (2 bytes)	Datos (Payload) (46-1500 bytes)	FCS (4 bytes)
-------------------------------	-------------------------	---	--	---	---	-------------------------

Figura 1.9 Formato de la Trama Ethernet

Ethernet continuó su evolución en respuesta a los cambios en tecnología y necesidades de los usuarios, actualmente se ha consolidado como el estándar predominante en las redes LAN de ámbito empresarial y metropolitano, siendo su estructura el punto de partida para la creación de nuevos estándares que permitieron que Ethernet pase de usar un medio compartido a ser punto a punto y desde rango LAN a distancias de rango WAN.

Con respecto a las funciones, el desarrollo tecnológico de los conmutadores ha incorporado diversas funcionalidades a la simple conmutación. Desde el punto de vista del estándar, el formato de la trama Ethernet estándar se ha extendido respecto al inicial, habiéndose incorporado el etiquetado VLAN.

1.4.2.2 Estándar IEEE 802.3ah (*Ethernet First Mile*) [14]

El grupo de trabajo IEEE 802.3 de Ethernet creó a fines del 2001 un grupo de trabajo que se encargó de desarrollar el estándar IEEE 802.3ah *Ethernet First Mile*, Ethernet en la primera milla; el objetivo de esta norma es poder utilizar Ethernet no sólo para las conexiones en la red de área local, sino también para conexiones de acceso a redes portadoras metropolitanas.

Con su estandarización se ha conseguido:

- Interoperabilidad.

⁹ El IEEE ha creado el estándar IEEE 802.3ba, que actualmente se encuentra en desarrollo, para normalizar redes Ethernet a 100 Gbps.

- Menor costo en la primera milla.
- Diversas aplicaciones, residenciales y corporativas.
- Diversos tipos de medios: fibra, cobre, etc.
- Uso de tecnologías en evolución, tales como DSL (*Digital Subscriber Line* o Línea digital de abonado), FTTH (*Fiber to the Home* - fibra al hogar) y PON (*Passive Optical Network* o Red Óptica Pasiva).

La norma 802.3ah define:

- La topología de acceso del abonado.
- Las especificaciones de la capa física – definición de la PHY (capa física), los protocolos y la PMD (capa dependiente del medio físico) de la conexión.
- Las OAM (operaciones, administración y mantenimiento) comunes de la EFM.

Como tecnología de acceso Ethernet, *Ethernet First Mile* define tres topologías de red:

- EFM *Copper* (sobre par de cobre)
- EFM *Fiber* (sobre fibra punto a punto)
- EFM PON (sobre fibra punto a multipunto, conocida como EPON)

1.4.2.2.1 EFM sobre par de cobre (EFMC)

El EFM *Copper* (EFMC) se plantea como solución para las infraestructuras existentes de cobre (Cat3), permitiendo velocidades de 10 Mbps en ambas direcciones. Es una de las alternativas más viables para los operadores de telecomunicaciones, que disponen de una amplia infraestructura de cobre en su red de acceso. El objetivo de EFM sobre cobre es transportar Ethernet sobre un único par de cobre del tipo *voice grade* (par de cobre actual categoría 3) a una velocidad máxima de al menos 10 Mbps bidireccional y con un bucle de longitud máxima alcanzable de al menos 750 metros. Resumiendo lo que dice la norma se tiene:

- La estructura es OLT - cobre - ONU. Los sistemas activos se conforman en orden descendente desde la central por una OLT (*Optical Line Termination*)

que es parte del nodo de acceso, un *Curb Switch* o *Hub* como nodo intermedio en la red óptica del operador y en el extremo final una ONU (*Optical Network Unit*) que establece la interfaz entre la red terminal del operador y la red del usuario

- Capacidad mayor o igual a 10 Mbps *full* dúplex
- Longitud de bucle de cobre entre 300 y 1500 m

1.4.2.2.2 EFM sobre fibra punto a punto (EFMF)

El EFM *Fiber* (EFMF) plantea una especificación punto a punto sobre fibra como capa física a velocidades desde 100 Mbps hasta 10 Gbps (10 Km).

La norma propone:

- Estructura OLT - fibra - ONU
- Capacidad de banda entre 100 Mbps y 1 Gbps
- Distancia hasta 10 Km
- La capa física puede ser una de las siguientes:
 - 10GBaseLX4: 10 Gbps, 2 a 10 Km, fibra monomodo
 - 1000Base-LX: 1 Gbps, 5 Km, dos fibras
 - 100 Base LX: 100 Mbps, 10 Km, dos fibras

1.4.2.2.3 EFM sobre fibra punto a multipunto (EFMP)

El EFM PON (EFMP), conocida como EPON presenta topología punto a multipunto sobre fibra con velocidades de 1 Gbps (20 Km). Para ello hace uso de la tecnología PON (*Passive Optical Network*), que es una única fibra que hace uso de *splitters* ópticos (baratos) para dividir la fibra en diferentes hilos que lleguen a cada abonado.

EPON (*Ethernet over Passive Optical Network*) propone una solución para transportar tramas Ethernet con una topología en estrella desde un *splitter* óptico pasivo que tiene una cobertura de aproximadamente 16 clientes. La conexión entre el *splitter* pasivo y el nodo central (OLT) se realiza con una única fibra a una

velocidad de 1000 Mbps, y la distancia máxima alcanzable entre el cliente (ONU) y el nodo central (OLT) es de aproximadamente 10 Km.

Dependiendo de la estructura de la red de acceso, además de soportar una estructura en estrella, la red de acceso EPON puede soportar topologías en anillo y bus. En el caso de topologías anillo y bus se requiere un acople óptico 1:2. En el caso de estrella o árbol se requiere un *splitter* óptico 1:N (siendo N: número de usuarios).

El acceso al medio para las redes EPON es un tanto distinto a los accesos compartidos de Ethernet. En EPON el acceso al medio se desarrolla de la siguiente manera:

- Las EPON en *downstream* implementan un medio compartido y se realiza en modo *broadcast*. Desde la OLT hacia las ONUs, las tramas Ethernet pasan por el *splitter* óptico 1:N en modo *broadcast*, de modo que los clientes (ONU) filtran localmente las tramas basadas en su dirección MAC.
- Las EPON en *upstream* implementan un punto a punto mediante técnicas de multiplexado que precautelan las colisiones por el medio compartido. Para esta técnica debe haber un total sincronismo entre las ONUs y la OLT, esta última arbitra dinámicamente el acceso al medio mediante la asignación de *time slots* para cada ONU. Las ONU almacenan las tramas en *buffers* y las descargan en ráfagas durante su TS. Si el TS no se llena con las tramas emitidas por la ONU que tiene la autorización de envío, esta última es llenada con tramas *IDLE*. Los TS son arbitrados dinámicamente por la OLT mediante mensajes de petición (*request*) de parte de la ONU y de otorgamiento (*grant*) por parte de la OLT. El algoritmo de adjudicación de ancho de banda dependerá del SLA y del modelo de tarificación.

Otras consideraciones del estándar 802.3ah respecto a las redes EPON son las siguientes:

- La OLT es el nodo central del proveedor, en general es un *switch*. La ONU está en el sitio del suscriptor (FTTH o FTTB) o cerca de éste (FTTC *Fiber to*

the Curve). La ONU presenta una interfaz WAN 802.3ah hacia la red y una interfaz LAN 802.3 hacia el suscriptor.

- El punto-multipunto se implementa mediante un *splitter* óptico. Se utiliza la misma fibra para datos de subida y de bajada, de manera que la transmisión *full* dúplex se realiza mediante multiplexación DWDM, la bajada (1.490 nm.) y la subida (1.310 nm.).
- La separación de los datos de los suscriptores hacia la OLT se realiza mediante multiplexación en el tiempo (TDMA) con control central desde la OLT.
- Las tramas de la OLT hacia los suscriptores les llega a todos los usuarios a la vez (medio compartido Ethernet); antes, en la OLT se agrega al encabezado 802.3 dos *bytes* que identifica al suscriptor (LLID - *Logical Link Identifier*) y que es usado por las ONU para capturar la trama en función de este identificador (trama 802.3ah). Este identificador es asignado automáticamente por la OLT a la ONU durante el proceso de registro de la ONU
- El control de la red se realiza mediante el protocolo MPCP (*Multipoint Control Protocol*). MPCP se implementa como subcapa de control de la capa MAC y gestiona la captura de TS, alineamiento y sincronización y asignación de ancho de banda mediante comandos: *GATE*, *REPORT*, *REGISTER* (*auto discovery*).

Uno de los aspectos más importantes es una correcta definición de la gestión para redes Ethernet. El estándar 802.3ah incluye una definición OAM (*Operation, Administration and Management*), con la que no contaba hasta ahora Ethernet y que se emplea para poder hacer pruebas de los bucles y de funcionamiento, así como métodos para redes de cobre y fibra óptica de gestión y monitorización de enlaces y problemas de caídas en el servicio. Aunque ya existía previamente una definición OAM en Ethernet, 802.3ah las extiende y adapta para los escenarios de operación del EFM. Los procedimientos soportados incluyen monitorización, prueba de *loopback*, detección de fallos y aislamiento.

1.4.2.3 Estándar IEEE 802.1Q [15]

Este protocolo fue aprobado por la IEEE para desarrollar un mecanismo que permita la identificación de VLAN (Redes de Área Local Virtuales)¹⁰ mediante la inserción de un identificador de VLAN en la cabecera de la trama Ethernet original llamado *Tag* VLAN. Esto es posible mediante la definición de un nuevo *EtherType* (0x8100) que especifica que lo próximo en la cabecera es un *tag* VLAN. Tras este campo se introducirá el *EtherType* original de la trama y se recalculará el campo de control de errores (FCS).

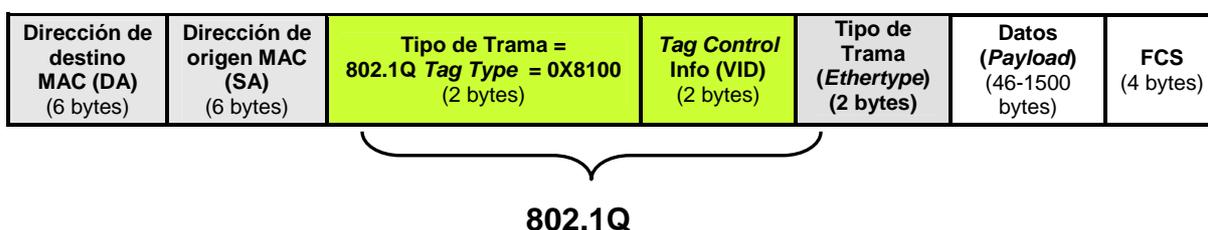


Figura 1.10 Formato de la Trama IEEE 802.1Q

El *tag* VLAN (*Tag Control Info*) está formado por:

- Prioridad de usuario (3 bits): empleado para almacenar el nivel de prioridad de la trama. El uso de este campo se especifica en el estándar IEEE 802.1p¹¹.
- CFI (*Canonical Format Indicator*, 1 bit): bandera que indica si la dirección MAC está en formato canónico.
- VID (12 bits): es el identificador de VLAN, y permite hasta 4096 diferentes VLANs.

La evolución que ha tenido Ethernet, al pasar de Redes LAN a Redes MAN y WAN ha hecho que aparezcan nuevos estándares que permita la operabilidad de esta tecnología en este nivel. Así con el objetivo de permitir a los proveedores disponer de su propio espacio de VLANs, sin afectar el uso que los clientes hagan

¹⁰ Mecanismo utilizado para agrupar estaciones de trabajo y servidores en agrupaciones lógicas que no están restringidos a un segmento físico o *switch*.

¹¹ En 1997 la IEEE define el estándar IEEE 802.1p para prioridad de tráfico y filtraje dinámico *Multicast*.

de dicho campo en un *backbone* con tecnología Ethernet, se define una extensión de VLAN en el estándar IEEE 802.1ad.

1.4.2.4 Estándar IEEE 802.1ad (*Provider Bridges*)[16][17]

El IEEE define una extensión de VLAN mediante el estándar IEEE 802.1ad (*Provider Bridges* - PB) como una enmienda al estándar 802.1Q. Este estándar, también conocido como Q-in-Q fue aprobado el 8 de diciembre de 2005 y publicada el 26 de mayo de 2006, permite el desarrollo de lo que se conoce como redes conmutadas de proveedor (*Provider Bridges*).

Mediante este estándar se pretende desarrollar una arquitectura y protocolos, compatibles e interoperables con los protocolos y equipamiento existentes en redes LAN, que proporcionen por separado servicios MAC a múltiples usuarios independientes de una red de área local conmutada de manera que no exista interposición entre usuarios, y que la intervención entre los usuarios y el prestador del servicio MAC sea mínima.

IEEE 802.1ad basa su funcionamiento en apilar de forma consecutiva dos *tags* VLAN, uno para el proveedor (S-VLAN) y otro para el cliente (C-VLAN). El mecanismo es similar al empleado en 802.1q; añade una nueva etiqueta *Q-tag* que permite que el proveedor administre sus propias etiquetas e identifique individualmente las redes de sus clientes, mientras que la primera (original) *Q-tag* se utiliza para identificar las VLANs en la red del cliente. Las tramas de cliente que llegan al proveedor con *tag* VLAN (lo que pasará a ser el C-VLAN) son encapsuladas mediante una S-VLAN que vendrá determinada por el servicio al que el cliente haya accedido.

Esta nueva definición permite que el proveedor de servicios maneje mediante una sola VLAN a clientes que tienen múltiples VLANs en su LAN.

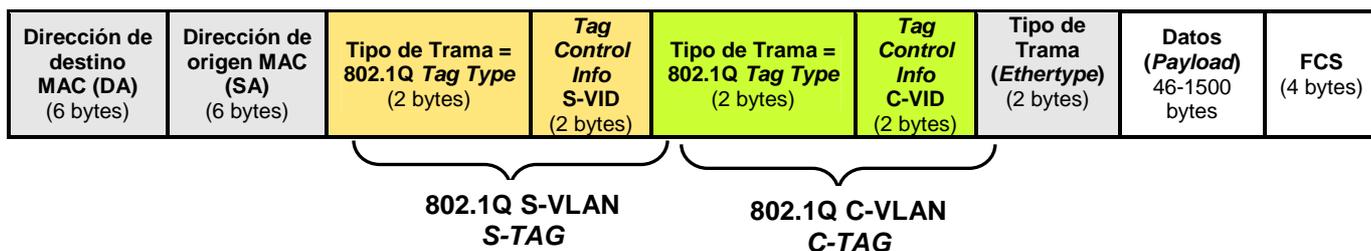


Figura 1.11 Formato de la Trama IEEE 802.1ad

- S-VLAN: Identificador de VLAN para la isla 802.1ad
- Cada S-VLAN es identificada unívocamente por el S-VID ó Identificador de VLAN de Servicio dentro de la etiqueta de servicio ó S-TAG y será diferente la VLAN de clientes (C-TAG)
- Cada C-VLAN se apila dentro de la S-VLAN de modo que diferentes clientes podrá emplear la misma C-VLAN sin conflictos puesto que toda VLAN de servicio proporciona transparencia para el tráfico de clientes

1.4.2.5 Estándar IEEE 802.1ah (*Provider Backbone Bridges*) [16][18]

El IEEE ha desarrollado el estándar IEEE 802.1ah (*Provider Backbone Bridges - PBB*) como un elemento fundamental para lograr convertir Ethernet en una tecnología válida para proveedores. Este estándar, también conocido como MAC-in-MAC fue aprobado en el 2005. Para permitir una mayor escalabilidad de red, se implementó la posibilidad de interconectar diferentes “*Provider Bridged Networks*”, mediante una “*Provider Network*”. Esto se detalla en el proyecto de estándar IEEE 802.1ah, el cual se presenta como la enmienda sexta al estándar 802.1Q, en lo que refiere a “*Provider Backbone Bridges*”.

PBB fue inventado por Nortel, actualmente está disponible en los *switches* Ethernet del portador, permitiendo un total aislamiento entre las direcciones MAC del cliente y el proveedor; encapsula la cabecera MAC del cliente con una cabecera MAC del proveedor de servicios. En otras palabras, las tramas Ethernet de los clientes se encapsulan en nuevas tramas Ethernet, que son las de los *switches* del proveedor. Por esta razón a este mecanismo se le llama “MAC in MAC”. Estas nuevas tramas tienen otras direcciones MAC denominadas B-DA

(Dirección de Destino de *Backbone*) y B-SA (Dirección de Origen de *Backbone*) y otros identificadores de VLAN denominados identificadores de VLAN de *backbone*, los cuales son propios de los *switches* del proveedor.

Las etiquetas de VLAN de *backbone* que agrega 802.1ah son dos: *B-TAG* (*Backbone VLAN TAG*) e *I-TAG* (*Service Instance Tag*). El formato del *B-TAG* es igual al del *S-TAG*. Sin embargo el *I-TAG* es diferente, ya que el campo de identificación de la VLAN en lugar de tener 12 bits como en las otras *tags* tiene 20 bits (ver figura 1.12).

Con IEEE 802.1ah, la red en general es tratada como dos dominios separados: la red del proveedor de servicios y la red del cliente final. En el dominio del proveedor de servicios, la red conmutará en base a las cabeceras MAC del proveedor, quedando la cabecera MAC del cliente invisible. Esto introduce una estricta demarcación entre el cliente y el proveedor de servicio, lo que le da a la red un verdadero enfoque jerárquico.

La aparición de IEEE 802.1ah y la estricta jerarquía que éste trae a la red ha dado un gran paso para que Ethernet alcance la escalabilidad necesaria para dar la categoría de tecnología de portador.

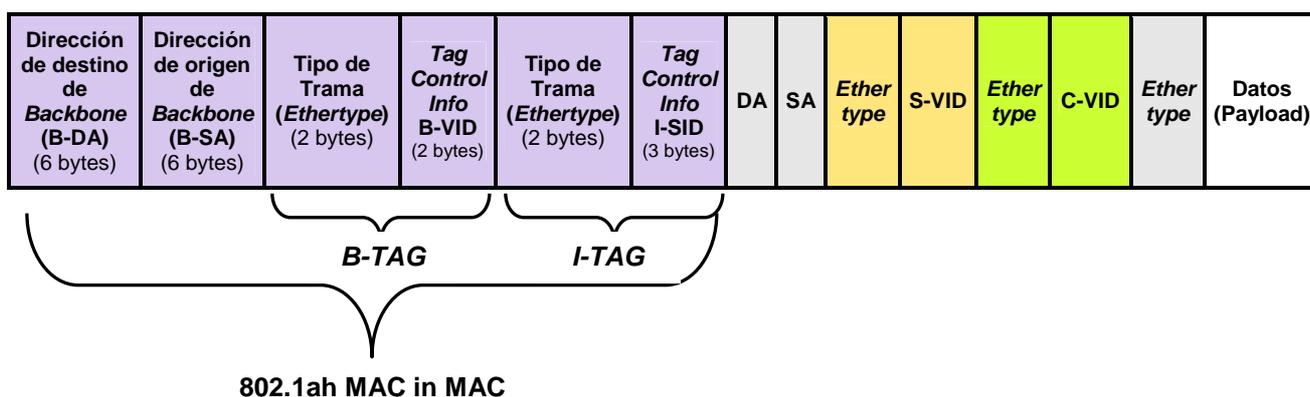


Figura 1.12 Formato de la Trama IEEE 802.1ah

1.4.3 ESTANDARIZACIÓN DE LA IETF PARA REDES METRO ETHERNET [19][20]

El IETF (*Internet Engineering Task Force*), surgió para unificar las diferentes soluciones que los distintos fabricantes estaban proponiendo; así ha trabajado para conseguir otras formas de escalar los servicios Ethernet a través del uso de MPLS. Aunque su terminología pueda diferir un poco, los conceptos y directivas tomadas están convergiendo con el resto de organizaciones.

Después de la introducción de MPLS a finales de los noventa, se definieron nuevos tipos de VPN. La aceptación por los proveedores de servicio de MPLS como la tecnología de convergencia de red a elegir, llevó a poner una gran atención en las VPNs basadas en MPLS, que ofrecen fácil suministro de servicios dentro de las redes de los proveedores de servicios, además de la entrega de servicios a los usuarios.

Ofreciendo convergencia en las redes, fueron introducidos los VPWS¹² *Virtual Private Wire Service*, VPNs punto a punto de capa 2, que ofrecen una clara migración de las tradicionales VPNs de FR/ATM a la red MPLS sin sustituir equipo en las instalaciones del cliente y sin afectar a la experiencia de servicio del cliente. Pero, al tratarse de un servicio punto a punto, existen muchos problemas de escalabilidad con el servicio como tal, pues debe superar el número de nodos finales soportados por un PE (*Provider Edge* - Nodo en la frontera del Proveedor) en particular.

Más tarde como complemento de las VPWS y en busca de una solución de servicios Ethernet multipunto sobre MPLS, aparecieron las VPLS o Servicios LAN Privados Virtuales. Existen dos implantaciones de VPLS soportadas por la IETF, RFC 4761 que usa señalización BGP, mientras que el RFC 4762 usa señalización LDP (*Label Distribution Protocol* o Protocolo de Distribución de Etiquetas)¹³.

¹² También son conocidos como VLLs (Líneas Alquiladas Virtuales)

¹³ Para mayor información referirse a los RFCs 4761 y 4762 de la IETF.

Aunque los servicios VPLS sólo han sido introducidos de forma reciente, un gran número de operadores ya los están ofreciendo comercialmente. Como las VPNs IP basadas en MPLS, el VPLS es un servicio multipunto, pero a diferencia de las VPNs IP, éste puede transportar tráfico no-IP, beneficiándose de las bien conocidas ventajas de Ethernet. VPLS también se utiliza dentro de una red de proveedores de servicios para agregar servicios a suministrar a clientes de empresas y residenciales.

Un VPLS, también conocido como TLS (servicio de LAN transparente) o servicio E-LAN, es una VPN multipunto de capa 2 que permite conectar múltiples sitios en un único dominio puenteado sobre una red MPLS/IP gestionada por el proveedor. Todos los sitios del cliente en un caso de VPLS (es decir, un VPLS para una empresa particular) parecen estar en la misma LAN, sin tener en cuenta sus localizaciones. VPLS utiliza una interfaz Ethernet con el cliente, simplificando la frontera LAN/WAN y permitiendo un aprovisionamiento rápido y flexible del servicio.

La base de cualquier servicio VPN multipunto (VPN IP o VPLS) es una malla completa de túneles MPLS (LSPs – trayectos conmutados por etiquetas, también llamados túneles externos) que se establecen entre todos los PEs que participan en el servicio VPN. LDP se utiliza para establecer estos túneles; alternativamente se puede utilizar RSVP-TE (Protocolo de Reserva de Recursos – Ingeniería de tráfico) o una combinación de LDP y RSVP-TE.

Las VPNs multipunto pueden crearse encima de esta malla completa, ocultando la complejidad de las VPNs desde los *routers* centrales. Para cada instancia VPLS se crea una malla completa de túneles internos (llamados *pseudowires*) entre todos los PEs que participan en la instancia VPLS. Un mecanismo de auto-detección localiza todos los PEs que participan en la instancia VPLS. Este mecanismo no se ha incluido en las especificaciones previas, de esta forma el proveedor de servicio puede configurar el PE con las identidades de todos los otros PEs en un VPLS concreto, o puede seleccionar el mecanismo de auto-

detección que prefiera, por ejemplo, RADIUS (servicio de autenticación remota de marcación de entrada de usuario).

La tecnología *pseudowire* está normalizada por el IETF (grupo de tareas sobre ingeniería de Internet) PWE3 (*Pseudo Wire Emulation Edge to Edge Working Group*)¹⁴. Los PWs son conocidos históricamente como “túneles Martini”, y a las extensiones al protocolo LDP para permitir la señalización de PWs se las denomina frecuentemente “señalización Martini”. Un PW consta de un par de LSPs unidireccionales punto-a-punto de un solo salto en direcciones opuestas, cada uno identificado por una etiqueta PW, también llamada VC (conexión virtual).

Las etiquetas PW se intercambian entre un par de PEs usando el mencionado protocolo de señalización LDP. El identificador VPLS se intercambia con las etiquetas, así ambos PWs pueden enlazarse y asociarse a una instancia VPLS particular. Se debe observar que este intercambio de etiquetas PW tiene que darse entre cada pareja de PEs participantes en una instancia VPLS concreta, y que las etiquetas PW tienen solamente un significado local entre cada una de esas parejas. La creación de PWs con una pareja de LSPs permite a un PE participar en el aprendizaje del MAC: cuando PE recibe una trama Ethernet con una dirección de fuente MAC desconocida, PE sabe en qué VC se envió.

Los *routers* PE deben soportar todas las prestaciones “clásicas” Ethernet, como aprendizaje del MAC, replicación y envío de paquetes. Conocen las direcciones MAC de la fuente MAC del tráfico que llega a sus puertos de acceso y de red. Desde un punto de vista funcional, esto significa que los PEs deben implementar un puente por cada instancia VPLS, al que se le suele llamar VB (puente virtual), como se muestra en la figura 1.13.

La funcionalidad VB se lleva a cabo en el PE mediante una base de datos FIB (*Forward Information Base*) para cada supuesto de VPLS; esta FIB se transmite con todas las direcciones MAC aprendidas. Todo el tráfico se conmuta en base a

¹⁴ Para mayor información sobre Grupo de trabajo IETF PWE3: <http://www.ietf.org/html.charters/pwe3-charter.html>.

las direcciones MAC y se reenvía entre todos los *routers* PE participantes, usando túneles LSP. Los paquetes desconocidos (es decir, las direcciones de destino MAC que no han sido aprendidas) se replican y reenvían en todos los LSPs a todos los *routers* PE que participan en ese servicio hasta que responde la estación de destino y la dirección MAC es aprendida por los *routers* PE asociados con dicho servicio.

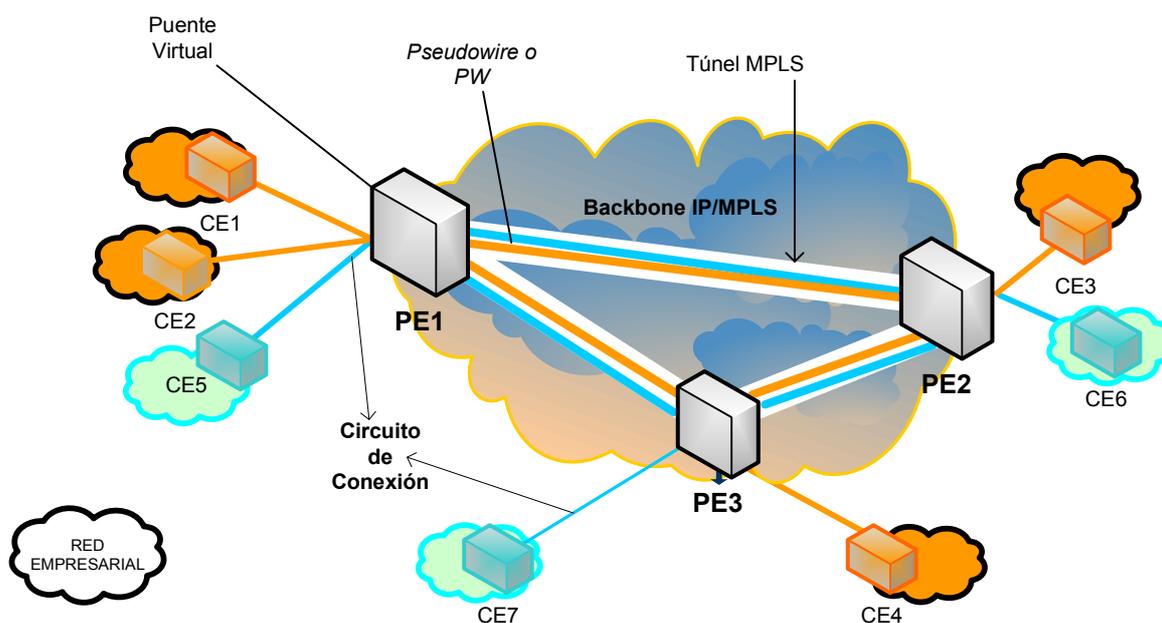


Figura 1.13 Modelo de Referencia VPLS

Para evitar bucles de reenvío se usa la regla llamada “*Split Horizon*”. En el contexto VPLS, esta regla implica básicamente que un PE nunca debe enviar un paquete a un PW si ese paquete se ha recibido de un PW. Esto asegura que el tráfico no pueda formar un bucle sobre la red de *backbone* usando PWs. El hecho de que haya siempre una malla completa de PWs entre los dispositivos PE asegura que cada paquete emitido alcanzará su destino dentro del VPLS.

CAPÍTULO 2

LOS SERVICIOS PORTADORES EN QUITO Y ARQUITECTURAS METRO ETHERNET PLANTEADAS

2.1 ANÁLISIS GENERAL DE LAS TELECOMUNICACIONES [21] [22]

El sector de las telecomunicaciones ha sido objeto de profundas transformaciones desde mediados de los años 70, cuando el avance de la microelectrónica auguraba la convergencia tecnológica entre las áreas de informática y de telecomunicaciones. En los años 80 se comprobó que la convergencia no sólo era tecnológica sino también de mercados; es decir, las industrias de informática y de telecomunicaciones no sólo usaban de forma creciente componentes de microelectrónica sino que, sobre todo, ofrecían servicios y aplicaciones conjuntas, que representaban la aparición de mercados nuevos y muy dinámicos.

Las telecomunicaciones entraron en una fase de cambios graduales nunca antes vistos en este sector. Esta tendencia al parecer es imparable y los cambios revolucionarios que se proyectan en este sector están empezando a desplegarse paulatinamente ya en los mercados más desarrollados y en menor intensidad en los mercados emergentes. Aspectos tecnológicos, de mercado y de competitividad están impulsando este acelerado cambio; esto fue lo que revolucionó las propias bases de las telecomunicaciones en los años 90.

Sin embargo, lo que ha hecho realmente importante a las telecomunicaciones es la expansión que han sufrido en la última década, alcanzando a la mayoría de las empresas y convirtiéndose en una pieza fundamental de las mismas, transformando profundamente la sociedad. Muchos campos como el transporte, el comercio, la educación, la medicina, el acceso a la información, etc. dependen cada vez más de las telecomunicaciones y su importancia aumenta en la medida que se siguen descubriendo nuevas tecnologías y servicios. Si se aprovechan y encauzan convenientemente, las Tecnologías de la Información y la

Comunicación (TIC) tienen la posibilidad de mejorar todos los aspectos de nuestra vida social, económica y cultural.

Desde el punto de vista del mercado, las modificaciones ocurren por el hecho de que la evolución tecnológica, por la vía de la disponibilidad y abaratamiento de nuevos medios para la "producción" de servicios, reduce fuertemente las barreras de entrada a nuevos proveedores induciendo cambios en el modelo de negocio de muchos operadores y modificado de manera radical el modelo de provisión de servicios. Este sector es un ente dinámico, cuya velocidad de desarrollo es tan elevada que es difícil predecir el tiempo de vida de las diferentes tecnologías y productos.

Desde el punto de vista tecnológico, la evolución se puede visualizar en la utilización de los nuevos medios de transmisión y conmutación. Empresas y servicios de telecomunicaciones que antes operaban de manera separada, podrán ya, en términos tecnológicos, unificarse y ofertar bajo una única infraestructura tecnológica servicios de voz, video, datos, movilidad, etc. mediante las redes NG.

También forma parte de esta evolución el gran crecimiento de las redes corporativas de diversos alcances (*LAN*, *MAN* y *WAN*), que están buscando formas efectivas en costos y tecnología para aumentar el ancho de banda de sus WANs y soportar aplicaciones sofisticadas.

Para entender las necesidades de mayores anchos de banda que actualmente se presenta en los sectores corporativos se analiza a continuación las principales aplicaciones y sus respectivos requisitos de ancho de banda.

a) Bases de datos centrales

La mayoría de las empresas cuentan con una serie de servicios esenciales para el negocio y basados en el uso de bases de datos que, generalmente, están suministradas por proveedores como Oracle, Siebel o SAP. Casi todas las

empresas utilizan estas bases de datos para obtener información precisa y actualizada, llevar a cabo las transacciones diarias y elaborar informes que ayudan a los directivos a tomar decisiones estratégicas. Estas bases de datos son cada vez más críticas, puesto que los servicios web permiten a los clientes conectarse directamente y al instante a los catálogos, inventarios, listas de clientes y sistemas de pago de las empresas. En este sentido, el rendimiento de las conexiones de red no es sólo importante, sino una cuestión vital desde el punto de vista comercial. Los empleados de una empresa pueden admitir retardos en el acceso a las bases de datos, pero sus clientes se irán y no esperarán. Afortunadamente, estas aplicaciones no suelen necesitar muchas exigencias técnicas. SAP, por ejemplo, necesita solamente unos 16 Kbps por usuario.

La importancia de centralizar todos los datos radica en reducir al mínimo el uso que los empleados hacen de la información fuera de la empresa, evitando que se produzcan filtraciones de información desde ordenadores portátiles y otros dispositivos de datos móviles.

b) Correo electrónico

Todas las empresas utilizan el correo electrónico como medio de comunicación. El nivel de las necesidades de correo electrónico está cambiando, al igual que la manera de implementarlo. Por razones económicas y operativas, las empresas están consolidando sus servidores de correo electrónico, de manera que ahora disponen de menos servidores que son mucho más grandes y están centralizados en una ubicación. Esto hace que aumenten los requisitos de rendimiento total del correo electrónico.

El correo electrónico no plantea problemas de latencia y *jitter*. Los usuarios estarán contentos si los archivos y los mensajes se envían en aproximadamente un segundo. La mayor parte de las bandejas de entrada de los usuarios consumen una cantidad muy reducida de recursos en el transcurso de un día, pero es preciso que puedan descargar archivos adjuntos grandes en un tiempo

razonable. La asignación de una capacidad total de aproximadamente 50 Kbps por usuario es más que suficiente.

c) Navegación de Internet

Al igual que el correo electrónico, el tráfico de Internet no tiene por qué estar a prueba de *jitter*, pero los usuarios necesitan acceder a los sitios en un tiempo razonable que no interrumpa demasiado el ritmo de trabajo.

La mayoría de las empresas cuentan con tráfico web saliente o lo alojan con los proveedores de servicio. El tráfico en ambas direcciones puede acelerarse almacenando en la memoria caché los contenidos más usados. El tráfico web puede ser imprevisible en lo que respecta a las necesidades de ancho de banda, pero los registros de usos pasados pueden ofrecer una idea aproximada de la cantidad que conviene asignar al tráfico web. Para la mayoría de los empleados basta con una media de 100 Kbps.

d) Aplicaciones de Voz

La voz y el video requieren comunicación en tiempo real. La mayoría de los paquetes han de llegar en el orden correcto, de manera que puedan volver a ensamblarse y formar un flujo de imágenes o de audio inteligible para el usuario.

Las llamadas de voz individuales no plantean grandes exigencias en cuanto al rendimiento total. Pero si una empresa cuenta con un sistema de telefonía IP en su WAN basado en voz sobre IP (VoIP), tendrá que ser capaz de manejar múltiples llamadas de teléfono, por lo que los requisitos en cuanto al rendimiento total pueden aumentar considerablemente.

Los requisitos de voz en la WAN pueden aumentar si prospera la convergencia de comunicaciones fijas y móviles (FMC). Se está animando a las empresas a que usen teléfonos duales, que funcionan como teléfonos móviles fuera de la oficina y como teléfonos IP conectados a la WAN cuando se está dentro de ella. La ventaja

reside en que los empleados utilizarán estos teléfonos en lugar de los móviles, lo que en muchos casos supondrá un ahorro significativo para las empresas.

Se calcula que al menos el 10% de las llamadas procedentes de teléfonos móviles se realizan dentro del área de alcance de una LAN inalámbrica, que podría transportarlas más económicamente mediante VoIP. Es más, la FMC hará que las redes corporativas tengan más tráfico de voz y ofrecerá a las empresas mayor control y visibilidad en las transacciones de voz.

Cuando la voz se canaliza a través de una red telefónica privada independiente y se ofrece como un servicio de datos a través de la WAN, las CoS se convierten en algo muy importante. Debería garantizarse un nivel de rendimiento total para el tráfico de voz en la WAN, y este nivel debería revisarse con regularidad. Las llamadas perdidas o de mala calidad tendrán una repercusión inmediata en la productividad de los empleados y en la impresión que se lleven quienes llamen desde fuera de la empresa. Los proveedores deberían ofrecer este servicio automáticamente, además de comprobar que la voz cuenta con el soporte adecuado.

e) Videoconferencias y reuniones virtuales

Al ser una aplicación que funciona en tiempo real, el video necesita el mismo nivel de CoS que la voz, además de un mayor ancho de banda. El flujo de video de alta definición puede exigir un rendimiento total de hasta 10 Mbps. Afortunadamente, no parece que este tipo de video vaya a extenderse o a hacerse indispensable en un futuro próximo. Sin embargo, muchas empresas están invirtiendo en tecnologías de videoconferencia, para que los empleados de distintas áreas geográficas puedan reunirse sin tener que trasladarse.

La videoconferencia puede utilizar 256 Kbps por canal. Antes de elaborar el presupuesto, deberá determinarse con la mayor precisión posible el nivel de uso previsto y considerarse la posibilidad de aplicar medidas como un plan de

reservas de conexiones de video de alta calidad o el suministro de video de calidad inferior para conferencias sin reserva.

f) Recuperación ante desastres (*Disaster recovery*)

La importancia de la recuperación ante desastres para que las empresas sigan operativas no sólo se ha visto acentuada por la posibilidad de sufrir ataques terroristas o desastres naturales, sino también por normativas gubernamentales que exige que las empresas demuestren que han tomado las medidas adecuadas para garantizar la continuidad de sus actividades aun en el caso de pérdida de servidores o aplicaciones. En circunstancias normales, las aplicaciones de continuidad empresarial crean tráfico para hacer copias de seguridad de la información entre los servidores que se usan en el día a día y el centro de recuperación ante desastres. Esto puede suponer un flujo continuo y grandes transferencias nocturnas.

Cuando se produce un problema y se necesita un servicio de recuperación, hay que reinstalar el sistema entero, con todos sus datos y configuraciones. Esto puede hacer que se envíe un gran volumen de tráfico a los sistemas de sustitución. El nivel total del tráfico depende del volumen de información que genera la empresa y de la frecuencia con la que se accede a ellos. Una empresa que necesita acceder a la información con asiduidad, tendrá una gran cantidad de datos que recuperar. Sin embargo, si sólo se accede con regularidad a un pequeño subconjunto, se necesitará menos ancho de banda en el modo de recuperación.

Puede restablecerse primero el subconjunto, mientras que el resto de los datos que se utiliza menos a menudo puede ir restableciéndose a lo largo de un cierto periodo de tiempo (horas), o incluso los días subsiguientes.

El ancho de banda inactivo reservado para la recuperación ante desastres, al igual que una póliza de seguros, cuesta dinero. Algunos bancos, por ejemplo, podrían tomar la decisión de que sólo el 80% de sus sucursales necesitan estar

completamente operativas transcurridas cinco horas desde una paralización absoluta. Cada empresa, pues, tendrá necesidades de recuperación ante desastres distintos, dependiendo de la naturaleza de su información, del uso que haga de ella y de la importancia que tenga para la empresa una vuelta rápida al funcionamiento normal de su actividad. Lo que sí está claro es que es necesario disponer de alguna forma de recuperación ante desastres.

Estos servicios han puesto de manifiesto que la mayoría de las empresas no cuentan con el ancho de banda suficiente para cubrir sus necesidades (tabla 2.1). Puede deberse, en algunos casos a la falta de previsión por parte de la empresa, mientras que en otros se trata de un intento deliberado de reducir costes.

Aplicación	Capacidad necesaria para cada usuario	Comentarios
Aplicaciones de bases de datos centrales	16 Kbps por usuario	Se trata de un tráfico poco exigente pero muy sensible a los retrasos, por lo que debería tener un ancho de banda reservado en exclusiva
Correo electrónico	Varía, pero debería bastar con 50 Kbps por usuario	La consolidación de servidores <i>Exchange</i> podría aumentar el tráfico de correo electrónico en las conexiones WAN en su conjunto
Navegación por Internet	Variable, pero debería bastar con un promedio de 100 Kbps por usuario	Limitar el uso puede hacer que los usuarios sean menos eficientes o forzarles a planificar mejor su trabajo para aprovechar el ancho de banda de Internet cuando esté disponible
Voz	32 Kbps por conversación	Sensible a la latencia y al <i>Jitter</i>
Video	256 Kbps por terminal	Deben llevarse a cabo estudios para determinar el uso previsto
Recuperación ante desastres	Depende de la empresa	Necesario a corto plazo y en ráfagas continuas
Tráfico de "ocio"	Conviene establecer un límite por usuario y asignarle una prioridad cero frente al tráfico de la empresa	Conviene establecer los límites dentro de la red del cliente mediante herramientas de diseño de tráfico

TABLA 2.1 Requisitos de las aplicaciones actuales y capacidad por usuario [22]

Como se ha revisado la evolución de la tecnología, servicios y aplicaciones se ha dado a pasos agigantados por lo que se ha visto la necesidad de incrementar los anchos de banda tanto en las redes de transporte y las redes de acceso para que

ninguna se vuelva el “cuello de botella” que actualmente están generando las tecnologías tradicionales.

2.1.1 LAS REDES DE TRANSPORTE A NIVEL MUNDIAL [23]

Las redes de transporte juegan un papel muy importante, son las encargadas del envío y multicanalización de diversos tipos de información en diferentes formatos. Su evolución ha sido gradual, desde las primeras redes analógicas, las digitales, hasta las redes ópticas. Así se tiene las redes como E1/T1 y ISDN (*Integrated Services Digital Network* o en español RDSI) basadas en líneas de cobre, a las redes de transporte basadas en fibras ópticas como ATM, B-ISDN o SONET/SDH.

Si se tiene como referencia el modelo OSI, las redes de transporte se basan principalmente en el nivel físico, nivel de enlace y nivel de red. Desde el punto de vista del nivel físico, la evolución ha sido importante ya que la calidad de los medios de transmisión actuales es tal, que las tasas de error se han reducido mucho en relación con las tasas de error que había en los inicios de las redes. Aproximadamente se ha pasado de un BER (*Bit Error Rate*) de 10^{-3} a un BER de 10^{-12} , que es la cifra en la que se puede encontrar hoy como media.

Esta evolución en los medios de transmisión también ha tenido una influencia decisiva en la evolución de los protocolos empleados a nivel superior. Por ejemplo, antiguamente se usaba mucho el protocolo X.25 debido a su gran robustez y a sus capacidades para detectar y corregir errores en cada segmento de la red. Con el tiempo este protocolo se vio sustituido por *Frame Relay* que funcionalmente era muy parecido pero eliminaba mucha de la carga de protección frente a errores que tenía X.25, puesto que con la mejora de la calidad de los medios de transmisión ya no era necesario tanto nivel de protección.

Dentro de los protocolos de nivel de enlace, en las que habitualmente se llaman redes de transmisión, es muy importante mencionar protocolos como ATM que supusieron una gran revolución para los núcleos de las redes. Con ATM, los anchos de banda que hasta ese momento se estaban dando se incrementaron sustancialmente, pero su principal ventaja vino dada por sus capacidades

multiservicio. Esto significaba que esa red estaba preparada para dar cualquier tipo de servicio que en un momento dado un usuario final pudiera desear (redes privadas virtuales, calidad de servicio, servicios de bajo retardo, voz sobre redes de datos, etc.). Estas nuevas funcionalidades hicieron que este tipo de redes fueran rápidamente desplegadas y tuvieran un gran éxito.

Sin embargo en la actualidad la satisfacción de servicios *triple play* a nivel corporativo y residencial demanda redes de gran capacidad para los nuevos servicios ofrecidos por los operadores. Por esta razón actualmente ATM y las tecnologías anteriores a ésta, están siendo sustituidas por nuevas tecnologías que permiten un transporte mucho más eficiente, mediante redes de alta velocidad, elemento esencial dentro de los sistemas de transporte de información.

En este sentido en los últimos años, como la mayoría del tráfico en la red es Ethernet y como los “*routers*” IP son recursos costosos, se están discutiendo diferentes arquitecturas que permitan combinar las ventajas de los conceptos de transmisión de paquetes con funcionalidades propias de las redes SDH o ATM tradicionales. Muchas de estas nuevas tecnologías actualmente ya están siendo implementadas y muy especialmente las tecnologías de nivel 2 como son PBB y MPLS que han sido desarrolladas para promocionar flexibilidad, predictibilidad, así como servicios Ethernet orientados a conexión con la calidad exigida por los operadores para el transporte. Estas nuevas tecnologías están aportando alta capacidad de transmisión 10 Gbps, 40 Gbps y 100 Gbps a un coste razonable. Adicionalmente se debe destacar el uso de tecnologías ópticas tales como WDM, que aumentan la capacidad de los sistemas de transmisión reforzando el Plano de Transporte.

2.1.1.1 Comparación de Ethernet con tecnologías de transporte actuales

Como se ha revisado en el Capítulo 1, Ethernet ha evolucionado mucho en los últimos treinta y cuatro años. Se trata de un protocolo muy popular en el entorno de la red de área local; no obstante, los directores y responsables de departamentos de IT y telecomunicaciones están cada vez más interesados en la

superioridad técnica de Ethernet con respecto a otros estándares de red (tales como ATM, *Frame Relay* e IP VPN). Cada vez está más extendida la idea de que Ethernet en la red extensa ofrece las mismas ventajas que Ethernet en la red de área local en cuanto a rentabilidad, alta velocidad y flexibilidad.

La popularidad que ha alcanzado Ethernet se debe en gran parte a que aquellas empresas que desean desarrollar aplicaciones que necesitan un ancho de banda mayor están abandonando las tecnologías tradicionales como TDM, *Frame Relay* o ATM. Según un estudio realizado recientemente por IDC¹⁵, el gasto en tecnología Ethernet pasará de los 1.168 millones de dólares invertidos en 2005 a 3.400 millones de dólares estadounidenses, en 2009 en Europa. Para entonces, Ethernet habrá sustituido a las líneas dedicadas punto a punto tradicionales y representará el 20% del gasto en servicios WAN en toda Europa, una de las regiones más industrializadas y sofisticadas del mundo.

Aunque gran parte de la demanda de servicios Ethernet sigue centrándose en los servicios punto a punto tradicionales que sustituyen las líneas dedicadas, el sector de mayor crecimiento será el de las redes Ethernet todos-con-todos y de punto a multipunto, como se puede observar en la figura 2.1, que ofrecen servicios VPN de gran ancho de banda a un coste relativamente bajo. A medida que se va desarrollando el mercado Ethernet atrae cada vez más a clientes que antes no podían acceder a la contratación de servicios de gran ancho de banda.

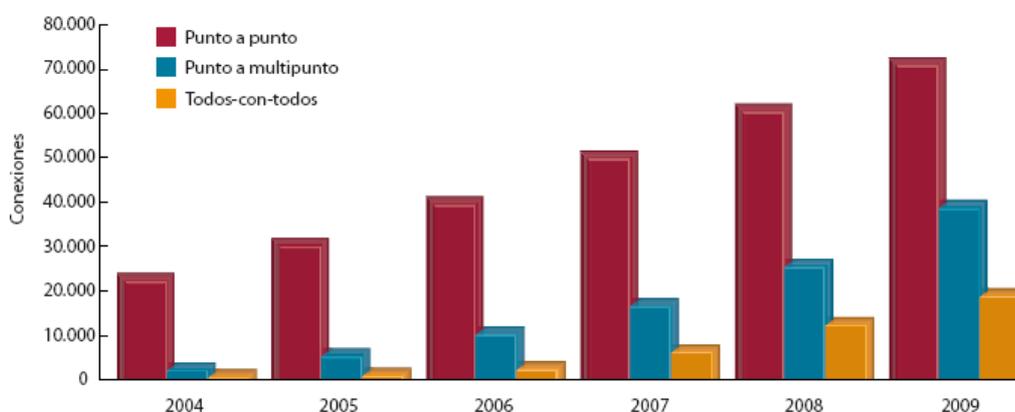


Figura 2.1 Conexiones Ethernet en Europa Occidental por tipo de topología [22]
Fuente: IDC

¹⁵ IDC es el principal proveedor global de inteligencia de mercado, servicios de asesoría y eventos para los mercados de tecnologías de la información, telecomunicaciones y tecnología de consumo.

A pesar de que las tradicionales redes de transporte se mantienen vigentes en el mercado de las Telecomunicaciones, la combinación de la necesidad de reducción de los costes en los departamentos de IT, la necesidad de mayores anchos de banda y el creciente conocimiento de las ventajas tecnológicas que ofrecen tecnologías tales como Metro Ethernet y MPLS que utilizan Ethernet como tecnología base han permitido que éstas tengan un gran auge en los países más industrializados, donde los grandes fabricantes han comenzado a desarrollar equipos y promocionar nuevos estándares que permitan la operación de estas tecnologías, tal es el caso de Nortel y Cisco, dos de las empresas más grandes en la fabricación de equipos de conectividad en el mundo. La inversión en Ethernet continuará durante los próximos dos años y se calcula que experimentará una fuerte demanda a largo plazo.

2.1.2 LAS REDES DE ACCESO A NIVEL MUNDIAL [24]

La evolución de las tecnologías de acceso ha facilitado el despliegue de las nuevas redes y servicios (redes de transporte) desde el punto de vista tecnológico, dentro del desarrollo del nuevo modelo de red. En el mundo actualmente existe una gran variedad de tecnologías disponibles para acceder al usuario final, que permiten incrementar la capacidad por abonado. Así se tiene tecnologías de acceso guiadas y no guiadas, como se mencionan a continuación.

a) Tecnologías sobre Cable:

- **Bucle digital de abonado (xDSL):** Bajo las siglas xDSL se agrupan un conjunto de tecnologías que, utilizando códigos de línea y técnicas de modulación adecuados, permiten transmitir regímenes de datos de alta velocidad sobre el par trenzado telefónico. En el año 2002, el total de líneas HDSL instaladas mundialmente se estimó en 12,6 millones. Los precios de una línea HDSL, incluyendo equipo lado central y equipo lado usuario pueden oscilar entre 550 y 1.000 euros, variando mucho por volúmenes de

compra y mercado. ADSL es una tecnología muy madura con 32 millones de líneas desplegadas a finales del 2002.¹⁶

- **Redes híbridas de fibra y cable (HFC):** Las redes HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*) son una evolución de las redes de distribución de televisión por cable coaxial. Las redes HFC han hecho posible la transmisión de información desde el usuario hacia la cabecera. Esto se consigue por división en frecuencia, convirtiendo los amplificadores del coaxial en bidireccionales, dedicando la parte baja del espectro (de 5 a 50 MHz aproximadamente) en transmisión en sentido ascendente. La tendencia de las operadoras de cable es la progresiva sustitución de la planta de coaxial por fibra óptica, acercando la fibra hacia el usuario. En las nuevas operadoras, lo habitual es desplegar la red troncal con fibra óptica y la red de distribución con coaxial. A medida que los equipos ópticos sean más asequibles, más se acercará la fibra óptica al usuario.

- **Fibra óptica (FTTx):** Dentro de la familia de tecnologías FTTX (*Fiber to the X*) se agrupan una serie de técnicas de acceso basadas en el empleo de fibra óptica hasta las proximidades del abonado. Los miembros de esta familia se diferencian fundamentalmente en el grado de proximidad alcanzado. Así, cuando el despliegue de la fibra llega hasta la casa del abonado, se habla de la tecnología FTTH (*Fiber to the Home*), también conocida como fibra directa hasta el hogar o bucle local de fibra. Siguiendo la misma filosofía, pero con alcances de fibra menores, se encuentran las tecnologías de fibra hasta la acera (*Fiber to the Curb*, FTTC) o fibra hasta el edificio (*Fiber to the Building*, FTTB).

- **Comunicaciones por línea eléctrica (PLC):** Las líneas eléctricas son las redes con mayor capilaridad que existen, ya que llegan a cada enchufe de cada hogar. Esto permite que la tecnología PLC (*Power Line Communications*) pueda aplicarse tanto en la red pública como en el interior

¹⁶ *Access Systems: Western Europe, y Asia Pacific 1995-2004, Market Statistics*, estimaciones del Grupo Gartner.

de los hogares. La estructura de la red eléctrica se divide en tres niveles a modo de estructura arbórea, en la que el medio es compartido por un elevado número de usuarios.

Las comunicaciones a través de líneas eléctricas requieren de módems especiales en las dependencias de los usuarios, y de concentraciones en las estaciones transformadoras de baja tensión, donde se realiza la conexión a los proveedores de telecomunicaciones.

- **Ethernet en la primera milla (EFM):** El acrónimo EFM significa *Ethernet First Mille* y sirve para designar una tecnología que propugna la conexión de ordenadores extremo a extremo de una red de telecomunicaciones mediante el protocolo Ethernet. Los principales motivos por los que se apuesta en esta tecnología son, en primer lugar por la amplia implantación del protocolo Ethernet en la mayoría de las redes informáticas y a la interoperabilidad demostrada entre equipos de diferentes proveedores. La tecnología EFM permite ofrecer un abanico muy amplio de servicios de comunicaciones como la telefonía, la transmisión de datos a gran velocidad, el acceso a Internet, los servicios interactivos, la videoconferencia, las aplicaciones p2p (*peer-to-peer*).¹⁷

b) Tecnologías Inalámbricas: Dentro de la denominación común de redes fijas de acceso inalámbrico pueden encontrarse diferentes tecnologías cuyo objetivo último es abaratar los costes de despliegue de una nueva red de telecomunicaciones en uno de sus aspectos más onerosos: el bucle de abonado, o como se le conoce en el mundo anglosajón, la última milla.

- **Bucle inalámbrico (LMDS):** Esta tecnología tiene sus antecedentes en los servicios de difusión que se pusieron en funcionamiento en los EE.UU. en la década de los 70, utilizando la banda de 2 GHz. Posteriormente se convirtió el servicio en bidireccional y se amplió la anchura de banda disponible utilizando la banda de los 3 GHz, dando lugar al servicio conocido bajo las

¹⁷ Para ampliar la información se puede revisar el Estándar IEEE 802.3ah en el Capítulo 1

siglas MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*). En la actualidad, la tecnología continúa evolucionando y se están diseñando sistemas que funcionan en las bandas de 35 GHz e incluso 42 GHz, ampliando considerablemente la capacidad efectiva disponible para los usuarios. Estos avances se complementan además con técnicas adaptativas en modulación y detección y corrección de errores que incrementan el caudal efectivo disponible para los usuarios.

- **Redes locales inalámbricas (WLAN):** Las redes inalámbricas son utilizadas actualmente en ámbito local. Existen diferentes proyectos para la implantación de este tipo de redes en colectivos y áreas de gran alcance (WiMAX), pero por sus factores negativos e inconvenientes se ve que solo complementan algunas utilidades de los requerimientos de los usuarios residenciales y/o de empresa.

A pesar de que existían enormes expectativas en cuanto al mercado potencial que podría ser cubierto por tecnologías de bucle de abonado inalámbrico, lo cierto es que dichas expectativas no parecen estar cumpliéndose en ningún ámbito.

2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR Y PRINCIPALMENTE EN LA CIUDAD DE QUITO

2.2.1 EVOLUCIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES [25]

Para una aproximación objetiva al presente y futuro de las telecomunicaciones en el Ecuador, se deberá repasar algunos hechos que han determinado y determinan la situación actual de este estratégico sector que ha registrado crecimientos muy significativos.

La historia moderna de las telecomunicaciones en el Ecuador, arranca hace 35 años (ver figura 2.2), cuando en octubre de 1972, se crea el Instituto Ecuatoriano

de Telecomunicaciones (IETEL). Transcurrieron 20 años, sin ningún cambio en la estructura regulatoria. El 10 de agosto de 1992, se expide la Ley Especial de Telecomunicaciones mediante la cual se reestructura el sector, determinándose que los servicios básicos de telecomunicaciones se mantienen como un monopolio exclusivo del Estado a través de EMETEL, empresa que reemplaza al IETEL. Con esta ley también se separan las funciones de operación de las de regulación y control, para ello se crea la Superintendencia de Telecomunicaciones.

El 30 de agosto de 1995 se transforma la Empresa Estatal de Telecomunicaciones EMETEL en la sociedad anónima EMETEL S.A, pasando las acciones del Estado al Fondo de Solidaridad. Para facilitar la venta de las empresas el 18 de noviembre de 1997 se inscribió en el Registro Mercantil la escritura de escisión de EMETEL S.A. en dos compañías operadoras ANDINATEL S.A. y PACIFICTEL S.A.

Tras esta evolución, bajo la Reforma de la Ley Especial de Telecomunicaciones, en la actualidad, los organismos encargados de la administración, regulación y control del Sector de Telecomunicaciones en Ecuador son los siguientes:

- La regulación del Sector de Telecomunicaciones la realiza el Estado a través del Consejo Nacional de Telecomunicaciones - CONATEL y la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones SENATEL.
- Los servicios de radiodifusión y televisión son regulados por el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión - CONARTEL, en virtud de la Ley de Radiodifusión y Televisión publicada el 18 de abril de 1975, reformada el 9 de mayo de 1995 y el 7 de noviembre de 2002.
- El control, tanto de los servicios de telecomunicaciones como de radiodifusión y televisión lo realiza la Superintendencia de Telecomunicaciones – SUPTEL, actualmente denominada SUPERTEL.

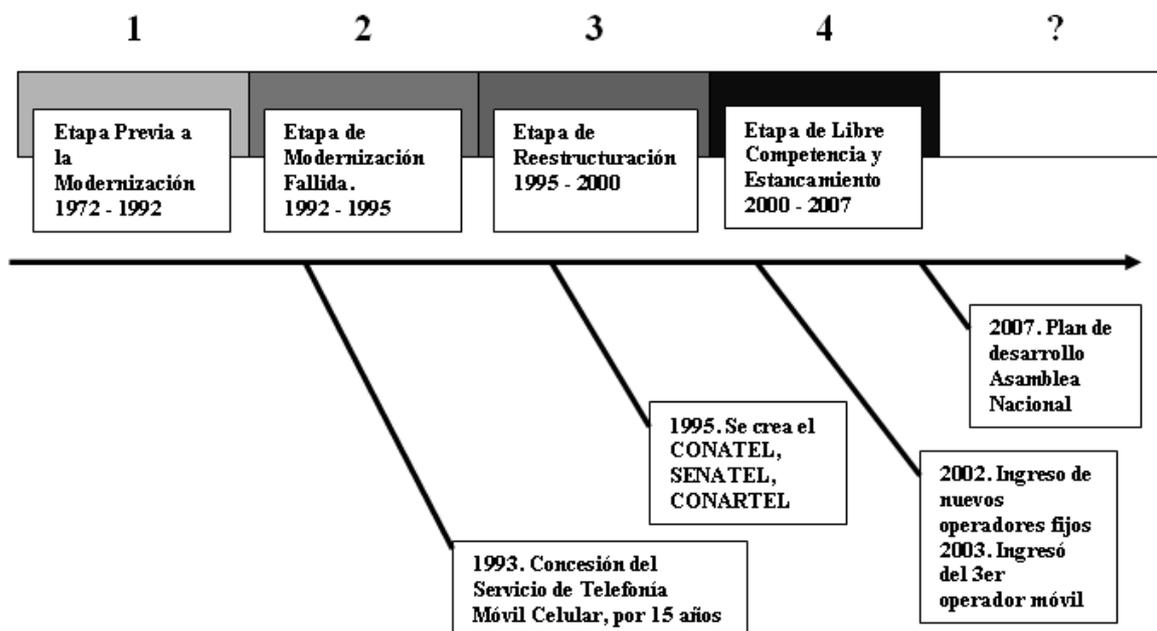


Figura 2.2 Etapas de las Telecomunicaciones en Ecuador [25]

2.2.2 ANÁLISIS DEL MERCADO DE TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR [26]

El sector de las Telecomunicaciones es un sector estratégico en el desarrollo social y productivo del Ecuador; así en el 2005 aportó con el 3.8% al PIB (Producto Interno Bruto) versus el 1.1% del año 1996. Ha sido uno de los sectores más dinámicos de la economía ecuatoriana en la última década, con un crecimiento explosivo entre 1995 y 1998. Asimiló la crisis de 1999 mejor que la mayoría de sectores y luego, a partir de la dolarización de la economía, ha mantenido en promedio tasas de crecimiento significativas.

Existe un mercado ampliamente competitivo para la prestación de estos servicios en el país en donde no existe posición de dominio por parte de ninguno de los agentes del mercado, aunque por supuesto entre los operadores especializados existen empresas con una participación importante.

El Ecuador con 13,5 millones de habitantes, un PIB de US\$ 36.243 millones y un PIB per cápita de US\$ 2.743, tuvo a finales de 2005 un tamaño del mercado de telecomunicaciones de 1.383 millones de dólares, representando el 3,8% del

Producto Interno Bruto nacional. Para el año 2010 se estima que este mercado alcanzará los 1.834 millones de dólares, con un crecimiento anual acumulado cercano al 5.8%.

A continuación se analiza la evolución y los cambios que ha tenido la distribución del mercado de telecomunicaciones en el Ecuador, mediante las figuras 2.3 y 2.4.

- En el año 2001 los ingresos del mercado de la telefonía fija representaban el 60% del mercado total de telecomunicaciones; la telefonía móvil representaba el 31%, y el restante 9% lo ocupó el Internet y Datos, como se puede observar en la figura 2.3.

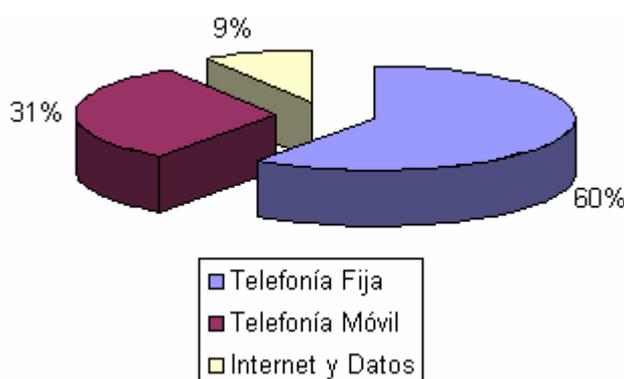


Figura 2.3 Distribución de los Ingresos del Mercado Ecuador – año 2001 [26]

Fuente: ASETA (Asociación de Empresas de Telecomunicaciones de la Comunidad Andina)

- En el año 2004 los ingresos de la telefonía móvil, fueron el doble de los ingresos del mercado de la telefonía fija; y a finales del 2005 los ingresos de la telefonía móvil representaron el 68% del mercado total, los de la telefonía fija el 27% e Internet, datos y otros el 5%.

Se considera que para el 2010 la telefonía móvil seguirá liderando el mercado con el 61% de participación y el mercado de Internet empezará a tener una importante participación del 10%. Al igual que la tendencia global, se destaca la caída del mercado de larga distancia internacional, a una razón del 5% anual, debido al tráfico ilícito y a la telefonía IP.

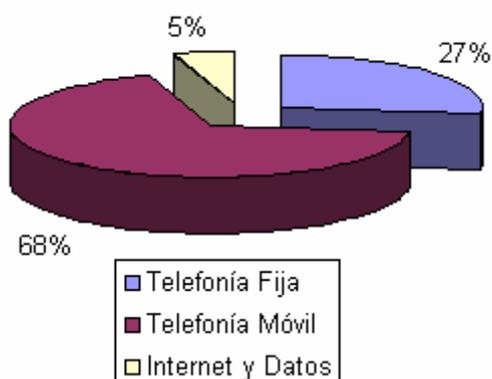


Figura 2.4 Distribución de los Ingresos del Mercado Ecuador – año 2005 [26]

Fuente: ASETA

2.2.3 LOS SERVICIOS PORTADORES EN EL ECUADOR

Antes de analizar los servicios portadores o *carriers* en el Ecuador se revisará la definición que se ha planteado según los organismos de control de las Telecomunicaciones en el país.

La Superintendencia de Telecomunicaciones ha definido los Servicios Portadores de la siguiente manera:

“Los servicios portadores son servicios que proporcionan al usuario una capacidad necesaria para el transporte de información, independientemente de su contenido y aplicación, entre dos o más puntos de una red de telecomunicaciones. Se pueden prestar bajo dos modalidades: redes conmutadas y redes no conmutadas.”

“Estos servicios ofrecen al usuario la capacidad necesaria para la transmisión de signos, señales, datos, imágenes, sonidos, voz e información de cualquier naturaleza entre puntos de terminación de red especificados, los cuales pueden ser suministrados a través de redes públicas propias o de terceros, de transporte y de acceso, conmutadas o no conmutadas, físicas, ópticas y radioeléctricas tanto terrestre como espaciales.”

Los operadores de servicios portadores registrados en la SUPERTEL a mayo del 2008 se muestran en la tabla 2.2.

OPERADOR	COBERTURA
ANDINATEL S.A.	TERRITORIO NACIONAL
CONECEL S.A.	TERRITORIO NACIONAL
ECUADORTELECOM S.A.	TERRITORIO NACIONAL
EL ROSADO S.A.	TERRITORIO NACIONAL
ETAPA	CANTÓN CUENCA
ETAPATELECOM S.A.	TERRITORIO NACIONAL
GILAUCO S.A.	TERRITORIO NACIONAL
GLOBAL CROSSING S.A.	TERRITORIO NACIONAL
GRUPO BRAVCO CIA. LTDA.	TERRITORIO NACIONAL
MEGADATOS S.A.	TERRITORIO NACIONAL
NEDETEL S.A.	TERRITORIO NACIONAL
OTECEL S.A.	TERRITORIO NACIONAL
PACIFICTEL S.A.	TERRITORIO NACIONAL
PUNTONET S.A.	TERRITORIO NACIONAL
QUICKSAT S.A.	TERRITORIO NACIONAL
SETEL S.A.	TERRITORIO NACIONAL
SURATEL SA.	TERRITORIO NACIONAL
TELCONET S.A.	TERRITORIO NACIONAL
TELECSA S.A.	TERRITORIO NACIONAL
TELEHOLDING S.A.	TERRITORIO NACIONAL
TRANSELECTRIC S.A.	TERRITORIO NACIONAL
TRANSNEXA S.A.	TERRITORIO NACIONAL

Tabla 2.2 Operadores de Servicios Portadora mayo del 2008 Fuente: SUPERTEL

La evolución registrada de este sector en el país muestra un crecimiento exponencial tanto en usuarios como enlaces; así según información de la SUPERTEL en septiembre del 2003 se tenían 1.996 usuarios de servicios portadores y 5.316 enlaces, mientras que en septiembre del 2007 se tenían 63.449 usuarios y 89.877 enlaces como se puede observar en la tabla 2.3.

FECHA	NÚMERO DE USUARIOS	NÚMERO DE ENLACES
Septiembre 2003	1.996	5.316
Septiembre 2004	9.891	15.422
Septiembre 2005	21.109	32.604
Septiembre 2006	43.181	60.950
Septiembre 2007	63.449	89.877

Tabla 2.3 Usuarios y enlaces de servicios portadores 2003-2007 Fuente: SUPERTEL

Para tener una visión más clara del dinámico crecimiento que se ha registrado en los servicios portadores en el país, en la figura 2.5 se puede observar mediante un gráfico de barras el número de usuarios y número de enlaces en los cinco

últimos años. En el 2004 se registro un crecimiento del 495,54%, en el 2005 el crecimiento fue de 213,42%, en el 2006 fue de 204,56% y en el 2007 este crecimiento fue de 146,94%.

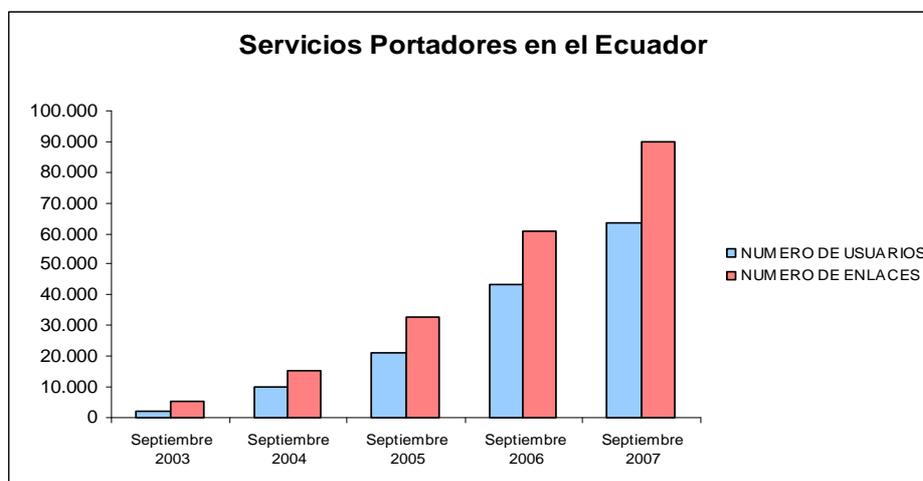


Figura 2.5 Usuarios y enlaces de servicios portadores 2003-2007 Fuente: SUPERTEL

A pesar del crecimiento registrado en los servicios portadores, la distribución de los usuarios en los operadores no ha sido equitativa.

OPERADOR	NUMERO DE USUARIOS	NUMERO DE ENLACES
ANDINATEL S.A.	17.163	28.352
CONECEL S.A.	282	922
ECUADORTELECOM S.A.	45	2.551
ETAPA	170	203
ETAPATELECOM S.A.	45	162
GILAUCO S.A.	2	9
GRUPO BRAVCO	6	29
GLOBAL CROSSING S.A.	675	2.933
MEGADATOS S.A.	487	1.360
NEDETEL S.A.	246	260
OTECEL S.A.	64	115
PACIFICTEL S.A.	99	643
PUNTONET S.A.	242	413
QUICKSAT S.A.	0	0
SETEL S.A.	1	1.869
SURATEL S.A.	42.362	45.907
TELCONET S.A.	1.502	3.126
TELECSA S.A.	1	509
TELEHOLDING S.A.	36	326
TRANSELECTRIC S.A.	9	119
TRANSNEXA S.A.	12	69

Tabla 2.4 Usuarios y enlaces de servicios portadores por operador a septiembre 2007

En la tabla 2.4 y en la figura 2.6 se puede observar que tan solo dos empresas (ANDINATEL S.A. y SURATEL S.A.) abarcan el 93,81 % de los usuarios totales, registrados a septiembre del 2007 según datos obtenidos de la SUPERTEL.

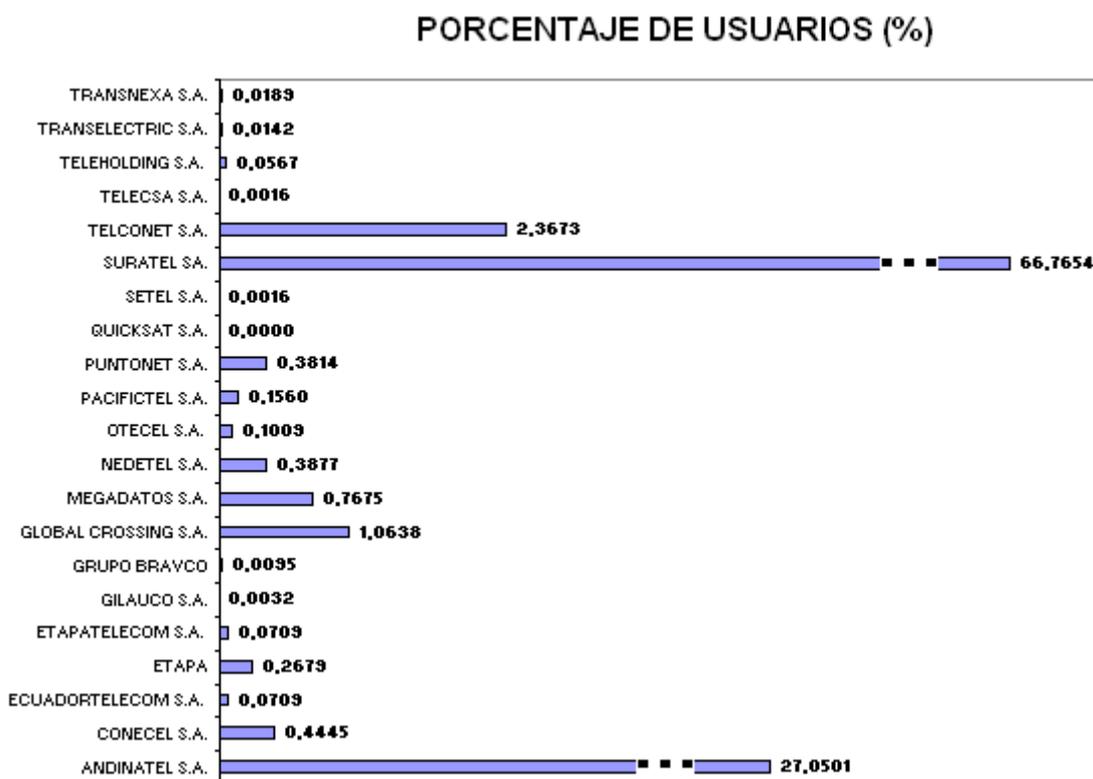


Figura 2.6 Porcentaje de usuarios de servicios portadores por operador a septiembre 2007

Fuente: SUPERTEL

2.2.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TELECOMUNICACIONES EN QUITO

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es símbolo y eje configurador de la nacionalidad ecuatoriana por su condición de Capital de la República del Ecuador, es un centro político, económico y de decisiones económico-financieras, administrativo, turístico, educativo y cultural de alcance nacional y regional.

La situación actual de Quito, es un reflejo del crecimiento del mercado de Telecomunicaciones del país, debido a que gran parte del mismo se concentra en esta ciudad, donde se encuentra el 31% de las sociedades registradas en el país.¹⁸

¹⁸ Fuente: Superintendencia de Compañías 2004.

El Municipio del DMQ, también ha desarrollado y está implementando varios proyectos tecnológicos para la incorporación de las TIC en la Administración Pública que permita mejorar la gestión y atención a los ciudadanos, entre los principales se tienen:

- **Gobierno Digital:** información y servicios en línea.
- **Cybernarios:** telecentros comunitarios dirigidos.
- **Educ@net** telecentros escolares y comunitarios para el aprendizaje, la investigación y servicios en línea.
- **Memoria Digital:** manejo integrado de la memoria institucional pública y privada, y preservación y difusión del acervo patrimonial.
- **Internet para Todos:** ampliación de la cobertura y accesibilidad a sistemas de comunicación y promoción del uso de computadores para negocios y uso doméstico.
- **Parque Tecnológico:** Es un complejo funcional e inmobiliario que porta una combinación de condiciones logísticas e infraestructurales; empresas productoras de bienes y/o servicios de alta tecnología; servicios empresariales avanzados; y, centros de investigación aplicada. Promueve el desarrollo empresarial y lo interrelaciona con el entorno en procesos de difusión y de transferencia de conocimiento.

2.2.4.1 Análisis de las tecnologías y operadores de servicios portadores

En el DMQ, al igual que en el resto del país la concentración de usuarios de servicios portadores no está distribuida de forma equitativa, pues son pocas empresas proveedoras las que abarcan la mayor parte de usuarios. Por esta razón se analizarán las tecnologías que actualmente están siendo usadas o implementadas por estos operadores.

En nuestro país y por ende en la ciudad de Quito todavía se mantiene el uso de las redes de transporte tradicionales como son: TDM, *Frame Relay*, SDH y ATM, entre las principales. Sin embargo los portadores con mayor presencia ya están desarrollando proyectos para migrar sus redes hacia tecnologías muy versátiles

de gran ancho de banda e inclusive ya se están implementando pequeñas redes Metro Ethernet o redes con tecnología MPLS¹⁹.

Los proveedores de servicios portadores en Quito se muestran en la tabla 2.5.

OPERADOR	COBERTURA
ANDINATEL S.A.	TERRITORIO NACIONAL
CONECCEL S.A.	TERRITORIO NACIONAL
GRUPO BRAVCO	TERRITORIO NACIONAL
GLOBAL CROSSING S.A.	TERRITORIO NACIONAL
MEGADATOS S.A.	TERRITORIO NACIONAL
OTECCEL S.A.	TERRITORIO NACIONAL
PUNTONET S.A.	TERRITORIO NACIONAL
SETEL S.A.	TERRITORIO NACIONAL
SURATEL SA.	TERRITORIO NACIONAL
TELCONET S.A.	TERRITORIO NACIONAL
TELECSA S.A.	TERRITORIO NACIONAL
TELEHOLDING S.A.	TERRITORIO NACIONAL
TRANSELECTRIC S.A.	TERRITORIO NACIONAL
TRANSNEXA S.A.	TERRITORIO NACIONAL

Tabla 2.5 Operadores de servicios portadores en Quito a mayo 2008

Fuente: SUPERTEL

Como se puede observar la mayor parte de operadores de servicio de transporte o portadores que operan a nivel nacional lo hacen también en Quito, por lo que se revisarán las tecnologías que actualmente están empleando tres de los más importantes operadores.

a) TELCONET S.A.

Forma parte del grupo Telcodata que comenzó operaciones en 1981, vendiendo computadores. En 1995 se fundó Telconet el segundo ISP en Ecuador, en el

¹⁹ Telconet, Conecell, Suratel.

2001 adquiere licencia de portador de datos una vez que el mercado se abre a la competencia.

En el mes de enero del 2007, Telconet recibió el certificado ISO 9001 a su sistema de Gestión de Calidad. Actualmente cuenta con la siguiente infraestructura²⁰ (ver figura 2.7):

- **Red de Fibra Óptica 10 Gbps MPLS**

Dispone de 100 nodos en Guayaquil y 50 nodos en Quito, cerca de 200 Km de fibra óptica en Quito; está implementando tecnología MPLS en sus redes metropolitanas mediante VPN sobre túneles MPLS punto a punto.

- **Red SDH**

Red STM-1²¹ (155 Mbps) para enlaces Guayaquil – Quito, se mantiene la tecnología SDH.

- **Redes de Acceso**

Para el acceso Telconet ofrece tecnologías en DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), mediante red propia de cobre para soporte de VPN.

- También ofrece soluciones satelitales.

Esta empresa actualmente mantiene una considerable parte de mercado, tiene el 2,37% de los usuarios a nivel nacional. En Quito mantiene seis Zonas de Cobertura: Zona Quito Tenis, Zona González Suárez, Zona Urbanización La Granja, Zona Cumbayá, Zona Valle de los Chillos y Zona Tumbaco.

²⁰ Información obtenida de Telconet.

²¹ STM-1 (*Synchronous Transport Module*), Módulo de Transporte Síncrono; es la unidad de transmisión básica de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH), correspondiente al primer nivel básico.

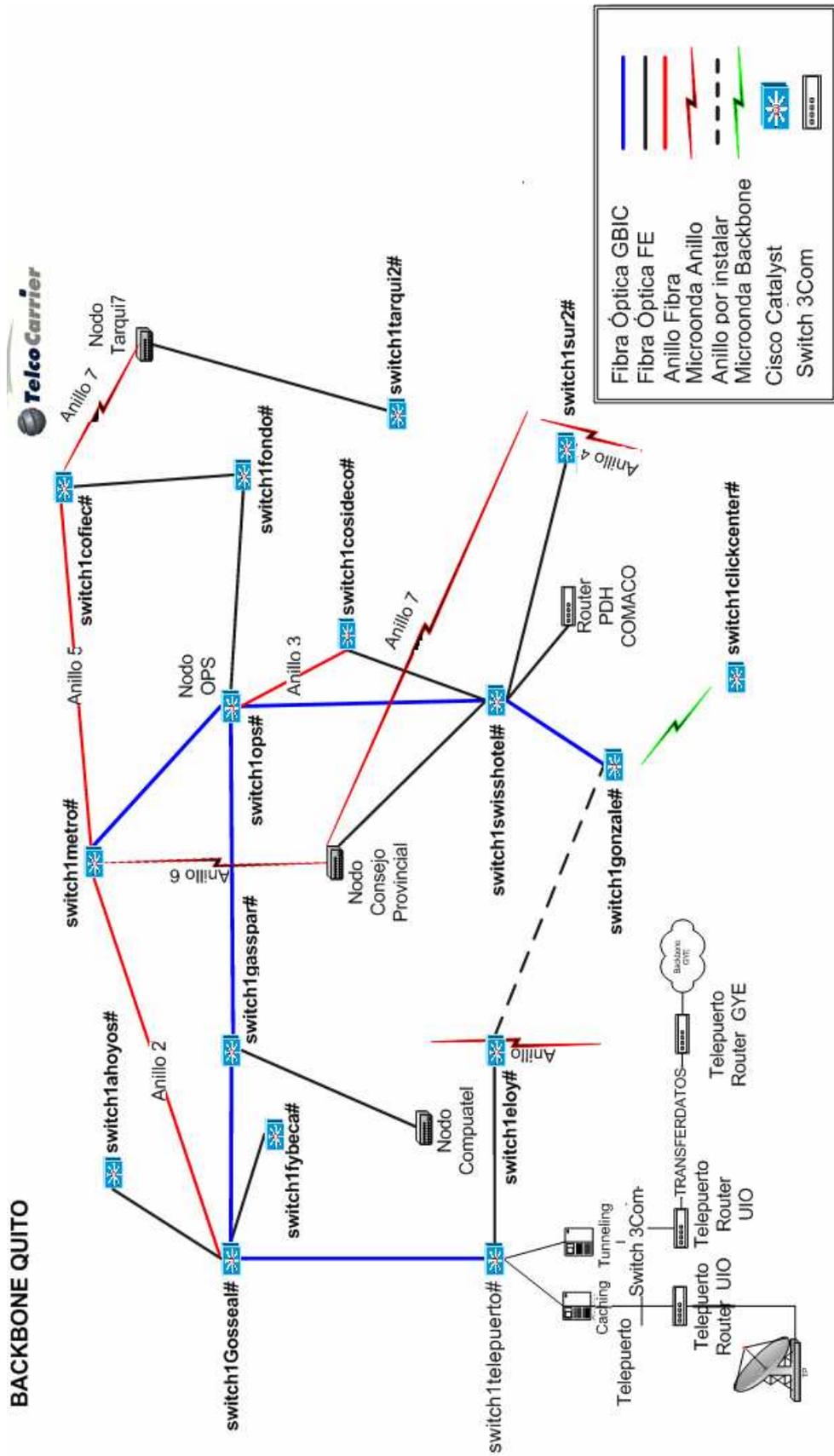


Figura 2.7 Backbone de Telconet para la ciudad de Quito

Fuente: TEL CONET S.A.

b) ANDINATEL S.A.²²

Andinatel S.A. se registró como compañía en noviembre de 1997 siendo su único accionista el Fondo de Solidaridad. Es una empresa de Telecomunicaciones que provee varios servicios, entre ellos los servicios portadores; en la actualidad su cobertura es a nivel nacional. En Quito dispone de un *backbone* con tecnología ATM que va sobre un sistema de transporte SDH con anillos de fibra óptica.

También ofrece servicios basados en otras tecnologías como:

- **TDM (*Clear Channel*)** para el transporte de información a través de la red WAN.
- **FRAME RELAY**, brinda servicios de conmutación con velocidad contratada mediante la tecnología *Frame Relay*, este servicio está dirigido generalmente a planes corporativos.
- Andinatel al tener instalada toda su red de telefonía fija sobre cobre la aprovecha para integrar voz, datos y video de manera conmutada, mediante una forma totalmente digital con tecnologías **ISDN**.
- Para las tecnologías de acceso principalmente, tiene implementada tecnologías y equipos **xDSL - x DIGITAL SUSCRIBER LINE**, con un servicio punto-multipunto que consta de dos alternativas, ADSL y G.SHDSL.

Para la salida internacional el Ecuador se encuentra interconectado al cable Panamericano que se ubica frente a su costa continental y parte de Arica (Chile) y se desplaza a Lurín (Perú), Punta Carnero (Ecuador), Ciudad de Panamá y Colón (Panamá), Barranquilla (Colombia), Punto Fijo (Venezuela), Baby Beach (Aruba), Saint Croix (Islas Vírgenes de Estados Unidos) y Saint Thomas. El cable panamericano en Ecuador está contratado por las empresas estatales Andinatel y Pacifictel.

²² Información obtenida en Andinatel S.A.

c) SURATEL S.A.²³

La Compañía Suramericana de Telecomunicaciones SURATEL S.A. mantiene el contrato de Concesión para la Prestación de Servicios Portadores de Telecomunicaciones, formando parte del Grupo TVCABLE.

La infraestructura tecnológica que respalda a SURATEL es una Red de fibra óptica en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, y redes de cobre y equipos para la transmisión de datos en las ciudades de Quito, Ibarra, Ambato, Riobamba, Santo Domingo, Guayaquil, Machala, Cuenca, Manta y Portoviejo (ver figura 2.8).



Figura 2.8 Infraestructura Tecnológica de Suratel a nivel Nacional

Fuente: SURATEL

Las redes metropolitanas están montadas sobre un esquema de anillos formado por enlaces de fibra óptica con velocidades de *backbone* de STM-16 en los anillos que unen los puntos de concentración de enlaces de primera milla. Los mismos se encuentran estratégicamente distribuidos en las zonas comerciales de las

²³ Información obtenida en Suratel S.A.

ciudades de Quito y Guayaquil. Estas redes están basadas en Tecnología SDH con anillos de fibra (figura 2.9).

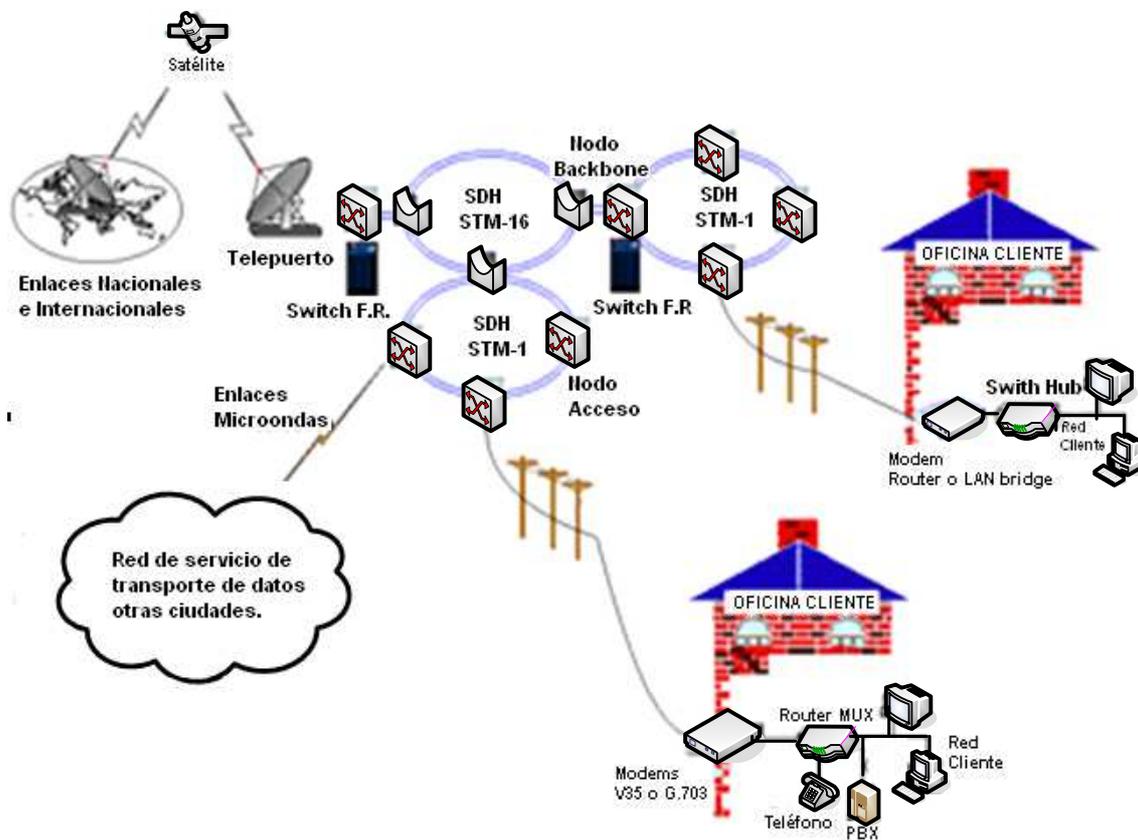


Figura 2.9 Infraestructura Tecnológica Base de Suratel en ciudades de cobertura

2.3 ARQUITECTURAS PARA EL DISEÑO DE REDES METRO ETHERNET [26][20]

El presente proyecto establece, la arquitectura de un Portador o *Carrier* Ethernet para un entorno multiproveedor y multiservicios. Los servicios ofertados pueden ser de nivel dos o superior, siendo siempre accesibles a través de Ethernet debido a la naturaleza de las redes de acceso y transporte.

Las redes portadoras son generalmente sistemas conformados por zonas bien definidas (ver figura 2.10), con funciones y equipos específicos. Se consideran las siguientes áreas:

- **Red de usuario o *Customer Edge*:** Es la red ubicada en las instalaciones del cliente, generalmente en el cuarto de comunicaciones, conformada por *switches* dispuestos para entregar servicios empresariales, o en el cuarto de máquinas de un edificio para los servicios residenciales. En aplicaciones residenciales FTTB, el *switch* puede también estar localizado en cabinas centrales dentro del vecindario.
- **Red de acceso o *Provider Edge*:** La red de acceso es la encargada del transporte de datos en la primera milla entre la red de usuario (CPE) y el Nodo de Acceso (que se encuentra normalmente en la *Central Office* (CO) o Punto de Presencia (POP) del Proveedor); mediante esta red se recibe, concentra y dirige los datos desde y hacia las redes de distribución y troncales de alta velocidad del proveedor.

Dependiendo del tamaño de la red y su despliegue geográfico, el proveedor de servicios debe lograr la agregación en uno o más puntos de acceso.

- **Red de concentración / distribución o *Provider Aggregation*:** Es la red conformada típicamente por Puntos de Presencia del proveedor que colecta el tráfico de varias COs para transferirlo a un servicio específico en el núcleo de la red del proveedor.
- **Red troncal o de *backbone* o *Provider Core*:** El *Provider Core* o núcleo del proveedor suministra la interconexión principal entre los distintos POPs del proveedor, así como el acceso hacia redes públicas, Internet, y salidas internacionales.

Si bien se habla de Ethernet como una única tecnología, en realidad se trata de un conjunto de estándares, todos ellos fácilmente interoperables, reafirmando a Ethernet como una buena opción en áreas metropolitanas, por su continua evolución y fácil compatibilidad con las redes existentes.

Se plantean dos estrategias de diseño, esencialmente diferenciadas por la tecnología usada en la red troncal o *core* del proveedor.

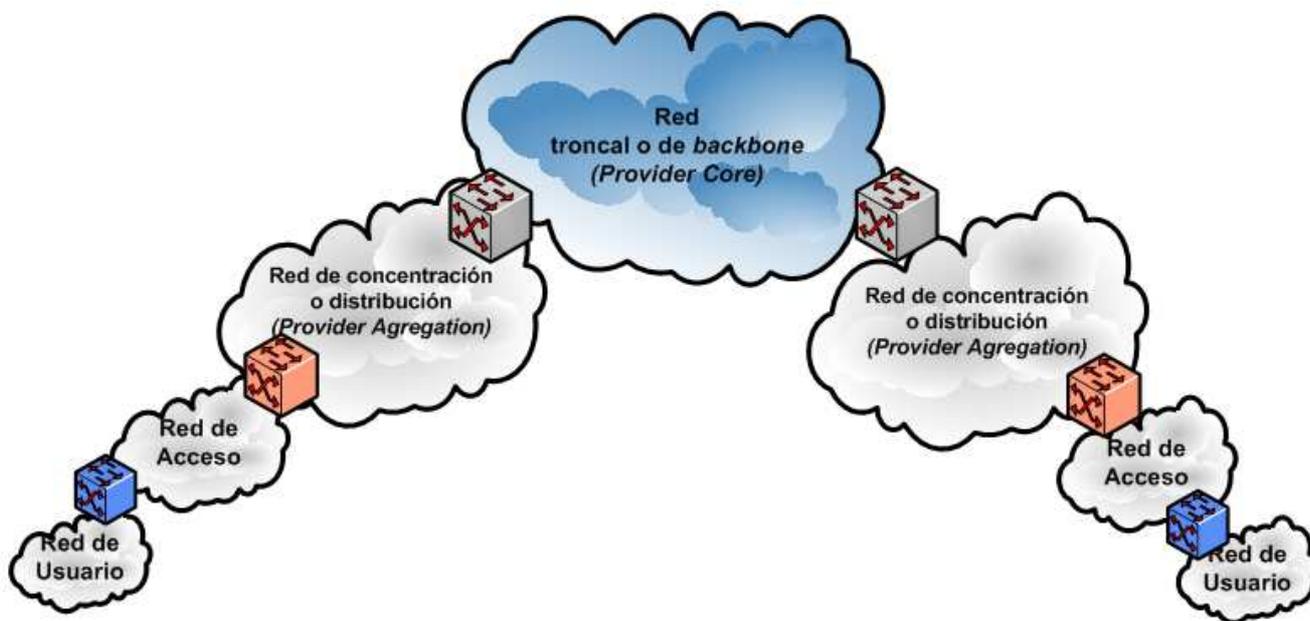


Figura 2.10 Áreas de una Red Portadora

Arquitectura Ethernet Híbrida: (la más difundida hasta el momento), un modelo basado en la convergencia de las redes metropolitanas Ethernet y las redes privadas virtuales (VPN) sobre troncales MPLS (*Multi Protocol Label Switching*), mediante VPNs multipunto de capa 2, o VPLS (servicios LAN privados virtuales) que ofrecen fácil ampliación del suministro de servicios en redes de área metropolitana y extendida. La ampliación se ve facilitada por la constitución y evolución de redes “core” basadas en MPLS, que permiten a los operadores aumentar el ancho de banda al tiempo que mantienen altos niveles de seguridad, conectividad y QoS sobre redes escalables y flexibles para ofrecer servicios de acceso a Internet, intranet, extranet y acceso remoto.

Arquitectura Ethernet Pura: Plantea un modelo de red orientado a servicios basado únicamente en Ethernet, tanto en el acceso como en el transporte, siendo ésta la única tecnología empleada extremo a extremo que garantiza la

diferenciación y marcado de servicios desde el acceso del cliente hasta su transporte nativo a nivel 2 en el propio núcleo de la red de alta capacidad.

Sus ventajas son la sencillez y escalabilidad al tener un único protocolo en toda la red, con capacidad para el tráfico de datos, voz y video.

Las dos arquitecturas planteadas manejan las mismas estructuras, tecnologías y protocolos para las redes de usuario, acceso y distribución, por lo que el estudio que se realice sobre estas redes será el mismo para los dos diseños. Se establece una marcada diferencia en el núcleo o *backbone* propuesto para cada arquitectura, debido a la tecnología y funcionamiento que presenta cada una de ellas.

2.3.1 RED DE USUARIO [1][28]

En el lado del abonado se considera un escenario de redes LAN Ethernet tradicionales. Todo este equipamiento de cliente es conocido como CPE (*Customer Premise Equipment*) que será a donde llegue la conexión de la red Metro Ethernet a través del UNI. El CPE será por lo tanto un *router, switch, etc.*

El UNI definido por Metro Ethernet es el conocido puerto Ethernet RJ45 o puerto de fibra óptica. Es decir que el proveedor de red Metro Ethernet llega hacia sus usuarios con un cable de red.

La tecnología base para acceder a servicios Ethernet multipunto, es IEEE 802.1Q para el tratamiento de redes virtuales, VLANs. Este estándar crea VLANs a través de la infraestructura LAN, permitiendo separar el tráfico de los distintos departamentos o grupos de trabajo del cliente. Dividiendo el tráfico difusivo por áreas contenidas y VLANs, se mejorará la administración, seguridad y disposición de la red del usuario. Cada VLAN es identificada por un *Q-tag*, conocido también como *VLAN tag* o *VLAN ID*, que diferencia el particionamiento lógico de la red para servir a diferentes comunidades de interés. Cada usuario tendrá la posibilidad manejar hasta 4096 diferentes VLANs en su red LAN.

En ocasiones dentro de una LAN pueden residir también redes más pequeñas y especializadas. Más notablemente, esas redes se utilizan para acceder a sistemas de almacenamiento, denominadas Redes de Área de almacenamiento (*Storage Area Network, SAN*)²⁴, o a dispositivos y sistemas con tecnología de Centro de Datos (*Data Center*)²⁵, *intranets* o *extranets*²⁶ y VPNs.

2.3.2 RED DE ACCESO [14][28]

Las redes de acceso juegan un papel destacado en el desarrollo de los nuevos servicios de conectividad y comunicación. Aunque no es el único condicionante, la red de acceso resulta determinante en la calidad de los nuevos servicios, pudiendo servir de instrumento catalizador o inhibidor del proceso global, en función de sus prestaciones.

Metro Ethernet analiza como tecnología de acceso, la labor llevada a cabo tanto por el IEEE 802.3ah EFM como por el *Metro Ethernet Forum*, cuyo objetivo es crear y promocionar juntos un estándar que garantice la total interoperabilidad. El grupo del IEEE se encarga de la definición del estándar que emplea la tecnología Ethernet como red de acceso, mientras que el MEF se encarga de preparar el mercado para la futura explotación del estándar.

La visión del grupo de trabajo EFM es un acceso universal de banda ancha haciendo uso de una tecnología simple extremo a extremo, creando servicios y aplicaciones ilimitadas de banda ancha.

El resultado es un acceso varias veces superior, sin complejidad y sin posibles errores en la conversión de protocolos.

²⁴ Una red de área de almacenamiento (SAN) es una red de alto rendimiento dedicada, que mueve datos entre servidores y recursos de almacenamiento. Como es una red separada, evita cualquier tráfico conflictivo entre clientes y servidores. Permite una conectividad de alta velocidad servidor-a-almacenamiento, almacenamiento-a-almacenamiento, o servidor-a-servidor.

²⁵ Un Centro de Datos es una red globalmente coordinada de dispositivos designados para acelerar la distribución de información LAN por la infraestructura MAN o WAN, como Internet.

²⁶ Las *intranets* están diseñadas para que accedan a ellas los usuarios que tienen privilegios de acceso a una LAN interna de la empresa. Una *extranet* es una *intranet* parcialmente accesible para los foráneos autorizados.

Como tecnología de acceso Ethernet, EFM permite superar el “cuello de botella” que presentan actualmente el resto de tecnologías de primera milla (PSTN/ISDN, xDSL, cable coaxial, T1/E1, T3/E3 o OC3/STM-1).

Al ser EFM una solución válida para distintas arquitecturas, entornos y medios físicos, la red de acceso podría ser de tres topologías según el tipo de usuario y entorno en el que éste se mueva (empresas, campus universitario, oficinas, etc.). Se podrá elegir entre las modalidades: cobre de punto a punto sobre una planta de cobre instalada; fibra óptica de punto a punto; y fibra de punto a múltiples puntos, correspondientes a EFM *Copper*, EFM *Fiber* y EFM PON, respectivamente.

El servicio de acceso Metro Ethernet permitirá ofrecer ancho de banda altamente escalable en incrementos flexibles, administración simplificada, y aprovisionamiento rápido y de bajo costo. La capacidad de transmisión puede ser aumentada o disminuida en forma precisa según la demanda, desde menos de 1 Mbps a velocidades de múltiples Gbps, con control de *software*, que permite también realizar cambios en los requerimientos de QoS.

Ethernet se convertiría en un claro competidor de la tecnología ADSL en el acceso de banda ancha en el hogar puesto que goza de ventajas muy importantes frente a la Línea Digital de Abonado Asimétrica convencional que se podrían reducir a tres: es simétrico, alcanza mayores velocidades y funciona también sobre cables de cobre.

Las mejoras de la especificación IEEE 802.3ah en comparación con anteriores versiones de Ethernet y con ADSL garantizan por sí solas el éxito de esta tecnología. “Para empezar, existen especificaciones desde 2 Mbps hasta 10.000 Mbps, es decir, que es muy escalable en velocidades. Funciona utilizando tanto par de cobre como fibra, de modo que con los pares de cable se soportan velocidades de 2 Mbps a 1 Gbps, mientras que al emplear fibra óptica la velocidad se dispara de 100 Mbps hasta 10 Gbps. En segundo término, a diferencia del ADSL que proporciona una velocidad asimétrica (de 256 Kbps a 512 Kbps),

Ethernet es capaz de facilitar una velocidad equilibrada, característica clave para el soporte de voz. En tercer lugar, permite emplear los mismos cables que la telefonía, es decir, funciona sobre el par telefónico, una novedad con respecto a las versiones anteriores de Ethernet hasta 10 Gigabit Ethernet.”²⁷

Uno de los aspectos más importantes que introduce EFM es una correcta definición de la gestión para redes Ethernet OAM (*Operation, Administration and Management*), con la que no contaba hasta ahora Ethernet. Incluye métodos para redes de cobre y fibra óptica de gestión y monitorización de enlaces y problemas de caídas en el servicio. Aunque ya existía previamente una definición OAM en Ethernet, 802.3ah las extiende y adapta para los escenarios de operación del EFM. Los procedimientos soportados incluyen monitorización, pruebas de *loopback*, detección de fallas y aislamiento.

La red de acceso, o Primera Milla de usuario, tiene su límite en el borde de la red del proveedor, donde se encuentran los primeros equipos que forman parte de la red de concentración.

2.3.3 RED DE CONCENTRACIÓN, DISTRIBUCIÓN O AGREGACIÓN [15][16] [28]

La misión de esta red es establecer la conectividad entre el usuario que llega por la red de acceso y el *backbone* o red troncal.

IEEE 802.1Q funcionará bien dentro de los confines de una sola organización de cliente, pero existen mayores necesidades cuando se trata de entregar servicios de proveedor a múltiples usuarios finales con una infraestructura de red compartida. Surgen inconvenientes porque las empresas tienen que mantener el control sobre la administración y asignación de sus propias VLANs, al mismo tiempo que el proveedor de servicios debe garantizar que las *Q-tags* de cada cliente no se superpongan entre ellas.

²⁷ Cita de Morales Barroso, miembro de la IEEE. Tomada del artículo Ethernet llega hasta el salón de nuestros hogares, www.redestelecom.com

Adicionalmente, la etiqueta VLAN que consiste de 12 bits, permitirá crear únicamente 4.094 instancias de servicio²⁸, que son suficientes para una LAN, pero no ofrecen la escalabilidad necesaria para soportar servicios Ethernet en áreas metropolitanas.

Para solventar estos problemas se introduce en la red de distribución, situada en el borde de la red del proveedor, una extensión de VLAN en el estándar IEEE802.1ad que proporcionará una separación real entre las VLANs del cliente (C-VLAN) y las VLANs del proveedor (S-VLAN), permitiendo a los proveedores disponer de su propio espacio de VLANs sin afectar el uso que los clientes hagan de dicho campo en sus respectivas LANs.

Este estándar, también conocido como Q-in-Q, permite el desarrollo de lo que se conoce como redes conmutadas de proveedor (*Provider Bridges PB*), las cuales definen dos zonas: la red de cliente y la red de proveedor. Esto permite solventar el problema de escalado de la red en dos aspectos, admite a los clientes mantener sus propias VLANs e independiza la red de proveedor de la red de cliente. De no ser así el proveedor tendría que acordar previamente con los clientes el uso que se de las VLANs, cuáles podría utilizar cada uno y de qué forma van a ser gestionadas por el proveedor.

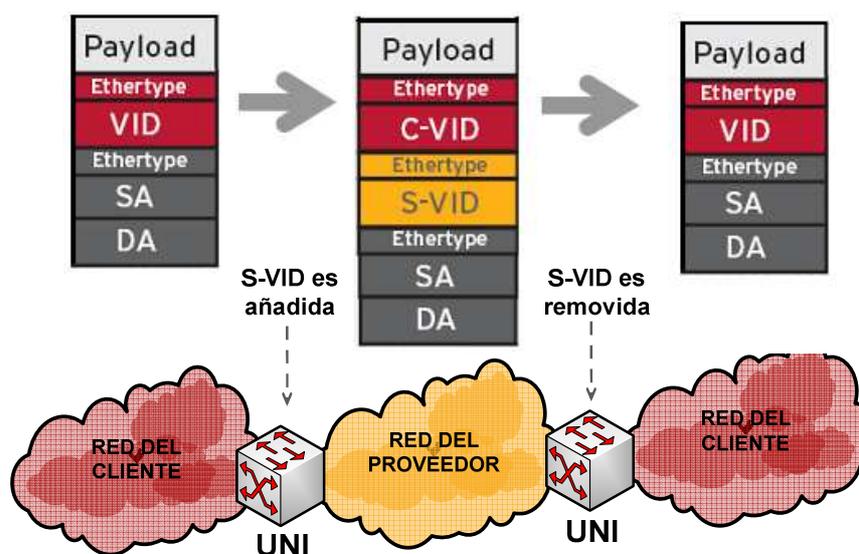


Figura 2.11 Funcionamiento de IEEE 802.1ad [28]

²⁸ Existen 4096 IDs de servicio disponibles, pero dos de ellas están reservadas para administración.

IEEE 802.1ad funciona simplemente añadiendo un VLAN ID del proveedor (S-VID) a la trama Ethernet del cliente, ver figura 2.11. Esta nueva etiqueta S-VID es usada para identificar un servicio en la red del operador, mientras la VLAN-ID del cliente (C-VID) permanece intacta, e inalterable dentro de la red del proveedor. Esto resolverá los problemas de transparencia que 802.1Q traía consigo.

En la figura 1.11 se describió la composición de una trama IEEE 802.1ad en la que confluirán tanto identificadores C-VLAN como S-VLAN.

Todo el proceso de *stacking* se llevará a cabo en los *Provider Bridge* los cuales recibirán por sus diferentes interfaces de cliente referencias de servicios que en la red de cliente se conciben sobre un único interfaz. Poseen una componente VLAN *Bridge* que permite la definición de servicios asociados a un identificador VLAN, la S-VLAN con un nuevo S-VID identificable desde el lado del operador de acceso.

Por último, todo PB establecerá el campo de prioridad regenerado sobre el *S-TAG* establecido, es decir, la adaptación de las prioridades en la red del cliente a las que conoce y soporta el proveedor de servicios.

2.3.3.1 Instancias de Servicio en la Red de Agregación o *Provider Bridge Network* (PBN) [17]

El funcionamiento de toda PBN es transparente, por diseño, a los CE del cliente y sus LAN asociadas. Debe ser transparente al uso de servicios MAC por las estaciones finales conectadas a los CE-LAN y transparente a la operación del método de acceso al medio.

Con IEEE 802.1ad un proveedor de servicios puede ofrecer a un cliente uno o más tipos de interfaces de servicio. Cada uno con diferentes capacidades para la selección de un servicio, selección de prioridad y protección en el acceso al servicio. Algunas interfaces de servicio se proporcionan por los sistemas de provisión (operativos) del proveedor de servicio incluyendo componentes C-VLAN, o por los sistemas de provisión de cliente que incluyen componentes S-VLAN. En todos los casos la segregación de diferentes instancias de servicio se alcanza en

un interfaz, plenamente bajo el control del proveedor de servicios con parámetros de autenticación enlazados con el CE, así como con la verificación de los parámetros de provisión de cliente que el proveedor define con la instancia de selección correspondiente.

2.3.3.2 Segregación de Instancias de Servicio

La separación de las diferentes tramas de datos asociadas con diferentes instancias de Servicios MAC se alcanza con su asociación unívoca a una S-VLAN asegurando que:

- No se aceptarán tramas sin etiquetas, sin *S-TAG*, es decir, sin selección ni identificación previa de la instancia de servicio.
- El control de cada S-VLAN será del proveedor de servicios.
- Para la diferenciación de instancias de servicio se podrá tener dos casos diferentes.
 - Existirá una identificación de instancia de servicio basada en puerto a través de PVID²⁹ que se hará corresponder con la S-VID del servicio instanciado.
 - Será el e-PB el que tendrá la inteligencia, para mediante sus tablas asociar primeramente tráfico recibido de cada equipo de cliente, identificado con puertos lógicos que se asocian al interfaz de interconexión con el propio e-PB. En este punto, cada VLAN procedente del CE se asocia con una C-VLAN. De este modo la instancia de servicio se va a seleccionar con las interfaces de servicio *C-tagged*.

La componente C-VLAN usa el C-VID para el intercambio de tramas internas dentro del PB. De igual modo el control y gestión de la asociación lo tendrá que

²⁹ Son los mismos 12 bits del C-VID que se usará para las tramas sin etiquetar recibidas en los puertos de *Edge Provider Bridge*.

llevar a cabo usando la tabla de registro de C-VID partiendo de la identificación 802.1Q.

2.3.4 RED TRONCAL O DE *BACKBONE*

Aunque hasta este punto, Q-in-Q apoya una jerarquía de tres niveles, el proveedor de servicios se encontraría limitado todavía sólo a crear 4.094 VLANs de cliente, que es insuficiente para redes de zonas metropolitanas y regionales. Adicionalmente se debe garantizar la fiabilidad, y gestión de los servicios multimedia que las empresas demandan.

Pretendiendo solventar estos desafíos en el núcleo de la red, se presentan las opciones que se describen a continuación.

2.3.4.1 *Backbone* con VPLS sobre MPLS (Híbrido) [20]

Esta alternativa se basa en tener un *backbone* MPLS, la cual es una tecnología de túneles LSP³⁰ altamente adaptiva para soportar tráfico Ethernet y permitir interconectividad a través de áreas extensas. MPLS resolverá algunos de los problemas inherentes de Ethernet en el acceso y agregación.

Sobre esta red central de túneles MPLS, se podrán tener PWE3 (*Pseudo-Wire Emulation Edge to Edge*) y VPLS (*Virtual Private LAN Segment*). Un PWE3 se usa para servicios Ethernet punto a punto (E-LINE), y VPLS se utiliza para servicios Ethernet punto-a-multipunto (*E-tree*) y/o servicios multipunto-a-multipunto (E-LANE).

Los nodos que forman el *backbone* son conocidos como *Provider Edge* PE, los cuales recibirán todo el tráfico de la red de concentración para su interconexión MAN. Los PB deberán mantener las funciones de conmutación de la capa 2, incluyendo las funciones normales de derivación de aprendizaje y replicación en

³⁰ En el LSP el reenvío se basa en la etiqueta, no en la dirección IP destino.

todos sus puertos, sin necesidad de tener funcionalidades VPLS. Formarán una arquitectura Jerárquica de VPLS (H-VPLS), mucho más escalable que una red VPLS normal (sin capa de agregación) donde podría haber limitaciones en la escalabilidad en términos del número de paquetes a replicar, PWs y direcciones MAC a mantener. El esquema general se puede observar en la figura 2.12.

Los diversos PEs intercambiarán información de control entre sí vía LDP y RSVP-TE (Protocolo de Reserva de Recursos – ingeniería de tráfico), teniendo la opción de tener calidad de servicio (QoS) extremo a extremo.

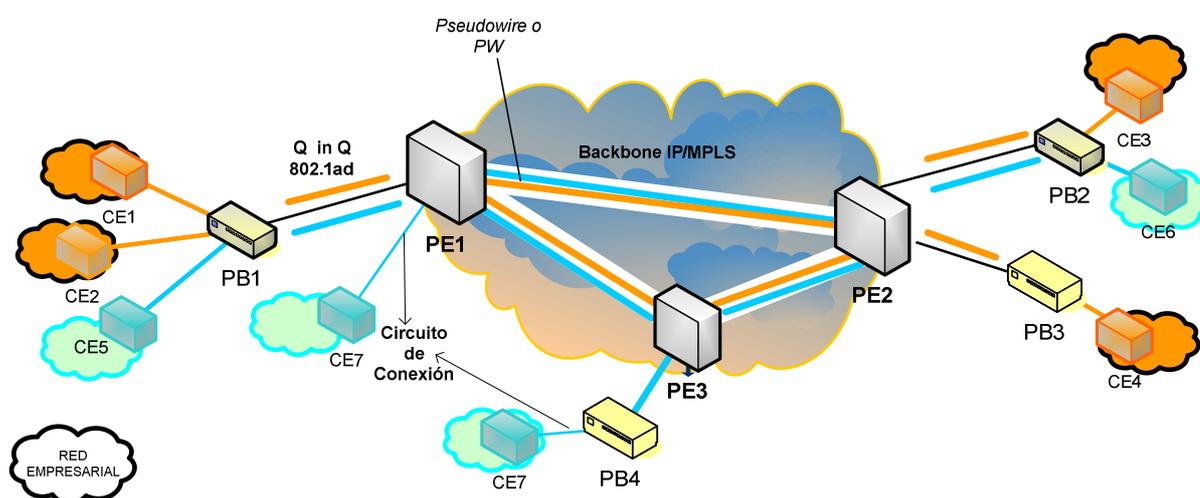


Figura 2.12 Esquema General de un *Backbone* MPLS con VPLS

2.3.4.1.1 Funcionamiento del Backbone VPLS

Entre todos los *Provider Edge* existirá una malla completa de túneles MPLS. Cada instancia VPLS será identificada por un SVC-ID (identificador de servicio) entre los PEs que participen en el mismo. Su asociación se determinará con mecanismo de auto-detección o ingeniería de tráfico MPLS.

Se formará una instancia VPLS concreta para todo el tráfico proveniente de los puntos de presencia del proveedor que pertenezcan a un mismo S-VID. Se necesita crear un PW entre cada PE del VPLS, cada uno con un par de LSPs

unidireccionales, o conexiones virtuales (VC). Para señalar cada conexión virtual se utilizará una etiqueta VC entre PEs; cada PE inicia una sesión LDP que tiene como objetivo el PE par y le comunica qué etiqueta VC usar cuando envía paquetes al VPLS en cuestión. La instancia VPLS específica se identifica en el intercambio de señalización usando un identificador de servicio (por ejemplo, SVC-ID 101).

Una vez creada la instancia VPLS con su respectivo SVC-ID, pueden enviarse los primeros paquetes y comienza el aprendizaje MAC.

Cada PE tendrá una tabla de conmutación por cada SVC-ID, en la que habrá un FIB (Base de información para transmisión – *Forward Information Base*) que relacione MACs, VCs y Puertos específicos.

A continuación se demuestra cómo se realizan estos procesos, con un ejemplo: Se tiene un escenario con una red MPLS formado por 3 PEs: PE1, PE2 y PE3, ver figura 2.13. Ha de crearse una instancia de servicio VPLS entre los tres primeros PEs, identificándose todos con el SVC-ID 101 para una VLAN del proveedor en la red de agregación específica.

SUPERVISIÓN DE PAQUETES PARA
ID DE SERVICIO 101 DE VPLS

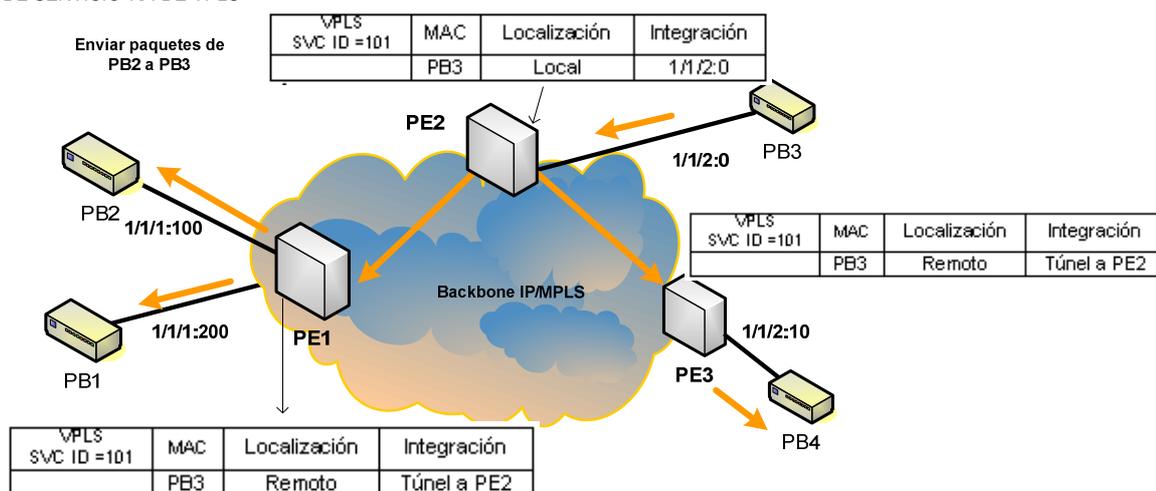
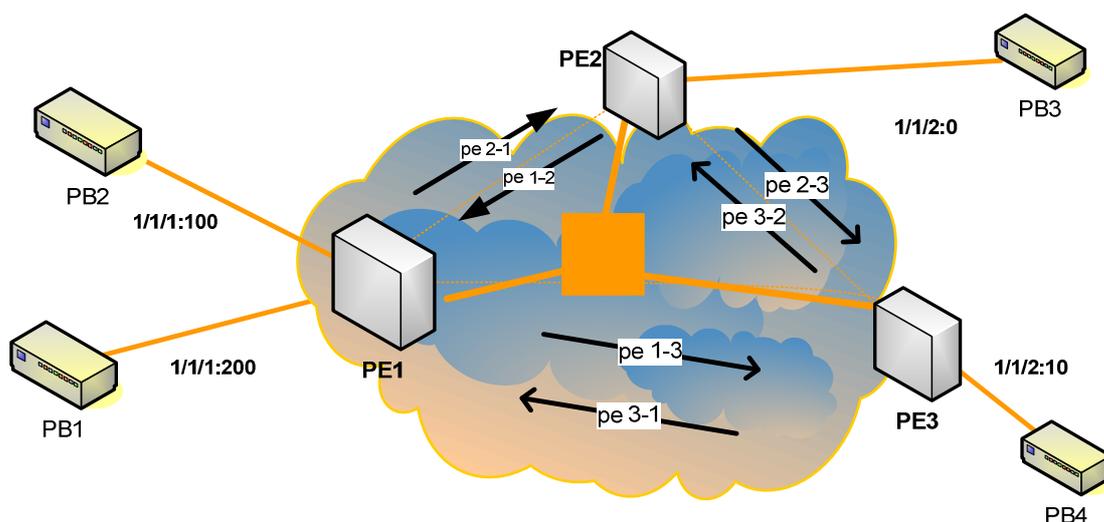


Figura 2.13 Aprendizaje VPLS

Al PE1 llegarán 2 Puntos de presencia de la red de agregación: PB1, y PB2. Al PE2 llegará el PB3 y al PE3 se conectará el PB4. Queda entonces identificado que todo el tráfico PB1, PB2 y PB3 identificados con un mismo S-VID pertenecerán al mismo SVC ID 101, pues deben tener características de servicio y envío comunes.

2.3.4.1.1.1 Creación de Pseudowires

PE1 indica a PE2: “si tienes tráfico que enviarme por SVC-ID 101, usa el pe2-1 de la etiqueta VC en el encapsulado de paquetes”. A su vez, PE2 indica a PE1: “si tienes tráfico que enviarme por SVC-ID 101, usa la etiqueta VC pe1-2 en el encapsulado de paquetes”. De este modo se crea el primer PW (ver figura 2.14).



PE1-> PE2 para SVC-ID 101 use la etiqueta VC pe2-1
PE2-> PE1 para SVC-ID 101 use la etiqueta VC pe1-2
PE1-> PE3 para SVC-ID 101 use la etiqueta VC pe3-1
PE3-> PE1 para SVC-ID 101 use la etiqueta VC pe1-3
PE3-> PE2 para SVC-ID 101 use la etiqueta VC pe2-3
PE2-> PE3 para SVC-ID 101 use la etiqueta VC pe3-2

Figura 2.14 Señalización pseudowire

2.3.4.1.1.2 Aprendizaje MAC y envío de paquetes

Una vez creada la instancia VPLS donde todos los PEs conocen los VCs que pueden utilizar para llegar al resto nodos de esa instancia, se procederá a identificar quiénes están detrás de cada PE.

Se supone que PB3 está enviando un paquete al PE2 destinado a PB1 (PB3 y PB1 quedan identificados por una sola dirección MAC), según se muestra en la figura 2.14. PE2 recibe el paquete y reconoce (desde la dirección MAC de la fuente) que ese PB3 se puede alcanzar en el puerto local 1/1/2:0; almacena esta información en el FIB para SVC-ID 101.

PE2 no conoce todavía donde está ubicado el M1 de la dirección MAC destino del paquete, así que inunda el paquete a PE1 con el pe2-1 de la etiqueta VC (en el túnel externo MPLS correspondiente) y a PE3 con la etiqueta VC pe2-3 (en el túnel externo MPLS correspondiente). El formato del paquete se muestra en la figura 2.15.

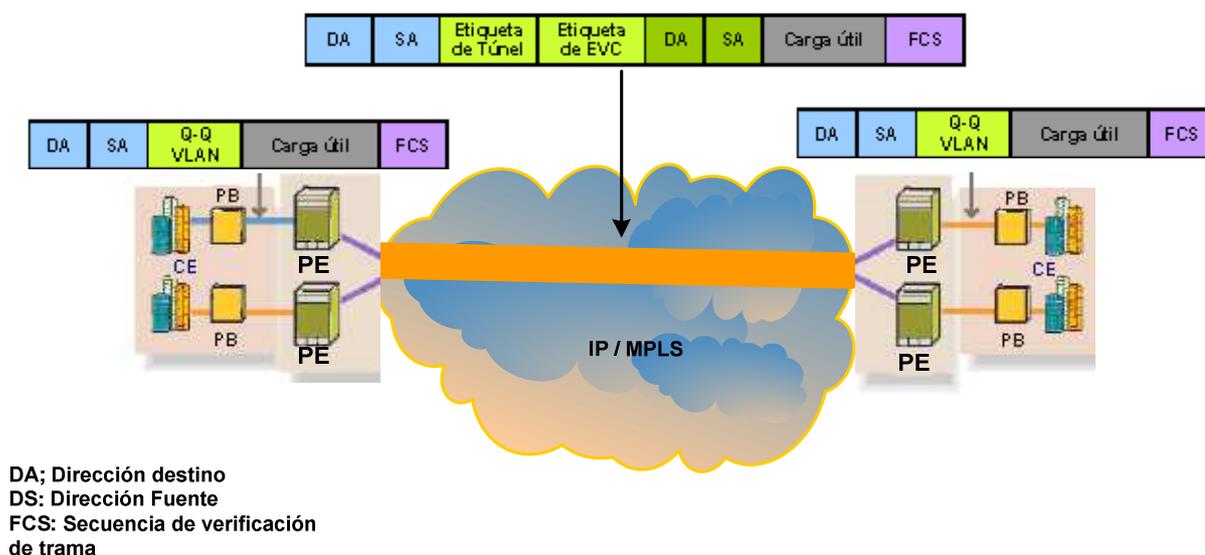


Figura 2.15 Aprendizaje MAC y envío de paquetes

PE1 conoce por el VC pe2-1 que PB3 está detrás de PE2 y almacena esta información en el FIB para SVC-ID 101. PE3 sabe por la etiqueta VC pe2-3 que PB3 está detrás de PE2 y almacena esta información en el FIB para SVC-ID 101.

PE1 retira el pe2-1 de la etiqueta, no conoce el PB1 de destino e inunda el paquete a los puertos 1/1/1:100 y 1/1/1:200; PE1 no inunda el paquete a PE3 debido a la regla *Split-Horizon*.

PE3 retira el pe2-3 de la etiqueta, no conoce el PB1 de destino y envía el paquete al puerto 1/1/2:0; PE3 no inunda el paquete a PE1 debido a la regla de *Split-Horizon*. PB1 recibe el paquete.

Cuando PB1 recibe el paquete de PB3, responde con un paquete a PB3 (ver figura 2.20). PE1 recibe el paquete de PB1, reconoce que PB1 está en el puerto local 1/1/1:100 y almacena esta información en el FIB para SVC-ID 101.

PE1 ya sabe que PB3 se puede alcanzar vía PE2 y, por ello, solamente envía el paquete a PE2 usando la etiqueta VC pe1-2.

PE2 recibe el paquete para PB3 y sabe que M3 es accesible por el puerto 1/1/2:0. PB3 recibe el paquete. Ver figura 2.16.

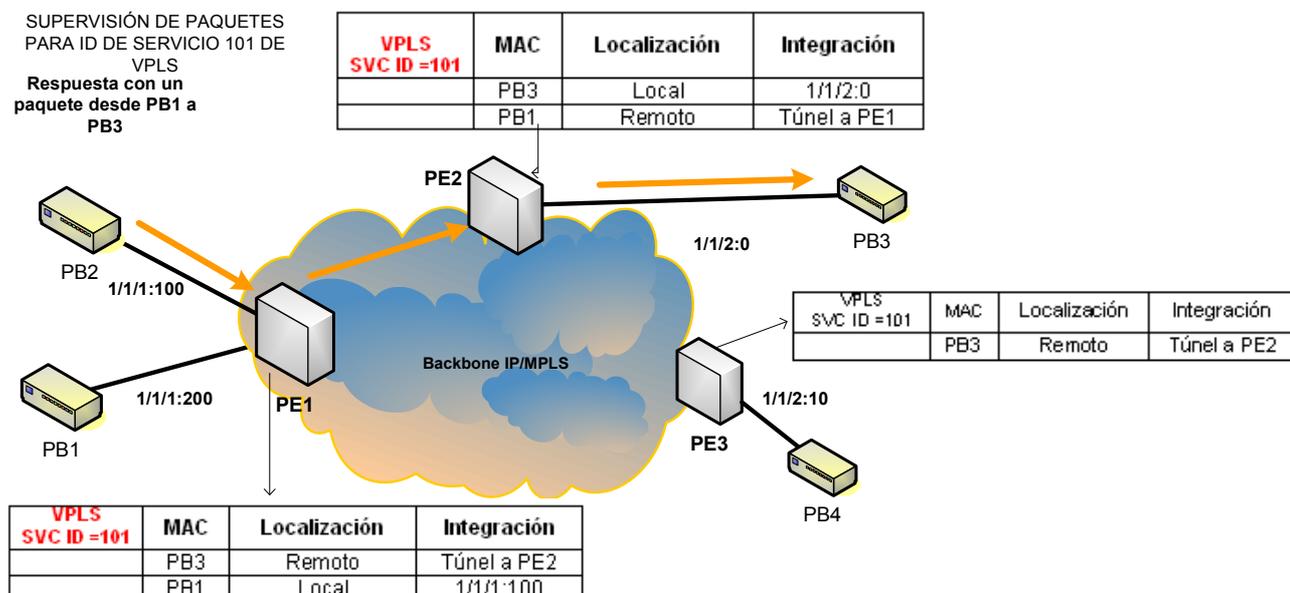


Figura 2.16 Respuesta al envío de un paquete

La arquitectura H-VPLS planteada ofrece también ventajas operacionales centralizando en los *routers* PE del *core* las funciones principales. Esto hace

posible utilizar dispositivos PB de menor costo y mantenimiento, reduciendo así el desembolso de capital total y de los gastos de explotación ya que, normalmente, hay un número mayor de dispositivos PB que de *routers* PE.

Otra ventaja operacional ofrecida por H-VPLS es el aprovisionamiento centralizado con pocos elementos a intervenir para reactivar el servicio de un cliente. Añadir un nuevo dispositivo de PB requiere alguna configuración del *router* PE local, pero no requiere señalización alguna con otros *routers* PE o dispositivos PB, simplificando de manera importante el proceso de aprovisionamiento.

Los mecanismos y protocolos de MPLS en el *backbone* de la red Ethernet solventarán muchos problemas de Ethernet como:

- Límite de 4000 VLANs de proveedor, mediante las etiquetas MPLS
- Limitaciones de STP (*Spanning Tree Protocol*), mediante Enrutamiento
- IP/MPLS, Ingeniería de Tráfico de MPLS, VPLS en mallas parciales (HVPLS)
- Limitado QoS, solucionado a través de Ingeniería de Tráfico de MPLS (MPLS TE)³¹, Servicios Diferenciado (Diffserv)
- Limitada Protección, a través de *Backup* de LSPs, *Fast Reroute*³²

Utilizando MPLS-TE en conjunto con la clasificación de DiffServ y mecanismos de colas, se puede garantizar el ancho de banda con la finalidad de reducir los efectos de pérdida de paquetes y latencia.

³¹ La ingeniería de tráfico (TE) es el proceso de selección y control a lo largo del camino por donde viajan los datos a través de la red con la finalidad de optimizar la utilización de los recursos de red y el funcionamiento del tráfico, mientras se facilita la eficiencia y fiabilidad en las operaciones de red.

³² *Fast Reroute* es un mecanismo de MPLS TE para disponer alta disponibilidad y resistencia a fallas.

Sin embargo, MPLS es muy complicado comparado con Ethernet, y será muy difícil que pueda extenderse a la red de usuario para ser entendido y aceptado por los clientes.

2.3.4.2 Backbone Ethernet con IEEE 802.1ah (Ethernet Puro) [4] [16] [18]

Se presenta una alternativa de red troncal con el objetivo de interconectar las redes IEEE 802.1ad de la capa de concentración, mediante el empleo de redes conmutadas troncales de proveedor (IEEE 802.1ah) o *Provider Backbone Bridge* (PBB) que encapsularán las tramas en un entorno aislado y totalmente controlado por el proveedor.

IEEE 802.1ah también conocido como MAC-in-MAC encapsula la cabecera MAC del cliente con una cabecera MAC del proveedor de servicios.

IEEE 802.1ah permite la culminación de una red completamente Ethernet aportando las herramientas necesarias para conseguir una infraestructura de proveedor jerárquica verdaderamente escalable, virtualizable y completamente aislada de los dominios difusión de cliente.

Con los *Provider Bridges* se tenía total conocimiento de las direcciones MAC de cliente y proveedor en la red, los *switches* de *core* necesitaban mantener una tabla de conmutación para cada dirección MAC, sea de usuario o de proveedor (figura 2.17).

Resolviendo esta situación, con IEEE 802.1ah cada trama Ethernet de usuario que llegue al UNI recibirá una MAC del proveedor para su conmutación en la red portadora, por ende los *switches* de *core* solo manejarán tablas para las direcciones MAC de dicha red de proveedor (figura 2.18).

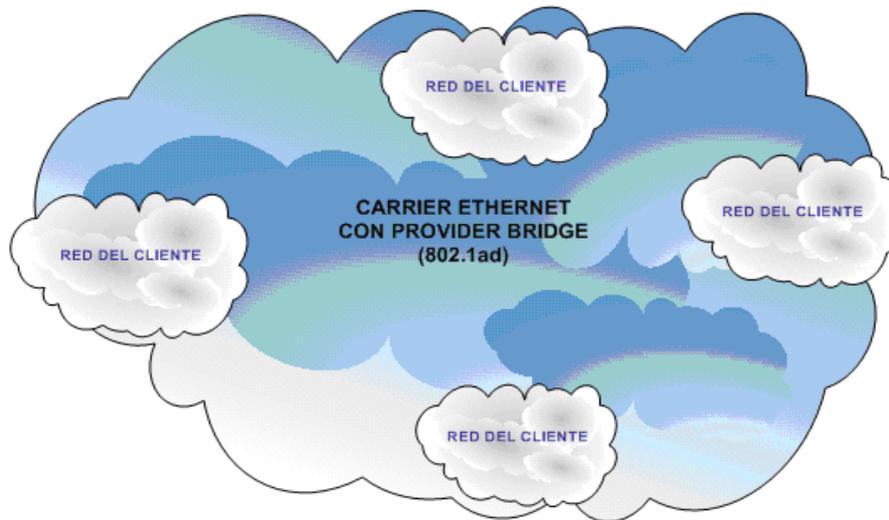


Figura 2.17 Las direcciones MAC de cliente y proveedor están visibles en todas las redes

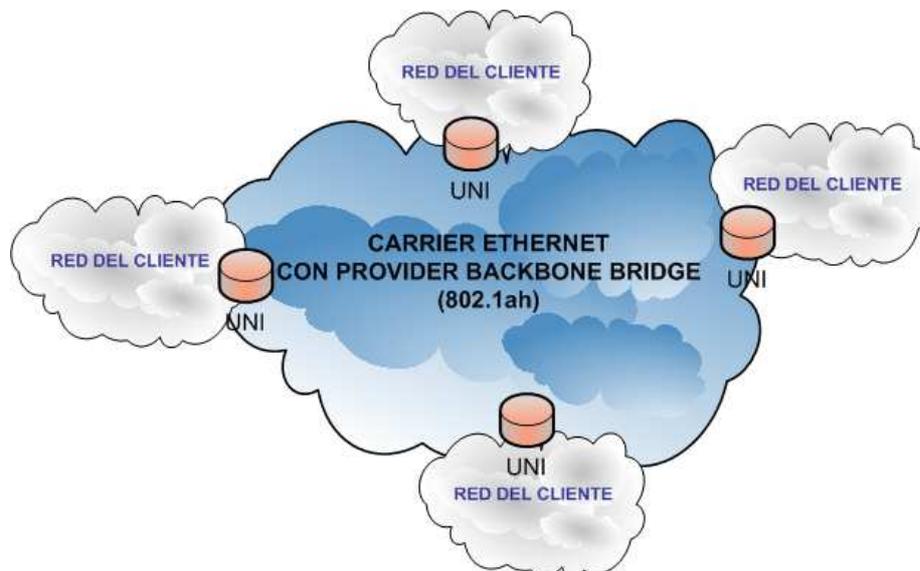


Figura 2.18 Las direcciones MAC de cliente y proveedor se separan completamente en cada UNI [28]

IEEE 802.1ah supera toda limitante de escalabilidad y direccionamiento plano de IEEE 802.1ad donde el tamaño del VID es inferior al que una red de proveedor requiere en la realidad. Además, al mismo tiempo que se incorpora nuevos formatos y etiquetas, existirá compatibilidad tanto con 802.1Q como con el propio 802.1ad.

En la red MAC-in-MAC se distinguen dos tipos de elementos: aquellos que hacen de puente entre las islas 802.1ad y la red troncal de proveedor, (e-PBB: *Provider*

Backbone Bridge Edge) y el interno a la troncal (c-PBB: *Provider Backbone Bridge Core*). Del mismo modo varían las funciones que cada uno de ellos desempeñan.

En el caso de los e-PBB que se encargan de realizar la encapsulación, tendrán que acometer la labor de realizar la correspondencia entre el entorno Q-in-Q y como gestionarlo en su paso por la parte troncal de la red.

Los elementos c-PBB que se encuentran dentro de la troncal y que no tienen interacción con elementos de la red 802.1ad se basan exclusivamente en los parámetros de la cabecera Ethernet definida para la red troncal (B-SA, B-DA, B-VID y I-SID) para las tareas de conmutación.

En este sentido el transporte de las tramas dentro de la red *Provider Backbone Bridge* se llevará a cabo en base a un nuevo identificador de VLAN y a una nueva construcción MAC, íntimamente ligado con el ya existente a nivel de servicio en cada isla 802.1ad.

Toda VLAN de *backbone* B-VLAN (descrita con la etiqueta *B-TAG*) se caracterizará por tener un comportamiento jerárquico agregando varias VLAN de servicio sobre una VLAN de *backbone*. Se define que cada B-VLAN se comportará como un subconjunto de la topología activa de una red PBB [2].

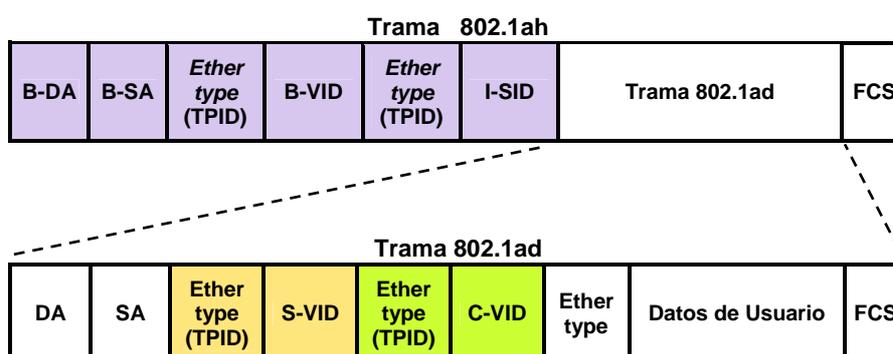


Figura 2.19 MAC-in-MAC IEEE 802.1ah

La identificación de una B-VLAN se realiza mediante su correspondiente identificador de *backbone* VLAN, B-VID, dentro de la etiqueta *B-TAG*. En la trama

entrante en el *backbone*, el valor B-VID se basa en el valor I-SID de la propia trama, es decir:

- La identificación de una S-VLAN en un PBB se realiza mediante I-SID (*Instance Service ID*) conocido también como ES-VID (*Extended Service VID*), dentro de la etiqueta de *backbone* (*I-TAG*).
 - La S-VLAN en la Isla 802.1ad se sigue identificando únicamente mediante el S-VID.
 - Ahora, el sentido es local a la propia red, no tiene significado dentro de la red PBB.
- Por tanto se producirá un intercambio en el PBB entre el S-VID y el I-SID.
 - A la entrada de S-VID -> I-SID
 - A la Salida de I-SID -> S-VID
- No va a existir, en principio, necesidad de transportar el S-VID a través del *backbone* puesto que solo tiene significado en la red IEEE 802.1ad en la que se ha definido.

Ahora bien, para completar la generación de un *backbone* de servicios altamente escalable, 802.1ah establece una serie de funcionalidades con las que encapsula tramas 802.1ad con su propia cabecera de enlace. Se establece así una dupla formada por la B-VLAN y la dirección MAC del PBB destino del tráfico que aporta un identificador de 60 bits único en el núcleo de red y que cubre los requerimientos de red que los nuevos servicios *triple play* precisa.

Analizando la composición de la cabecera, tal y como se ve en la figura 2.19, se tiene:

- *I-TAG* con el que se identifica la S-VLAN dentro del *backbone*. Posee un identificador de 20 bits (I-SID), dado que el campo TPID (*Tag Protocol Identifier*) no es necesario que sea introducido de nuevo en la *I-TAG*.
- Identificador del PBB, del nodo en el que nos encontramos mediante la dirección MAC.

- La B-VLAN identifica al “túnel” por el que se transporta la correspondiente instancia de servicio asociada al S-TAG.

Las direcciones MAC origen y destino definen el transporte dentro del *backbone* a nivel 2 (ver figura 2.20). Ahora bien, el sentido local de la S-VLAN dentro del mismo, provocará la decisión de su eliminación o envío en la propia trama:

1. Eliminar el S-TAG de la trama 802.1ad en el caso que fuera necesaria la traslación de S-TAG entre islas 802.1ad. Los nodos de borde eliminarán y regenerarán los campos S-TAG bajo su criterio, pero sin que el *core* tome conciencia en las decisiones de enrutamiento.
2. Mantener el S-TAG de la trama 802.1ad pero no se puede considerarla una opción eficiente al incorporar 4 octetos adicionales

Mediante la generación de la VLAN de *backbone* se tendrá una I-SID que identifica a una S-VLAN dentro del *backbone* con una construcción/traslación que se implementará en los correspondientes bloques funcionales MAC. Del mismo modo toda B-VLAN se identifica y direcciona en el “*core*” como cualquier VLAN extendiendo el número de bits de direccionamiento a 20 existiendo un transporte de tramas en base a la dirección MAC destino.

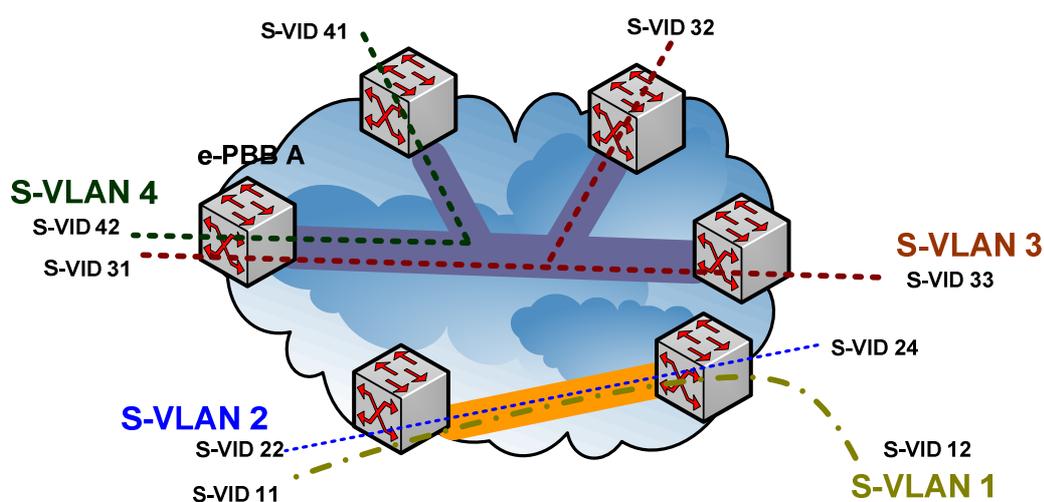


Figura 2.20 Instancias de Servicio IEEE 802.1ah [16]

En conclusión, las direcciones MAC que compone 802.1ah (conocidas como MAC-in-MAC) son las de los nodos origen/destino del *backbone*, de modo que estableciendo quien recibirá las tramas transportadas con la B-VLAN correspondiente, se tendrá un soporte *Broadcast* y *Multicast* que permiten soportar servicios *Triple Play* con la escalabilidad apropiada.

Además de superar el tema de la escalabilidad eliminando el límite de 4094 clientes por nivel, IEEE 802.1ah también traerá los siguientes beneficios:

Seguridad

Ya que existe una clara demarcación entre el cliente y el operador. No se exige que conozcan el esquema de direccionamiento el uno del otro.

El proveedor de la red sólo conmutará en base a la información de direccionamiento e información de la red portadora, lo que aumenta significativamente la seguridad de su red, sus servicios y aplicaciones.

Simplificación de las operaciones

El operador podrá planificar su red sin la necesidad de preocuparse por la superposición de VLANs o direcciones MAC del usuario.

Robustez

La Red de servicios del proveedor es ahora más sólida, ya que está aislada de las tormentas de *broadcast* y potenciales bucles iniciados en las redes de los clientes.

Baja gastos de capital

Los *switches* en la porción de red del proveedor de servicios sólo tienen que aprender las direcciones MAC del proveedor (y no se ocupa de la de los clientes), reduciendo con ello la potencia necesaria de memoria y procesamiento y, en definitiva, el costo de los *switches* Ethernet para la red portadora.

Sin embargo, la capa de servicio, salvo modificación, sigue heredando limitaciones asociadas al autoaprendizaje y el requerimiento asociado de disponer de una topología libre de bucles. El *flooding* (inundación) y aprendizaje propio de Ethernet funciona bien en redes pequeñas, pero a medida que las redes crecen y se hacen más complejas, como en una MAN por ejemplo, estos procesos de inundación y aprendizaje, generarán congestión y problemas de seguridad en la red.

El aprendizaje además sólo es fiable cuando hay uno, y sólo un camino hacia un determinado destino. Para eliminar la posibilidad de múltiples caminos que podrían causar bucles de transmisión, se cuenta con el Protocolo de Árbol extendido (STP), con el cual de forma selectiva se inhabilita y bloquea puertos del *switch* que estén causando caminos físicos redundantes. STP también puede encontrar una nueva ruta entre dos nodos de la red cuando uno de éstos falla, creando un sencillo mecanismo de protección.

Pero mientras STP está convergiendo en la mejor ruta alternativa, el servicio se vería interrumpido en toda la red.

El problema con STP es que es simplemente demasiado lento para la protección de la conmutación y aunque *Rapid Spanning Tree Protocol* (RSTP) y *Multiple Spanning Tree Protocol* (MSTP)³³ ayudan a resolver estos problemas, ellos sólo proporcionan mejoras incrementales en los tiempos de restauración. STP fue diseñado para la típica topología en árbol que tienen las redes locales, y no para la compleja topología de malla que existe en las redes MAN.

Con estos largos tiempos de restauración la red no soportaría la voz, video y otros servicios en tiempo real que están floreciendo rápidamente en las redes Metro Ethernet. STP también sería parte del problema de congestión. Por último, debido

³³MSTP (*Multiple Spanning Tree Protocol*) es una variante del protocolo de árbol de expansión (STP) que permite la creación de diferentes entornos STP, uno por cada identificador VLAN. Esto permite poseer múltiples árboles de expansión, logrando tener varios caminos entre un mismo origen y destino.

a que la red controla las rutas de transmisión, sería muy difícil predecir el rendimiento de la red, garantizar QoS y SLAs.

En la figura 2.21 se puede observar cómo ha sido la evolución del estándar 802.1, que permite a Ethernet ser tecnología de proveedor.

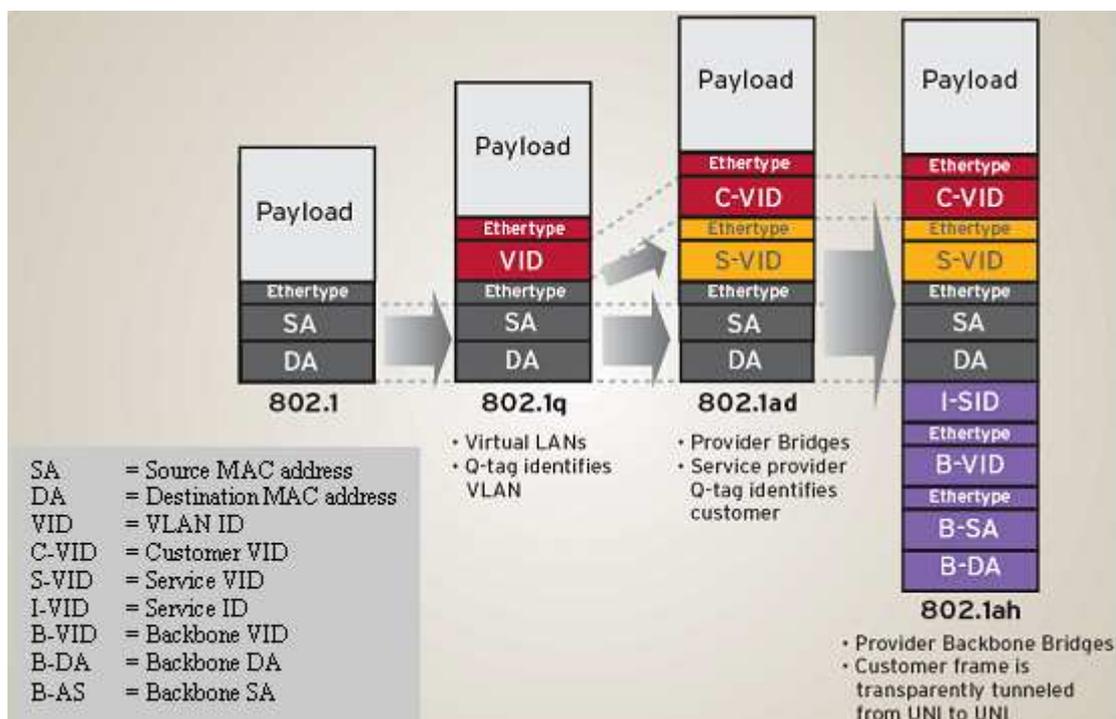


Figura 2.21 Evolución del Estándar Ethernet [4]

2.3.4.2.1 Fortalecimiento del Backbone 802.1ah con Provider Backbone Bridging – Traffic Engineering (PBB-TE) [4][28][30][33]

Muchos de los problemas descritos anteriormente se derivan del comportamiento no orientado a conexión de Ethernet. Estos problemas son similares a los que se encontraron varios años atrás, en las redes IP WAN de los proveedores de servicio, que se solucionaron con el despliegue de MPLS, que permitió a IP realizar túneles orientados a conexión a través de la red. Estos “túneles MPLS” proveyeron escalabilidad, ingeniería de tráfico, QoS y resistencia a través de una única red IP/MPLS. Esta infraestructura de los túneles, comenzó a ofrecer nuevos servicios convergentes Capa 3 (IP-VPN) y Capa 2 (VPWS, VPLS).

Actualmente Ethernet en las redes MAN necesita también de un mecanismo que

le dé el soporte que MPLS le dio a IP. Obviamente, en un principio todos los proveedores han tenido que acudir nuevamente a extender MPLS en las MAN. Esta estrategia funcionó bien para las redes con relativamente pocos nodos en la WAN, pero se ha tornado inmanejable y muy costoso en redes más grandes.

El problema es que para el despliegue de MPLS se requiere la aplicación de muchos protocolos y normas nuevas (LDP, RSVP-TE, OSPF, BFD, TRF, etc) que añaden no sólo complejidad y costos operacionales, sino también aumento del capital necesario para equipos de red que requieren actualizaciones en los planos de control y datos.

Los proveedores sólo habían encontrado en infraestructuras todo MPLS, la flexibilidad del procesamiento de paquetes, la operación y administración de los mecanismos basados en conmutación de circuitos; pero ahora con la tecnología ***Provider Backbone Bridging – Traffic Engineering (PBB-TE)*** es posible soportar transmisión orientada a conexión usando Ethernet nativo. PBB-TE fue inicialmente impulsada por Nortel como *Provider Backbone Transport* (PBT) y ha sido aceptada finalmente por la IEEE como anexo a la norma 802.1Q bajo el estándar 802.1Qay.

PBB-TE se puede concebir como un perfil simplificado del estándar PBB orientado al transporte punto a punto de tramas Ethernet que propone solo cambios menores a los estándares existentes de Ethernet.

PBB-TE provee túneles Ethernet que permitirán ofrecer entrega de servicios determinista con ingeniería de tráfico, QoS, disponibilidad y los requerimientos de OAM que los proveedores demandan.

PBB-TE aprovecha el hecho que al deshabilitar ciertas funcionalidades Ethernet, el hardware existente es capaz de implementar el nuevo comportamiento de reenvío. Esto significa que un modo de transmisión orientado a conexión puede ser introducido a las redes Ethernet actuales sin tecnologías complejas y costosas.

PBB-TE hereda completamente el formato de trama 802.1ah, pero modifica ligeramente la interpretación de los campos. La principal diferencia se debe a la orientación punto-a-punto de la red PBB-TE, pues al desactivarse el funcionamiento de los mecanismos de *broadcast*, el campo B-VID (VLANs) pierde el sentido.

Actualmente los *switches* Ethernet transmiten (*forwarding*) en base a una búsqueda de 60 bits de la etiqueta VLAN (12 bits) y de la dirección MAC (48 bits) de cada trama Ethernet. En la operación convencional, el VLAN ID (VID) y la dirección MAC son únicos globalmente, pero éste no tiene que ser el caso.

Típicamente un B-VID identificaba un dominio libre de bucles, en el que las direcciones MAC debían ser inundadas, usando a STP para completar las tablas MAC y evitar lazos de enrutamiento; pero si ahora PBB-TE elige configurar caminos MAC libres de bucles en lugar de utilizar inundación y aprendizaje MAC, el B-VID (12 bits) se libera y se utiliza en la Red PBB-TE para identificar caminos alternativos para llegar a la MAC destino. La principal utilidad de esta definición es su aplicación para proteger flujos de paquetes en caso de caída del camino principal. Cabe notar que en la práctica, nunca existirán 4094 posibilidades diferentes.

PBB-TE emplea este concepto asignando un rango de VIDs para identificar determinadas rutas a través de la red a una determinada dirección MAC destino. Cada B-VID tiene entonces significado local solo para una determinada dirección MAC destino, y ya que la dirección mantiene su significado local, la combinación, VID + MAC (60 bits) se convierte única en la red (figura 2.22).

PBB-TE asigna una serie de direcciones B-VID / MAC cuyas tablas de reenvío son propagadas a través del plano de control o administración, en lugar de hacerlo con las técnicas de inundación y aprendizaje MAC tradicionales. De este modo desaparecerá STP con todas sus limitaciones y problemas asociados.

El *switch* todavía se comporta en gran parte como con el Ethernet tradicional: reenviando datos a su destino. Lo único que ha cambiado es que la información de reenvío ya no es aprendida por los *switches*, sino que es tomada directamente del plano de control, obteniendo un camino prescrito y predeterminado a través de la red, y con un comportamiento de red totalmente predecible bajo todas las circunstancias.

Bajo estas condiciones, el equipo PBB-TE se convierte en una caja cuya matriz de conmutación se configura externamente, por ejemplo, desde un sistema de gestión centralizado. Incluso se puede plantear cualquier otro tipo de mecanismo para rellenar y gestionar las tablas de encaminamiento.

Así, en el seno del IETF, se estudia la aplicación a PBB-TE de un plano de control automático y distribuido basado en GMPLS. Asimismo, también se ha propuesto PLSB (*Provider Link State Bridging*) basado en IS-IS para gestionar la red PBB-TE. Esta aproximación permitiría soportar conexiones punto-multipunto y servicios de difusión no orientados a conexión.

En cualquier caso, los equipos que lleguen al mercado manejarán ambas normas (802.1ah PBB + PBB-TE) simultáneamente, permitiendo la flexibilidad que un operador requiere.

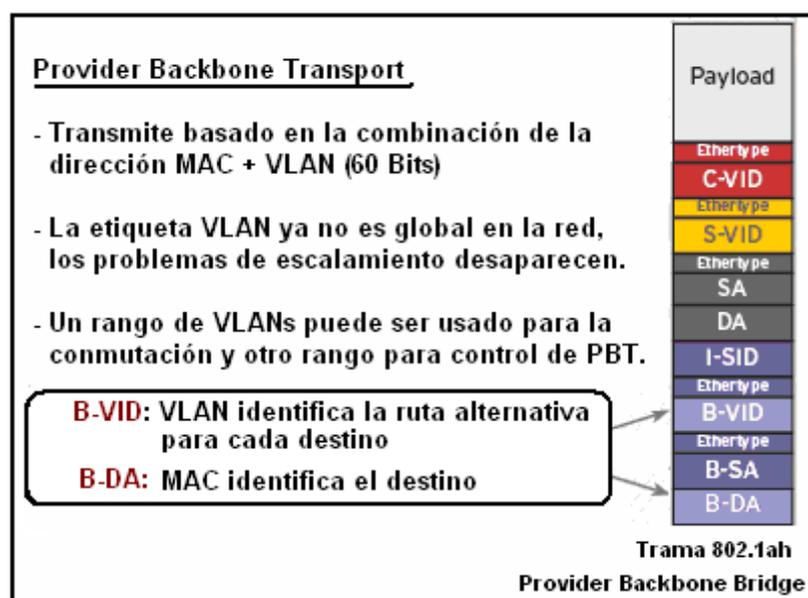


Figura 2.22 *Provider Backbone Bridging – Traffic Engineering* [4]

En el ejemplo que se muestra en la figura 2.23, dos caminos unidireccionales se han configurado entre e-PBB1 (*Provider Edge*) y e-PBB2 (un par de enlaces en direcciones opuestas es necesario para la conectividad bidireccional). Cada e-PBB cuenta con IEEE 802.1ah, permitiendo que el proveedor de servicios separe claramente su dominio MAC y del cliente, lo que permite al proveedor de servicios aplicar PBB-TE en el núcleo de su red.

Dentro del proveedor de servicios de dominio, un número de B-VIDs se han reservado para PBB-TE (corresponden al B-VID 44 y B-VID 45 en el ejemplo). Como se explicó, con el grupo de VIDs reservado para el funcionamiento de PBB-TE, el B-VID ya no es único en la red, sino que tendrá significado local para cada MAC. En lugar de ello, el B-VID 44 y 45 son usados para identificar por separado las dos vías entre e-PBB1 y e-PBB2. Ambos VIDs podrán ser reutilizados para crear rutas entre diferentes pares de PEs, ya que es la combinación del MAC y el B-VID que identificarán de forma exclusiva cada uno de estos caminos.

PBB-TE preserva los atributos de reenvío Ethernet, basados en la dirección destino, lo que significa que múltiples fuentes pueden utilizar un destino B-VID + MAC. Si 16 VIDs han sido reservados para PBB-TE en una red, ésta podría ser plenamente mallada 16 veces. Esto daría masiva escalabilidad a los enlaces PBB-TE y todavía quedarían 4078 VIDs libres para el trabajo normal de Ethernet no orientado a conexión operando en la misma red.

Cabe señalar que cada trama mantiene la dirección MAC fuente que identifica de forma exclusiva su origen; de modo que PBB-TE ofrece escalabilidad en el núcleo del *backbone* con la transmisión basada en direcciones destino, mientras que conserva los atributos operacionales punto a punto en los extremos.

Volviendo al ejemplo de la figura 2.23, adicionalmente han sido configurados un par de enlaces Ethernet bidireccionales a través de la red para crear caminos de trabajo y de protección o *backup*. PBB-TE hereda el monitoreo de conexiones de IEEE 802.1ag (Gestión de fallas de conectividad). Una sesión de chequeo de conectividad (*Connectivity Check CC*) es establecida por las dos rutas; los dos

extremos del enlace enviarán tramas CC a intervalos regulables de 10 ms (configurables) y escuchan mensajes de respuesta. Si tres mensajes CC no llegan, el enlace se considera abajo (*down*) y la conmutación por el enlace de protección se inicia. Alternativamente, mensajes de indicación de señal de alarma, *Alarm Indication Signal* (AIS) definidos en el estándar ITU-T Y.1731 puede ser usado para desencadenar un mecanismo de protección.

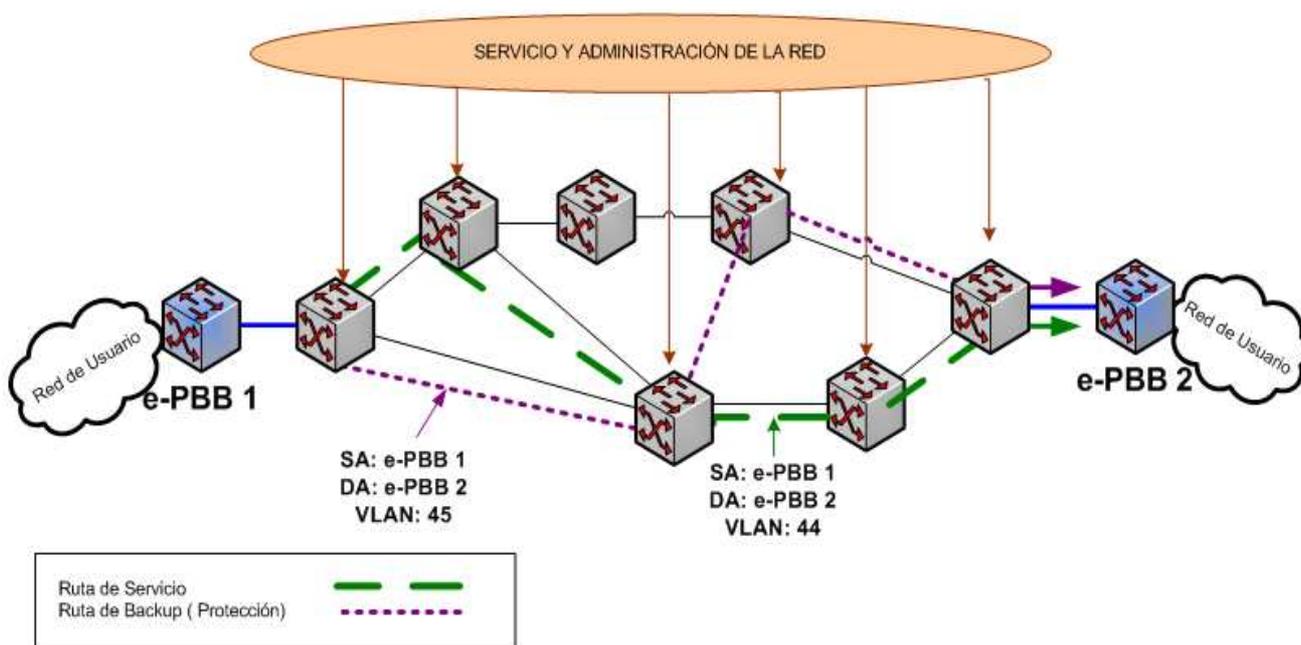


Figura 2.23 Configuración Ethernet *trunks* con PBB-TE [4]

La conmutación de protección es implementada, aplicando una nueva etiqueta VLAN (la etiqueta del camino de *backup*) para cada trama en los nodos de encapsulación.

El plano de control es utilizado para configurar y supervisar las rutas, pero no es parte de la conmutación real, de modo que se puede alcanzar una protección de conmutación menor a 50 ms (similar a SONET / SDH).

Además, existen varias propuestas para permitir la convivencia de un dominio PBB-TE y de un dominio PBB en una misma red (mismos enlaces y mismos conmutadores). Una de ellas se basa en una división del rango de B-VIDs (4094

en total) para que los conmutadores identifiquen el modo de retransmitir la trama Ethernet, si en modo PBBTE o en modo PBB. Ello equivale a realizar un plan de direccionamiento basado en el identificador de B-VID. Por ejemplo, en la figura 2.24 se muestra un conmutador PBB/PBB-TE. Por los puertos en el lado cliente llegan sendas tramas 802.1ad de una misma ruta (DA: X y SA: X) que transportan paquetes IPv4. Pero es el operador quien decide que las distintas S-VLANs se transporten por el *core* de la red de formas diferentes (una PBB y otra PBB-TE), asignando distintas B-VLANs a cada trama. En el ejemplo, el operador de la red ha configurado todos los equipos para que las tramas con B-VLAN inferiores a 30 sean tratadas en modo PBB-TE y las superiores a 31, en modo PBB.

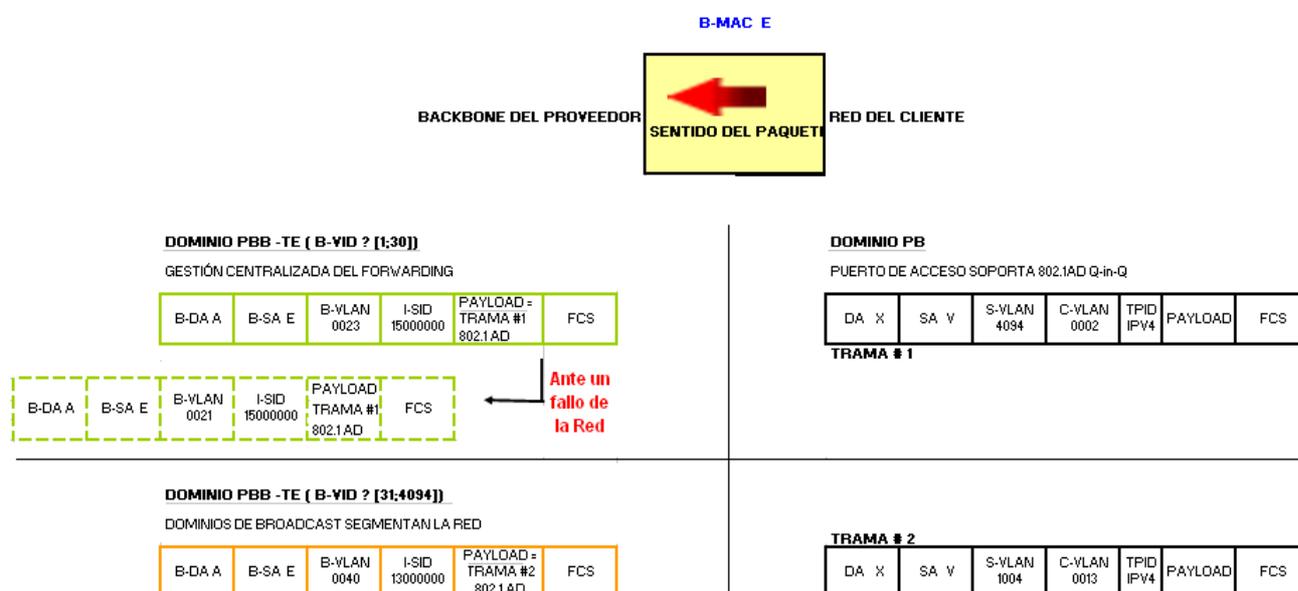


Figura 2.24 Provisión en un switch frontera de la red PBB/PBB-TE

2.4 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ARQUITECTURA PARA EL DISEÑO DEL CARRIER METRO ETHERNET [28][29][31]

Después de haber analizado las dos arquitecturas que tienen a la tecnología Ethernet como medio de transporte, el objetivo al seleccionar una de ellas será el obtener una WAN que aporte beneficios económicos con un impacto directo en los clientes. Se propone entonces crear y gestionar una red que ofrezca la velocidad que necesitan los usuarios, con altos niveles de fiabilidad, capacidad de administración y escalabilidad, que permita al proveedor crecer a medida que

cambie su organización. Ésta es la única manera de poder alcanzar esa esencial ventaja competitiva que se necesita en el vigente entorno dinámico que se presenta actualmente en este sector en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).

Las dos arquitecturas presentan ventajas que permiten evidenciar claramente la superioridad de las tecnologías utilizadas sobre las redes tradicionales, sin embargo la tecnología que se utilizará debe estar acorde a las necesidades planteadas y analizadas en la situación actual de los servicios portadores en el Ecuador y el DMQ.

El debate se convierte en MPLS vs. Ethernet para el núcleo de las redes metropolitanas. De hecho, MPLS fue inventada para resolver el problema de conmutación entre diversos protocolos como *Frame Relay*, ATM en la WAN y Ethernet en la LAN.

En los últimos años, MPLS se ha convertido en una tecnología ampliamente utilizada en el *backbone* de las redes, y se ha convertido en la tecnología común para la interconexión de redes. Sin embargo, como los proveedores de servicios buscan cada vez ofrecer nuevos servicios y aplicaciones más económicas para IPTV, acceso de banda ancha, video, video móvil, y VoIP, se han encontrado y analizado algunas deficiencias del funcionamiento de MPLS en redes de área metropolitana.

A saber, cuando se plantean un escenario con varios elementos requeridos para cubrir una red metropolitana, surgen varios problemas de complejidad en la red, escalabilidad y rendimiento de MPLS.

Con los avances que se ha conseguido para Ethernet, como la misma tecnología PBB-TE, Ethernet ha llegado a ser mucho más inteligente y previsible para las redes Metro Ethernet previstas actualmente.

Además, al comparar a MPLS y a IEEE 802.1ah fortalecida con PBB-TE, se encuentra varios desafíos que MPLS debe superar:

- Monitoreo del desempeño de MPLS.
- Nuevos y costosos desafíos debido a la complejidad en el plano de control de la red, derivados en costos de inversión, costos de operación, y costos para la capacitación del personal operativo.
- Con MPLS, una variedad de protocolos (para la ingeniería de tráfico alta disponibilidad) deben ser soportados, y mantenidos de forma ubicua a lo largo de la red, complicando aún más el plano de control, y obligando a que el personal de las empresas proveedoras de servicio deban aprender y comprender estos protocolos, que se suman a las cargas de administración y mantenimiento.

Con PBB-TE, los servicios de red pueden escalar mucho más fácilmente, habrá mayor disponibilidad, ofreciendo mejor ingeniería de tráfico y desempeño, ya que se basa en interfaces estándar como la UIT Y.1731 y la IEEE 802.1ag. Estas normas representan un hito importante para la tecnología Ethernet, porque ahora, por primera vez, existen mecanismos normalizados para permitir la gestión de fallas críticas, así como la supervisión y estadísticas de desempeño en la red.

Estas herramientas permiten a los operadores detectar el punto exacto dónde y los motivos por los que se han producido los inconvenientes en la red, para que de esta forma puedan trabajar rápidamente en su resolución y ofrecer servicios diferenciados a los clientes.

En la tabla 2.6, se resumen las características, beneficios y desventajas existentes entre las tecnologías propuestas.

Descripción	IEEE 802.1ah PBB + PBB-TE	MPLS / VPLS
¿Cuál es su origen?	Un subconjunto del IEEE 802.1, para superar los problemas de escalabilidad y disponibilidad de IEEE 802.1ad.	Un derivado de la IETF MPLS, para el transporte de paquetes no IP.
¿Para qué?	Convierte las redes Ethernet no orientadas a conexión en redes de transporte orientado a conexión, principalmente para enlaces virtuales punto a punto en el núcleo de un <i>carrier</i> Metro Ethernet.	Permite el transporte de paquetes orientados a conexión, principalmente para enlaces punto a punto, para diferentes redes de capa de enlace (por ejemplo, Ethernet, <i>Packet over</i> SONET / SDH).

<p>¿Cómo se efectúa?</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se define un nuevo espacio de direccionamiento propio del operador (<i>Backbone - Source Address</i> y <i>Backbone - Destination Address</i>), en el que cada MAC será de 6 bytes. Esto permite 2^{48} direcciones Ethernet para la red del operador. 2. Se crea una nueva etiqueta (<i>Instance-TAG</i>) que contiene un valor identificativo de servicio I-SID de 24 bits (más de 16 Millones de posibilidades) y que permite asociar las tramas de un cliente concreto a un valor unívoco. 3. Por último, la etiqueta relativa a las VLANs de <i>backbone</i> contiene el B-VID (12 bits) para identificar caminos alternativos para llegar a la MAC de destino; es decir que el conjunto de las etiquetas B-VID más las direcciones MAC destino del <i>backbone</i> B-DA proporcionarán la capacidad de transmisión orientada a conexión. Así se podrá reutilizar la numeración de B-VID para diferentes servicios, siempre que las direcciones MAC destino también sean distintas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se basa en tener un <i>backbone</i> MPLS, la cual es una tecnología de túneles LSP altamente adaptiva. 2. Cada instancia VPLS será identificada por un identificador de servicio (SVC-ID) entre los nodos del <i>backbone</i>. 3. Se formará una instancia VPLS concreta para todo el tráfico perteneciente a un mismo S-VID. 4. Cada PE tendrá una tabla de conmutación por cada SVC-ID, en la que habrá un FIB (Base de información para transmisión – <i>Forward Information Base</i>) que relacione MACs, VCs y Puertos específicos.
<p>¿Cuáles son las ventajas de la tecnología?</p>	<p>PBB-TE se basa en la tecnología de Ethernet nativo y, por lo tanto, tiene el potencial de multiplicar su sencillez y menor costo.</p> <p>Asimismo, PBB-TE se basa en una dirección global (por ejemplo, incluye la dirección de origen), que es beneficiosa en las capacidades operación, administración y mantenimiento.</p> <p>Sencillez: Evita las conversiones de protocolo.</p> <p>Amplia gama de anchos de banda: Ofrece mayor granularidad que los servicios WAN tradicionales, desde 2 Mbps a 10 Gbps</p>	<p>Más adelante que PBB-TE en el proceso de normalización. Tecnología altamente difundida en redes de <i>backbone</i> metropolitanos.</p> <p>Apoya el mapeo de múltiples servicios como ATM, <i>Frame Relay</i> y Ethernet. Mecanismos avanzados de Ingeniería de tráfico.</p>
<p>Capital inicial</p>	<p>Ahorro en la inversión de capital, los equipos mantienen las funcionalidades de Ethernet. No hay necesidad de capacitar al equipo operativo existente, quien ya conoce y maneja Ethernet.</p>	<p>Elevado capital para inversión inicial, debido a altos costos en equipos y capacitación especializada de personal.</p>
<p>Operación y Mantenimiento</p>	<p>OAM 802.1ag, 802.3ah</p>	<p>LSP, <i>ping</i>, <i>tracert</i>, BFD.</p>
<p>Alta disponibilidad geográfica</p>	<p>Conexiones metropolitanas, nacionales e internacionales.</p>	<p>Conexiones metropolitanas, nacionales e internacionales</p>
<p>¿Es normalizada?</p>	<p>Un primer proyecto IEEE autorización se ha presentado para PBB-TE, como un</p>	<p>T-MPLS es un trabajo en progreso, en el</p>

	subconjunto del estándar IEEE 802.1ah. PBB-TE busca de aprovechar la estandarización IEEE OAM labor que se está realizando como parte de la IEEE 802.1ag (UIT Y1731) estándar que se está avanzando a través de la IEEE.	UIT-T (Estudio 15). T-MPLS OAM pretende utilizar el estándar ITU Y.1711 actualmente en discusión, como también para impulsar la normalización IEEE OAM labor que se está realizando como parte de la IEEE 802.1ag (Y1731) estándar que se está avanzando a través de la IEEE para Ethernet.
Escalabilidad	VLAN Y MAC (12 + 48 = 60 bits)	<i>Label stacking</i> (120 bits)
¿Principal desventaja?	El proceso de normalización se encuentra actualmente en su infancia.	Complejidad: Se requiere varios protocolos para el funcionamiento. Añade adicionales de procesamiento de la información de la cabecera y que pueden ser los gastos generales adicionales en algunas aplicaciones.
¿En dónde encaja mejor?	En un escenario de despliegue desde 0 puede jugar a favor de equipos PBB/PBB-TE.	Hoy en día, muchas compañías han invertido grandes sumas en IP / MPLS y Packet sobre SONET / SDH en el núcleo de sus redes, VPLS, por lo tanto, puede ser el mejor ajuste para el núcleo de la red existente.

Tabla 2.6 Comparación de tecnologías de *Backbone*: PBB / PBB-TE VS. VPLS

Después de analizar las prestaciones que brindan las dos tecnologías para el *backbone* Ethernet se determina que la solución que más se adapta a los requerimientos actuales para una nueva red de servicios portadores en Quito es IEEE 802.1ah con PBB-TE.

2.4.1 BENEFICIOS DE UN *BACKBONE* IEEE 802.1ah CON TECNOLOGÍA PBB-TE

PBB-TE da la capacidad de crear túneles Ethernet orientados a conexión que permitirán a los proveedores de servicios ofrecer enlaces Ethernet dedicados con niveles de desempeño garantizado, determinista. PBB-TE está diseñada para igualar o hasta superar las funcionalidades de los túneles MPLS RSVP-TE, pero al costo de Ethernet y prácticamente sin necesidad de capacitar al equipo operativo existente, quien ya conoce y maneja Ethernet.

Con estas capacidades, PBB-TE ofrece a los proveedores de servicios varias y nuevas alternativas para implantar redes metropolitanas de nueva generación, en términos del “*tunneling*” y los servicios que éstas soportan (ver figura 2.25).

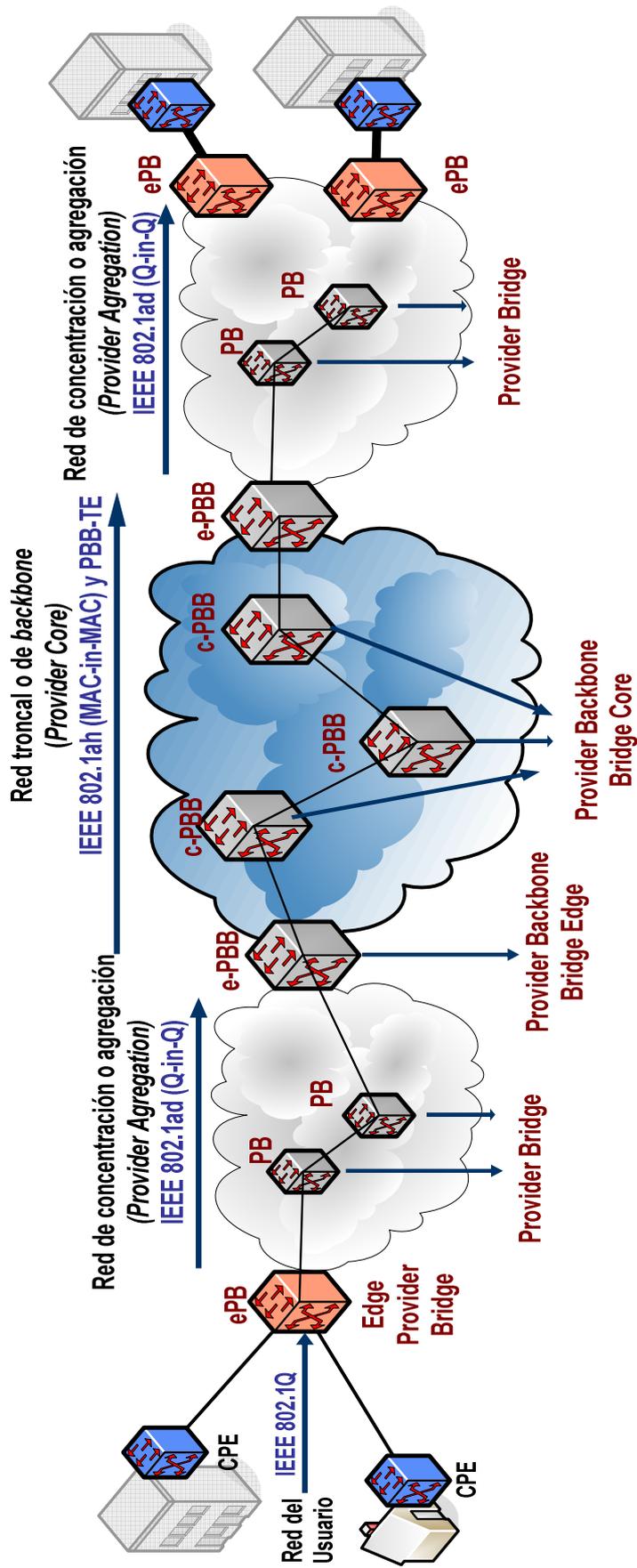


Figura 2.25 Arquitectura de Carrier Ethernet

Al ser una tecnología de “*tunneling*” con ingeniería de tráfico, PBB-TE es una alternativa frente a mantener túneles MPLS (como RSVP-TE) en el entorno metropolitano. Además soporta multiplexación de cualquier servicio Ethernet o MPLS dentro del túnel PBB-TE. Por lo tanto, la red proveedora de servicios podrá transportar sobre túneles PBB-TE Ethernet nativo, 802.1Q, 802.1ad o 802.1ah, además de servicios basados en MPLS (como VPWS o VPLS), dando mayor flexibilidad de tecnologías.

Como tecnología de *Tunneling* e Infraestructura de servicios, PBB-TE cumple con todos los requerimientos que el MEF exige para que la red metropolitana trabaje con calidad de portador de servicios:

Escalabilidad

Al deshabilitar las funciones de aprendizaje MAC, desaparecen las características de *broadcast* indeseables que se daban en la inundación MAC y limitaba el tamaño de la red. Además, con un direccionamiento de 60-bits y con reenvío basado en el destino, PBB-TE virtualmente no tiene límites para el número de túneles en la red (2^{60} túneles).

Protección

PBB-TE no sólo permite al proveedor disponer de servicios de conexión Ethernet punto-a-punto a lo largo de la red, sino que permite además la provisión de rutas de *backup* para garantizar alta disponibilidad y confiabilidad.

En combinación con IEEE 802.1ag, estas rutas de trabajo y protección darán la capacidad a PBB-TE de proporcionar tiempos de recuperación menores a 50 ms, similar a como lo hacen las técnicas de TDM, SONET/SDH o *Fast Reroute* MPLS, y mejor aún pues lo hace sin ninguno de los protocolos adicionales que las otras sí necesitan.

Calidad de servicio Estricta / *Hard QoS*

Al especificar la ruta que un paquete debe tomar en la red, los proveedores de servicio pueden ahora introducir ingeniería de tráfico en sus redes Ethernet.

PBB-TE garantiza estricta QoS, ofreciendo reserva de ancho de banda y eficientes SLAs al cliente, que podrán cumplirse sin sobredimensionar la capacidad de la red. Esto a su vez permite al proveedor de servicios maximizar la utilización de la red y, por tanto, minimizar el costo por bit transportado.

Además, se incrementa la seguridad, ya que cualquier mala configuración o pérdida de paquetes se detecta inmediatamente cuando se usen los enlaces punto a punto a través de la red Ethernet. Esto significa que el tráfico estará protegido de problemas por manipulación, fugas de paquetes de usuarios finales ya sea con o sin intenciones maliciosas, pues esto ya no será ocasionado por las inundaciones estándares de Ethernet.

Gestión de Servicios

Dado que el proveedor tiene control sobre las rutas establecidas para cada servicio, tendrá la capacidad de correlacionar con ello alarmas, fallas y desempeño en el servicio. Se habilitará además conmutación de protección con propósitos de mantenimiento que garanticen el desempeño de los SLAs comprometidos.

Soporte TDM

Como tecnología de túneles de capa 2, PBB-TE puede interactuar con tecnologías WAN existentes, soportando servicios Ethernet E-LINE, semejantes a los servicios basados en MPLS (VPLS).

Sin embargo, la propia baja latencia de los *switches* Ethernet, combinado con el flujo de tráfico determinista de PBB-TE, proporciona una plataforma ideal sobre la que se puede emular servicios del TDM tradicional/conmutación de circuitos.

PBB-TE ofrece la escalabilidad, ingeniería de tráfico, QoS, confiabilidad y la capacidad de administración que le faltaba a Ethernet para permitir a los proveedores de servicios aprovechar plenamente su infraestructura y así converger en redes metropolitanas de próxima generación que soporten servicios residenciales y corporativos de voz, video y datos.

El hecho de que PBB-TE es habilitado mediante pequeñas alteraciones al funcionamiento normal de Ethernet, significa que esta tecnología puede ser fácilmente implementada sobre el hardware existente. No se requerirá introducir redes con tecnologías complejas y costosas en la MAN, como lo es MPLS.

PBB-TE combina lo mejor de Ethernet con lo mejor de MPLS: Una red convergente, con simplificación de capas, construida con componentes de más bajo costo.

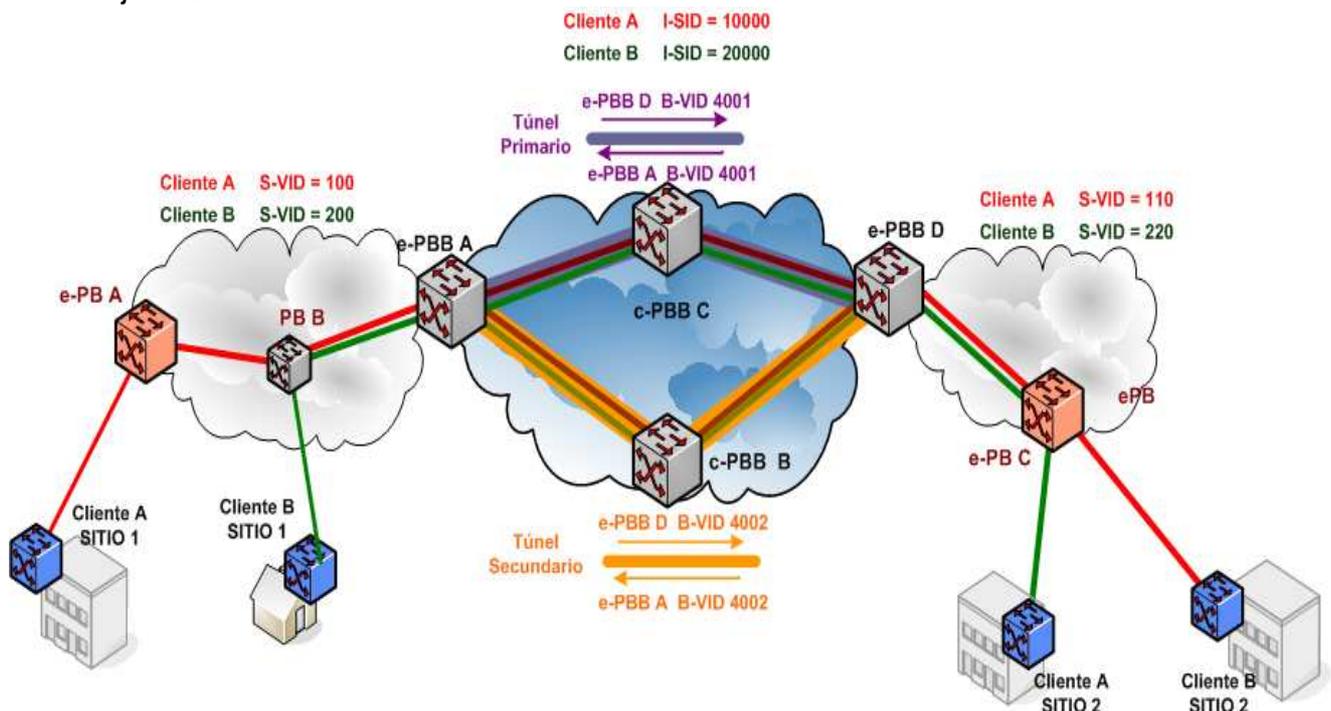


Figura 2.26 Funcionamiento del *Carrier Ethernet* [30]

En la figura 2.26 se puede ver la interconectividad de la red de agregación PB y la red troncal PBB con PBB-TE habilitado. Se tienen dos clientes L2VPNs, con túneles PBB-TE primarios y de *backup* en el núcleo de la red.

El tráfico del cliente A (rojo) se origina en el Sitio 1. El e-PB A encapsulará el tráfico del cliente añadiendo una *S-TAG* que contiene el valor de S-VID: 100 reservado para todo el dominio del cliente A. El tráfico es enviado *al Provider Backbone Bridge Edge A (e-PBB A)*.

e-PBB A ha sido configurado para asignar a todo el tráfico del cliente A (S-VID=100) una identificador de Instancia de Servicio (I-SID) de valor 10000. El mismo valor I-SID está asociado con sus túneles PBB-TE primario y de respaldo. Cada túnel primario y de *backup* es identificado usando la combinación de una Dirección MAC Destino del e-PBB y un *backbone*-VID (B-VID).

Ésta es una característica muy importante que PBB-TE agrega a una red PBB por sí sola. Hay que recordar que con PBB, los B-VIDs representaban un dominio de inundación que interconectaba varias redes PB de concentración. Con PBB-TE, los B-VIDs en conjunto con una dirección MAC destino del *backbone* (B-DA) definen cada túnel.

En este caso, el nodo e-PBB A encapsula el tráfico con S-VID 100 añadiendo la B-DA del nodo e-PBB D, la B-SA del e-PBB A, un B-VID con valor 4001 (túnel primario, de color lila), y un I-SID de valor 10000. Todo el tráfico que se reenvíe al *Provider Backbone Bridge Core C (c-PBB C)* llevará este encabezado MAC. El c-PBB C ha sido configurado para no aprender ni inundar los paquetes con B-VID 4001, reservado para uso del PBB-TE.

El hecho que PBB-TE no realice ningún aprendizaje ni *flooding* MAC es un logro muy significativo. Cada dispositivo c-PBB debió haber sido provisionado con las respectivas bases de datos para transmitir correctamente la información por los diversos túneles.

En el c-PBB C la tabla de reenvíos contiene el registro para los paquetes con destino e-PBB D y B-VID 4001, para el que existe un puerto en particular con dirección a e-PBB D.

El nodo e-PBB D recibe la información y quita la cabecera MAC del proveedor. Ya que los valores de S-VID tienen solo significado local en las redes PB, el proveedor tiene la flexibilidad de traducirlos. En este caso, el e-PBB D ha sido configurado para asociar el I-SID 10000 con un S-VID 110.

Los equipos que estén en los extremos del *backbone* deberán soportar poderosas capacidades de traducción y mapeo de *backbone*-VIDs, *Service*-VIDs, y *Customer*-VIDs, para darles la mejor flexibilidad a los proveedores en el diseño y evolución en el núcleo de la red.

En la figura 2.26, el tráfico proveniente del túnel es desencapsulado y el S-VID es mapeado al valor 110. La información es reenviada al PB al cual el cliente A tiene enlazado su Sitio 2.

La etiqueta *S-TAG* es quitada por el dispositivo PB y la trama original del cliente, proveniente del Sitio 1, es entregada al Sitio 2.

Los túneles PBB-TE primarios y de *backup* son preconfigurados por un sistema de administración. Esto da la habilidad al operador de aplicar ingeniería de tráfico de acuerdo a las rutas, ancho de banda y requerimientos de cada servicio. Los clientes y sus servicios estarán asociados a los túneles, tomando en cuenta los anchos de banda necesarios para cumplir con las velocidades planteadas (CIR, EIR).

Los túneles serán monitoreados por IEEE 802.1ag *Connectivity Fault Management* (CFM), *Continuity Check Messages* (CCM). Las tramas de control CCM son enviadas y recibidas periódicamente (pocos milisegundos) entre los túneles PBB-TE.

Si el túnel primario experimenta alguna falla, los nodos extremos del túnel, empiezan automáticamente a usar el túnel de *backup*. Las bases de datos de reenvío, son preconfiguradas con las rutas alternativas para minimizar los tiempos de detección de caídas y restauración de caminos.

2.4.2 EXPERIENCIA DE MERCADO EN CASOS DE ÉXITO [32]

A continuación se presentan experiencias de mercado, que respaldan el uso de la tecnología *Provider Backbone Bridges* y *Provider Backbone Transport* en las redes de transporte.

Empresas muy importantes en el campo de las Telecomunicaciones han preferido la solución de arquitecturas Metro Ethernet con tecnología Ethernet de extremo a extremo, tal es el caso del Grupo Telefónica³⁴ en Madrid quien ha finalizado exitosamente las pruebas de desempeño y confiabilidad de las soluciones de Ethernet, *Provider Backbone Bridges* y *Provider Backbone Transport*, permitiendo reforzar la competitividad por medio de la innovación tecnológica.

Las pruebas, que utilizan PBB y PBB-TE para respaldar video y otros servicios de datos móviles de banda ancha, fueron realizadas en el laboratorio de Telefónica I+D en Madrid, España³⁵, estas soluciones permitirán cumplir con el aumento de las aplicaciones de banda ancha en sus redes metropolitanas posicionando a Ethernet como una opción para cualquier servicio que deseen ofrecer. Se incluyen servicios de próxima generación, tales como la reproducción triple y cuádruple, video y datos inalámbricos, y la conectividad de Ethernet para las empresas. Las pruebas fueron llevadas a cabo como parte de un programa europeo llamado *European Information and Communications Technology* (ICT) bajo la sombrilla de EUREKA (una red que abarca toda Europa para el estudio y el desarrollo industrial y del mercado).

³⁴ Empresa de telecomunicaciones con presencia a nivel mundial

³⁵ Las pruebas de Telefónica I+D incluyeron permitir que los túneles de transporte de Ethernet de punta a punta, con características de manejo similares a SONET/SDH, mostraran cómo las tecnologías PBB y PBT de Nortel pueden usarse para respaldar la retroalimentación inalámbrica. La solución, usada en las pruebas, se basó en el *Metro Ethernet Routing Switch* 8600 de Nortel que desarrolla las últimas innovaciones de los proveedores de Ethernet de Nortel, incluyendo PBB y PBT.

Una de las áreas de mercado más importante en el mundo son las instituciones financieras, este sector es extremadamente prudente a la hora de gestionar sus redes. Actualmente han optado por soluciones WAN autogestionadas, como Ethernet puro, por esto están migrando a Ethernet de manera gradual y controlada sus redes, especialmente las instituciones Bancarias de la Unión Europea, para esto están usando proveedores como *COLT Telecom Group Limited*, *Extreme Networks*, etc. con cobertura en la mayor parte de Europa,

De igual forma varias empresas, corporaciones e instituciones de gran importancia en el mundo están cambiando de proveedores, dejando atrás sus contratos de conectividad con redes tradicionales y migrando hacia redes que manejen la tecnología Ethernet, especialmente aquellas que usan tecnologías PBB y PBB-TE. Con la implementación de estas nuevas tecnologías nos han permitido demostrar cómo los proveedores de servicios pueden utilizar estas tecnologías para aumentar al máximo la eficiencia de las redes y ofrecer más servicios de banda ancha.

Estos casos demuestran el avance en el constante desarrollo mundial y la adopción de Ethernet a nivel de proveedores para ayudar a progresar en la “Era de la Hiperconectividad”, donde todo lo que pueda conectarse a la red estará conectado.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA RED PORTADORA ETHERNET

3.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE QUITO [26][34]

Quito es la capital del país y de la provincia de Pichincha, está ubicada a 2800 metros sobre el nivel del mar. Tiene 35 kilómetros de largo y su ancho varía de tres a cinco kilómetros. Su ubicación geográfica es muy peculiar: el valle de Quito está en una zona tropical, sobre la línea ecuatorial, entre la Cordillera de los Andes y la Cordillera Oriental como se puede observar en la figura 3.1. La presencia de las montañas modifica la temperatura en el valle de Quito a razón de un grado centígrado (1°C) por cada 200 metros de altitud.



Figura 3.1 Descripción Topológica de Quito [35]

La estructura territorial del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es el resultado de un proceso de organización y ocupación del suelo acaecido durante siglos, producto de las relaciones de la ciudad de Quito con los centros poblados de la periferia y el área rural. Por su parte, la estructura territorial se ha visto fuertemente condicionada en la forma de crecimiento por las características geográficas del sitio.

Este proceso ha creado un polo urbano orientador de la dinámica de configuración del territorio, que es la ciudad de Quito. El continuo urbano constituido por la ciudad, establece un esquema de articulación radial concéntrica de las áreas de expansión urbana, a manera de un arco que sigue las plataformas en que se sitúan los asentamientos de la periferia.

3.1.1 PRINCIPALES TRANSFORMACIONES URBANO-ESPACIALES

Durante las dos últimas décadas, Quito y su región metropolitana han experimentado significativas transformaciones urbano-espaciales. La ciudad compacta históricamente conformada en el valle de Quito se vuelca desde dentro hacia fuera, provocando un proceso de periurbanización de carácter expansivo. Esta forma de crecimiento urbano ha creado una suerte de ciudad dispersa que progresivamente incorpora varios poblados y áreas agrícolas, en los valles de Tumbaco-Cumbayá, Los Chillos, Calderón y Pomasqui-San Antonio de Pichincha.

En la actualidad, el DMQ constituye el principal polo de desarrollo industrial andino del Ecuador. Concentra más del 65% del número de establecimientos fabriles, del personal ocupado, de la producción total y de la inversión de capital en el Ecuador. Su industria desarrolla actividades de punta, especialmente de la industria textil, metalmecánica y de acero, producción de químicos y fármacos, editorial y artes gráficas (en el DMQ se produce el 80% de los libros que se publican en el país), de la agroindustria relacionada con las exportaciones de flores, vegetales exóticos, cárnicos y lácteos, y en menor proporción el procesamiento de aceite de palma, producción avícola y de licores. Además, se desarrollan los sectores de conocimiento y tecnología ligados a la consultoría empresarial y de ingenierías, las telecomunicaciones, el software, y en menor escala la biotecnología y las energías alternativas.

Asimismo, Quito se afirma como el centro nacional de servicios turísticos y de transporte de carga por vía aérea (con el 70% del turismo internacional y el 80% de la carga aérea, del total nacional) y terrestre, por lo que es clave el sector de transporte en general.

En el norte se ubica el Quito moderno, donde se erigen grandes estructuras urbanas y comerciales; el centro o Quito antiguo reúne el legado colonial, y en el sur de la ciudad se encuentran gran parte del sector industrial de la provincia.

En el año 2.001, según el Censo Nacional, el Distrito Metropolitano albergaba una población de 1'842.201 habitantes, de los cuales 1'414.601 habitaba en el área urbana. Respecto de la distribución poblacional, de estos casi dos millones de habitantes, el 82% vive en las áreas urbanas. El 18% restante habita en las áreas suburbanas y rurales que forman parte del territorio del Distrito.

3.1.2 DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Se desarrolla a continuación un breve estudio de la distribución territorial del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), el cual permitirá conocer la localización y distribución espacial de las actividades económicas. Para ello se ha dividido a Quito en zonas suburbanas y rurales, urbanas y urbanas de Protección ecológica.

En el mapa de la figura 3.2 se puede ver el conjunto de parroquias del DMQ en el que se diferencian aquellas que pertenecen a las zonas suburbanas y rurales (en gris claro) y las parroquias urbanas (en gris más oscuro). Se notará que alrededor de las parroquias urbanas hay una zona también en un gris claro; corresponde a una prolongación del área de las parroquias urbanas que se ubican en zonas de lo que se conoce como "protección ecológica".

Para el presente proyecto, se analizará el sector urbano por ser el lugar con mayor concentración de empresas, así como las parroquias suburbanas que han tenido un notable crecimiento comercial e industrial (POTENCIALES CLIENTES).

Se ha dividido al Distrito Metropolitano de Quito en los siguientes sectores:

- **Sectores Urbanos:**

Guamaní, Turubamba, La Ecuatoriana, Quitumbe, Chillogallo, La Mena, Solanda, La Argelia, San Bartolo, La Ferroviaria, Chilibulo, La Magdalena,

Chimbacalle, Puengasí, La Libertad, Centro Histórico, Itchimbia, San Juan, Belisario Quevedo, Mariscal Sucre, Iñaquito, Rumipamba, Jipijapa, Cochapamba, Concepción, Kennedy, San Isidro del Inca, Cotocollao, Ponciano, Comité del Pueblo, El Condado, Carcelén.

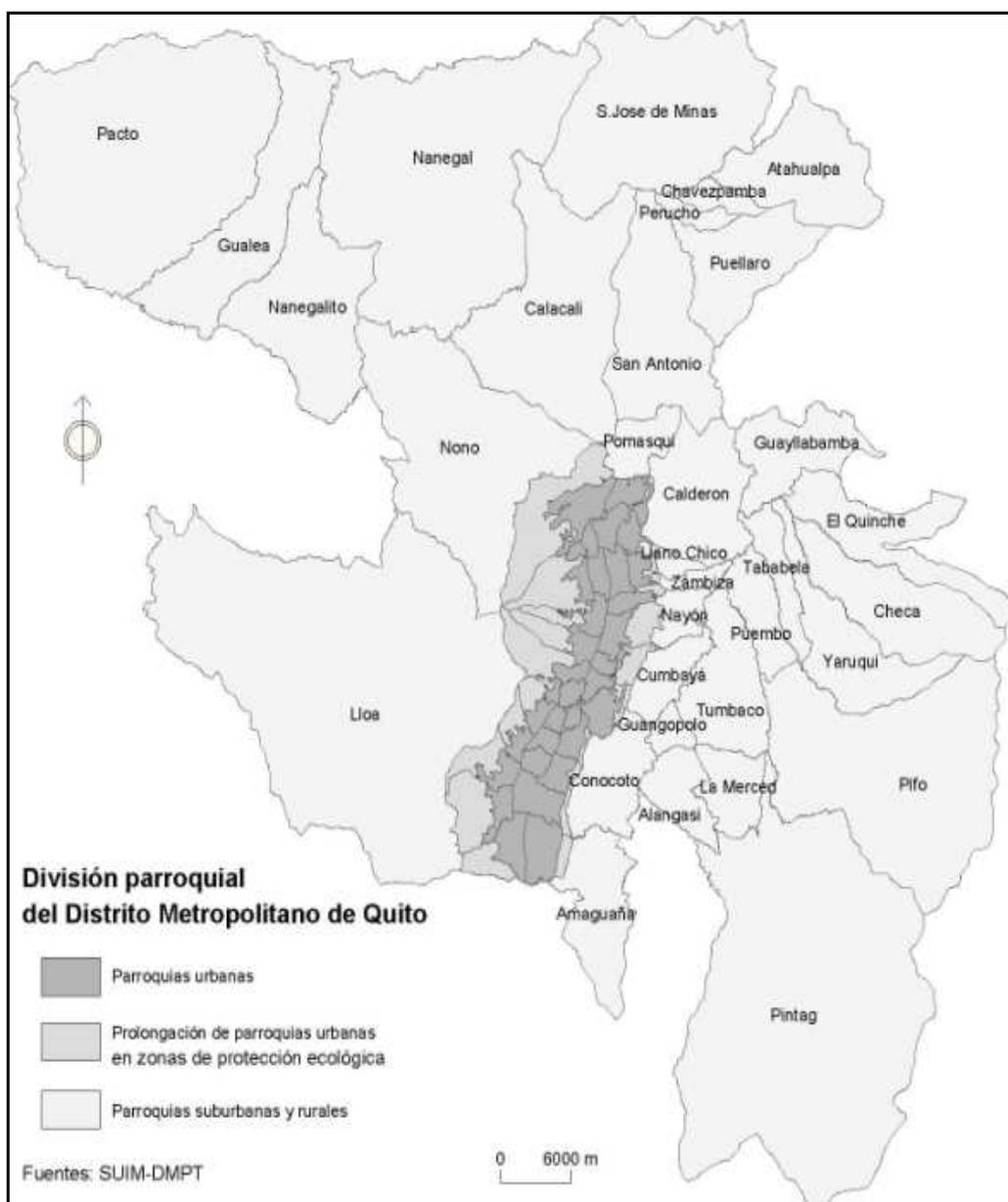


Figura 3.2 División parroquial del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) [36]

- **Sectores Suburbanos**

Calderón, Carapungo, Pomasqui, Pusuquí, San Antonio de Pichincha, Cumbayá, Tumbaco, Pifo, Conocoto y Sangolquí urbano (Rumiñahui).

En la figura 3.3 se puede observar la distribución sectorial urbana del DMQ.



Figura 3.3 División parroquial Urbana del DMQ [36]

Sin embargo desde hace dos décadas la ciudad rompe con su forma tradicional de crecimiento en el Valle de Quito y se proyecta hacia los valles circundantes en un proceso de integración espacial, conformando una amplia base económica industrial y comercial articulada a las cuencas agrarias más dinámicas de la región centro-norte de la Sierra. En estos valles se asientan importantes empresas e instalaciones industriales, agroindustriales y agropecuarias.

Por otra parte, el resto de las actividades económicas principales se ubica de modo predominante en los sectores centro norte y sur de la ciudad. Debido a esto, también se contempla en el diseño las zonas de los valles del Distrito Metropolitano de Quito.

3.2 DEFINICIÓN DE ZONAS DE ACUERDO A LA SECTORIZACIÓN DE QUITO

Conociendo que en Quito se ha logrado un significativo desarrollo empresarial debido a la concentración económica en el medio urbano y a la presencia de importantes actividades vinculadas en sectores secundarios, se han definido 13 zonas según el tamaño y ubicación de cada sector como se puede observar en la tabla 3.1.

En la figura 3.4 se puede observar la distribución de zonas urbanas del DMQ, mediante colores, de igual forma en la figura 3.5 se encuentra la distribución de las zonas suburbanas del DMQ, todas estas corresponden a la distribución de zonas según los sectores de la tabla 3.1.

ZONAS	SECTORES	ZONAS	SECTORES
ZONA 1	Condado	ZONA 7	Chimbacalle
	Calderón		Puengasí
	Pomasqui		La Ferroviaria
	Carcelén	Chilibulo	
ZONA 2	Cotocollao	ZONA 8	Magdalena
	Ponciano	La Mena	
	Comité del Pueblo	San Bartolo	
ZONA 3	Cochapamba	ZONA 9	Solanda
	Concepción	La Argelia	
	Kennedy	Chillogallo	
	El Inca	ZONA 10	La Ecuatoriana
ZONA 4	Rumipamba	Quitumbe	
	Jipijapa	ZONA 11	Guamaní
	Iñaquito	Turubamba	
ZONA 5	Belisario Quevedo	ZONA 12	Conocoto
	Mariscal	Amaguaña	
	San Juan	Sangolquí-Urbano (Cantón Rumiñahui)	
ZONA 6	Libertad	ZONA 13	Cumbayá
	Centro Histórico	Tumbaco	
	Itchimbía	Pifo	

Tabla 3.1 Distribución de Zonas según sectores de DMQ.



Figura 3.4 Distribución de Zonas urbanas de DMQ

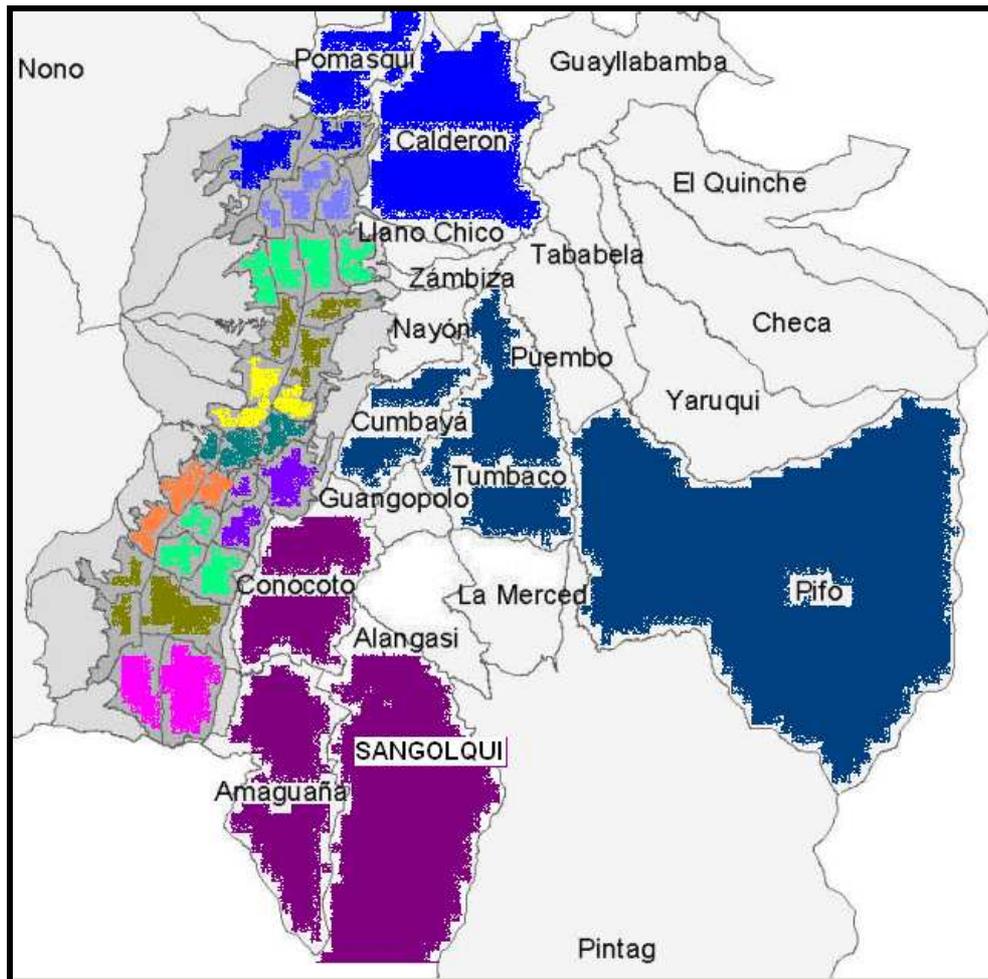


Figura 3.5 Distribución de Zonas suburbanas de Quito

3.3 CONCENTRACIÓN DE EMPRESAS EN LA CIUDAD DE QUITO

Para analizar la concentración de las empresas en cada una de las zonas determinadas anteriormente, se ha tomado una muestra de las compañías existentes en la ciudad, y se ha determinado según su ubicación, a qué zona pertenece cada una de ellas.

El objetivo de este análisis es asumir la distribución de los potenciales clientes por zonas en la ciudad, y posteriormente basarse en esto para determinar el número y ubicación de nodos de la Red Portadora.

Para obtener el tamaño de la muestra, se ha utilizado el método de muestreo aleatorio (confiabilidad del 90% y error estándar 0,0153), mediante el cual se calculó que el tamaño de la muestra necesario es de 373 empresas, (ver ecuación 3.1).

Para el cómputo de la muestra se ha contemplado una población de 11.418 empresas registradas al 2006 en la Cámara de Comercio de Quito CCQ.³⁶

$$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}} = \text{Tamaño de la Muestra}$$

Ecuación 3.1 Muestreo Aleatorio Simple

Siendo $N =$ Tamaño de la población = 11.418 y considerando que:

$$n' = \frac{S^2}{V^2}, \text{ de donde:}$$

- S^2 es la varianza de la muestra, la cual podrá determinarse en términos de probabilidad como:

$$S^2 = p \times (1 - p); \text{ donde } p \text{ es la probabilidad estadística}$$

- V^2 es el cuadrado del error estándar:

$$V^2 = (se)^2; \text{ siendo } se \text{ el error estándar, el mismo que está dado por la diferencia entre la media poblacional y la media muestral } (\mu - \bar{x})$$

$$\text{Considerando que: } p = 0,9 \Rightarrow S^2 = 0,09$$

$$se = 0,0153 \Rightarrow V^2 = 0,00023$$

$$\therefore n' = 384,47$$

El tamaño de la muestra para el estudio de concentración de empresas en Quito será el resultado de la ecuación 3.1.

³⁶ Empresas en Quito. CAMARA DE COMERCIO DE QUITO

$$n = \frac{n'}{1 + n'/N} = n = \frac{384,47}{1 + 384,47/11.418} = 373$$

Las 373 empresas que formaron parte de la muestra, fueron tomadas al azar, y se encuentran detalladas en el Anexo 1 con la respectiva zona de estudio a la que han sido asignadas según su ubicación (dirección específica) en Quito.

A continuación se presenta un extracto del Anexo 1, donde se puede observar cómo se ha descrito la información para cada una de las empresas de la muestra.

EMPRESA	DIRECCIÓN	UBICACIÓN	ZONA
FYBECA (1)	EL EJIDO	ITCHIMBIA	6
FYBECA (2)	MEJÍA	CENTRO HISTÓRICO	6
INDUSTRIAS OMEGA	Panamericana Sur Km 7 1/2	GUAMANÍ	11
DIACELEC	Av Occidental N61-124 y Flavio Alfaro	COCHAPAMBA	3
EXPLOCEN COMPANIA ANONIMA	Bosmediano 204 Frente a Ecuavisa.	EL INCA	3
AWT	Capitán Ramos E6-24 y Zaldumbide 3 piso	CENTRO HISTÓRICO	6
AGROREPRAIN S.A	Av de Los Shyris # 2064 y La Tierra	IÑAQUITO	4
ASTRA C.A	Calle Huaynapalco Oe7-48 y Zaruma. La Magdalena	MAGDALENA	8
EGAR S.A	Cochapata 112 y Gaspar de Villaruel	IÑAQUITO	4

Tabla 3.2 Extracto del Anexo 1

A continuación en la tabla 3.3 se encuentra en resumen el resultado del análisis del ANEXO 1, en el cual se ha obtenido la información sobre la concentración de empresas en las zonas de Quito (tabla 3.1) mediante el número de empresas registradas en cada zona y el porcentaje de concentración que éstas representan.

ZONAS	NÚMERO DE EMPRESAS	PORCENTAJE DE CONCENTRACIÓN (%)
ZONA1	21	5,63
ZONA 2	23	6,17
ZONA 3	44	11,80
ZONA 4	116	31,10
ZONA 5	73	19,57
ZONA 6	22	5,90
ZONA 7	14	3,75
ZONA 8	4	1,07
ZONA 9	6	1,61
ZONA 10	9	2,41
ZONA 11	8	2,14
ZONA 12	15	4,02
ZONA 13	18	4,83
TOTAL	373	100%

Tabla 3.3 Concentración de Empresas en las Zonas del DMQ

Se puede observar que la mayor concentración de empresas se encuentra en el sector centro norte del DMQ cubierto por las zonas 4 y 5 conformadas por los sectores principales de Iñaquito y la Mariscal respectivamente.

3.4 ESTUDIO DE LA DEMANDA DE SERVICIOS PORTADORES

3.4.1 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ABONADOS INICIALES

Se comenzará estimando el número de abonados para la fase inicial de la red propuesta. Este dato será el punto de partida para el dimensionamiento y planificación de la red.

3.4.1.1 Proyección de los Abonados de Servicios Portadores en Quito

Valiéndose de los datos de años anteriores sobre la densidad de penetración de los servicios portadores en la ciudad de Quito, se busca la ecuación de la curva de crecimiento del mismo, de la cual se obtendrá el valor de la densidad del servicio para el año 2008. Esta información será válida para estimar el número total de usuarios para ese año y más específicamente, cuántos de éstos serían los que busca por primera vez un proveedor con este fin (Usuarios Nuevos). De esta cantidad proyectada para toda la ciudad de Quito, se pretenderá como objetivo que el nuevo proveedor capte el 10% de los nuevos usuarios.

3.4.1.1.1 Densidad de Penetración de Servicios Portadores

La densidad de penetración de servicios portadores está definida por la relación del número de abonados y el número de empresas en la ciudad. Se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$D = \frac{N.de Abonados al año x}{N.de Empresas año x} * 100$$

Ecuación 3.2 Densidad de Penetración de Servicios Portadores

Mediante la ecuación 3.2, se ha calculado la densidad referente a Quito en los años 2005 y 2006 expuestos en la tabla 3.4. Para este cálculo se ha recurrido al número real de empresas en Quito. Este valor es el resultado de varias investigaciones y razonamientos, detallados en el Anexo 2.

El número de abonados de servicios portadores en la ciudad de Quito, han sido proporcionados por la Superintendencia de Telecomunicaciones, organismo al que cada empresa operadora debe reportar sus usuarios mensual y anualmente. Los detalles están en el Anexo 3.

El Anexo 2 se basa en informes elaborados por la Dirección de Estudios Económicos Societarios y la Dirección de Informática de la Superintendencia de

Compañías sobre las empresas registradas en el Ecuador. Estos estudios han sido desarrollados por el BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID) sobre la extra legalidad de empresas en el país³⁷, y estadísticas de la Cámara de Comercio de Quito, consiguiendo datos mucho más precisos sobre los que se trabajará; es decir el número de empresas de la ciudad de Quito con más de 10 usuarios.

	EMPRESAS³⁸	ABONADOS³⁹	DENSIDAD
2005	68.960	5.960	8,64%
2006	88.020	11.742	13,34%

Tabla 3.4 Densidad de Penetración de Servicios Portadores en Quito

3.4.1.1.2 Curva de Crecimiento de la Densidad del Servicio Portador

Para obtener la curva de crecimiento de la densidad del servicio portador se usará el método de Gompertz, el mismo que es recomendado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

- *Método de Gompertz*: El origen del método de Gompertz se fundamenta en la hipótesis, según la cual se expresa el desarrollo de un servicio como función del tiempo y se presenta en la ecuación 3.3.

$$D = e^{(a-b*r^t)}$$

Ecuación 3.3 Densidad de Servicio según Gompertz

Donde:

D: Densidad de servicio al año *t*

t: Tiempo en años a partir de un origen predeterminado.

a, b y r: Parámetros Constantes de la ecuación

³⁷ Estudio del Banco Interamericano de Desarrollo, "Evaluación preliminar de la extralegalidad en el Ecuador", ILD

³⁸ Detalle de Datos ANEXO 2. Fuentes: Compañías de Ecuador y Quito. SUPERINTENDENCIA DE COMPAÑIAS, Cámara de Comercio de Quito, BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID)

³⁹ Detalle de Datos ANEXO 3. Fuente: Estadísticas de Portadores en el Ecuador y Quito. SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES.

- *Cálculo de los Parámetros a, b y r:* Para determinar estos parámetros se parte de los datos conocidos para los años 2005 y 2006.

$$t = 0(2005) \quad D = 8,64$$

$$t = 1(2006) \quad D = 13,34$$

Además se asume que el tiempo de saturación es el infinito ($t \rightarrow \infty$), en cuyo caso el valor de la densidad es aproximadamente 45.

Tiempo t	$D = e^{(a-b*r^t)}$
0	$8,64 = e^{(a-b*r^0)}$ (a)
1	$13,34 = e^{(a-b*r^1)}$ (b)
$t \rightarrow \infty$	$45 = e^{(a-b*r^\infty)}$ (c)

De la ecuación (c) se obtiene:

$$a = \ln 45 \quad a = 3,81$$

De la ecuación (a) se obtiene:

$$a - b = \ln 8,64$$

$$a - b = 2,16$$

$$b = 1,6536$$

De la ecuación (b) se obtiene:

$$a - b * r^1 = \ln 13,34$$

$$a - b * r = 2,5908$$

$$r = 0,7372$$

Con los parámetros necesarios para la ecuación de Gompertz, la función de la densidad de servicio, quedará de la siguiente forma:

$$D = e^{(3,81 - 1,6536 * 0,7372^t)}$$

Ecuación 3.4 Densidad de Servicios Portadores en Quito

La correspondiente curva de crecimiento se presenta en la figura 3.6.

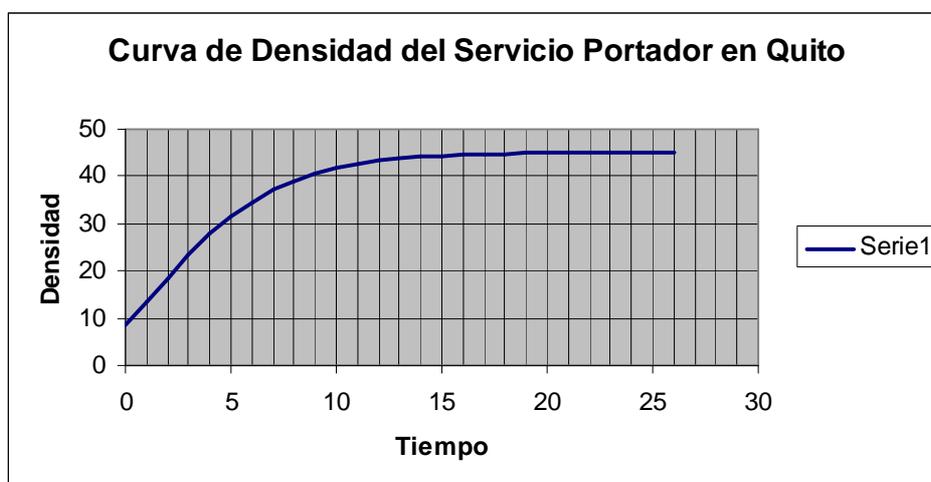


Figura 3.6 Curva de la Densidad de Servicios Portadores en Quito

3.4.1.2 Factor de Crecimiento de las Empresas en Quito

Se determina el factor promedio de crecimiento de las empresas de Quito, potenciales usuarios del servicio portador. Se basa en las estadísticas del número de empresas existentes en los años anteriores.

AÑO	Empresas de Quito	Factor de Crecimiento (FC)	Empresas de Quito con el FC.	Error
2000	64.661		64.661	
2001	68.810	1,064	68.571	0,003
2002	69.060	1,004	72.718	0,053
2003	75.556	1,094	77.115	0,021
2004	81.421	1,078	81.779	0,004
2005	68.960	0,847	86.724	0,258
2006	88.020	1,276	91.969	0,045
		<i>FCP:</i> 1,0604738009		0,076788566

Tabla 3.5 Factor de Crecimiento de Empresas en Quito

En la figura 3.7 se encuentra la curva de crecimiento de las empresas en la ciudad de Quito.

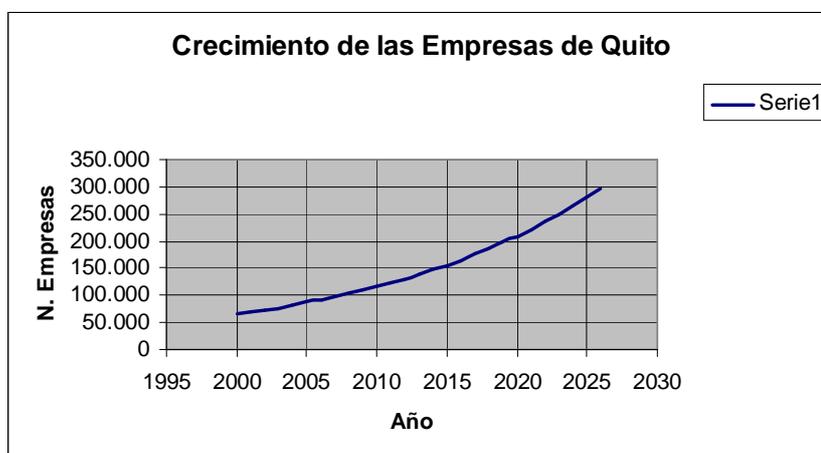


Figura 3.7 Crecimiento de las Empresas en Quito

Con el factor de crecimiento promedio, se determinará cuántas empresas se estima que existirán en el Ecuador para el año 2008, fecha base para puesta en marcha de la red portadora.

AÑO	Proyección: Empresas de Quito
2007	97.531
2008	103.429

Tabla 3.6 Proyección de crecimiento de las empresa de Quito al 2008

3.4.1.3 Estimación de usuarios para el año 2008

A partir de la ecuación 3.3 se puede obtener la densidad de penetración del servicio portador en las empresas de distrito de Quito para el año 2007 y 2008.

Tiempo t	Densidad de Penetración
t = 2 (2007)	$D = e^{(3,81-1,6536*0,7372^2)} = 13,38$
t = 3 (2008)	$D = e^{(3,81-1,6536*0,7372^3)} = 23,28$

Tabla 3.7 Densidad de Penetración de Servicios Portadores en Quito, años 2007 y 2008

Mediante el dato obtenido del número de empresas operadoras para el año 2008 y el valor de la densidad del servicio para el mismo año, presentados en las tablas 3.6 y 3.7, respectivamente, se puede aplicar la Ecuación 3.2 y obtener el número de abonados del servicio portador como se muestra a continuación:

$$D(2008) = \frac{N.de Abonados al año 2008}{N.de Empresas al año 2008} * 100$$

$$23,28 = \frac{N.de Abonados al año 2008}{103.429} * 100$$

$$N.de Abonados del servicio al año 2008 = 24.078$$

Según los informes de la SUPERTEL (Anexo 3) 19.026 abonados fueron reportados por las operadoras de servicio en el año 2007 en el DMQ. Es decir que de los 24.078 usuarios estimados para el año 2008, 5.052 (24.078-19.026) serán potenciales nuevos clientes en esta ciudad, los mismos que podrán ser captados y atendidos por las operadoras nuevas y las existentes en ese año.

Para determinar el tamaño del nicho de mercado del nuevo *carrier* Ethernet, se analiza la situación actual de este mercado, donde se encuentra una marcada diferencia entre la distribución de usuarios de las diversas empresas portadoras.

En la tabla 3.8 se presenta la descripción del porcentaje de clientes que cada empresa portadora tiene actualmente, según datos de la SUPERTEL a Agosto del 2007.

Existen actualmente dos empresas que cubren el 93,67% de clientes; el 6.33% de clientes restantes están compartidos por empresas portadoras, medianas y pequeñas, como se muestra en la tabla 3.9.

Número	Empresa	Porcentaje de Clientes %	Número	Empresa	Porcentaje de Clientes %
1	SURATEL S.A.	67,4639	11	ETAPATELECOM S.A.	0,07351
2	ANDINATEL S.A.	26,2040	12	ECUADORTELECOM S.A.	0,06861
3	TELCONET S.A.	2,4178	13	TELEHOLDING S.A.	0,06208
4	GLOBAL CROSSING S.A.	1,0668	14	TRANSNEXA S.A.	0,01960
5	MEGADATOS S.A.	0,7907	15	TRANSELECTRIC S.A.	0,01470
6	CONECCEL S.A.	0,4591	16	GRUPO BRAVCO CIA. LTDA.	0,00817
7	NEDETEL S.A.	0,4019	17	GILAUCO S.A.	0,00327
8	PUNTONET S.A.	0,3953	18	SETEL S.A.	0,00163
9	PACIFICTEL S.A.	0,1650	19	TELECSA S.A.	0,00163
10	OTECCEL S.A.	0,1046			

Tabla 3.8 Porcentaje de Clientes por Empresas Prestadoras de Servicios Portadores

Fuente: SUPERTEL

Distribución de Clientes (%)	
SURATEL S.A.Y ANDINATEL S.A.	93,67
Portadores Medianos y Pequeños	6,33

Tabla 3.9 Distribución de Clientes por Empresas de Servicios Portadores

De acuerdo a la estimación de abonados para el 2008, se conoce que existirán 5.052 nuevos clientes que serán absorbidos por las empresas portadoras. Para condiciones de diseño se determina que se cubrirá el 50% del porcentaje que abarcan las empresas portadores medianas y pequeñas; es decir el 3,17% del total de nuevos clientes (tabla 3.10).

Tomando en cuenta que aunque se tendrán claras ventajas técnicas y económicas, el competir con empresas que tienen un mercado establecido por

varios años resulta un gran desafío, que inicialmente atacará el nuevo mercado destinado a ser atendido por los operadores más pequeños.

Total de Abonados del servicio en Quito	24.078
Nuevos abonados del servicio para el año 2008	5.052
Abonados iniciales para la red Portadora en estudio al año 2008	160

Tabla 3.10 Datos de Abonados para el Año 2008

3.5 DETERMINACIÓN DE LA TOPOLOGÍA Y NODOS DE LA RED DE ACUERDO A LAS ZONAS DE COBERTURA

Para el despliegue de la arquitectura propuesta para la red Metro Ethernet se plantean varios dispositivos conocidos como nodos, que permitan el transporte de información realizando los procesos de conmutación requeridos en las distintas capas o niveles de la red portadora.

3.5.1 TIPOS DE NODOS

Los nodos de la red serán equipos que cuenten con funciones de conmutación 802.1Q, Q in Q, MAC in MAC y PBB-TE. Se distinguirán tres tipos de nodos, según la arquitectura planteada en el capítulo anterior.

3.5.1.1 Nodos de Acceso

El nodo de acceso es el primer dispositivo de la red del proveedor que lleva el tráfico de los clientes a la red del proveedor. Es decir, que a dicho nodo se conectan una cantidad de clientes, para enviar su tráfico hacia el resto de la red del proveedor o recibir tráfico de la misma. El enlace de acceso a Primera Milla

conecta el extremo de la red del proveedor de servicio al establecimiento del cliente.

En el presente diseño los nodos de acceso son equipos que permiten encapsular el tráfico del cliente, añadiendo un S-TAG mediante instancias de servicio en la red de agregación.

Estos dispositivos serán los que permitan recibir por una interfaz de entrada tecnología IEEE 802.1Q y enviar por la interfaz de salida tráfico con tecnología IEEE 802.1ad (Q-in-Q), o realizar el proceso inverso; a estos dispositivos se les conoce como *Edge Provider Bridge* (ePB), son los nodos de frontera de la red de agregación con el cliente (figura 3.8).

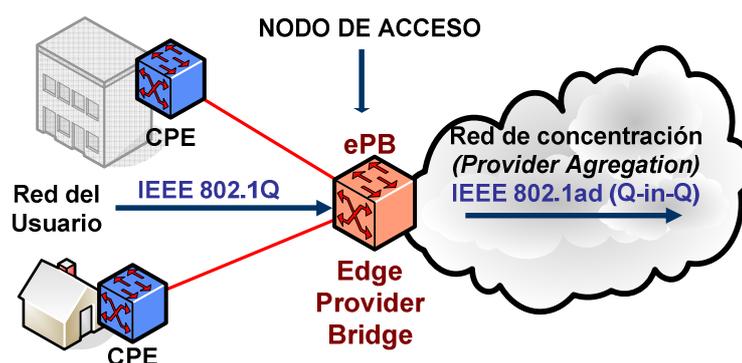


Figura 3.8 Nodos de Acceso

3.5.1.2 Nodos de Distribución

Los nodos de distribución son equipos internos en la red de distribución que encapsularán C-VLAN (cliente) pero que no podrán conmutar entre ellos mediante VLAN de servicio S-VLAN (proveedor), es decir se comunican internamente en la red de distribución con tecnología IEEE 802.1ad; a estos nodos se les conoce como *Provider Bridge* (PB).

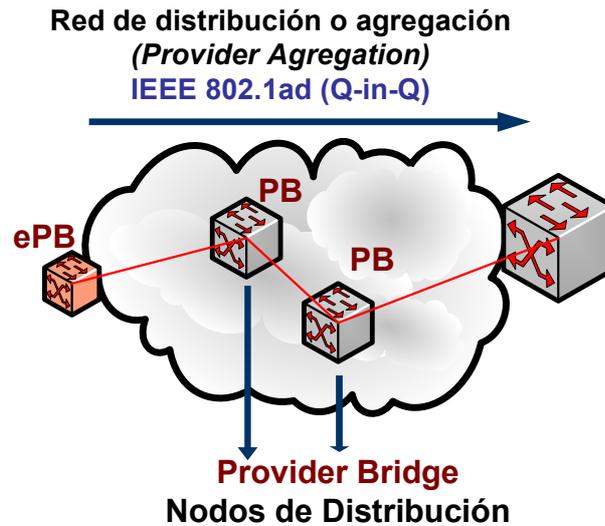


Figura 3.9 Nodos de Distribución

3.5.1.3 Nodos de Núcleo

Al igual que la red de agregación en el núcleo o *backbone* del proveedor se tienen dos tipos de nodos, los que son equipos de frontera con la red de agregación y equipos internos en el núcleo de la red.

Los nodos de frontera conocidos como *Provider Backbone Bridge Edge* (e-PBB) se encargan de realizar la encapsulación entre la red de concentración y el núcleo del proveedor; es decir tendrán que acometer la labor de realizar la correspondencia entre el entorno Q-in-Q y cómo gestionarlo en su paso por la parte troncal de la red (MAC-in-MAC).

Los nodos internos a la troncal o *backbone* se los llama *Provider Backbone Bridge Core* (c-PBB), estos equipos no tienen interacción con elementos de la red 802.1ad, se basan exclusivamente en los parámetros de la cabecera Ethernet definida para la red troncal es decir IEEE 802.1ah (MAC-in-MAC) (ver figura 3.10).

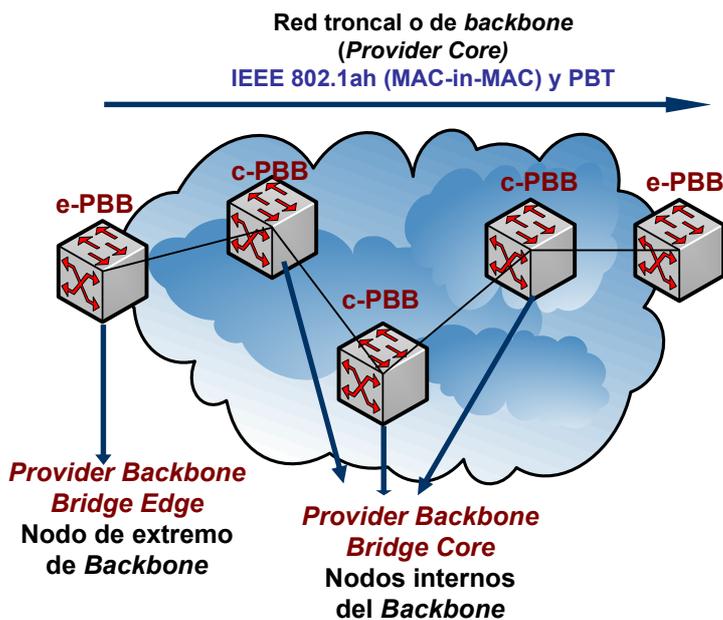


Figura 3.10 Nodos del Núcleo

En la figura 3.11 se presenta un esquema completo de la arquitectura planteada como solución para la Red Metro Ethernet, donde se muestra la ubicación exacta de los nodos que se detallaron anteriormente.

3.5.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS NODOS DE LA RED

De acuerdo al estudio presentado en el capítulo 3.3 sobre la concentración de las empresas en la ciudad de Quito, se ha planteado un esquema que responda a las necesidades de demanda y cobertura adecuada, para la distribución de nodos de la red del proveedor.

3.5.2.1 Ubicación geográfica de los Nodos de Acceso

La red *carrier* Metro Ethernet planteada pretende dar la primera milla a sus usuarios, por lo que se ha estructurado toda una capa de acceso que permita dar la cobertura apropiada a sus clientes iniciales y futuros. Se los ha distribuido según el estudio de concentración de empresas en el DMQ.

En la tabla 3.11 se puede observar la lista de los nodos de acceso requeridos, donde se indica la zona a la que pertenecen.

Se ha determinado el número y ubicación de estos nodos de acuerdo a la concentración de potenciales clientes de cada zona (Anexo 1 y tabla 3.3), y en base a la ubicación estratégica de ciertos sectores dentro del área, desde donde se trataría de brindar la cobertura requerida.

Por ejemplo en la zona 1, que tiene el 5,63% de concentración de empresas de Quito, la sexta entre las zonas de mayor concentración, se han asignado 4 nodos de acceso, de acuerdo a la ubicación geográfica, distancias entre sectores, y concentración de potenciales clientes.

Su denominación se realiza de acuerdo al lugar principal de cada sector, receptando el tráfico de los clientes que se encuentren en sus alrededores. Ver tabla 3.11.

Se considera a los Nodos: Seminario Mayor, Girón, Centro Histórico, Recreo, Conocoto y Carcelén con funcionalidades de equipos de acceso, a pesar que

éstos desempeñan adicionalmente funciones de conmutación propia de capas de distribución y núcleo.

NODOS DE ACCESO: ePB	ZONAS
Mariscal Sucre	Zona 8
Solanda	Zona 9
Chillogallo	Zona 10
Guajaló	Zona 11
Recreo	Zona 7
Conocoto	Zona 12
Sangolquí	Zona 12
Seminario Mayor	Zona 5
La Colón	Zona 5
Girón	Zona 5
Centro Histórico	Zona 6
La Carolina	Zona 4
La Prensa	Zona 3
Quito Norte	Zona 2
Condado	Zona 1
Carcelén	Zona 1
Pomasqui	Zona 1
Calderón	Zona 1
Comité del Pueblo	Zona 2
La Luz	Zona 3
Cumbayá	Zona 13
Jipijapa	Zona 4
Bellavista	Zona 4

Tabla 3.11 Nodos de Acceso de la Red Metro Ethernet

Los nodos Guajaló, Sangolquí, La Colón, Girón, Quito Norte, Condado, Pomasqui, Calderón, Comité del Pueblo, La Luz y Cumbayá llegarán a nodos de distribución que agregarán su tráfico al núcleo del backbone. Mientras que los nodos Mariscal

Sucre, Solanda, La Carolina, La Prensa, Jipijapa y Bellavista llegarán directamente a dispositivos de núcleo, sin pasar antes por algún nodo de distribución.

3.5.2.2 Ubicación geográfica de los Nodos de Distribución

Los nodos de distribución se han ubicado estratégicamente para concentrar los nodos de acceso con mayor carga y facilitar su entrada al *backbone* o núcleo de la red del proveedor. Dichos nodos se detallan en la tabla 3.12.

NODOS DE DISTRIBUCIÓN: PB
Carcelén
Cotocollao
El Inca
Girón
Quitumbe
Conocoto

Tabla 3.12 Nodos de Distribución de la Red Metro Ethernet

Respondiendo a la demanda de la Zona 1, se asignará el Nodo PB CARCELEN, para ser ubicado en el sector de Carcelén Industrial (tabla 3.13). A éste llegarán los nodos de acceso ePB: Calderón, Carcelén y Pomasqui, necesarios para cubrir los barrios circundados por Ponciano, Pomasqui, Pusuquí, Carapungo, Carcelén Alto y Real Audiencia.

PB	ePB
CARCELÉN	- Calderón - Carcelén - Pomasqui

Tabla 3.13 Nodo de Distribución Carcelén

Siguiendo con sentido hacia el Sur, se ubicará el Nodo PB COTOCOLLAO, que cubrirá a los sectores de la Zona 2: Cotocollao, Condado, Ofelia y Agua Clara a través de los nodos de acceso Condado y Quito Norte (tabla 3.14).

PB	ePB
COTOCOLLAO	- Condado - Quito Norte

Tabla 3.14 Nodo de Distribución Cotocollao

Cubriendo a las instituciones de Kennedy, Comité del Pueblo, Eloy Alfaro, El Inca, y La Luz se encontrará al Nororiente el nodo PB de EL INCA, el cual se extenderá hacia el Sur hasta la Calle Río Coca, concentrando en él los nodos de acceso Comité de Pueblo, La Luz y Cumbayá (tabla 3.15).

PB	ePB
EL INCA	- Comité del Pueblo - La Luz - Cumbayá

Tabla 3.15 Nodo de Distribución El Inca

Para el Sector Centro-Norte de la ciudad, cubriendo la Zona 5 de la Av. Colón, Mariscal, Girón, Patria, El Ejido, Floresta, Vicentina, 12 de Octubre, estará el Nodo PB EL GIRON, delimitando por la Av. Francisco de Orellana, Av. 10 de Agosto, la Alameda y Guápulo. Todo su tráfico llegará a través de la concentración de los nodos ePB La Colón y 12 de Octubre (tabla 3.16).

PB	ePB
EL GIRON	- La Colón - Girón

Tabla 3.16 Nodo de Distribución El Girón

Para los sectores de Guajaló, Guamaní, Quitumbe, Chillogallo de las Zonas 10 y 11, estará el Nodo PB QUITUMBE, que concentrará todo el tráfico de esta zona

altamente industrial mediante los nodos de acceso Chillogallo y Guajaló (tabla 3.17).

PB	ePB
QUITUMBE	- Chillogallo - Guajaló

Tabla 3.17 Nodo de Distribución Quitumbe

El sector de la Zona 12 de Conocoto, El Triángulo, Los Chillos y Sangolquí Urbano estará cubierto por el Nodo CONOCOTO (tabla 3.18).

PB	ePB
CONOCOTO	- Sangolquí - Conocoto

Tabla 3.18 Nodo de Distribución Conocoto

3.5.2.3 Ubicación geográfica de los Nodos de Núcleo: e-PBB y c-PBB

Los nodos de la capa de Núcleo son los que recogen a los nodos de distribución, transportan y conmutan el tráfico entre ellos, siendo el verdadero *Backbone* de la red que interconecte a la ciudad de Norte a Sur.

Nodos e-PBB

Formando la frontera del *backbone* de la red Metro Ethernet se han dispuesto 7 nodos e-PBB para realizar la traducción de Q-in-Q a MAC-in-MAC e iniciar el uso de PBB-TE para la asignación de rutas y conmutación Ethernet. Estos nodos se encuentran en la tabla 3.19.

El Nodo E-PBB CONCEPCIÓN (tabla 3.20) cubrirá la zona 3, correspondiente a las zonas de La Concepción, Cochabamba, y La Prensa hasta el sector de La Y. A éste llegará tráfico directo del nodo de acceso La Prensa y parte del tráfico que se halla agregado en los nodos de distribución de Cotocollao y Carcelén.

NODOS DE EXTREMO DE NÚCLEO: e-PBB
Concepción
Iñaquito Bajo
Mariana de Jesús
Seminario Mayor
Centro Histórico
Recreo
Quito Sur

Tabla 3.19 Nodos e-PBB del *Backbone* de la red Metro Ethernet

e-PBB	Nodos
Concepción	ePB La Prensa
	PB Cotocollao
	PB Carcelén

Tabla 3.20 Nodo e-PBB Concepción

Como se confirmó en los datos obtenidos en el estudio de concentración de empresas, detallados en la tabla 3.7, la Zona 4 es la que concentra la mayor parte de organizaciones, por lo que se encontrarán en esta área dos nodos de Concentración: Nodo IÑAQUITO BAJO, dando cobertura a Jipijapa, Iñaquito, Bellavista, Batán, y González Suárez, cubriendo hasta Av. Francisco de Orellana; y el Nodo MARIANA DE JESÚS que abarcará la franja occidental de los sectores de la Mariana de Jesús, Rumipamba, La Carolina, República del Salvador, Iñaquito Alto y Las Casas. Hacia el Sur llegará también hasta la Av. Francisco de Orellana.

Tal como se observa en la tabla 3.21, el nodo Iñaquito Bajo recibirá a los nodos de acceso Jipijapa y Bellavista y parte del tráfico de los nodos de distribución PB de El Inca y Carcelén.

e-PBB	Nodos
Iñaquito Bajo	PB El Inca
	PB Carcelén
	ePB Jipijapa
	ePB Bellavista

Tabla 3.21 Nodo e-PBB Iñaquito Bajo

El nodo e-PBB Mariana de Jesús integrará al *backbone* todo el tráfico del Nodo de acceso La Carolina, sin ningún equipo de distribución de por medio (tabla 3.22).

e-PBB	Nodos
Mariana de Jesús	ePB La Carolina

Tabla 3.22 Nodo e-PBB Mariana de Jesús

Desde la Av. 10 de Agosto hacia el occidente de la Zona 5, estará el Nodo de E-PBB SEMINARIO MAYOR, que tendrá también funciones de acceso para el sector de la Universidad Central, Belisario Quevedo, La Gasca, Basílica y San Blas. Además llegará a él parte del tráfico del PB Girón (tabla 3.23).

e-PBB	Nodos
Seminario Mayor	ePB Seminario Mayor
	PB Girón

Tabla 3.23 Nodo e-PBB Seminario Mayor

La Zona 6 de todo el Centro Histórico, La libertad, Itchimbia, Plaza Grande, Basílica, San Francisco, Cumandá, San Roque estará abarcada por el NODO CENTRO HISTORICO, que será el nodo de acceso para usuarios del sector y recogerá parte del tráfico del nodo PB Girón (tabla 3.24).

e-PBB	Nodos
Centro Histórico	PB Girón
	ePB Centro Histórico

Tabla 3.24 Nodo e-PBB Centro Histórico

Hacia el Sur de Quito, estará el Nodo RECREO cubriendo las Zonas 7 y parte de la 9, es decir los barrios de la Napo, Villaflora, El Recreo, San Bartolo, y El Comercio. Funcionará como nodo de acceso para el sector Recreo, captará todo el tráfico del PB Conocoto y parte del tráfico del PB Quitumbe (tabla 3.25).

e-PBB	Nodos
Recreo	ePB Recreo
	PB Conocoto
	PB Quitumbe

Tabla 3.25 Nodo e-PBB Recreo

Para las Zonas 8 y 9 entre Los Dos Puentes y Turubamba, se ubicará el NODO QUITO SUR, para los barrios de La Magdalena, Atahualpa, El Pintado, Solanda, Chilibulo, La Mena.

Este dispositivo actúa como nodo de acceso receptando directamente el tráfico de Mariscal Sucre y Solanda para integrarlo al *backbone* de la red, además de recibir parte de la información que transporta el nodo PB Quitumbe (tabla 3.26).

e-PBB	Nodos
Quito Sur	ePB Mariscal sucre
	ePB Solanda
	PB Quitumbe

Tabla 3.26 Nodo e-PBB Quito Sur

Nodos c-PBB

Los nodos que estén en el núcleo del *backbone* recibirán al tráfico proveniente de los e-PBB para realizar solamente funciones de conmutación. Se han dispuesto en el diseño tres nodos c-PBB (tabla 3.27).

Nodos Núcleo del Backbone / c-PBB
Iñaquito
Mariscal
Villaflora

Tabla 3.27 Nodos c-PBB del *Backbone* de la Red Metro Ethernet

- NODO IÑAQUITO, al que llegará el tráfico de los Nodos Carcelén, Cotocollao, Concepción, El Inca, Mariana de Jesús e Iñaquito Bajo.
- NODO MARISCAL, recogerá el tráfico de los Nodos: Girón, Seminario Mayor, Centro Histórico y Cumbayá.
- NODO VILLAFLOA, captará todo el tráfico del sur de la ciudad proveniente de los Nodos Recreo, Quito Sur, Quitumbe y Conocoto.

En la tabla 3.28 se encuentra un resumen de todos los nodos según su funcionalidad en la red *carrier* Ethernet: c.PBB, e-PBB, PB y ePB. En el mismo se puede constatar la relación existente entre ellos, según el diseño planteado, y las zonas que cada uno se halla cubriendo.

De la misma forma, en la figura 3.12 se presenta un gráfico por capas de todos los nodos que formarán parte de la red Metro Ethernet, considerando desde el nivel de acceso hasta el núcleo. Se puede apreciar también los enlaces que existen entre los nodos.

TIPO DE NODO				ZONAS
c-PBB	e-PBB	PB	ePB	
Villaflora	Quito Sur	Mariscal Sucre		Zona 8
		Solanda		Zona 9
		Quitumbe	Chillogallo	Zona 10
			Guajaló	Zona 11
	Recreo	Recreo		Zona 7
		Conocoto	Conocoto	Zona 12
Sangolquí			Zona 12	
Mariscal	Seminario Mayor	Seminario Mayor		Zona 5
	Centro Histórico	Girón	La Colón	Zona 5
			Girón	Zona 5
		Centro Histórico		Zona 6
Iñaquito	Mariana de Jesús	La Carolina		Zona 4
	Concepción	La Prensa		Zona 3
		Cotocollao	Quito Norte	Zona 2
			Condado	Zona 1
		Carcelén	Carcelén	Zona 1
			Pomasqui	Zona 1
			Calderón	Zona 1
	Iñaquito Bajo	Comité del Pueblo		Zona 2
		El Inca	La Luz	Zona 3
			Cumbayá	Zona 13
		Jipijapa		Zona 4
		Bellavista		Zona 4

Tabla 3.28 Nodos Acceso, Distribución y Núcleo por Zona de Cobertura

3.6 ANÁLISIS DE TRÁFICO

Para realizar el análisis de tráfico de la red Metro Ethernet, se utilizará el porcentaje de concentración de las empresas en Quito y el número de usuarios iniciales que pertenecerían según ello a cada zona. Con estos datos se podrá determinar el porcentaje de concentración de los clientes que inicialmente tendrá la red en cada zona y así calcular el número de abonados iniciales (tabla 3.29).

Para determinar la capacidad de transmisión en cada zona, se ha definido como promedio por cliente 10 Mbps, considerando las altas prestaciones que tendrá el servicio proporcionado por la red Metro Ethernet.

ZONAS	PORCENTAJE DE CONCENTRACIÓN (%)	ABONADOS INICIALES	CAPACIDAD DE TRASMISIÓN [Mbps]
ZONA1	5,63	9	90
ZONA 2	6,17	10	100
ZONA 3	11,8	19	190
ZONA 4	31,1	50	500
ZONA 5	19,57	31	310
ZONA 6	5,9	9	90
ZONA 7	3,75	6	60
ZONA 8	1,07	2	20
ZONA 9	1,61	3	30
ZONA 10	2,41	4	40
ZONA 11	2,14	3	30
ZONA 12	4,02	6	60
ZONA 13	4,83	8	80
TOTAL	100	160	1600

Tabla 3.29 Distribución de Clientes iniciales y capacidad de trasmisión por zonas

Para calcular el tráfico que deberá soportar cada nodo, se han dividido las zonas por sectores, en los cuales se ha determinado el porcentaje de distribución de la densidad comercial e industrial que existe en cada sector de una misma zona. Esto permite conocer el tráfico que procesará cada nodo y las características que tendrán los enlaces (tabla 3.30).

ZONAS	SECTORES	PORCENTAJE DE DISTRIBUCIÓN (%)	CAPACIDAD DE TRASMISIÓN (Mbps)
ZONA 1	Condado	20	18
	Calderón	30	27
	Pomasqui	10	9
	Carcelén	40	36
ZONA 2	Cotacollao	70	70
	Ponciano	10	10
	Comité del Pueblo	20	20
ZONA 3	Cochabamba	10	19
	Concepción	25	47,5
	Kennedy	25	47,5
	El Inca	40	76
ZONA 4	Rumipamba	30	150
	Jipijapa	10	50
	Bellavista	60	300
ZONA 5	Belisario Quevedo	25	77,5
	Mariscal	70	217
	San Juan	5	15,5
ZONA 6	Libertad	5	4,5
	Centro Histórico	70	63
	Itchimbía	25	22,5
ZONA 7	Chimbacalle	10	6
	Puengasí	10	6
	La Ferroviaria	80	48
ZONA 8	Chilibulo	20	4
	Magdalena	50	10
	La Mena	30	6
ZONA 9	San Bartolo	45	13,5
	Solanda	40	12
	La Argelia	15	4,5
ZONA 10	Chillogallo	50	20
	La Ecuatoriana	20	8
	Quitumbe	30	12
ZONA 11	Guamaní	60	18
	Turubamba	40	12
ZONA 12	Conocoto	20	12
	Amaguaña	5	3
	Sangolquí-Urbano (Cantón Rumiñahui)	75	45
ZONA 13	Cumbayá	50	40
	Tumbaco	40	32
	Pifo	10	8

Tabla 3.30 Distribución de capacidad de transmisión por sectores dentro de cada zona

3.6.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS NODOS DE LA RED METRO ETHERNET

De acuerdo a la capacidad de transmisión de cada sector, dentro sus respectivas zonas, se puede determinar el tráfico que recibirán los nodos de la red.

En la tabla 3.31 se dimensiona los nodos de acceso según el tráfico que reciben de los clientes de cada sector.

ePB	SECTORES	Tráfico Local (Mbps)
Mariscal Sucre	Chilibulo	4
	Magdalena	10
	La MENA	6
TOTAL:		20
Solanda	Solanda	12
	Turubamba	12
TOTAL:		24
Chillogallo	Chillogallo	20
	La Ecuatoriana	8
TOTAL:		28
Guajaló	Quitumbe	12
	Guamaní	18
TOTAL:		30
Recreo	Chimbacalle	6
	Puengasí	6
	La Ferroviaria	48
	San Bartolo	13,5
	La Argelia	4,5
TOTAL:		78
Conocoto	Conocoto	12
TOTAL:		12
Sangolquí	Amaguaña	3
	Sangolquí-Urbano (Cantón Rumiñahui)	45
TOTAL:		48
Seminario Mayor	Belisario Quevedo	77,5
TOTAL:		77,5
La Colón	Mariscal	108,5
TOTAL:		108,5
Girón	Mariscal	108,5
TOTAL:		108,5
Centro Histórico	San Juan	15,5
	Libertad	4,5
	Centro Histórico	63
	Itchimbía	22,5
TOTAL:		105,5

La Carolina	Rumipamba	150
TOTAL:		150
La Prensa	Cochabamba	19
	Concepción	47,5
TOTAL:		66,5
Quito Norte	Cotocollao	70
TOTAL:		70
Condado	Condado	18
	Ponciano	10
TOTAL:		28
Carcelén	Carcelén	36
TOTAL:		36
Pomasqui	Pomasqui	9
TOTAL:		9
Calderón	Calderón	27
TOTAL:		27
Comité del Pueblo	Comité del Pueblo	20
TOTAL:		20
La Luz	Kennedy	47,5
TOTAL:		47,5
Cumbayá	Cumbayá	40
	Tumbaco	32
	Pifo	8
TOTAL:		80
Jipijapa	El Inca	76
	Jipijapa	50
TOTAL:		126
Bellavista	Bellavista	300
TOTAL:		300

Tabla 3.31 Cobertura de los Nodos de Acceso y cálculo de su capacidad de transmisión

Para el dimensionamiento de los nodos de distribución se revisará el tráfico que proviene desde los nodos de acceso, de acuerdo a los sectores que vayan a cubrir cada uno de ellos.

En la tabla 3.32 se puede observar el tráfico que generará cada uno de los nodos de acceso y distribución.

PB	ePB	Tráfico Local (Mbps)
Carcelén	Carcelén	36,0
	Pomasqui	9,0
	Calderón	27,0
TOTAL:		72,0
Cotacollao	Quito Norte	70,0
	Condado	28,0
TOTAL:		98,0
El Inca	Comité del Pueblo	20,0
	La Luz	47,5
	Cumbayá	80,0
TOTAL:		147,5
Girón	La Colón	108,5
	Girón	108,5
TOTAL:		217,0
Quitumbe	Chillogallo	28,0
	Guajaló	30,0
TOTAL:		58,0
Conocoto	Conocoto	12,0
	Sangolquí	48,0
TOTAL:		60,0

Tabla 3.32 Dimensionamiento de Tráfico en los Nodos de Acceso (ePB) y Distribución (PB)

Los nodos de extremo del núcleo se dimensionan en base al tráfico que recogen de los nodos de distribución y de algunos nodos de acceso directamente, como se puede ver en la tabla 3.33.

Para los nodos internos del núcleo c-PBB, el dimensionamiento se lo hará a partir de la matriz de tráfico del sistema, donde se considerará el tráfico que recibe por los enlaces desde los nodos de extremo del núcleo, así como la carga que receipta de los demás nodos c-PBB.

e-PBB	Nodos	Tráfico Local (Mbps)
Concepción	ePB La Prensa	66,5
	PB Cotocollao (80%)	78,4
	PB Carcelén (70%)	50,4
TOTAL:		195,3
Iñaquito Bajo	PB El Inca (85%)	125,4
	PB Carcelén (15%)	7,6
	ePB Jipijapa	126,0
	ePB Bellavista	300,0
TOTAL:		558,9
Mariana de Jesús	ePB La Carolina	150,0
TOTAL:		150,0
Seminario Mayor	Seminario Mayor	77,5
	PB Girón (60%)	130,2
TOTAL:		207,7
Centro Histórico	PB Girón (35%)	76,0
	ePB Centro Histórico	105,5
TOTAL:		181,5
Recreo	ePB Recreo	78,0
	PB Conocoto	60,0
	PB Quitumbe (32%)	18,56
TOTAL:		156,6
Quito Sur	ePB Mariscal Sucre	20,0
	ePB Solanda	24,0
	PB Quitumbe (65%)	37,7
TOTAL:		81,7

Tabla 3.33 Dimensionamiento del Tráfico en los Nodos de Acceso (ePB), Distribución (PB) y Extremos del Núcleo (e-PBB)

3.6.2 DETERMINACIÓN DE LA MATRIZ DE TRÁFICO AL AÑO 2008

Después de que se ha establecido el ancho de banda referencial que tendrán los nodos, se puede elaborar la matriz de tráfico inicial para la red portadora en

estudio, utilizando como referencia la concentración de usuarios y el tráfico que los usuarios iniciales generan.

En la tabla 3.34 se describen las referencias de diseño para dimensionar enlaces y sobre éstos desarrollar la matriz de tráfico de la red Metro Ethernet.

DESCRIPCIÓN DE ENLACES	TRÁFICO EN LOS ENLACES
<i>Enlace Cotocollao- Concepción:</i>	77% del tráfico del Nodo COTOCOLLAO (Tráfico desde Cotocollao a Concepción)
	64% del tráfico del Nodo CARCELÉN (Tráfico desde Carcelén a Concepción)
<i>Enlace Concepción- Cotocollao:</i>	77% del tráfico del Nodo COTOCOLLAO (Tráfico desde Concepción a Cotocollao)
	64% del tráfico del Nodo CARCELÉN (Tráfico desde Concepción a Carcelén)
<i>Enlace Cotocollao- Carcelén:</i>	10% del tráfico del Nodo COTOCOLLAO (Tráfico desde Cotocollao a Carcelén)
	10% del tráfico del Nodo COTOCOLLAO (Tráfico desde Cotocollao al Inca)
	64% del tráfico del Nodo CARCELÉN (Tráfico desde Concepción a Carcelén)
<i>Enlace Carcelén- Cotocollao:</i>	10% del tráfico del Nodo COTOCOLLAO (Tráfico desde Carcelén a Cotocollao)
	10% del tráfico del Nodo COTOCOLLAO (Tráfico desde El Inca a Cotocollao)
	64% del tráfico del Nodo CARCELÉN (Tráfico desde Carcelén a Concepción)
<i>Enlace Concepción- Iñaquito:</i>	90% del tráfico del Nodo CONCEPCIÓN (Tráfico desde Concepción a Iñaquito)
	77% del tráfico del Nodo MARIANA DE JESÚS (Tráfico desde Mariana de Jesús a Iñaquito)
<i>Enlace Iñaquito- Concepción:</i>	90% del tráfico del Nodo CONCEPCIÓN (Tráfico desde Iñaquito a Concepción)
	77% del tráfico del Nodo MARIANA DE JESÚS (Tráfico desde Iñaquito a Mariana de Jesús)
<i>Enlace Carcelén-Inca:</i>	10% del tráfico del Nodo CARCELÉN (Tráfico desde Carcelén a El Inca)
	10% del tráfico del Nodo COTOCOLLAO (Tráfico desde Cotocollao a El Inca)
	15% del tráfico del Nodo CARCELÉN (Tráfico desde Carcelén a Iñaquito Bajo)
<i>Enlace Inca-Carcelén:</i>	10% del tráfico del Nodo CARCELÉN (Tráfico desde El Inca a Carcelén)
	10% del tráfico del Nodo COTOCOLLAO (Tráfico desde El Inca a Cotocollao)
	15% del tráfico del Nodo CARCELÉN (Tráfico desde Iñaquito Bajo a Carcelén)

<i>Enlace Inca-Iñaquito Bajo:</i>	85% del tráfico del Nodo EL INCA (Tráfico desde El Inca a Iñaquito Bajo)
	15% del tráfico del Nodo CARCELÉN (Tráfico desde Carcelén a Iñaquito Bajo)
<i>Enlace Iñaquito Bajo-Inca:</i>	85% del tráfico del Nodo EL INCA (Tráfico desde Iñaquito Bajo a El Inca)
	15% del tráfico del Nodo CARCELÉN (Tráfico desde Iñaquito Bajo a Carcelén)
<i>Enlace Iñaquito Bajo-Iñaquito:</i>	35% del tráfico del Nodo IÑAQUITO BAJO (Tráfico desde Iñaquito Bajo a Iñaquito)
<i>Enlace Iñaquito-Iñaquito Bajo:</i>	35% del tráfico del Nodo IÑAQUITO BAJO (Tráfico desde Iñaquito a Iñaquito Bajo)
<i>Enlace Iñaquito Bajo-Mariscal:</i>	60% del tráfico del Nodo IÑAQUITO BAJO (Tráfico desde Iñaquito Bajo a Mariscal)
<i>Enlace Mariscal- Iñaquito Bajo:</i>	60% del tráfico del Nodo IÑAQUITO BAJO (Tráfico desde Mariscal a Iñaquito Bajo)
<i>Enlace Mariana De Jesús-Concepción:</i>	20% del tráfico del Nodo MARIANA DE JESÚS (Tráfico desde Mariana de Jesús a Concepción)
	77% del tráfico del Nodo MARIANA DE JESÚS (Tráfico desde Mariana de Jesús a Iñaquito)
<i>Enlace Girón- Seminario Mayor:</i>	60% del tráfico del Nodo GIRÓN (Tráfico desde Girón al Seminario Mayor)
<i>Enlace Seminario Mayor-Girón:</i>	60% del tráfico del Nodo GIRÓN (Tráfico desde Seminario Mayor al Girón)
<i>Seminario Mayor-Mariana De Jesús:</i>	97% del tráfico del Nodo Mariana de Jesús (Tráfico desde Seminario Mayor a Mariana de Jesús)
<i>Enlace Seminario Mayor-Mariscal:</i>	83% del tráfico del Nodo SEMINARIO MAYOR (Tráfico desde Seminario Mayor a Mariscal)
<i>Enlace Mariscal-Seminario Mayor:</i>	83% del tráfico del Enlace SEMINARIO MAYOR (Tráfico desde Mariscal a Seminario Mayor)
	97% del tráfico del Enlace MARIANA DE JESUS (Tráfico desde Mariscal a Mariana de Jesús)
<i>Enlace Girón- Centro Histórico:</i>	35% del tráfico del Nodo GIRÓN (Tráfico desde Girón al Centro Histórico)
<i>Enlace Centro Histórico-Girón:</i>	35% del tráfico del Nodo GIRÓN (Tráfico desde Centro Histórico a Girón)
<i>Enlace Centro Histórico-Quito Sur:</i>	30% del tráfico del Nodo GIRÓN (Tráfico desde Girón a Quito Sur)
	17% del tráfico solo de clientes de acceso del Nodo CENTRO HISTÓRICO (Tráfico desde Centro Histórico a Quito Sur)
<i>Enlace Quito Sur - Centro Histórico:</i>	30% del tráfico del Nodo GIRÓN (Tráfico desde Quito Sur a Girón)
	17% del tráfico solo de clientes de acceso del Nodo CENTRO HISTÓRICO (Tráfico desde Quito Sur a Centro Histórico)
<i>Enlace Centro Histórico-Mariscal:</i>	80% del tráfico de acceso del Nodo CENTRO HISTÓRICO (Tráfico desde el Centro Histórico a Mariscal)
<i>Enlace Mariscal-Centro Histórico:</i>	80% del tráfico de acceso del Nodo CENTRO HISTÓRICO (Tráfico desde la Mariscal al Centro Histórico)

<i>Enlace Mariscal-Villaflora:</i>	55% del tráfico resultante de: (tráfico del Nodo MARISCAL menos el Tráfico que existe en el Enlace Mariscal-Iñaquito Bajo)
<i>Enlace Villaflora-Mariscal:</i>	55% del tráfico del Nodo VILLAFLOA (Tráfico desde Villaflora a Mariscal)
<i>Enlace Mariscal-Iñaquito:</i>	45% del tráfico resultante de: (tráfico del Nodo MARISCAL menos el Tráfico que existe en el Enlace Mariscal-Iñaquito Bajo)
<i>Enlace Iñaquito-Mariscal:</i>	60% del tráfico resultante de: (tráfico del Nodo IÑAQUITO menos el Tráfico que existe en el Enlace IÑAQUITO-Iñaquito Bajo)
<i>Enlace Quito Sur-Quitumbe:</i>	65% del tráfico del Nodo QUITUMBE (Tráfico desde Quito Sur a Quitumbe)
<i>Enlace Quitumbe a Quito Sur:</i>	65% del tráfico del Nodo QUITUMBE (Tráfico desde Quitumbe a Quito Sur)
<i>Enlace Quito Sur-Recreo:</i>	15% del tráfico del Nodo QUITO SUR que recibe de los nodos de acceso (Tráfico desde Quito Sur a Recreo)
	9% del tráfico del Nodo CENTRO HISTORICO (Tráfico desde Centro Histórico a Recreo)
<i>Enlace Recreo-Quito Sur:</i>	15% del tráfico del Nodo QUITO SUR que recibe de los nodos de acceso (Tráfico desde Recreo a Quito Sur)
	9% del tráfico del Nodo CENTRO HISTORICO (Tráfico desde Recreo a Centro Histórico)
<i>Enlace Quito Sur-Villaflora:</i>	80% del tráfico del Nodo QUITO SUR que recibe de los nodos de acceso (Tráfico de Quito Sur a Villaflora)
	menos 65% del tráfico del Nodo QUITUMBE (Tráfico que entra de Quitumbe y va al Centro Histórico)
<i>Enlace Villaflora-Quito Sur:</i>	80% del tráfico del Nodo QUITO SUR que recibe de los nodos de acceso (Tráfico de Quito Sur a Villaflora)
	menos 65% del tráfico del Nodo QUITUMBE (Tráfico que entra de Quitumbe y va al Centro Histórico)
<i>Enlace Quitumbe-Recreo:</i>	32% del tráfico del Nodo QUITUMBE (Tráfico desde Quitumbe a Recreo)
<i>Enlace Recreo-Quitumbe:</i>	32% del tráfico del Nodo QUITUMBE (Tráfico desde Recreo a Quitumbe)
<i>Enlace Recreo-Conocoto:</i>	98% del tráfico del Nodo CONOCOTO (Tráfico desde Recreo a Conocoto)
<i>Enlace Conocoto-Recreo:</i>	98% del tráfico del Nodo CONOCOTO (Tráfico desde Conocoto a Recreo)
<i>Enlace Recreo-Villaflora:</i>	97% del tráfico del Nodo RECREO (Tráfico desde Recreo a Villaflora)
<i>Enlace Villaflora- Recreo:</i>	97% del tráfico del Nodo RECREO (Tráfico desde Villaflora a Recreo)
<i>Enlace Iñaquito-Villaflora</i>	40% del tráfico resultante de: (tráfico del Nodo IÑAQUITO menos el Tráfico que existe en el Enlace IÑAQUITO-Iñaquito Bajo)
<i>Enlace Villaflora-Iñaquito:</i>	45% del tráfico del Nodo VILLAFLOA (Tráfico desde Villaflora a Iñaquito)

Tabla 3.34 Descripción del Tráfico de los Enlaces de la Red Metro Ethernet

MATRIZ DE TRÁFICO (Mbps) AL AÑO 2008
Se asume 10 Mbps por usuario

MATRIZ DE TRÁFICO	NODO CARCELÉN	NODO COTOCOLLAO	NODO CONCEPCIÓN	NODO EL INCA	NODO M. JESÚS	NODO ÑAQUITO BAJO	NODO EL GIRÓN	NODO SEMINARIO MAYOR	NODO CENTRO HISTÓRICO	NODO RECREO	NODO QUITO SUR	NODO QUITUMBE	NODO CONOCOTO	NODO ÑAQUITO	NODO MARISCAL	NODO VILLAFLORA
NODO CARCELÉN	72,00	65,68		27,80												
NODO COTOCOLLAO	65,68	98,00	121,54													
NODO CONCEPCIÓN		121,54	195,30											291,27		
NODO EL INCA	27,80			147,50		136,18										
NODO M. JESÚS					150,00											
NODO ÑAQUITO BAJO				136,18		558,94								195,63	335,36	
NODO EL GIRÓN							217,00	130,20	75,95							
NODO SEMINARIO MAYOR					145,50		130,20	207,70							172,39	
NODO CENTRO HISTÓRICO							75,95		181,45		83,04				84,40	
NODO RECREO										156,56	22,93	18,56	58,80			151,86
NODO QUITO SUR									83,04	22,93	81,70	37,70				72,90
NODO QUITUMBE										18,56	37,70	58,00				
NODO CONOCOTO										58,80			60,00			
NODO ÑAQUITO			291,27			195,63								486,90	174,76	116,51
NODO MARISCAL						335,36		317,89	84,40					82,53	518,77	100,87
NODO VILLAFLORA										151,86	72,90			101,14	123,62	224,76

Tabla 3.35 Matriz de Tráfico al año 2008

3.6.3 PROYECCIÓN DE TRÁFICO AL AÑO 2018

Preliminarmente se estimará que al segundo año de funcionamiento de la red portadora, se tendrá un crecimiento del 100%, es decir que de los 160 usuarios existentes al primer año, se duplicará el número de abonados. Con estos datos, se determinará una función de densidad de crecimiento de abonados existentes por empresas en la ciudad de Quito (tabla 3.36). Las empresas al año 2008 y 2.009 se estimarán con el factor de crecimiento de 1,060473801 obtenido en la tabla 3.5.

$$D_R = \frac{N.de Abonados al año x}{N.de Empresas año x} * 100$$

AÑO	Número de Abonados	Número de Empresas de Quito	Densidad Abonados por Número de Empresas
2008	160	103.429	0,16%
2009	320	109.684	0,29%

Tabla 3.36 Densidad de abonados para el año 2008 y 2009.

Con los datos de la densidad para el año 2008 y 2009 y utilizando la fórmula de la ecuación 3.3, se establecerán las ecuaciones adecuadas para llegar a la función de la densidad de abonados de la red portadora del presente proyecto.

Tiempo t	Densidad de crecimiento
0	$0,16 = e^{(a-b*r^0)}$ (a)
1	$0,29 = e^{(a-b*r^1)}$ (b)
$t \rightarrow \infty$	$45 = e^{(a-b*r^\infty)}$ (c)

De manera que los parámetros para la nueva función son:

$$a = 3,81$$

$$b = 5,643$$

$$r = 0,6753$$

Por lo tanto la ecuación a la que responderá la densidad de crecimiento de los servicios portadores de la nueva red Metro Ethernet será la presentada en el ítem 3.5.

$$D_R = e^{(3,81-5,643*0,6753^t)}$$

Ecuación 3.5 Densidad de Crecimiento del Servicio para el Nuevo Carrier Ethernet

Densidad de Abonados $D_{R(2018)}$	$D = e^{(3,81-5,643*0,6753^{10})} = 17,557$
Empresas en Quito	186.055
Abonados del servicio Portador	2128

Tabla 3.37 Proyecciones para el Año 2018

A partir de la densidad de crecimiento de abonados, y considerando que se proyectan 186.055 empresas en la ciudad de Quito para el 2018, el número estimado de abonados que tendrá el carrier Ethernet para el año 2018 es de 2128 (tabla 3.37).

Si se considera que la red inició con 160 usuarios (año 2008), se puede determinar que los 2128 usuarios proyectados, constituyen un factor de crecimiento de 13,88. De forma que la matriz de tráfico al año 2018 se obtendrá con dicho factor relacional, a partir de la matriz de tráfico inicial (2008), obteniendo lo expuesto en la tabla 3.38.

MATRIZ DE TRÁFICO (Mbps) AL AÑO 2018

MATRIZ DE TRAFICO	HODO CARCELEN	HODO COTOCOLLAO	HODO CONCEPCION	HODO EL INCA	HODO M. JESUS	HODO INIAQUITO BAJO	HODO EL GIROII	HODO SEMINARIO MAYOR	HODO CENTRO HISTORICO	HODO RECREO	HODO QUITO SUR	HODO QUITUMBE	HODO CONOCOTO	HODO INIAQUITO	HODO MARISCAL	HODO VILLAFLOA
HODO CARCELEN	999,36	911,64		385,86												
HODO COTOCOLLAO	911,64	1.360,24	1.686,98													
HODO CONCEPCION		1.686,98	2.710,76											4.042,83		
HODO EL INCA	385,86			2.047,30		1.890,11										
HODO M. JESUS			2.019,54		2.062,00											
HODO INIAQUITO BAJO				1.890,11		7.758,02								2.715,31	4.654,81	
HODO EL GIROII							3.011,96	1.807,18	1.054,19							
HODO SEMINARIO MAYOR					2.019,54		1.807,18	2.862,88							2.392,79	
HODO CENTRO HISTORICO							1.054,19		2.518,53		1.152,53				1.171,47	
HODO RECREO										2.173,05	318,28	257,61	816,14			2.107,86
HODO QUITO SUR									1.152,53	318,28	1.134,00	523,28				1.011,85
HODO QUITUMBE										257,61	523,28	805,04				
HODO CONOCOTO										816,14			832,80			
HODO INIAQUITO			4.042,83			2.715,31								6.758,13	2.425,70	1.617,13
HODO MARISCAL						4.654,81		4.412,33	1.171,47					1.145,56	7.200,49	1.400,13
HODO VILLAFLOA										2.107,86	1.011,85			1.403,87	1.715,84	3.119,71

Tabla 3.38 Matriz de Tráfico al año 2018

3.6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS ENLACES Y SELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN [42]

Con el aumento de la tecnología se ha hecho cada vez más necesario contar con una transmisión de datos fiable entre los sistemas y dispositivos de red. Como resultado, la transmisión de datos a través de los enlaces de red se ha convertido en un verdadero “sistema nervioso”, imprescindible para aumentar la eficacia y la competitividad, que alcanza a todos los ámbitos, desde la fabricación hasta la instalación y el transporte, así como la correcta selección de los mismos.

Para determinar el tipo de enlaces requeridos, que permitan interconectar todos los nodos de la red y determinar el medio de transmisión a utilizarse, así como las especificaciones que deben cumplir, se presenta en la tabla 3.39 las características más importantes que tiene cada enlace son:

- La velocidad de de transmisión que debe soportar cada enlace en un período de tiempo de 10 años
- La distancia que existe entre cada enlace

Los datos utilizados para la elaboración de la tabla 3.39 están tomados de las tablas 3.33 sobre la Distribución de anchos de banda por Nodos de acceso (ePB), distribución (PB) y extremos del núcleo (e-PBB) y la tabla 3.38 donde se detalla la matriz de tráfico proyectada al año 2018.

Mediante la información obtenida en la tabla 3.39 se puede destacar los siguientes puntos:

- Se tienen distancias de los enlaces comprendidas entre los 630 m y los 9100 m.
- Los enlaces deben soportar velocidades de transmisión que van desde los 124,92 Mbps hasta 4654,81 Mbps.

ENLACE	NODO ORIGEN	NODO DESTINO	DISTANCIA [m]	CAPACIDAD [Mbps]
1	Cotocollao	Quito Norte	2435	971,60
2	Cotocollao	Condado	1350	388,64
3	Cotocollao	Concepción	4198	1686,98
4	Cotocollao	Carcelén	4802	911,64
5	Carcelén	Pomasqui	2924	124,92
6	Carcelén	Calderón	4297	374,76
7	Carcelén	El Inca	7391	385,86
8	El Inca	Comité del Pueblo	2894	277,60
9	El Inca	La Luz	1606	659,30
10	El Inca	Cumbayá	4933	1110,40
11	El Inca	Iñaquito Bajo	3610	1890,11
12	Iñaquito Bajo	Jipijapa	1722	1748,88
13	Iñaquito Bajo	Bellavista	1750	4164
14	Iñaquito Bajo	Iñaquito	1476	2715,31
15	Iñaquito Bajo	Mariscal	5398	4654,81
16	Mariscal	Iñaquito	4187	2425,70
17	Concepción	La Prensa	788	923,02
18	Concepción	Iñaquito	3517	4042,83
19	Mariana de Jesús	Concepción	4774	2019,54
20	Mariana de Jesús	La Carolina	1551	2082
21	Mariana de Jesús	Seminario Mayor	1496	2019,54
22	Seminario Mayor	Mariscal	1324	4412,33
23	Seminario Mayor	Girón	1976	1807,18
24	Girón	La Colón	1522	1505,98
25	Girón	Centro Histórico	1653	1054,19
2	Centro Histórico	Mariscal	1519	1171,47
27	Centro Histórico	Quito Sur	6154	1152,53
28	Quito Sur	Mariscal Sucre	1076	277,6
29	Quito Sur	Solanda	1818	333,12
30	Quito Sur	Quitumbe	3887	523,28
31	Quito Sur	Recreo	2273	318,28
32	Quito Sur	La Villaflora	1911	1011,85
33	Quitumbe	Chillogallo	1592	388,64
34	Quitumbe	Guajaló	1789	416,4
35	Quitumbe	Recreo	5958	257,61
36	Conocoto	Sangolquí	1920	666,24
37	Conocoto	Recreo	4100	816,14
38	La Villaflora	Recreo	630	2107,86
39	La Villaflora	Iñaquito	9100	1617,13
40	La Villaflora	Mariscal	4912	1715,84

Tabla 3.39 Características de los Enlaces de la red Metro Ethernet

En la transmisión de datos, el cable físico suele ser el “punto débil”. El cable es el que transporta la señal analógica sensible a las interferencias y el que, en función de su diseño, instalación y longitud, junto con los efectos eléctricos del entorno, determina la velocidad y la calidad de las comunicaciones, de ahí la necesidad de realizar la selección adecuada del medio de transmisión.

No es fácil definir los medios para la transmisión de datos. En efecto, no sólo hay que interconectar diferentes puntos con un medio de transmisión, sino que además éste debe tener capacidad suficiente para la carga de tráfico actual y futura, ser compatible con determinadas velocidades de transmisión, requerir de mínimo mantenimiento y resistir el impacto del entorno.

Dentro de los principales medios de transmisión se tienen medios no guiados y medios guiados como el par trenzado, cable coaxial y la fibra óptica.

Los medios de transmisión no guiados permiten transportar considerables volúmenes de información y cubrir grandes distancias; mas dentro del perímetro urbano de la ciudad de Quito no existe línea de vista entre los nodos a interconectarse, esto debido a la topografía y las edificaciones que existen. Sin embargo este tipo de medios se utilizarán para realizar la interconexión de los enlaces Carcelén – Pomasqui y Conocoto - Recreo, en los cuales no se encuentra las facilidades para utilizar medios guiados, siendo más efectivo el uso de enlaces inalámbricos.

Transmisión de datos por Par Trenzado: Es el tipo de cable más común, sencillo y barato, y suele tener 4 hilos. Se trata de hilo de cobre estándar revestido de una cubierta de plástico, con o sin pantalla de metal protectora. Los hay de distintos tipos, con diferentes prestaciones que hay que tener en cuenta al diseñar la instalación, y también con diferentes capas de aislamiento, adaptadas a distintos entornos de instalación.

Para la velocidad de transmisión que deberán soportar los enlaces se pensaría en utilizar un par trenzado de Gigabit Ethernet como es 1000BaseT, sin embargo la

limitada distancia de 200 metros que se tendría con este tipo de cable incluido un repetidor no permitirá cubrir las necesidades de distancia de los enlaces, descartando este medio de transmisión.

Transmisión de datos por cable coaxial: El cable coaxial está formado por un conductor monofilar de cobre rodeado de una pantalla. Para que la separación entre estos dos elementos sea siempre estable, el espacio va relleno con una capa dieléctrica de plástico aislante. La pantalla se utiliza como protección y para las señales de retorno. El cable coaxial presenta buenas propiedades eléctricas y es adecuado para transmitir datos a gran velocidad. Originalmente, Ethernet utilizaba únicamente cable coaxial de dos tipos: grueso (10Base5) y fino (10Base2).

El cable coaxial tiene la ventaja de ser de banda ancha, lo que permite transmitir varios canales simultáneamente; no obstante al igual que el par trenzado las distancias que permite este medio de transmisión no son suficientes para cubrir los enlaces del diseño por lo que no se lo puede utilizar en los enlaces principales de la red.

Transmisión de datos por fibra óptica: La principal ventaja del cable de fibra es que es totalmente inmune a las perturbaciones eléctricas y magnéticas. Por este motivo, es la solución ideal para los entornos difíciles. Garantiza una transmisión fiable y ofrece una elevada capacidad de transmisión de datos. La inversión que requiere la instalación de una red de fibra óptica es todavía ligeramente más costosa que la de hilo de cobre, pero ofrece muchas ventajas. Además, como el mercado está creciendo, los precios son cada vez más bajos.

La fibra transforma las señales eléctricas en pulsos de luz que a continuación se envían por el cable a través de un transmisor de fibra óptica equipado con un diodo electroluminiscente o láser. El diodo láser permite transmitir a mayor distancia y a velocidades más elevadas, pero resulta más caro, razón por la cual está más extendido el uso de diodos electroluminiscentes. El receptor alberga un fotodiodo que vuelve a transformar los pulsos de luz en señales eléctricas.

En la tabla 3.40 se presentan algunas especificaciones de las interfaces de la fibra óptica.

SFP	Longitud de Onda [nm]	Tipo de Fibra	Diámetro del núcleo [μm]	Ancho de Banda [MHZ/Km]	Máximo alcance [m]	Potencia TX [dBm]	Potencia RX [dBm]
1000Base-SX	850	Multimodo Escalonado	62,5	160	220	Max -4	Max 0
			62,5	200	275		
			50,0	400	500	Min -9,5	Max -17
			50,0	500	550		
1000Base-LX/LH	1300	Multimodo Gradual	62,5	500	550	Max -4	Max 0
			50,0	400	550		
		Monomodo	50,0	500	550	Min -9,5	Max -17
			9 - 10	-	5000		

Tabla 3.40 Especificaciones de interfaces de Fibra Óptica

Adicionalmente para implementaciones de la tecnología 10 Gigabit con fibra óptica se tiene las siguientes normas:

- **10GbaseSR:** Proyectada para distancias cortas sobre fibra multimodo ya instalada, soporta un rango comprendido entre 28 y 82 metros.
- **10GbaseLX4:** Soporta desde 240 hasta 300 m. sobre fibra multimodo y 10 Km sobre fibra monomodo.
- **10GbaseLR y 10GbaseER:** Soporta de 10 a 40 Km sobre fibra monomodo.

Con las características detalladas sobre la fibra óptica en comparación a los demás medios de transmisión, se determina que cumple con los requerimientos para la interconexión de los nodos de la red Metro Ethernet, como son la distancia (la fibra óptica puede cubrir distancias en el orden de los 100 m hasta los 100 Km.), la capacidad de transmisión y altas prestaciones de seguridad en la transmisión. Por estas razones se selecciona la fibra óptica como medio de transmisión físico para los enlaces.

En la tabla 3.41 se presenta el medio seleccionado para cada enlace de la red según los requerimientos de distancia y capacidad señalados.

ENLACE	NODO ORIGEN	NODO DESTINO	DISTANCIA [m]	CAPACIDAD [Mbps]	MEDIO DE TRANSMISIÓN
1	Cotocollao	Quito Norte	2435	971,60	Fibra monomodo
2	Cotocollao	Condado	1350	388,64	Fibra monomodo
3	Cotocollao	Concepción	4198	1686,98	Fibra monomodo
4	Cotocollao	Carcelén	4802	911,64	Fibra monomodo
5	Carcelén	Pomasqui	2924	124,92	Radio
6	Carcelén	Calderón	4297	374,76	Fibra monomodo
7	Carcelén	El Inca	7391	385,86	Fibra monomodo
8	El Inca	Comité del Pueblo	2894	277,60	Fibra monomodo
9	El Inca	La Luz	1606	659,30	Fibra monomodo
10	El Inca	Cumbayá	4933	1110,40	Fibra monomodo
11	El Inca	Iñaquito Bajo	3610	1890,11	Fibra monomodo
12	Iñaquito Bajo	Jipijapa	1722	1748,88	Fibra monomodo
13	Iñaquito Bajo	Bellavista	1750	4164	Fibra monomodo
14	Iñaquito Bajo	Iñaquito	1476	2715,31	Fibra monomodo
15	Iñaquito Bajo	Mariscal	5398	4654,81	Fibra monomodo
16	Mariscal	Iñaquito	4187	2425,70	Fibra monomodo
17	Concepción	La Prensa	788	923,02	Fibra monomodo
18	Concepción	Iñaquito	3517	4042,83	Fibra monomodo
19	Mariana de Jesús	Concepción	4774	2019,54	Fibra monomodo
20	Mariana de Jesús	La Carolina	1551	2082	Fibra monomodo
21	Mariana de Jesús	Seminario Mayor	1496	2019,54	Fibra monomodo
22	Seminario Mayor	Mariscal	1324	4412,33	Fibra monomodo
23	Seminario Mayor	Girón	1976	1807,18	Fibra monomodo
24	Girón	La Colón	1522	1505,98	Fibra monomodo
25	Girón	Centro Histórico	1653	1054,19	Fibra monomodo
26	Centro Histórico	Mariscal	1519	1171,47	Fibra monomodo
27	Centro Histórico	Quito Sur	6154	1152,53	Fibra monomodo
28	Quito Sur	Mariscal Sucre	1076	277,6	Fibra monomodo
29	Quito Sur	Solanda	1818	333,12	Fibra monomodo
30	Quito Sur	Quitumbe	3887	523,28	Fibra monomodo
31	Quito Sur	Recreo	2273	318,28	Fibra monomodo
32	Quito Sur	La Villaflora	1911	1011,85	Fibra monomodo
33	Quitumbe	Chillogallo	1592	388,64	Fibra monomodo
34	Quitumbe	Guajaló	1789	416,4	Fibra monomodo
35	Quitumbe	Recreo	5958	257,61	Fibra monomodo
36	Conocoto	Sangolquí	1920	666,24	Fibra monomodo
37	Conocoto	Recreo	4100	816,14	Radio
38	La Villaflora	Recreo	630	2107,86	Fibra monomodo
39	La Villaflora	Iñaquito	9100	1617,13	Fibra monomodo
40	La Villaflora	Mariscal	4912	1715,84	Fibra monomodo

Tabla 3.41 Medios de transmisión de los Enlaces de la red

Como se ha elegido la fibra óptica como medio de transmisión se debe determinar el tipo de tendido que se hará entre los nodos a conectarse, debido a las

condiciones que presenta la ciudad de Quito y las facilidades que se tiene al contar con postes ya instalados, el tipo de tendido que se utilizará es aéreo.

Para realizar el tendido aéreo se usan los postes de alumbrado público, a los cuales se va sujetando el cable de fibra con un soporte de acero, manteniendo una distancia de guarda de los cables de alta tensión; resulta ser un método rápido y efectivo.

3.7 ATRIBUTOS DE ADMINISTRACIÓN DE TRÁFICO [37] [38] [39]

Implementar Ethernet en redes de área metropolitana no sólo involucra el hacer crecer dimensionalmente la red topológica, sino también implementar las prestaciones de calidad de servicio para cada aplicación. Esto se determina en los parámetros de tráfico y sus respectivos atributos establecidos en los SLAs del suscriptor. Son dos tipos de parámetros los que caracterizarán el trato que se dé a la información entregada por los clientes y la administración de la misma dentro de la red de proveedor.

- **Parámetros de Perfil de ancho de banda:** Son características que se imponen en las fuentes de tráfico y los respectivos anchos de banda contratados por el cliente.
- **Parámetros de Desempeño del Servicio:** Son mediciones sobre el desempeño del tráfico en concordancia a sus perfiles de ancho de banda.

Los parámetros que se fijan para cada aplicación dependerán de la clase de servicio en la que se vaya a clasificar a la misma en su ingreso a la red del proveedor, esto se logra fundamentalmente teniendo múltiples CoS en la red con diferentes esquemas de prioridad, y asignando tráfico a una CoS específica tal como 802.1p en capa 2. Se presentarán entonces 4 clases de servicio, como se muestra en la tabla 3.42.

Aplicaciones	ID CoS
Tiempo Real	6,7
Interactivo	4,5
Prioridad del negocio	3,4
Mejor esfuerzo	0,1,2

Tabla 3.42 Definición de ID CoS por tipo de aplicación

3.7.1 PARÁMETROS DE PERFIL DE ANCHO DE BANDA

El proveedor de servicio Ethernet podrá ofrecer perfiles de ancho de banda basados en los cuatro atributos definidos por el MEF, similares a los que se manejan en Frame Relay.

El tráfico de cliente llega al perímetro de su red local, en el UNI, y es aquí donde se aplican las primeras políticas de control de admisión a la red proveedora de acuerdo a los atributos negociados en los SLAs entre el cliente y el proveedor. Estos atributos son:

1. *Committed Information Rate (CIR)*: La tasa promedio garantizada para la transmisión de tramas acorde a los objetivos de desempeño del proveedor.
2. *Committed Burst Size (CBS)*: El máximo número de bytes que una ráfaga de tramas de servicio puede llevar para cumplir los objetivos de desempeño del proveedor.
3. *Excess Information Rate (EIR)*: La tasa promedio, excedente al CIR, para la cual las tramas de servicio son entregadas sin ningún tipo de garantía de desempeño. Es igual o mayor que el CIR.
4. *Excess Burst Size*: El máximo número de bytes permitidos para las tramas de servicio que entran enviadas bajo un EIR dado.

El típico servicio de “mejor esfuerzo” se podrá definir simplemente con un CIR igual a cero.

Desde la perspectiva del usuario, un perfil de ancho de banda especifica la velocidad promedio de las tramas “garantizadas” y en “exceso” permitidas en el UNI por la red del proveedor (ver figura 3.14).

Un medio práctico de describir o marcar las tramas de servicio cuando su tasa media está conforme o no al perfil definido, es a través del uso de colores. Las tramas de servicio verde son las que están de acuerdo con el SLA contratado y generalmente no pueden ser descartadas. Las tramas de servicio amarillo son las que no están de acuerdo con el SLA contratado y típicamente no serán inmediatamente descartadas. Las tramas de servicio rojas son las que no están acorde a los objetivos de desempeño contratados y serán descartadas inmediatamente.

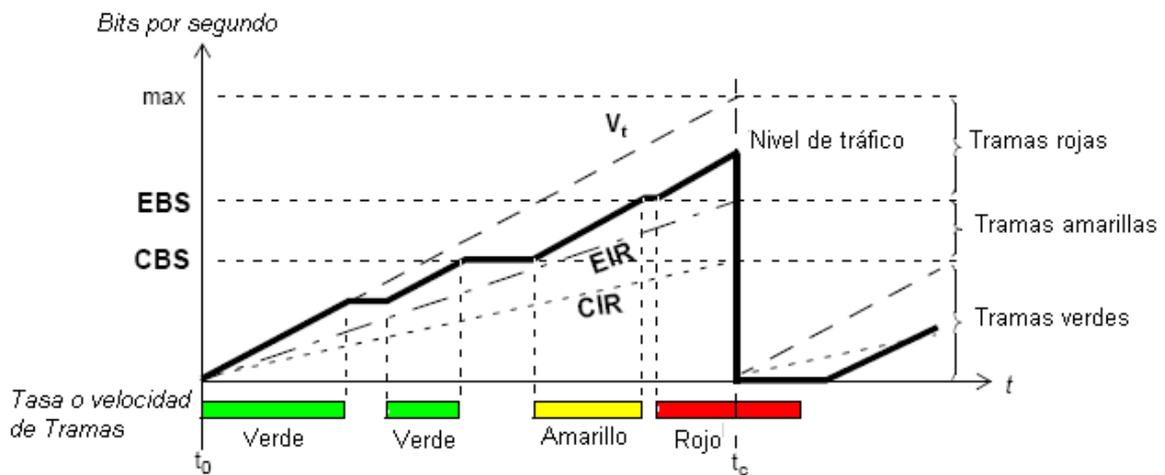


Figura 3.14 Perfiles de Ancho de banda definidos por el MEF

Las tramas de servicio enviadas dentro de un CIR dado, son aceptadas por la red de proveedor y entregadas a su destino con el rendimiento garantizado por el proveedor; es decir con los retardos, pérdidas y la disponibilidad fijada en los acuerdos de nivel de servicio. Estas tramas estarán “dentro del perfil” o “conforme” al perfil de ancho de banda.

Las tramas de servicio enviadas con la tasa del EIR, son aceptadas por la red de proveedor, pero su entrega no recibe ninguna garantía de rendimiento, se refiere entonces a tramas “fuera del perfil” o “disconforme” al perfil del ancho de banda.

Finalmente, las tramas enviadas sobre la velocidad del EIR, serán descartadas.

Ver figura 3.15

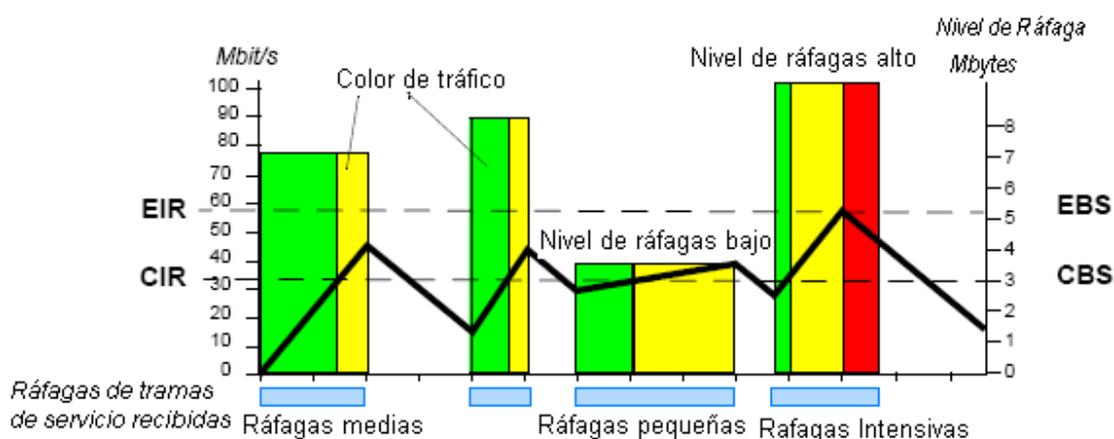


Figura 3.15 Muestra de la relación entre el CIR, EIR, CBS y EBS, con códigos de colores

3.7.2 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL SERVICIO

Los parámetros de desempeño afectan la calidad de servicio experimentada por los usuarios. El MEF ha definido: retardo de trama, *jitter*, y pérdidas de tramas.

Latencia de trama o *Frame Delay*

Es el tiempo que se tarda en entregar una trama desde su fuente a su destino final. Es la suma de todos los retardos que se den en los enlaces de cada subred por los que la trama atraviese (figura 3.16).

1. Tiempos de Procesamiento: Es el tiempo que le toma al *switch* procesar la trama y determinar la respectiva interfaz de salida (*switching delay*) y el tiempo que el paquete tendrá que permanecer en cola cuando dicha interfaz se encuentra ocupada (*queuing delay*).

2. Tiempos de Serialización: Es el tiempo existente para la transmisión desde el primero hasta el último bit del paquete. Dependerá del tamaño del paquete. Para las redes Ethernet este retardo es variable, pues el tamaño de las tramas es también variable.

3. Tiempo de Propagación: Es el tiempo transcurrido desde la transmisión del último bit del paquete en el primer nodo de red, hasta el último bit del paquete en el nodo final. Este tiempo es constante, y depende de las propiedades físicas del canal de transmisión. Es además proporcional a la distancia entre el transmisor y receptor.

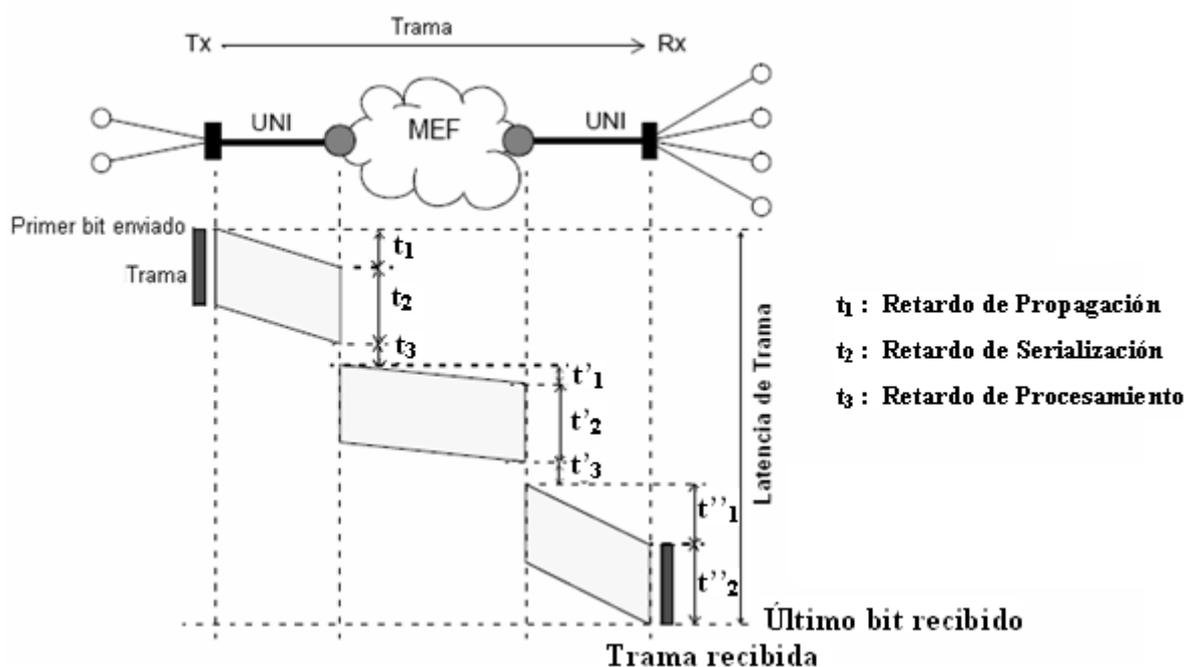


Figura 3.16 Latencia de trama

La latencia de trama en un sentido, está definida por el MEF como el máximo retardo alcanzado para la entrega de datos exitosamente en un tiempo determinado, y conforme a su CIR específico. Se determina en porcentajes. Un valor genérico usado en la industria es de 95% pero puede llegar hasta un 99% para aplicaciones con tiempos críticos.

Por ejemplo se tienen dos UNIs de 10 Mbps, en un intervalo de evaluación de 5 minutos y tramas de 1518 bytes. Si durante ese tiempo se han podido transmitir 10.000 tramas de forma exitosa, y la máxima latencia para el 95% de tramas (procesamiento y propagación) es de 5 ms, se tiene que:

$$\text{Tiempo de serialización} = \frac{1518 * 8}{10 * 10^6} = 0,0012144 \text{ s} = 1,2144 \text{ ms}$$

Siendo la latencia total de:

$$\text{Latencia total de trama} = 1,2144 \text{ ms} + 15 \text{ ms} + 1,2144 \text{ ms} = 17,4288 \text{ ms}$$

En situaciones prácticas, se suele utilizar la latencia de ida y vuelta (*Round Trip Delay* RTD), en lugar del retardo en un solo sentido. Si los canales de ida y vuelta son simétricos, la latencia de una vía será aproximadamente la mitad del RTD.

Jitter de la trama

El *jitter*, es el resultado de tener variación en las latencias de transmisión. Es un parámetro muy importante para aplicaciones de voz y video en tiempo real, pero su efecto es mínimo para transmisiones de datos. La medición del *jitter* puede derivarse de las latencias de trama obtenidas (ver ecuación 3.6).

$$\text{Jitter} = \text{Latencia de trama} - \text{Mínimo Retardo}$$

Ecuación 3.6 Jitter o Variación de latencia

Si en el ejemplo anterior se tuvo un retardo mínimo de 14 ms, entonces:

$$\text{Jitter} = 17,4288 \text{ ms} - 14 \text{ ms} = 3,4288 \text{ ms}$$

Pérdida de paquetes

Es el porcentaje de tramas dentro del perfil de ancho de banda que no son entregadas a su receptor, definida en la ecuación 3.7.

$$Pérdida de Paquetes = \left(1 - \frac{\text{Número de tramas recibidas}}{\text{Número de tramas enviadas}} \right) \times 100\%$$

Ecuación 3.7 Pérdida de paquetes

Si en el ejemplo, solo 995 tramas fueron recibidas, se tendrá una pérdida de:

$$Pérdida de Paquetes = \left(1 - \frac{995}{1000} \right) \times 100\% = 0,5\%$$

Acuerdos de Nivel de servicio

La nueva red portadora y proveedora de servicios Ethernet ofrecerá los servicios portadores capa 2: E-Line y E-Lan. Estos servicios son utilizados para proveer la combinación de:

- Servicios portadores para subcontratación.
- Servicio de Acceso a Internet
- Servicios de redes privadas corporativas.

Según esta primera clasificación de los 2 tipos de servicios, se especificarán para ellos los CIR propuestos para sus respectivas velocidades de puerto. Será el CIR el atributo principal, pues básicamente definirá el servicio prestado. La velocidad de puerto pasa a un segundo plano, pues corresponderán a los valores estándares de los equipos (ver tabla 3.43).

Servicio	Velocidad de Puerto (Mbps)	CIR (Mbps)
E-Line	10	3
	100	50
	1000	100
E-Lan	10	2
	100	20
	1000	100

Tabla 3.43 Definición de CIR para servicios Ethernet

En la tabla 3.44 se presenta un cuadro con los parámetros de servicio definidos para las aplicaciones pertenecientes a las diversas clases de servicio:

Característica del Servicio	CoS ID	Parámetros de Perfil de Ancho de Banda por EVC	Parámetros de Desempeño del Servicio
Telefonía IP en tiempo real o aplicaciones de Video IP (Ej: Videoconferencia)	6,7	CIR>0 EIR=0	Latencia < 5ms <i>Jitter</i> < 1ms Pérdidas < 0,001%
Aplicaciones de misión crítica que requieran bajas pérdidas y retardos. Interactivas. (Ej: <i>Storage, E-learning</i>)	4,5	CIR>0 EIR<= Velocidad de puerto	Latencia < 5ms <i>Jitter</i> =NA Pérdidas < 0,01%
Aplicaciones de datos de misión crítica que requieran ancho de banda garantizado, Prioridad de negocio (Ej: ERP, CRP)	3,4	CIR>0 EIR<= Velocidad de puerto	Latencia < 15ms <i>Jitter</i> =NA Pérdidas < 0,1%
Servicio del Mejor esfuerzo (Ej: FTP, <i>mail</i>)	0,1,2	CIR=0 EIR= Velocidad de puerto	Latencia < 30ms <i>Jitter</i> =NA Pérdidas < 0,5%

Tabla 3.44 Definición de Atributos de Tráfico por Servicio

3.8 MECANISMOS DE OPERACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SERVICIOS [40][41]

Las redes de proveedor de servicio son amplias y complejas, con una gran base de usuarios, y muchas veces envuelven a varios operadores y proveedores que trabajan juntos para proporcionar servicios extremo-a-extremo, por lo que es necesario disponer de una adecuada capacidad de gestión y monitoreo.

OAM (Operación, Administración y Mantenimiento), es todo un sistema creado para el monitoreo de redes operadoras en funcionamiento. Dispone también de funciones utilizadas por el usuario para la detección de fallas y medición del desempeño de la red.

OAM tiene la capacidad de activar mecanismos en el plano de control y plano de gestión, por ejemplo: activación de reenrutamiento o salto de alarmas, aún cuando este tipo de funciones no formen parte de OAM.

La funcionalidad de OAM garantiza que las redes de operador cumplan con la calidad de servicio ofrecida, detecten anomalías antes de que los problemas escalen, y mantienen aislada a la red de cualquier posible falla. Como resultado, los operadores podrán ofrecer los acuerdos de nivel de servicio para las aplicaciones que el cliente requiera.

La operación de redes sin OAM exigiría más recursos en la intervención manual necesaria para detectar fallas, localizar procedimientos erróneos y medición del desempeño humano. Tendrían menor disponibilidad, mayores tiempos fuera de servicio y además serían más caras de mantener.

3.8.1 ETHERNET OAM

El despliegue de Ethernet como tecnología MAN y WAN, ha acelerado la necesidad de un nuevo conjunto de protocolos OAM. La capacidad Ethernet OAM está considerada como una necesidad imprescindible para la transformación de Ethernet en una tecnología “*carrier-class*”; permite a los proveedores de servicio monitorizar y controlar de manera proactiva su servicio *End-to-End*.

Las ventajas de Ethernet OAM simplifican la administración de las redes Ethernet metropolitanas; sus herramientas brindan capacidades de administración de fallas estandarizadas y control de rendimiento a las redes de Ethernet. Ethernet OAM ha tenido avances significativos en los organismos reguladores, brindándoles a

los proveedores del servicio un grupo integral de herramientas para administrar de manera eficaz su red Ethernet metropolitana.

Ethernet OAM es un tema muy amplio, pero este proyecto se enfocará en las tres áreas principales que un proveedor de servicio necesita, y las que están siendo tratadas por los organismos de estandarización:

- *Service Layer OAM (IEEE 802.1ag Connectivity Fault Management)*
- *Link Layer OAM (IEEE 802.3ah OAM)*
- *Ethernet Local Management Interface (MEF-16 E-LMI)*

Cada una de estas normas tiene objetivos específicos y complementarios entre sí, como se puede observar en la figura 3.17

IEEE 802.1ag *Connectivity Fault Management* permite a los proveedores manejar cada instancia de servicio de un cliente independientemente, siendo cada instancia el servicio que es vendido a un cliente y designado un *Service-VLAN tag* (S-VID). Éste permite conocer si un EVC ha fallado, y cuando esto ocurre provee las herramientas para solucionar rápidamente este problema.

Esta funcionalidad es absolutamente crítica en los siguientes escenarios:

- Un *trap* SNMP indica que ha ocurrido una falla en la red. ¿Cómo sabe el proveedor de servicio con exactitud que clientes han sido afectados, especialmente si hay mecanismos complejos de recuperación de fallas?
- Un EVC ha fallado. ¿Cómo puede el proveedor descubrirlo y cómo puede solucionarlo?
- Un enlace o dispositivo que forma parte de un EVC ha fallado. ¿Cómo detectarán ello el resto de dispositivos de forma de que puedan iniciar sus rutas de *backup*?
- Un EVC ha sido recién instalado ¿Cómo se confirma si está ya operativo?

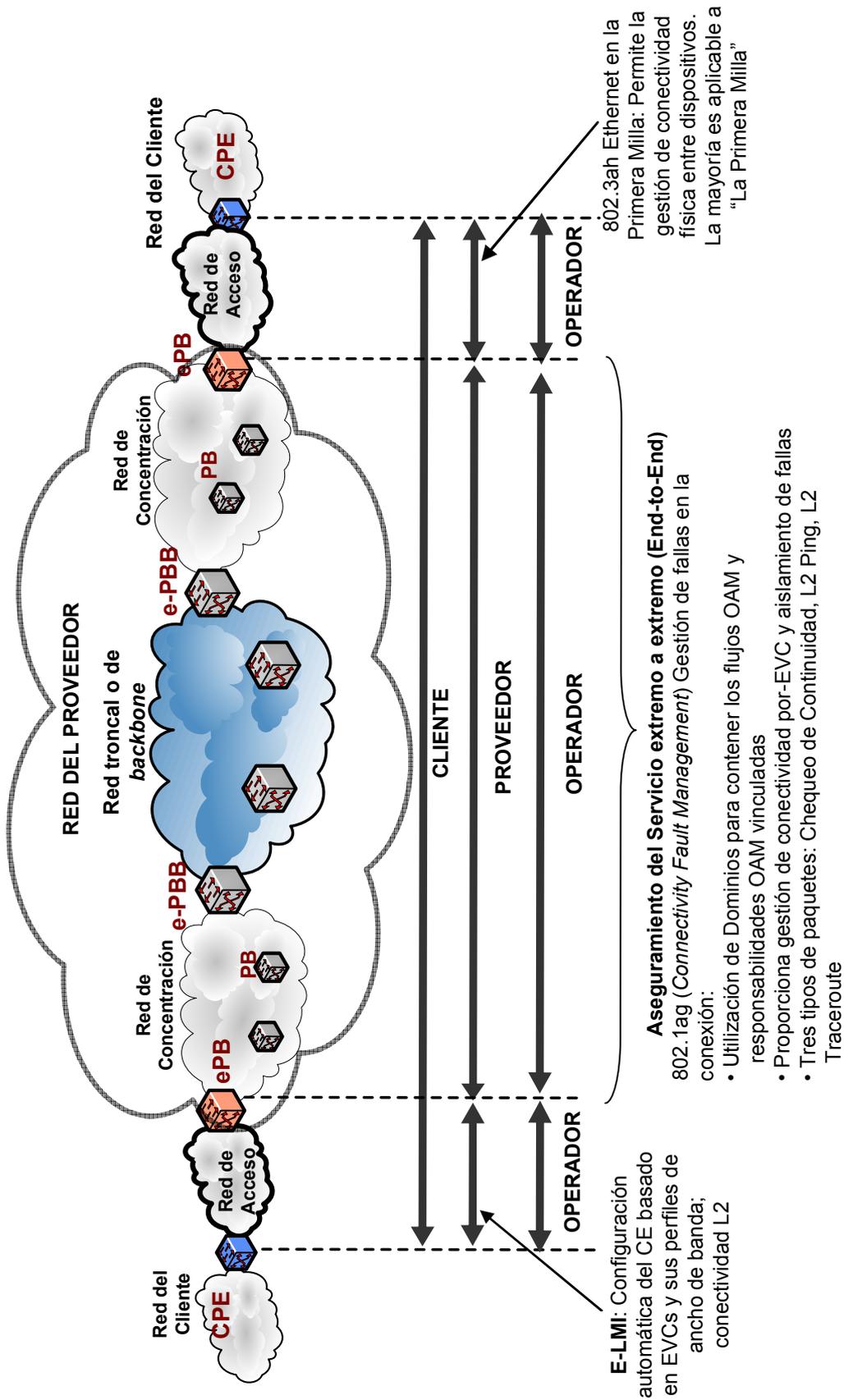


Figura 3.17 Ethernet OAM

IEEE 802.1ag proporciona las herramientas para resolver todos estos argumentos, de forma fácil y rápida, reflejando reducción de costos operativos, mayor disponibilidad y menor tiempo de respuesta ante fallas (MTTR *Mean Time to Repair*).

La administración de servicios de extremo a extremo usando 802.1ag es probablemente el aspecto más importante de Ethernet para el portador; pero otra área crítica es la administración de enlaces conseguida con IEEE 802.3ah.

IEEE 802.3ah permite monitorear y reparar a cada enlace Ethernet de forma independiente, aún cuando se trate de los enlaces de primera milla, donde típicamente ocurren los problemas. IEEE 802.3ah se aplica a cualquier enlace punto a punto IEEE 802.3.

El beneficio primario de 802.3ah es permitir monitorear un enlace para eventos críticos, y cuando sea necesario poner el dispositivo remoto en modo “*loopback*” para hacer pruebas en el enlace. Además permite descubrir enlaces unidireccionales que aparecen cuando la transmisión falla en una sola dirección.

El protocolo *Ethernet Local Management Interface (E-LMI)* fue desarrollado y ratificado por el foro metro Ethernet como la recomendación MEF-16. E-LMI tiene ventajas tanto para el proveedor de servicio, como para el cliente final, ya que permite la gestión de Ethernet desde la red proveedora y desde las instalaciones del usuario. E-LMI opera entre el dispositivo del cliente (CE) y el dispositivo extremo del proveedor (e-PB). De forma similar a su contraparte en *Frame Relay*, se permitirá que el proveedor configure automáticamente los dispositivos CE de acuerdo al servicio suscrito. Además el CE recibirá el mapeo de VLAN-to-EVC, y su correspondiente perfil de ancho de banda y configuración de Calidad de Servicio (QoS).

Este aprovisionamiento automático del CE no solo reduce el trabajo para configurar el servicio, sino que reduce también la coordinación requerida entre el proveedor y el cliente empresarial. Adicionalmente los clientes no tendrán que

aprender cómo configurar su equipo CE, disminuyendo las barreras de adopción de servicio y eliminando enormemente el riesgo de error humano.

E-LMI también puede dar información del estado de su EVC a un dispositivo CE, de manera que si se detecta un error de EVC (con 802.1ag), el dispositivo frontera del proveedor puede notificar al CE lo ocurrido para que el tráfico pueda ser reenrutado por un camino diferente de forma más rápida que si la falla fuera detectada por el protocolo de enrutamiento que “corre” en dicho CE.

La integración de OAM con Sistemas de Gestión NMS/EMS⁴⁰

Los sistemas de administración cumplen un rol muy importante en la configuración OAM a través de todos los dispositivos de la red, para un eficiente mantenimiento y mecanismos de recuperación de fallas.

Las técnicas dadas en 802.1ag requieren una configuración previa para entrar en funcionamiento. Si se realiza un ping o *link trace* 802.1ag en una red que no ha sido configurada, no se obtendrá ninguna respuesta. Hay dos fases para esta configuración.

La primera fase es del aprovisionamiento de la red, en la que se habilitan los procesos de *Connectivity Fault Management (CFM)* en los dispositivos y se configuran los Dominios de Mantenimiento (MD *Maintenance Domains*) y los puntos intermedios de mantenimiento (MIP *Maintenance Intermediate Points*). Este proceso necesita ser integrado con los procesos de ingeniería en la red del operador.

La segunda fase de configuración es la activación de servicio. Cada vez que un nodo final es asociado a una VLAN (S-VLAN ó C-VLAN), el nodo necesita ser configurado como nodo final de mantenimiento (MEP *Maintenance Endpoint*) para habilitar el origen de los paquetes *ping* y *trace*, y para configurar las

⁴⁰ NMS: *Network Management Station*
EMS: *Enterprise Management System*

funcionalidades de chequeo de continuidad. Ya que esto es una asociación por servicio, necesita ser integrado al flujo normal de activación de servicio, y a sus respectivos sistemas, como se puede observar en la figura 3.18.

Además de simplificar la configuración, los sistemas NMS/EMS reducen la complejidad de monitoreo y *troubleshooting*. Cuando un problema ocurre en la red, los sistemas de gestión recibirán mensajes desde los dispositivos y lanzarán las respectivas alarmas; más importante aún, apoyarán a los procedimientos de *troubleshooting* que serán cada vez más automáticos de acuerdo a los árboles de procesos que los expertos hayan impuesto, requiriendo menor esfuerzo y menos personal.

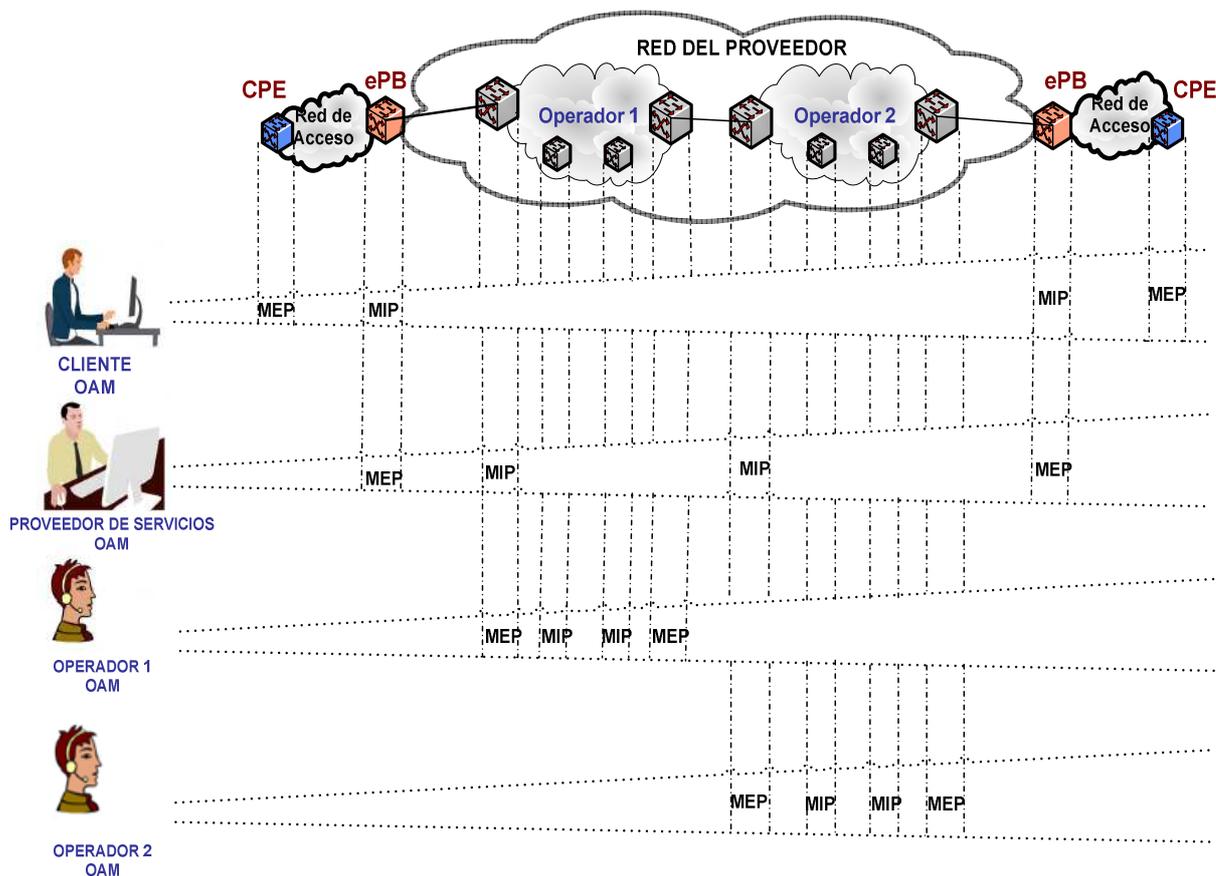


Figura 3.18 Servicios OAM MEPs y MIPs

A cambio de una menor probabilidad de fallas humanas se conseguirá mejores velocidades y menores tiempos fuera de servicio.

3.8.1.1 Servicio OAM: *Connectivity Fault Management* IEEE 802.1ag

3.8.1.1.1 *Protocolos de Administración de Fallas de Conectividad*

Ethernet CFM abarca tres protocolos que trabajan juntos para ayudar a los administradores a depurar las redes Ethernet, éstos son: *continuity check*, *link trace* y *loopback*, que mediante el envío de mensajes permiten detectar la pérdida de conectividad del servicio, determinar conectividad por enlaces o tramos y verificar conectividad en un punto de mantenimiento en particular.

3.8.1.1.2 *Dominio de Mantenimiento*

Un dominio de mantenimiento es un dominio administrativo creado con el propósito de manejar y gestionar una red. Un dominio es asignado por el administrador a un único nivel de mantenimiento (de 8 posibles niveles), lo que es muy útil para la definición de relaciones jerárquicas entre dominios. Los dominios puedan ser fronterizos, pero no se intersecarán. Si dos dominios están anidados, el externo tendrá un nivel mucho más alto que aquel que éste contenga.

3.8.1.1.3 *Nodos de mantenimiento*

Todo puerto de *bridge* es considerado un nodo de mantenimiento, que podrá clasificarse como nodo final, nodo intermedio, o nodo transparente para un cierto nivel de mantenimiento, como se puede observar la tabla 3.45.

Función	Nodo final de Mantenimiento	Nodo de Mantenimiento Intermedio	Nodo Transparente
Inicia mensajes CFM	SI	NO	NO
Responde a mensajes de <i>loopback</i> y <i>link trace</i>	SI	SI	NO
Reconoce la información recibida de pruebas de continuidad	SI	SI	NO
Retransmite los mensajes CFM	NO	SI	SI

Tabla 3.45 Clasificación de los Puntos de Mantenimiento

3.8.1.2 Ethernet Local Management Interface (E-LMI)

E-LMI define el protocolo y procedimientos que llevan la información para la auto configuración de los dispositivos CE desde el dispositivo de proveedor que da la cara al usuario. El protocolo E-LMI también notificará sobre el estado de un EVC, ver figura 3.19.

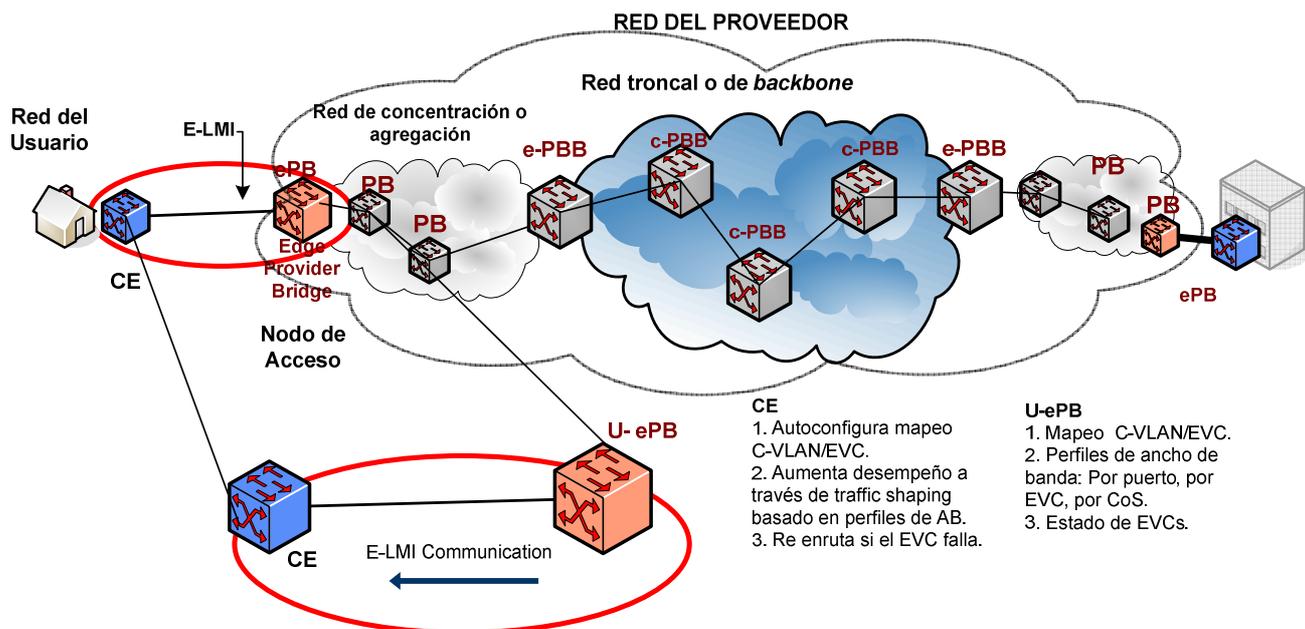


Figura 3.19 Ethernet Local Management Interface

El protocolo E-LMI se encargará de los siguientes procesos:

1. Notificación al equipo CE de la existencia de un nuevo EVC.
2. Notificación al dispositivo CE de la supresión de un EVC.
3. Notificación al dispositivo CE del estado de disponibilidad (activo/parcialmente activo) o indisponibilidad (inactivo) de un EVC configurado.
4. Notificación al dispositivo CE de la disponibilidad del UNI remoto.
5. Comunicación de los atributos de UNI y EVC al dispositivo CE:
 - Identificador de EVC
 - Identificador del UNI remoto
 - Perfiles de ancho de banda

3.8.1.3 Link Layer OAM (IEEE 802.3ah OAM)

IEEE 802.3ah puede ser implementado en enlaces Ethernet punto-a-punto *full* dúplex o al emular enlaces punto-a-punto. Sus tramas (OAM *Protocol Data Units* o OAMPDUs) no pueden propagarse más allá de un salto en la red, y manejan modestos requerimientos de ancho de banda (la tasa de transmisión es de máximo 10 tramas por segundo). Las mejores funciones de este protocolo son: *Discovery*, *Link Monitoring*, *Remote Fault Detection*, y *Remote Loopback*., se lo puede observar en la figura 3.20.

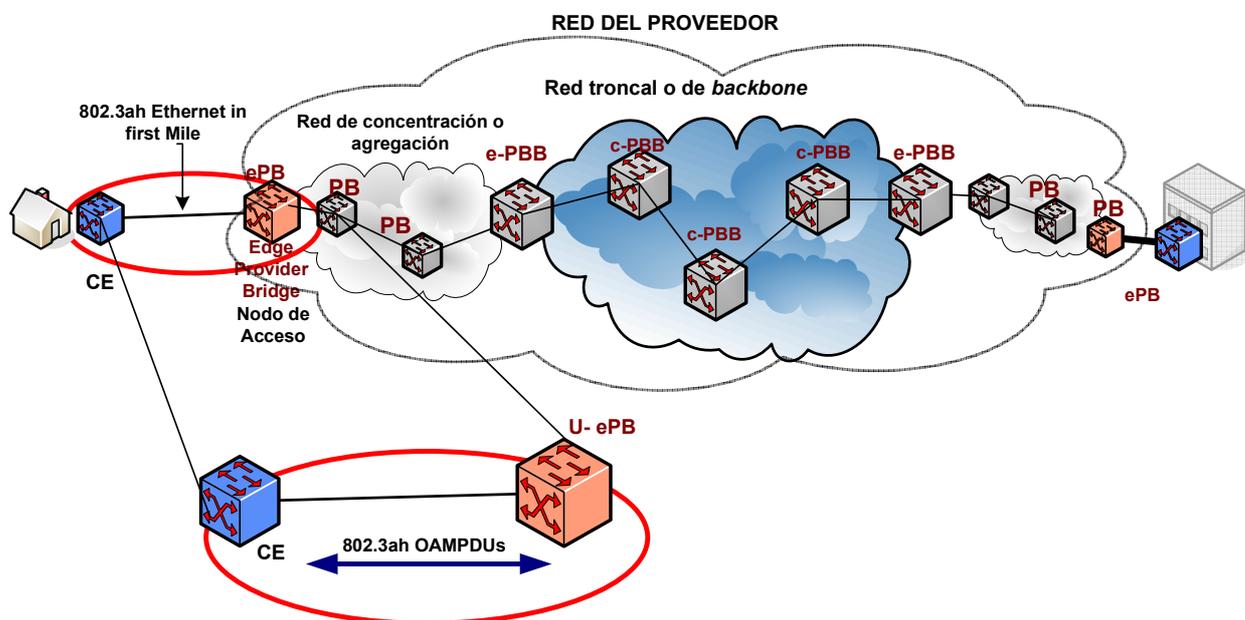


Figura 3.20 Link OAM – IEEE 802.3ah OAM

3.9 SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA NUEVA INFRAESTRUCTURA DE RED

La nueva infraestructura Metro Ethernet estará conformada por tres clases de nodos, según la función a cumplir en la red. Tal como se ha especificado en la sección 3.5 del presente capítulo, la clasificación quedaría de la siguiente manera:

- Nodos de acceso (ePB)
- Nodos de Concentración o Agregación (PB)

- Nodos de Núcleo (e-PBB y c-PBB)

Según los requerimientos de la densidad de usuarios y zonas de Quito, se diseñó la red y se escogió el número y tipo de nodos a utilizarse.

3.9.1 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE EQUIPOS PARA NODOS DE RED

De acuerdo a la función que desempeñaría cada nodo en la red, se detallarán en las tablas 3.46, 3.47 y 3.48 los requisitos mínimos que deberán cumplir los equipos a ser utilizados en los mismos.

NODOS DE ACCESO	
1. Requerimientos de Acceso	
Soporte de tecnologías:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ IEEE 802.3ah: EFM Cobre, EFM Fibra, EFM PON, FTTH, FTTC, FTTB, DWDM ➤ XDSL (EoVDSL, ADSL), ISDN, RS232
Estándares:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 10Base2, 100BaseFX, 1000BaseT, 1000BaseSX, 1000BaseLX, 1000BaseBX
2. Requerimientos de Conmutación	
Protocolos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ethernet IEEE 802.3 ➤ IEEE 802.1D – 2004 <i>Spanning Tree Protocol (STP and RSTP)</i> ➤ IEEE 802.1w – 2001 <i>Rapid Reconfiguration for STP, RSTP</i> ➤ IEEE 802.3ad <i>Static load sharing configuration and LACP based dynamic configuration</i> ➤ IEEE 802.1Q <i>VLAN Tagging</i> ➤ IEEE 802.1ad <i>Q-in-Q Tagging</i> ➤ <i>Protocol-based VLAN</i> ➤ <i>Port-based VLAN</i> ➤ <i>Multiple STP domains per VLAN</i>
3. Calidad de Servicio	
Soporte a estándar:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ IEEE 802.1D – 1998 (802.1p) <i>Packet Priority</i> ➤ RFC 2474 <i>DiffServ Precedence, including 8 queues/port</i> ➤ RFC 2598 <i>DiffServ Expedited Forwarding (EF)</i> ➤ RFC 2597 <i>DiffServ Assured Forwarding (AF)</i>

4. Requerimientos de Administración y Mantenimiento	
Protocolos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ IEEE 802.1ag Connectivity Fault Management ➤ E-LMI/ MEF-16 ➤ IEEE 802.3ah OAM ➤ SNMP V1,V2,V3 ➤ RFC 854 <i>Telnet client and server</i> ➤ RFC 783 <i>TFTP Protocol (revision 2)</i> ➤ RFC 951, 1542 <i>BootP</i> ➤ RFC 2131 <i>BOOTP/DHCP relay agent and DHCP server</i> ➤ RFC 1591 <i>DNS (client operation)</i> ➤ RFC 1212, RFC 1213, RFC 1215 <i>MIB-II, Ethernet-Like MIB & TRAPs</i>
5. Seguridad	
Soporte de:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ SFTP client/server with encryption/authentication ➤ SNMPv3 <i>user based security, with encryption/ authentication</i> ➤ RFC 1492 <i>TACACS+</i> ➤ RFC 2138 <i>RADIUS Authentication</i> ➤ RFC 2139 <i>RADIUS Accounting</i> ➤ RFC 3579 <i>RADIUS EAP support for 802.1x</i> ➤ <i>Access Profiles on All Routing Protocols</i> ➤ <i>Access Policies for Telnet/SSH-2/SCP-2</i> ➤ <i>Network Login – 802.1x, web and MAC-based mechanisms</i> ➤ <i>IEEE 802.1x – 2001 Port-Based Network Access Control for Network Login</i> ➤ <i>Guest VLAN for 802.1x</i> ➤ RFC 1866 <i>HTML – Usado para web-based Network Login</i> ➤ <i>SSL/TLS transport – usado para web-based Network Login,</i> ➤ <i>VPNs</i> ➤ <i>Layer 2/3/4 Access Control Lists (ACLs)</i>

Tabla 3.46 Requisitos técnicos para equipos de Nodos de Acceso

NODOS DE CONCENTRACIÓN	
1. Requerimientos de Acceso	
Estándares:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 100BaseFX, 1000BaseT, 1000BaseSX, 1000BaseLX, 1000BaseBX, 10GBASE-X, 10GBASE-LR
2. Requerimientos de Conmutación	
Protocolos:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ethernet IEEE 802.3 ➤ IEEE 802.1D – 2004 <i>Spanning Tree Protocol (STP and RSTP)</i> ➤ IEEE 802.1w – 2001 <i>Rapid Reconfiguration for STP, RSTP.</i> ➤ IEEE 802.3ad <i>Static load sharing configuration and LACP based dynamic configuration</i> ➤ IEEE 802.1Q <i>VLAN Tagging</i> ➤ IEEE 802.1ad <i>Q-in-Q Tagging</i> ➤ <i>Multiple STP domains per VLAN</i>
3. Requerimientos de Administración y Mantenimiento	
Protocolos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ IEEE 802.1ag <i>Connectivity Fault Management</i> ➤ SNMP V1,V2,V3 ➤ RFC 854 <i>Telnet client and server</i> ➤ RFC 783 <i>TFTP Protocol</i> ➤ RFC 951, 1542 <i>BootP</i> ➤ RFC 2131 <i>BOOTP/DHCP relay agent and DHCP server</i> ➤ RFC 1591 <i>DNS (client operation)</i> ➤ RFC 1212, RFC 1213, RFC 1215 <i>MIB-II, Ethernet-Like MIB & TRAPs</i>
4. Calidad de Servicio	
Soporte a estándar:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ IEEE 802.1D – 1998 (802.1p) <i>Packet Priority</i> ➤ RFC 2474 <i>DiffServ Precedence, including 8 queues/port</i> ➤ RFC 2598 <i>DiffServ Expedited Forwarding (EF)</i> ➤ RFC 2597 <i>DiffServ Assured Forwarding (AF)</i>

5. Seguridad	
Soporte de:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ SFTP <i>client/server with encryption/authentication (requires export controlled encryption module)</i> ➤ SNMPv3 <i>user based security, with encryption/ authentication</i> ➤ RFC 1492 TACACS+ ➤ RFC 2138 RADIUS <i>Authentication</i> ➤ RFC 2139 RADIUS <i>Accounting</i> ➤ RFC 3579 RADIUS <i>EAP support for 802.1x</i> ➤ <i>Access Profiles on All Routing Protocols</i> ➤ <i>Access Policies for Telnet/SSH-2/SCP-2</i> ➤ <i>Network Login – 802.1x, web and MAC-based mechanisms</i> ➤ <i>IEEE 802.1x – 2001 Port-Based Network Access Control for Network Login</i> ➤ <i>Guest VLAN for 802.1x</i> ➤ RFC 1866 HTML – Usado para <i>web-based Network Login</i> ➤ <i>SSL/TLS transport – Usado para web-based Network Login. VPNs</i> ➤ <i>Layer 2/3/4 Access Control Lists (ACLs)</i>

Tabla 3.47 Requisitos técnicos para equipos de Nodos de Concentración

NODOS DE NÚCLEO	
1. Requerimientos de Interfaces	
Soporte de tecnologías:	➤ ETHERNET, SDH, PDH, DWDM
Estándares:	➤ 100BaseFX, 1000BaseT, 1000BaseSX, 1000BaseLX, 1000BaseBX, 10GBASE-X, 10GBASE-LR
2. Calidad de Servicio	
Soporte a estándar:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ IEEE 802.1D – 1998 (802.1p) <i>Packet Priority</i> ➤ RFC 2474 <i>DiffServ Precedence, including 8 queues/port</i> ➤ RFC 2598 <i>DiffServ Expedited Forwarding (EF)</i> ➤ RFC 2597 <i>DiffServ Assured Forwarding (AF)</i>

3. Requerimientos de Conmutación	
Protocolos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ethernet IEEE 802.3 ➤ IEEE 802.1Q VLAN <i>Tagging</i> ➤ IEEE 802.1ad Q-in-Q <i>Tagging</i> ➤ IEEE 802.1ah MAC-in-MAC / <i>Provider Backbone Bridge</i> ➤ IEEE 802.1Qay / <i>Provider Backbone Bridge-Traffic Engineering (PBB-TE)</i> ➤ IEEE 802.1D – 2004 <i>Spanning Tree Protocol (STP and RSTP)</i> ➤ IEEE 802.1w – 2001 <i>Rapid Reconfiguration for STP, RSTP</i>
4. Requerimientos de Administración y Mantenimiento	
Protocolos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ IEEE 802.1ag <i>Connectivity Fault Management</i> ➤ SNMP V1,V2,V3 ➤ RFC 854 <i>Telnet client and server</i> ➤ RFC 783 TFTP Protocol (revision 2) ➤ RFC 951, 1542 <i>BootP</i> ➤ RFC 2131 BOOTP/DHCP <i>relay agent and DHCP server</i> ➤ RFC 1591 DNS (<i>client operation</i>) ➤ RFC 1212, RFC 1213, RFC 1215 MIB-II, <i>Ethernet-Like MIB & TRAPs</i>
5. Seguridad	
Soporte de:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ SFTP <i>client/server with encryption/authentication (requires export controlled encryption module)</i> ➤ SNMPv3 <i>user based security, with encryption/authentication</i> ➤ RFC 2138 RADIUS <i>Authentication</i> ➤ RFC 2139 RADIUS <i>Accounting</i> ➤ RFC 3579 RADIUS EAP <i>support for 802.1x</i> ➤ Perfiles de Acceso para todos los protocolos de Enrutamiento ➤ <i>Network Login – 802.1x, web and MAC-based mechanisms</i> ➤ IEEE 802.1x – 2001 <i>Port-Based Network Access Control for Network Login</i> ➤ <i>Guest VLAN for 802.1x</i> ➤ RFC 1866 HTML – Usado para <i>web-based Network Login</i> ➤ <i>SSL/TLS transport – usado para web-based Network Login,</i> ➤ <i>Layer 2/3/4 Access Control Lists (ACLs)</i> ➤ VPNs

Tabla 3. 48 Requisitos técnicos para equipos de Nodos de Núcleo

Aquellos nodos que trabajando en la capa de concentración o núcleo, funcionen como equipos de acceso para ciertas zonas, como por ejemplo los nodos Centro Histórico, El Recreo o Carcelén, deben obligatoriamente cumplir con las especificaciones de primera milla requeridas, al trabajar a la vez como nodos ePB.

3.9.2 SOLUCIONES Y FABRICANTES DE EQUIPOS PARA *CARRIER METRO ETHERNET*

En la actualidad varios fabricantes de equipos de *networking* tienen soluciones de redes *CARRIER METRO ETHERNET* para proveedores de servicio, entre los más importantes se tienen:

- Alcatel-Lucent
- Cisco
- *Extreme Networks*
- Nortel
- Nokia Siemens *Networks*
- *Foundry Networks*
- Juniper Networks
- Force 10

En el presente proyecto se evaluarán a dos de estas reconocidas marcas: Nortel y *Extreme Networks*, debido a que sus propuestas son las que más se alinean al objetivo de este estudio, especialmente con las tecnologías manejadas para el núcleo de la red. Entre los sistemas evaluados se elegirá la opción más adecuada para la nueva infraestructura de red.

3.9.2.1 Solución *Carrier Metro Ethernet* de Nortel [43][44][45]

Nortel es un destacado líder en el despliegue de capacidades de comunicación. Mediante sus soluciones permite asegurar y proteger la información más importante a nivel mundial. Posee tecnologías de próxima generación, tanto a

nivel de proveedores de servicios como de empresas, que mejoran el acceso y las redes centrales; son compatibles con las aplicaciones multimedia y empresariales y ayudan a eliminar las barreras actuales, consiguiendo una mayor eficacia, velocidad y resultados, gracias a la simplificación de las redes y la conexión de las personas con la información. Nortel tiene negocios en más de 150 países.

Nortel ha trabajado en colaboración con algunos de los proveedores de servicios y organismos de estandarización más importantes de todo el mundo con el fin de facilitar la implantación de PBT como una tecnología metropolitana, la cual se ha normalizado ya en la IEEE como PBB-TE/IEEE 802.1Qay. La tecnología PBT está ya disponible en Nortel *Metro Ethernet Routing Switch* (MERS) 8600 y está en desarrollo la integración de esta tecnología en *Optical Multiservice Edge* (OME) 6500, así como en otras plataformas Ethernet.

Nortel ha logrado con su solución *Carrier Ethernet* transformar al Ethernet tradicional en una verdadera tecnología de portador, pues otorgan las capacidades deterministas, escalables y de administración que demandan los servicios de misión crítica/ multimedia con gran ancho de banda.

La solución *Carrier Ethernet* de Nortel comprende los *Metro Ethernet Services Unit* 1800/1850/1860/1880, dispositivos de acceso Ethernet de bajo costo, y los equipos de la serie *Metro Ethernet Routing Switch* 8600, equipos de bajo costo para la plataforma de núcleo y/o agregación de la red. A este portafolio se suma toda la línea de dispositivos ópticos, con los que Nortel presenta al mercado una de las más completas e interesantes propuestas de la industria.

La diferencia que marca NORTEL

Las soluciones de Nortel:

- Entregan servicios deterministas con estricta QoS. La propuesta de *Carrier Ethernet* de Nortel soporta la innovadora tecnología de *Provider Backbone Transport* (PBT), la que por primera vez, entregó al tradicional Ethernet no

orientado a conexión, características de gestión de conexión como: *Traffic Engineering*, reserva de ancho de banda, estricta Calidad de Servicio y tiempos de recuperación de fallas de 50 ms.

- Entregan a Ethernet los beneficios operativos de TDM. A través de la combinación de una amplia gama de protocolos Ethernet OAM, la naturaleza determinista de la tecnología *Provider Backbone Transport*, y las herramientas *carrier-class* de Nortel, se consigue un desempeño operacional similar al de las infraestructuras TDM que los portadores desean.
- Soportan masiva escalabilidad. Con la tecnología *Carrier Ethernet* de Nortel *Provider Backbone Bridging*, millones de instancias de servicios son posibles, en comparación con las 4.000 instancias que se conseguía con el nativo Ethernet.
- Ofrecen una alternativa con implementación simple y efectiva en costos. La solución de Nortel está basada en el hardware Ethernet existente y la base de conocimiento teórica y operativa de los proveedores de servicio. No existen requerimientos adicionales de ningún protocolo de control complejo, ni requieren costosos *upgrades* de hardware.

Metro Ethernet Routing Switch 8600



Figura 3.21 Equipo *Metro Ethernet Routing Switch 8600* de Nortel

El *Metro Ethernet Routing Switch 8600* de Nortel (figura 3.21) está encaminado a conseguir infraestructuras MAN Ethernet de próxima generación, escalables, con una amplia gama de características y funciones VPNs basadas en Ethernet.

El *Metro Ethernet Routing Switch 8600* entrega interfaces de 100 Megabit, 1 y 10 Gigabit Ethernet con el rendimiento, disponibilidad, y calidad de servicio (QoS) para una red *carrier class*. Ofrece gran flexibilidad, escalabilidad al soportar una variedad de interfaces que permiten ajustarse a los servicios y aplicaciones críticas del negocio.

Con una capacidad de rendimiento de cientos de millones de paquetes por segundo (Mpps), el *Switch 8600* provee grandes atributos de portador con una “resiliencia” probada en producción y confirmada en soluciones ya operativas.

➤ **Demarcación del Servicio y Seguridad**

Estos equipos de Nortel implementan una variedad de técnicas Ethernet como IEEE 802.1Q y IEEE 802.1ad (*Provider Bridge* o Q-in-Q), que permiten gran escalabilidad de las redes locales y de acceso. Cuando todo el tráfico ingresa a la red operadora se consigue una total delineación del nivel de servicio y del cliente con el soporte de la encapsulación IEEE 802.1ah (*Provider Backbone Bridge* o MAC-in-MAC), a través de la cual se crean esquemas de direccionamientos por jerarquías seguras y escalables que evitan todos los posibles inconvenientes del Ethernet LAN.

A través de la tecnología *Provider Backbone Transport* (PBT), estos equipos podrían manejar enlaces troncales eficientes con ingeniería en la red para entregar tráfico de extremo a extremo, con enrutamiento determinista y QoS soportada para servicios individuales con múltiples prioridades a lo largo de la MAN. PBT evita las ineficiencias del algoritmo del Protocolo *Spanning Tree*.

Mediante un *release* de software en los *Metro Ethernet Routing Switches* 8600, la funcionalidad PBT puede ser empleada como se necesite, y no se requiere implementar uniformemente en toda la red.

➤ **Resiliencia**

Estos equipos proveen redundancia en la red y enlaces, a través de:

- 50 ms de *failover* usando accesos basados en anillos con los *Metro Ethernet Services Units*.
- 50 ms de *failover* usando LACP MLT entre los equipos *Metro Ethernet Routing Switch* 8600.
- 50 ms de *failover* basados en señalización 802.1ag entre los túneles PBT.
- *Multi-Link Trunking*.
- *Sub-second failover* basado en protocolos RSTP/MSTP (IEEE 802.1w y 802.1s respectivamente) en los puertos troncales NNI.

➤ **Administración**

El *kit* de herramientas de Nortel *Metro Ethernet Manager* provee capacidades para el monitoreo del desempeño en la red, *service assurance*, medición de SLAs y *troubleshooting*. Este avanzado paquete de administración permite programar pruebas periódicas y generar historiales de resultados para validar los extremos de cada VPN.

➤ **Calidad de Servicio (QoS)**

El *Metro Ethernet Routing Switch* 8600 soporta cuatro clases de servicio, con cuatro distintas colas. Las aplicaciones reciben prioridad a lo largo de la red usando agentes inteligentes en los módulos de interfaces que soportan IEEE 802.1p *Class of Service* (CoS) y IETF *Differentiated Service* (DiffServ).

➤ Interoperabilidad

Con la flexibilidad de procesadores de red, el *Metro Ethernet Routing Switch* 8600 interactúa con un gran rango de tecnologías Ethernet en los extremos del cliente, incluyendo:

- IEEE 802.1Q Ethernet VLANs
- IEEE 802.1ad Ethernet Q-in-Q *networks (Provider Bridges)*
- HVPLS N-PE

El *Metro Ethernet Routing Switch* 8600 soporta el 8630GBR y 8683XLR para interfaces de puertos red-a-red (NNI *ports*). Estos módulos soportan 30 puertos 1000BaseX SFPs y 3 puertos 10 Gigabit Ethernet XFPs respectivamente.

➤ Opciones de Chasis

Con un conjunto de modelos de entre los que se pueda seleccionar, el *Metro Ethernet Routing Switch* 8600 ofrece soluciones de conmutación Ethernet efectivas en costos y con flexibilidad superior para empresas y proveedores de servicio.

Están disponibles tres modelos de chasis redundantes:

Para los proveedores de servicio, Nortel ofrece un NEBS3- chasis de 10 *slots*, designados para los entornos de mayor demanda, con avanzado aire acondicionado y protección EMI.

Para diseños donde la densidad, disponibilidad y escalabilidad es lo esencial, Nortel ofrece un chasis de 10 *slots*, con uno o dos *slots* para balanceo de carga de CPU/ Módulo *switch fabric*, y el resto de *slots* para módulos de entrada y salida.

Para escenarios de menor demanda, se dispone de un chasis de 6 *slots*.

➤ Opciones de Módulos

Un amplio rango de módulos para acceso y troncal, hacen que el *Metro Ethernet Routing Switch 8600* sea ideal para todo el *backbone* de la red. Las configuraciones pueden combinar interfaces desde los 10 Mbps hasta los 10 Gbps, los cuales podrán trabajar en conjunto con los *Metro Ethernet Services Units* o *switches* Ethernet de Nortel u otros fabricantes. La plataforma soporta escalabilidad en la conmutación de hasta 512 Gbps de velocidad de transmisión, y cientos de millones de paquetes por segundo en la velocidad física de los enlaces.

***Metro Ethernet Services Units* de Nortel**

El portafolio de los *Metro Ethernet Services Units* (MESU) de Nortel (figura 3.22) está diseñado para entregar servicios Ethernet a usuarios finales a un muy buen costo/beneficio.



Figura 3.22 Equipos *Metro Ethernet Services Units* 1800 de Nortel

MESU dan una conexión de acceso bastante flexible, en el que se puede incluir el modo *Resilient Ring* de Nortel, el cual provee alta capacidad, acceso costo-efectivo en un robusto anillo de fibra con tiempos de protección de 50 ms. MESU

tiene la capacidad de entregar: servicios con valor añadido de QoS, avanzada clasificación de paquetes, colas y filtrado que aseguran la consistencia del servicio y los SLAs respectivos.

La línea MESU soporta características de monitoreo, como lo son *Connectivity Fault Management* IEEE 802.1ag, *VPN Continuity Check* y toda la *suite* de herramientas OAM permitidas por el *Metro Ethernet Manager de Nortel*.

Metro Ethernet Services Unit 1800

En este portafolio de equipos se ofrecen dispositivos de hasta 24x10/100Base-T puertos Ethernet para el lado del cliente y dos puertos Gigabit Ethernet para el lado de la red proveedora. Existen modelos que soportan puertos 2x1000Base SFP o puertos 2x1000Base-LX con *transceivers* integrados que proveen la entrega flexible de servicios Ethernet en una solución de *rack* de 1UR de alto. La arquitectura *non-blocking* provee conmutación con velocidad física del cable para desempeños sin garantías de CIR. Los MESU 1800 soportan opciones de poder AC o DC. Entre los principales modelos de esta familia se tiene:

- *Metro Ethernet Services Unit 1850*
- *Metro Ethernet Services Unit 1860 B/S/V*
- *Metro Ethernet Services Unit 1880 S*

Mayor información técnica sobre las soluciones y sistemas de Nortel se puede referir al Anexo 4, donde se encuentran los catálogos y especificaciones de los equipos.

3.9.2.2 Solución *Carrier Ethernet* de *Extreme Networks* [46] [47]

Extreme Networks es una empresa que diseña, fabrica e instala soluciones Ethernet sofisticadas que satisfacen los desafíos en conectividad de redes. A lo largo de su historia, la empresa entregó más de 15 millones de puertos Ethernet y estableció su presencia en más de 50 países. Este fabricante presenta

plataformas de software avanzadas, que ofrecen una visión y un control significativos a aplicaciones y servicios. Es de especial utilidad para las empresas corporativas y los proveedores de servicios que deben tener un alto nivel de desempeño, redes seguras que admiten la convergencia de voz, video y datos. La inteligencia se incrementa mediante una capacidad de comunicación expansible, flexible y segura basada en protocolos, que permite que los dispositivos hablen entre sí.

Extreme Networks abastece a una amplia gama de clientes con infraestructuras de red. Desde empresas corporativas a grandes universidades y proveedores de servicios en todo el mundo.

Para complementar sus productos, *Extreme Networks* provee una gran selección de servicios profesionales y ofertas personalizadas, incluyendo el diseño de redes, visibilidad mejorada de flujos y aplicaciones, pruebas de voz y de seguridad, la implementación de un *kit* para redes, así como asistencia técnica en forma permanente a entornos globales.

Los productos de *Extreme Networks* tienen la capacidad de crecimiento necesaria para resolver complejos desafíos en las áreas de tecnología de voz y seguridad, y ofrecen un elevado nivel de disponibilidad, con funciones que brindan esquemas de seguridad integrados.

Este fabricante ha clasificado sus equipos de conmutación de acuerdo a su ubicación en la red, así tenemos:

- Equipos de conmutación de Acceso
- Equipos de conmutación de Agregación o Distribución
- Equipos de conmutación de Núcleo

Equipos de conmutación de Acceso BlackDiamond 8800

La evolución de las aplicaciones se produce en el extremo de la red. En la arquitectura de una red de datos de proveedor, el papel de los conmutadores de

extremo se vuelve más importante para soportar la variedad de aplicaciones, así como la proliferación de dispositivos habilitados por la red.

Los conmutadores de extremo deben admitir las tecnologías emergentes y sus fluctuaciones diarias sin aumentar la carga administrativa para mantener el rendimiento, *Extreme Networks* ofrece equipos de borde o acceso que presentan las siguientes características:

- Alta disponibilidad para satisfacer la alta calidad de voz de las redes convergentes
- Seguridad integral para ayudar a proteger la información y asegurar la disponibilidad cuando se es víctima de un ataque
- Conectividad universal para admitir diferentes aplicaciones y dispositivos
- Administración simplificada para reducir el costo total de propiedad
- Conmutación de 1 Gigabit y 10 Gigabit Ethernet *non-blocking* con alta calidad de servicio para asegurar el nivel de rendimiento de la aplicación
- Hardware altamente confiable con calidad a nivel de portador, sistema operativo modular y protocolos redundantes para asegurar un alto porcentaje de disponibilidad
- El mismo sistema operativo para ofrecer facilidad de administración de manera uniforme en toda la red

Para el acceso se ha determinado que los equipos que soportan las características establecidas para el funcionamiento de la red Metro Ethernet son los equipos que pertenecen a la Serie BlackDiamond 8800; entre estas series se tiene los equipos 8806 y 8810.

El equipo BlackDiamond 8810, ofrece una buena alternativa de acceso, que puede soportar hasta 333 puertos Clase 3 en un solo chasis 14RU o puede alimentar hasta 432 puertos PoE en un solo chasis con alimentación Clase 1 o 2. No se requieren bandejas de alimentación externas para energizar a los conmutadores BlackDiamond 8800 completamente cargados con dispositivos Clase 1, 2 o 3. Además tienen las siguientes características entre las más destacadas:

- Conectividad inalámbrica y de voz
- Gran capacidad de conmutación para soportar más de 570 Mpps
- Conectividad flexible para múltiples aplicaciones
- 800 Gbps de ancho de banda para conmutación de tramas
- 48 Gbps de capacidad por ranura
- Tasa de reenvío del hardware de Capa 2/Capa 3 superior a 570 Mpps
- Conmutación local en cada módulo E/S
- Diseño de sistema redundante
- Sistema operativo (OS) modular ExtremeXOS® para operaciones ininterrumpidas
- Protocolo de resiliencia de Conmutación de Protección Automática de Ethernet (EAPS, *Ethernet Automatic Protection Switching*)
- Perfil de seguridad dinámico de *Universal Port* para ofrecer políticas de seguridad precisas
- La instrumentación de detección de amenazas y respuesta para reaccionar a la intrusión de red con el motor de reglas de seguridad *CLEAR-Flow*
- Infraestructura de red reforzada

Equipos de conmutación para la Agregación BlackDiamond 12802R

Especialmente en las redes de los proveedores de servicios o portadores, hay una capa media entre el núcleo y el borde que se denomina capa de agregación.

En esta capa, los conmutadores de agregación deben desempeñar una función importante: acumular tráfico de la gran cantidad de conmutadores de borde para enviarlos a los conmutadores del núcleo, y además, recibir tráfico del núcleo para distribuirlo hacia los conmutadores de borde. Los conmutadores de agregación que deben procesar paquetes entre los conmutadores del núcleo y de borde, deben ser seguros y confiables, además de tener una administración simplificada.

Extreme Networks ofrece equipos de conmutación para la capa de agregación que están diseñados y construidos para brindar un conjunto de capacidades críticas:

- Alta disponibilidad para satisfacer la alta calidad de voz de las redes convergentes
- Seguridad integral para ayudar a proteger la información de los usuarios y asegurar la disponibilidad cuando se es víctima de un ataque
- Administración simplificada para reducir el costo total de propiedad
- Conmutación de 1 Gigabit y 10 Gigabit Ethernet *non blocking* con alta calidad de servicio para brindar el nivel de rendimiento de la aplicación
- Hardware altamente confiable con calidad a nivel de portador, sistema operativo modular y protocolos redundantes para asegurar un alto porcentaje de disponibilidad
- El mismo sistema operativo para ofrecer facilidad de administración de manera uniforme en toda la red

Para la capa de agregación o distribución *Extreme Networks* propone los equipos de la serie BlackDiamond 12802R (figura 3.23), estos equipos presentan características como:

- Motor de calidad de servicio (QoS) jerárquico
- Conexión cruzada y proceso múltiplex del servicio vMAN
- Motor de seguridad *CLEAR-Flow*
- MAC-in-MAC para escalabilidad de Ethernet
- Configuración de servicios basada en XML
- *Ping y traceroute* de Ethernet
- Un diseño de sistema redundante
- Un Sistema Operativo modular ExtremeXOS™
- Un Protocolo de resiliencia de la red de Conmutación de protección automática de Ethernet (EAPS)
- Alta densidad de servicio
- Escalabilidad a la altura de la empleada en las grandes empresas de telecomunicaciones
- Disponibilidad a nivel de portador



Figura 3.23 Equipo BlackDiamond 12802R de *Extreme Networks*

Equipos de conmutación para Núcleo BlackDiamond

Las rigurosas exigencias de las instalaciones de tecnología, la integración de servicios empresariales, los centros de datos y los enlaces principales de las redes corporativas, así como los puntos de presencia de los proveedores de Ethernet en zonas metropolitanas, requieren soluciones que combinen un funcionamiento de calidad uniforme, disponibilidad a la altura de servicios portadores, seguridad superior y administración simplificada. Los productos de conmutación del núcleo BlackDiamond de *Extreme Networks* están diseñados y contruidos para brindar este conjunto de capacidades críticas.

Estos conmutadores minimizan los efectos de la latencia y la inestabilidad, que degradan la calidad del desempeño de las aplicaciones de voz y video. Además, son muy resistentes, un aspecto fundamental con el que se logra la disponibilidad a la altura de las exigencias de servicios de voz, que utiliza tecnologías como la norma de Capacidad de Recuperación para enlaces de Conmutación de Protección Automática de Ethernet (EAPS), para brindar un tiempo de recuperación por falla de enlaces menor a los 50 milisegundos.

El enfoque de capas múltiples con respecto a la seguridad ayuda a proteger la red y aprovecha los mejores dispositivos y socios, de manera que pueda implementar la arquitectura de seguridad que mejor se adapte a las necesidades. Todos los productos comparten la misma interfaz de usuario y el mismo esquema administrativo, lo que garantiza la facilidad de operación de todos los productos del portafolio -un factor crítico; más aun cuando todo el tráfico de voz, video y datos de una organización es confiado a una única red integrada.

La interoperabilidad de los *switches* para *Carrier Ethernet* de *Extreme Networks* BlackDiamond 12802R, BlackDiamond 12804R, elimina la brecha precio/desempeño de los proveedores de servicio por la necesidad de una solución Ethernet a nivel *carrier* a un costo razonable que está diseñado para aplicaciones de alta densidad de área metropolitana, incluyendo E-Line, E-LAN, IPTV, VoIP y otras comunicaciones en tiempo real.

Para los equipos del núcleo de la red se plantea la utilización de los conmutadores de la serie BlackDiamond 12804R (figura 3.24), que reúnen todas las características y especificaciones necesarias para el trabajo del núcleo de la red como son:

- Los servicios están protegidos con hardware, software y capacidad de protección de redes que están a la altura de los utilizados por las grandes empresas de telecomunicaciones. Los principales beneficios del conmutador pueden clasificarse en tres categorías:
 - Alta densidad del servicio
 - Escalabilidad a la altura de la empleada en las grandes empresas de telecomunicaciones
 - Disponibilidad a nivel de portador
- Motor de calidad de servicio (QoS) jerárquico
- Conexión cruzada y proceso múltiplex del servicio vMAN
- Motor de seguridad *CLEAR-Flow*
- MAC-in-MAC para escalabilidad de Ethernet
- *Provider Backbone Bridge-Traffic Engineering* (PBB-TE)
- Configuración de servicios basada en XML
- *Ping y traceroute* de Ethernet
- Un diseño de sistema redundante
- Un Sistema Operativo modular ExtremeXOS™
- Un Protocolo de resiliencia de la red de Conmutación de protección automática de Ethernet (EAPS)



Figura 3.24 Equipo BlackDiamond 12804R de *Extreme Networks*

Para obtener mayor información técnica sobre los equipos de *Extreme Networks* se puede revisar el Anexo 5.

3.9.3 ELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED CARRIER METRO ETHERNET

Para la selección de equipos se han analizado las características técnicas y funcionales, la seguridad y administración que ofrecen las soluciones *Carrier Ethernet* de los dos fabricantes propuestos. El resultado del análisis determina que tanto Nortel como *Extreme Networks* cumplen con los requerimientos básicos establecidos para los equipos de los nodos de la red; por lo tanto se ha tenido que puntualizar aspectos más específicos en los dispositivos del área crítica de la red, como es el núcleo.

En la tabla 3.49, se presenta un cuadro comparativo de los equipos propuestos para el núcleo; donde se comparan características, capacidades de operación, flexibilidad y crecimiento.

COMPARACIÓN DE EQUIPOS	NORTEL	EXTREME NETWORKS
EQUIPOS DE NÚCLEO	<i>Metro Ethernet Routing Switch 8006 / 8010</i>	<i>BlackDiamond 12802R / 12804R</i>
Capacidad y desempeño	Capacidad total de Conmutación de 512 Gbps, con 10 microsegundos de latencia por paquetes de 64-bytes	Capacidad total de Conmutación de 160 Gbps, con 9 microsegundos de latencia por paquetes de 64-bytes
Opciones de Chasis	8006, chasis de 6-slot para <i>backbones</i> de baja densidad o altos espacios premium 8010, chasis de 10-slot para alta capacidad y gran escalabilidad	12804 Chasis de 6-slot (Incluye ventiladores y panels principales frontales) 12802 Chasis de 3-slot
Switch Fabric/CPU modules	Un <i>switch fabric</i> es requerido; un Segundo <i>fabric</i> de doble capacidad y con carga compartida es opcional 8691 <i>omSF Switch Fabric</i> y Módulo CPU 8600 tarjeta CPU <i>Expansion Mezzanine</i> para 8691omSF, <i>Field installable</i> , Soporta 50ms <i>failover</i> 8692omSF <i>Switch Fabric</i> y CPU, Este es requerido con los módulos 8630GBR y 8683XLR, Interoperable con todos los módulos <i>pre-R</i> 8692omSF <i>Switch Fabric</i> y CPU 8692 con tarjeta <i>Expansion Mezzanine</i> , Soporta 50 ms <i>failover</i> sobre NNI <i>trunks with MultiLink Trunking</i>	MSM-5R: Módulo MSM-5R contiene los dos planos de control al igual que el <i>switch fabric</i> MSM-6R: Módulo MSM-6R contiene los dos planos de control al igual que el <i>switch fabric</i>
Módulos de Interfaces	8668ESM, 8-port <i>Ethernet Services Module, SFP-based, Gigabit Ethernet</i> 8630 GBR, 30 ports 1000 BaseX for SFP 8683 XLR, 3 ports 10 Gigabit Ethernet XFP (LAN PHY only) 8632TXM, 32 ports 10/100 plus 2 GBIC ports 8648TXM, 48 10/100TX ports 8608GBM, 8-port Gigabit Ethernet, GBIC-based 8683POSM, POS Baseboard supports up to 6 OC-3 or 3 OC-12 ports 8608GTM, 8 ports 1000BASE-T, fixed Gigabit Ethernet	GM-20XTR: 20-port Gigabit Ethernet module Each port can be used for 10/100/1000BASE-T or mini-GBIC connectivity (requires mini-GBIC modules) XM-2XR: 2-port 10G module. XENPAK modules required XM-2HR: 1-port 10G and 10-port Gigabit Ethernet hybrid module. XENPAK modules required

<p>Calidad de Servicio</p>	<p><i>DiffServ (RFC 2474), IP ToS precedence</i></p> <p><i>IEEE 802.1Q VLAN Tagging, IEEE 802.1p User Priority settings</i></p> <p><i>Queues: 8 hardware queues per sub-port; strict priority and WRR configurable</i></p>	<p><i>IEEE 802.1D – 1998 (802.1p) Packet Priority</i></p> <p><i>RFC 2474 DiffServ Precedence, including 8 queues/port</i></p> <p><i>RFC 2598 DiffServ Expedited Forwarding (EF)</i></p> <p><i>RFC 2597 DiffServ Assured Forwarding (AF)</i></p> <p><i>RFC 2475 DiffServ Core and Edge Router Functions</i></p>
<p>Ingeniería de Tráfico</p>	<p>Nortel fue pionero en <i>Provider Backbone Transport (PBT)</i>, una tecnología innovadora que permite la distribución de servicio determinista con ingeniería de tráfico, calidad de servicio, resistencia y capacidades OAM.</p> <p>Nortel llevó a cabo la estandarización de la tecnología <i>Provider Backbone Transport</i> para facilitar la implementación global de Ethernet. El grupo de trabajo IEEE estandarizó a PBT como <i>Provider Backbone Bridge-Traffic Engineering (PBB-TE)</i>.</p>	<p>Respondiendo al gran interés mostrado por los portadores (proveedores de servicios) en <i>Provider Backbone Bridging – Traffic Engineering (PBB-TE)</i>, <i>Extreme Networks Inc.</i> incluyó en el <i>hardware y software</i> de sus switches <i>BlackDiamond 12802R, 12804R and 10808</i>, la disponibilidad de <i>PBB-TE</i>, mediante la última versión del sistema operativo de <i>Extreme Networks</i>, el <i>ExtremeXOS 12.1</i></p>

Tabla 3. 49 Comparación de los equipos de núcleo de Nortel y *Extreme Networks*

De la comparación realizada en la tabla 3.49, se pueden destacar las siguientes características:

- En capacidad y desempeño el equipo de Nortel es más fuerte, ya que permite capacidades de conmutación de hasta 512 Gbps a diferencia de *Extreme Networks* que soporta 160 Gbps; sin embargo, este último tiene menor latencia que el equipo de Nortel.
- El equipo de Nortel presenta mayores opciones de chasis con 6 y 10 slots, frente a los 3 y 6 slots que tiene *Extreme Networks*. De igual forma ocurre con las opciones de módulos para CPU y módulos de interfaces.
- Con respecto a la Calidad de Servicio, los dos fabricantes tienen las mismas tecnologías.

- Uno de los aspectos más importantes al momento de seleccionar un equipo de núcleo, es la Ingeniería de Tráfico. Actualmente los dos fabricantes ofrecen como mecanismo para control de tráfico, la tecnología *Provider Backbone Bridging – Traffic Engineering* (PBB-TE). Sin embargo, Nortel al ser el creador de esta tecnología tiene mayor tiempo desarrollándola y por ende mayor experiencia.

Además del análisis técnico se considera el aspecto económico. Se han revisado los costos promedio de un chasis completo de los dos fabricantes y se llegó a determinar que los equipos de *Extreme Networks* son más caros; a pesar que esta diferencia no es elevada, resulta significativa para un proyecto de estas dimensiones.⁴¹

Después de revisar las conclusiones técnicas y económicas obtenidas, se ha resuelto que la solución presentada por Nortel es la más adecuada para el diseño planteado. De esta forma se utilizarán los equipos *Metro Ethernet Routing Switches* 8600 para los nodos del núcleo y el portafolio de *Metro Ethernet Service Units* 1800 para las capas de agregación y acceso.

En la tabla 3.50, se detallan los requerimientos en cuanto a interfaces hacia la red de portador para cada nodo dependiendo de los enlaces y capacidades de transmisión de los mismos.

NODO	TIPO DE NODO	CAPACIDAD [Mbps]	DISTANCIA (m)	INTERFACES A LA RED
Mariscal Sucre	ePB	277,6	1076	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Solanda	ePB	333,12	1818	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Chillogallo	ePB	388,64	1592	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Guajaló	ePB	416,4	1789	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Recreo	e-PBB /ePB	318,28	630	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		257,61	2273	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		816,14	5958	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		2107,86	4100	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo

⁴¹ Información obtenida en precios de lista de distribuidores mayoristas en Estados Unidos, como Ingram Micro, Corbel Solutions y PC Connections.

Conocoto	PB/ePB	1617,13	1920	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1715,84	4100	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Sangolquí	ePB	666,24	1920	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Seminario Mayor	e-PBB/ ePB	4412,33	1324	5 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1807,18	1976	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		2019,54	1496	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
La Colón	ePB	1505,98	1522	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Girón	PB/ePB	1505,98	1522	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1054,19	1653	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1807,18	1976	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Centro Histórico	e-PBB/ ePB	1054,19	1653	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1171,47	1519	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1152,53	6154	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
La Carolina	ePB	2082	1551	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
La Prensa	ePB	923,02	788	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Quito Norte	ePB	971,6	2435	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Condado	ePB	388,64	1350	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Carcelén	PB/ePB	124,92	2924	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		374,76	4297	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		385,86	7391	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		911,64	4802	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Pomasqui	ePB	124,92	2924	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Calderón	ePB	374,76	4297	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Comité del Pueblo	ePB	277,6	2894	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
La Luz	ePB	659,3	1606	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Cumbayá	ePB	1110,4	4933	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Jipijapa	ePB	1748,88	1722	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Bellavista	ePB	4164	1750	5 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Quitumbe	PB	388,64	1592	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		416,4	1789	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		257,61	5958	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		523,28	3887	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Cotacollao	PB	971,6	2435	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		388,64	1350	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1686,98	4198	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		911,64	4802	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
El Inca		277,6	2894	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		659,3	1606	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1110,4	4933	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1890,11	3610	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		385,86	7391	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo

Quito Sur	e-PBB	277,6	1076	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		333,12	1818	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		523,28	3887	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		318,28	2273	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1011,85	1911	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1152,53	6154	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Mariana de Jesús	e-PBB	2019,54	4774	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		2082	1551	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		2019,54	1496	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Concepción	e-PBB	923,02	788	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		4042,83	3517	5 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		2019,54	4774	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1686,98	4198	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Iñaquito Bajo	e-PBB	1890,11	3610	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1748,88	1722	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		4164	1750	5 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		2715,31	1476	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		4654,81	5398	5 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Villaflora	c-PBB	1011,85	1911	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		2107,86	630	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1617,13	9100	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1715,84	4912	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Mariscal	c-PBB	2425,7	4187	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		4654,81	5398	5 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		4412,33	1324	5 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1171,47	1519	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1715,84	4912	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
Iñaquito	c-PBB	2715,31	1476	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		2425,7	4187	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		4042,83	3517	5 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo
		1617,13	9100	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo

Tabla 3.50 Requerimiento de Interfaces hacia la red de cada nodo

En la tabla 3.51, se presenta el tipo de equipo y módulos necesarios que se han seleccionado para cada nodo, valiéndose de las exigencias previstas en la tabla 3.50, y principalmente de las funcionalidades que tendrán en la red.

NODO	Tipo de nodo	INTERFACES A LA RED	SFP	EQUIPO / CHASIS	MÓDULOS DE INTERFACES	MÓDULOS ADICIONALES
Mariscal Sucre	ePB	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
	ePB	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
	ePB	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
Chillogallo	ePB	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
	ePB	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
	ePB	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
Recreo	e-PBB/ ePB	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Routing Switch 8010 (DS1402001)	8630GBR, Routing Switch Module. 30 port SFP GBIC	8692omSF Switch Fabric and CPU, One required with 8630GBR and 8683XLR modules, interoperable with all pre-R modules DS1410019-4-0, Nortel Metro Ethernet Routing Switch 8600 Software Kit
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
		3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
Cono coto	P B/ePB	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
		2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
Sangolquí	ePB	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X		8683XZR, 3-port 10 GBASE-X Interface Module con slots XFP	8692omSF Switch Fabric and CPU, One required with 8630GBR and 8683XLR modules, interoperable with all pre-R modules
Seminario Mayor	e-PBB/ ePB	1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X	Metro Ethernet Routing Switch 8010 (DS1402001)	8630GBR, Routing Switch Module. 30 port SFP GBIC	DS1410019-4-0, Nortel Metro Ethernet Routing Switch 8600 Software Kit
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
La Colón	ePB	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1860	N/A	N/A
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X	Metro Ethernet Service Unit 1880	N/A	N/A
Girón	P B/ePB	1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X	Metro Ethernet Service Unit 1880	N/A	N/A
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
Centro Histórico	e-PBB/ ePB	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Routing Switch 8010 (DS1402001)	8630GBR, Routing Switch Module. 30 port SFP GBIC	8692omSF Switch Fabric and CPU, One required with 8630GBR and 8683XLR modules, interoperable with all pre-R modules DS1410019-4-0, Nortel Metro Ethernet Routing Switch 8600 Software Kit
		2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
		2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			

NODO	Tipo de nodo	INTERFACES A LA RED	SFP	EQUIPO / CHASIS	MÓDULOS DE INTERFACES	MÓDULOS ADICIONALES
La Carolina	eP B	3 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1860 S	Módulo 2GE Combo	N/A
	eP B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
	eP B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
	eP B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
Carcelén	P/eP B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1860 S	Módulo 2GE Combo	N/A
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
Pomasqui	eP B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
	eP B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
Comité del Pueblo	eP B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
	eP B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
La Luz	eP B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1850	N/A	N/A
	eP B	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1860	N/A	N/A
Cumbayá	eP B	2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1860	Módulo 2GE Combo	N/A
	eP B	5 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1880	N/A	N/A
Bellavista	P B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1860 S	Módulo 2GE Combo	N/A
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
Quitumbe	P B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1880	N/A	N/A
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
Cotocollao	P B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1880	N/A	N/A
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
El Inca	P B	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX	Metro Ethernet Service Unit 1880	N/A	N/A
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaselX			

MODO	Tipo de nodo	INTERFACES A LA RED	SFP	EQUIPO / CHASIS	MÓDULOS DE INTERFACES	MÓDULOS ADICIONALES
Quito Sur	e-PBB	1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaseLX	Metro Ethernet Routing Switch 8006 (DS1402002)	8668ESM, 8-port Ethernet Service Module, SFP-Based, GigabitEthernet.	DS1404103, Switch Fabric
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaseLX			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaseLX			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaseLX			
		2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaseLX			
		2 Interfaces Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaseLX			
Mariana de Jesús	e-PBB	1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X	Metro Ethernet Routing Switch 8006 (DS1402002)	8683XZR, 3-port 10 GBASE-X Interface Module with slots XFP	8692omSF Switch Fabric and CPU, One required with 8630GBR and 8683XLR modules, Interoperable with all pre-R modules
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	1000BaseLX			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
Concepción	e-PBB	1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X	Metro Ethernet Routing Switch 8006 (DS1402002)	8683XZR, 3-port 10 GBASE-X Interface Module with slots XFP	8692omSF Switch Fabric and CPU, One required with 8630GBR and 8683XLR modules, Interoperable with all pre-R modules
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
Ñaquito Bajo	e-PBB	1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X	Metro Ethernet Routing Switch 8006 (DS1402002)	8683XZR, 3-port 10 GBASE-X Interface Module with slots XFP	8692omSF Switch Fabric and CPU, One required with 8630GBR and 8683XLR modules, Interoperable with all pre-R modules
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet- Fibra Monomodo	10GBase-X			

NODO	Tipo de nodo	INTERFACES A LA RED	SFP	EQUIPO / CHASIS	MÓDULOS DE INTERFACES	MÓDULOS ADICIONALES
Villaflores	c-PBB	1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X	Metro Ethernet Routing Switch 8006 (DS1402002)	8683XZR, 3-port 10 GBASE-X Interface Module con slots XFP	8692omSF Switch Fabric and CPU, One required with 8630GBR and 8683XLR modules, Interoperable with all pre-R modules
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X			
Mariscal	c-PBB	1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X	Metro Ethernet Routing Switch 8006 (DS1402002)	8683XZR, 3-port 10 GBASE-X Interface Module con slots XFP	8692omSF Switch Fabric and CPU, One required with 8630GBR and 8683XLR modules, Interoperable with all pre-R modules
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X			
Íñaquito	c-PBB	1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X	Metro Ethernet Routing Switch 8006 (DS1402002)	8683XZR, 3-port 10 GBASE-X Interface Module con slots XFP	8692omSF Switch Fabric and CPU, One required with 8630GBR and 8683XLR modules, Interoperable with all pre-R modules
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X			
		1 Interfaz 10 Gigabit Ethernet - Fibra Monomodo	10GBase-X			

Tabla 3.51 Selección de Equipos y Módulos para cada Nodo del Carrier Ethernet

3.10 ANÁLISIS LEGAL [48][49][50]

Como se ha planteado desde el inicio, el presente proyecto es para el diseño de una red de servicios portadores. Según la definición establecida en las leyes del Ecuador: servicios portadores son servicios que proporcionan al usuario una capacidad necesaria para el transporte de información, independientemente de su contenido y aplicación, entre dos o más puntos de una red de telecomunicaciones, pudiendo trabajar bajo dos modalidades: redes conmutadas y redes no conmutadas.

3.10.1 ORGANISMOS DE CONTROL

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones, CONATEL, es un organismo que ejerce a nombre del Estado las funciones de administración y regulación de los servicios de telecomunicaciones y la administración de telecomunicaciones del Ecuador ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT. Por su parte la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, es el organismo encargado de ejecutar las políticas establecidas por el CONATEL.

Es así como el CONATEL es el encargado de expedir las normas de carácter general para los servicios portadores, y es la SENATEL quien se encarga de la gestión y administración de los títulos habilitantes, así como de la elaboración de la Norma Técnica y de Calidad del Servicio para la prestación de los servicios portadores, que se incluirá en los contratos de concesión.

La Superintendencia de Telecomunicaciones, SUPERTEL, es el organismo técnico de control, y es quien de acuerdo a lo establecido en la ley, vigilará se cumplan los reglamentos y los respectivos títulos habilitantes, además es quien juzgará las infracciones con arreglo a lo establecido en la ley.

3.10.2 LEGISLACIÓN

Las redes portadoras estarán bajo el control y regulación de las siguientes leyes, reglamentos, normas y procedimientos:

- Ley Especial de Telecomunicaciones, publicada en el Registro Oficial No. 996 del 10 de agosto de 1992 y sus reformas.
- Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, publicado en el Registro Oficial No. 404 del 4 de septiembre del 2001.
- Reglamento para la Prestación de los Servicios Portadores, publicado en el Registro Oficial No. 426 del 4 de octubre del 2001.
- Norma Técnica para la Prestación de Servicios Portadores de Telecomunicaciones Resolución No. 282-11-CONATEL-2002.
- Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Espectro Ensanchado Resolución 388-14-CONATEL-2001. R.O. 215; 30-nov-2000.

De dichas resoluciones se han de resumir los principales aspectos para las diversas fases que la implementación del presente proyecto implicaría.

3.10.2.1 Concesión o Título habilitante

La prestación de servicios portadores, requiere de un título habilitante, que será la concesión, otorgado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, previa autorización del Consejo Nacional de Telecomunicaciones. El área de cobertura para la prestación de servicios portadores será nacional y con conexión al exterior. Se podrá otorgar concesiones regionales cuando se considere conveniente.

➤ La concesión necesaria será de cobertura regional.

3.10.2.1.1 Duración

El plazo de duración de los títulos habilitantes de servicios portadores será de quince (15) años, renovable por igual período a solicitud escrita del concesionario

presentada con cinco (5) años de anticipación a la fecha de vencimiento. El Consejo Nacional de Telecomunicaciones autorizará las renovaciones de títulos habilitantes para la prestación de servicios portadores.

3.10.2.1.2 Valor de la Concesión

Fijar como valor único por derechos de concesión para servicios portadores de telecomunicaciones la cantidad de 250.000,00 dólares de los Estados Unidos de América, valor que deberá ser cancelado al otorgamiento del título habilitante. Fijar como garantía de fiel cumplimiento de las obligaciones contenidas en el contrato de concesión la cantidad de 60.000 dólares de los Estados Unidos de América, mediante una garantía bancaria, vigente durante el período de concesión.

3.10.2.1.3 Requisitos para la Concesión

Para solicitar la concesión se deberá presentar a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones una petición acompañada con la siguiente información:

- a) Identificación y generales de ley del solicitante; en caso de que el solicitante sea una persona jurídica presentará la escritura de constitución y nombramiento del representante legal;
- b) Descripción del servicio propuesto;
- c) Proyecto técnico que describa la topología de la red, sus elementos, equipos, su localización geográfica y la demostración de su capacidad;
- d) Plan mínimo de inversiones;
- e) La identificación de los recursos del espectro radioeléctrico que sean necesarios;
- f) Determinación de los puntos de interconexión requeridos;
- g) Informe de la Superintendencia de Telecomunicaciones respecto de la prestación de servicios de telecomunicaciones del solicitante y sus accionistas incluida la información de imposición de sanciones en caso de haberlas;

- h) En caso de solicitudes para renovación de títulos habilitantes deberá acompañarse una certificación de cumplimiento del objeto del contrato de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y de la Superintendencia de Telecomunicaciones;
- i) Anteproyecto técnico elaborado y suscrito por un ingeniero en electrónica y/o telecomunicaciones (debidamente colegiado, adjuntar copia de la licencia profesional).

3.10.2.2 Segmentos de Red Portadora

Para la prestación de los servicios portadores y la consecuente transmisión de signos, señales, imágenes, voz y datos, entre puntos de terminación de una red definidos, los prestadores del servicio portador podrán usar uno o más segmentos de su propia red, uno o más segmentos de otras redes públicas conmutadas o no conmutadas y el alquiler de circuitos, para lo cual se suscribirá un acuerdo comercial entre las partes. El medio a utilizarse en la transmisión podrá ser alámbrico o inalámbrico.

Los prestadores de servicios portadores estarán obligados a interconectar sus redes públicas de telecomunicaciones. De igual forma permitirán la conexión de los prestadores de servicios de reventa, servicios de valor agregado y redes privadas que lo soliciten.

Los operadores de servicios portadores, tendrán derecho a la interconexión con otras redes públicas de telecomunicaciones. [...] La interconexión implicará el intercambio de tráfico entre los operadores interconectados, quienes deberán contar con los mecanismos necesarios para la medición del tráfico cursado y sus cargos se liquidarán de acuerdo a los convenios.

Las condiciones de interconexión o conexión entre redes de distintos operadores serán acordadas por las partes. En caso de que las partes no puedan llegar a acuerdos intervendrá la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

3.10.2.3 Otros Permisos

Cuando la construcción de la red pública de telecomunicaciones, para prestar servicios portadores requiera hacer uso de bienes públicos, será responsabilidad del concesionario tramitar ante las municipalidades y otros organismos o entidades, los respectivos permisos para la imposición de servidumbres.

3.10.2.4 Supervisión Técnica

La Superintendencia de Telecomunicaciones designará representantes que asistan a las pruebas de puesta en servicio de la red del servicio portador con el objeto de comprobar que éstas se ajustan a las especificaciones técnicas establecidas en el contrato de concesión.

El concesionario y la Superintendencia de Telecomunicaciones acordarán un cronograma de cumplimiento obligatorio para la realización de las pruebas, previa a la suscripción del acta de puesta en funcionamiento, como requisito para la operación comercial del servicio.

3.10.2.4.1 Acciones de Control

- Cumplimiento de obligaciones contractuales, como:
 - Informe mensual de enlaces
 - Reporte mensual del número de usuarios
 - Informe trimestral de calidad del servicio
 - Informe mensual de fallas
 - Informe semestral de quejas
 - Informe mensual de ingresos totales
 - Inspecciones técnicas de control para verificar características técnicas de operación del sistema

- Supervisar el cumplimiento de Índices de Calidad en los centros de gestión, para verificar los siguientes índices:

1. Porcentaje de averías (PDA).- Averías reportadas por los usuarios del servicio contratado dentro del período de medición aplicable. Este indicador debe ser menor o igual a 20%.
 2. Tiempo medio de reparación de averías (TRA).- Tiempo medio de reparación de averías de circuitos locales y circuitos de larga distancia. Tiempo promedio de reparación de averías 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.
 3. Porcentaje de averías con tiempo de reparación mayor a 8 horas para circuitos locales y de larga distancia (PR8).- Porcentaje de averías en cuya solución se excedió las 8 horas desde que fue reportada, dentro del período de medición mensual. Este indicador debe ser menor o igual al 5%.
 4. Porcentaje de disponibilidad del servicio (PDS) y Porcentaje de disponibilidad del servicio para circuitos locales y de larga distancia PTD.- Porcentaje de tiempo de disponibilidad del servicio dentro de un periodo de tiempo. Este indicador debe ser por lo menos 98% en promedio de toda la red del operador.
- Conocer y tramitar las controversias que se susciten entre operadores y/o concesionarios de servicios de telecomunicaciones, a nivel nacional.

3.10.2.5 Tarifas

En los contratos de concesión se establecerán los pliegos tarifarios iniciales y el régimen para su modificación. El CONATEL aprobará el respectivo pliego tarifario en función del cumplimiento por parte del operador u operadores de la ejecución del Plan de Expansión del servicio de telecomunicaciones acordado en los contratos de concesión, y que en la ejecución del referido plan se hayan respetado las exigencias de calidad determinadas en los contratos de concesión. Las tarifas para los servicios portadores serán reguladas por el Consejo Nacional

de Telecomunicaciones cuando existan distorsiones a la libre competencia en un determinado mercado.

3.10.2.6 Contratos de Servicio

Las relaciones entre el concesionario y sus clientes se regirán por un contrato escrito el cual deberá contener los servicios ofrecidos, las normas de calidad y las condiciones económicas bajo las cuales se ofrecen, con sujeción a las normas de la Ley Orgánica de Defensa al Consumidor.

3.10.2.7 Disposición Transitoria Única

En cumplimiento de lo dispuesto en la disposición transitoria primera del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones, publicada en el Registro Oficial 404 del 4 de septiembre del 2001, el acceso a la red de Internet podrá realizarse a través de los servicios portadores, debidamente concesionados, por cualquier medio, tecnología de transmisión y protocolo.

3.11 ANÁLISIS DE COSTOS

Para determinar los costos referenciales que tendría la implementación del diseño de la Red Metro Ethernet, se estimarán los siguientes costos:

- Inversión inicial en equipos
- Concesiones y Permisos
- Costos de planta externa
- Costos de Operación y Mantenimiento

3.11.1 INVERSIÓN INICIAL EN EQUIPOS

La inversión inicial de equipos contemplará todos los costos locales de los equipos a utilizarse en la red, para lo cual se utilizará el subcapítulo 3.9 donde se seleccionó y dimensionó los equipos necesarios para implementar las diferentes

tecnologías escogidas para el despliegue de red; además se incluyen módulos, software, y paquetes de administración del sistema.

Gastos para Inversión Inicial en Equipos				
ITEM	Cantidad	Descripción de Equipo	Costo Unitario	Costo Total
1	13	<i>Metro Ethernet Service Unit 1850</i>	\$ 2.043,34	\$ 26.563,45
2	6	<i>Metro Ethernet Service Unit 1860</i>	\$ 2.673,34	\$ 16.040,05
3	4	<i>Metro Ethernet Service Unit 1880</i>	\$ 3.138,60	\$ 12.554,39
4	3	<i>Metro Ethernet Routing Switch 8010 (DS1402001), 10-slot NEBS-compliant chassis.</i>	\$ 3.018,37	\$ 9.055,12
5	7	<i>Metro Ethernet Routing Switch 8006 (DS1402002),6-slot chassis for backbones of low density or high space premium</i>	\$ 4.101,52	\$ 28.710,64
6	3	<i>8630GBR, Routing Switch Module. 30 port SFP GBIC</i>	\$ 2.093,75	\$ 6.281,26
7	10	<i>8683XZR, 3-port 10GBASE-X Interface Module con slots XFP</i>	\$ 27.246,86	\$ 272.468,60
8	1	<i>8668ESM, 8-port Ethernet Service Module, SFP-Based, GigabitEthernet.</i>	\$ 12.260,44	\$ 12.260,44
9	4	<i>Módulo 2GE Combo (1860)</i>	\$ 257,24	\$ 1.028,96
10	1	<i>DS1404103, 8691omSF Switch Fabric/CPU Module</i>	\$ 12.570,44	\$ 12.570,44
11	10	<i>DS1410019-4.0, Nortel Metro Ethernet Routing Switch 8600 Software Kit</i>	\$ 6.127,40	\$ 61.274,01
12	9	<i>8692omSF Switch Fabric and CPU, One required with 8630GBR and 8683XLR modules, Interoperable with all pre-R modules</i>	\$ 13.620,44	\$ 122.583,98
13	30	<i>1PORT 10GBASE-SR XFP FOR USE WITH 8683XZR</i>	\$ 1.359,16	\$ 40.774,86
14	1	<i>Nortel Metro Ethernet Manager Tools Kit</i>	\$ 7.707,00	\$ 7.707,00
15	5	<i>Base station Equipment, Complete AU system, stand alone Indoor Network Interface + Outdoor radio unit, , 5725-5.850GHz. External 60 degrees antenna and RF cable are included IOC Cable NOT INCLUDED</i>	\$ 5.362,86	\$ 26.814,32
16	5	<i>Indoor unit to outdoor unit baseband cable for use with DS.11, BNet-B, BA VL & BMAX Series. Drum of 250 meter CAT – 5e cable. No connectors are included</i>	\$ 262,65	\$ 1.313,25
17	5	<i>Indoor CPE power plug US.</i>	\$ 1,42	\$ 7,10
			Costo total en Compra de Equipos (Sin IVA)	\$ 658.007,86

Tabla 3.52 Costos de Inversión Inicial en Equipos

3.11.2 CONCESIONES Y PERMISOS

Se especificarán los costos sobre los derechos de Concesión de Redes Portadoras, establecidos en la Resolución 402-16-CONATEL-2001, expedidos por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones. Se incluyen también valores estimados por permisos para la utilización de infraestructura pública, como por ejemplo el respectivo permiso de la Empresa Eléctrica Quito para llevar los enlaces de fibra en los postes propiedad de la institución.

Gastos por Concesiones y Permisos				
ÍTEM	Cantidad	Descripción de Equipo	Costo Unitario	Costo Total
1	1	Títulos habilitantes para Operadores Redes Portadoras	\$ 250.000,00	\$ 250.000,00
2	1	Permisos para uso de Infraestructura pública.	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Costo total en Concesiones y permisos (Sin IVA)				\$ 270.000,00

Tabla 3.53 Costos por Concesiones y Permisos

3.11.3 COSTOS DE PLANTA EXTERNA

Se considerará los gastos asociados a la construcción de la planta externa de la red, destacando como el principal rubro la adquisición de fibra óptica. Además contiene los gastos para materiales de instalación y el servicio técnico para el tendido, conectorización y certificación de la fibra óptica. Tal y como se ha comentado anteriormente, los kilómetros de fibra óptica hacen aumentar considerablemente el presupuesto. En los cálculos se ha aplicado un factor de corrección de distancia del 5%. Ver tabla 3.54.

Gastos para Planta Externa				
ÍTEM	Cantidad	Descripción de Equipo	Costo Unitario	Costo Total
1	115189 m	Costos Fibra Optica	\$ 6,00	\$ 691.134,00
2	1	Material para Instalación Fibra óptica y Radios (Conectores, Bandejas, Herrajes, etc.)	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
3	115189	Mano de obra Instalación Planta externa (Tendido de fibra, conectorización, certificación de enlaces)	\$ 4,00	\$ 460.756,00
Costo total de Planta Externa (Sin IVA)				\$ 716.134,00

Tabla 3.54 Costos para Planta Externa

3.11.4 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Se considerará parte de la inversión inicial de la red, los costos de operación y mantenimiento para la primera fase de implementación, que contemplará la configuración, puesta en marcha y pruebas de funcionamiento de la solución (tabla 3.55).

Gastos de Operación y Mantenimiento				
ÍTEM	Cantidad	Descripción de Equipo	Costo Unitario	Costo Total
1	1 global	Ingeniería y Servicio Técnico para configuración inicial	\$ 6400,00	\$ 6400,00
2	1 global	Ingeniería y Servicio Técnico para fase operativa inicial	\$ 6400,00	\$ 6400,00
3	1 global	Ingeniería y Servicio Técnico para pruebas de funcionamiento y monitoreo de la red	\$ 3200,00	\$ 3200,00
			Costo total en Operación y Mantenimiento (Sin IVA)	\$ 16.000,00

Tabla 3.55 Costos de Operación y Mantenimiento

Teniendo en cuenta la estructura, dimensión y presupuesto desglosado del proyecto, se calcula como presupuesto para el despliegue y puesta en marcha de la red Metro Ethernet del Distrito Metropolitano de Quito, un valor aproximado que asciende a 1 297.144 dólares, como se describe en la tabla 3.56.

Resumen Costos Referenciales Implementación Diseño				
ÍTEM	Cantidad	Descripción de Equipo	Costo Unitario	Costo Total
1	1	Costo total en Compra de Equipos	\$ 295.010,00	\$ 295.010,00
2	1	Costo total de Planta Externa	\$ 270.000,00	\$ 270.000,00
3	1	Costo total en Concesiones y Permisos	\$ 716.134,00	\$ 716.134,00
4	1	Costos de Operación y Mantenimiento	\$ 16.000,00	\$ 16.000,00
			Costo total en Implementación de la Red (Sin IVA)	\$ 1.297.144,00

Tabla 3.56 Costos Referenciales para la Implementación Diseño

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Luego del desarrollo del presente proyecto de titulación se han podido destacar las siguientes conclusiones:

- La demanda de tecnologías orientadas a paquetes en las redes actuales ha crecido debido a la necesidad de mayores anchos de banda impuestos, así como por el incremento de los servicios de red y el tráfico de datos en general. Para hacer frente a estas demandas, los proveedores de servicio están transformando sus redes WAN y MAN con el fin de hacerlas mucho más económicas, efectivas y con capacidad para soportar la nueva generación de servicios que están empezando a surgir. Es entonces por ello que los proveedores de servicios se han dado cuenta que Ethernet como tecnología de portador, es una inversión que no sólo los beneficiará de un importante ahorro de costes, sino que podrán mejorar operacionalmente sus redes Ethernet al contar con una infraestructura convergente capaz de dar soporte a las más variadas aplicaciones.
- Metro Ethernet busca la ubicuidad del servicio, a través de la estandarización del equipamiento de red, de forma que no se necesite ningún cambio en la infraestructura LAN del usuario y se adapte a la conectividad de red existente como: Aplicaciones en tiempo real, Tráfico y señalización TDM.
- La mayoría del tráfico que atraviesa Internet está creado por entornos Ethernet. Si la salida a Internet también se hace a través de este entorno, se disminuyen los costes y la complejidad de realizar la conversión de protocolos para adaptar la encapsulación de los datos al medio de transmisión.

- El mercado para los equipos Ethernet está creciendo a medida que las empresas ofrecen cada vez más servicios Ethernet para conseguir un ancho de banda más rentable. Por su parte, los proveedores lo incorporan para reducir los costes de sus propias infraestructuras de red y aumentar así la viabilidad y beneficios de estos servicios. Los componentes esenciales para que Ethernet soporte estas aplicaciones son: escalabilidad, protección, calidad de servicio superior, gestión del servicio y soporte TDM. Hasta la fecha, las soluciones basadas en MPLS eran la única opción tecnológica que cumplía con todos estos requisitos. Las soluciones *Carrier Ethernet*, con PBB, PBB-TE y OAM están cambiando este paisaje, proporcionando nuevas alternativas más simples y baratas sin ninguna pérdida de funcionalidad.
- El equipamiento para la transmisión de datos puede pasar en algunos casos, de un *router* de gran capacidad con un número relativamente bajo de puertos Ethernet a un equipo de conmutación de nivel dos con un gran número de interfaces. La posible utilización de *switches* en vez de routers, hace que los costes en infraestructuras sea bastante reducida si se tiene en cuenta la cantidad de enlaces datos que pueden ser cursados por esa infraestructura.
- La tecnología EFM (Ethernet en la Primera Milla) hará posible el despegue en el desarrollo de nuevos servicios en Internet, como el de video o televisión, que requerirán mayores anchos de banda. Estos servicios actualmente no pueden ser prestados ya que el ancho de banda del bucle de abonado no permite recibir las imágenes y el sonido con la suficiente calidad. Estos nuevos servicios son los que darán valor añadido a esta tecnología y supondrán un volumen de facturación bastante importante en un futuro próximo.
- *Provider Backbone Bridging* (PBB) permite que millones de instancias de servicio sean desplegadas en una infraestructura *Carrier Ethernet*, en comparación con las 4.000 disponibles con Ethernet tradicional. La

tecnología PBB está estandarizada dentro del IEEE 802.1ah y permite establecer una jerarquía dentro del mundo Ethernet para aislar de forma escalable y segura las redes Ethernet de los clientes de las redes Ethernet del operador.

- *Provider Backbone Bridge - Traffic Engineering (PBB-TE)* es una nueva tecnología para implementar túneles punto a punto a través de una red Ethernet, de forma similar a como se hace en una tecnología orientada a circuitos. Estos túneles permiten la reserva de ancho de banda, soportan calidad de servicio y recuperación frente a fallas en menos de 50 ms usando rutas de protección configuradas desde el sistema de gestión. Este punto es imprescindible si se habla de la transmisión de video, música, VoIP y otro tipo de tráfico que exigen estricta calidad y mínimos retardos en la red.
- PBB-TE ofrece a los operadores una alternativa a las tecnologías costosas existentes, al utilizar Ethernet para simplificar las operaciones de red. Ethernet ha sido ampliamente utilizada como protocolo de red durante 30 años en las empresas para compartir información, con buenos resultados y costes, pero es la inteligencia de PBB-TE la que hace que Ethernet sea viable para redes a gran escala.
- Las nuevas capacidades OAM de Ethernet incorporan gestión de alarmas y medidas de calidad a Ethernet, de forma similar a otras redes como SDH o ATM, tanto en la gestión de alarmas como en las medidas de calidad. La gestión de alarmas les asegura que cuando se produce un problema en la red se informa al operador, para que pueda iniciar las acciones correctivas adecuadas. Las medidas de calidad incluyen contadores y funciones avanzadas para garantizar al cliente la calidad de servicio acordada.

- Con Metro Ethernet, los costos de operación e infraestructura de telecomunicaciones se reducirán debido a factores como el que los negocios pueden adquirir únicamente el ancho de banda que necesiten, que la base de conocimiento de esta tecnología está ampliamente disponible dentro de las empresas, y la facilidad con la que se logrará la consolidación de servidores y de almacenamiento.
- Con el estudio realizado sobre la situación de los servicios portadores en el Ecuador, se registró un crecimiento exponencial, muy dinámico a partir del año 2003, con tendencia a mantener dicho ritmo en los próximos años como producto del desarrollo y aparición de nuevas empresas.
- La progresiva demanda de conectividad y comunicación (nuevas aplicaciones, mayores anchos de banda, exigencias de calidad de servicio) de los clientes ecuatorianos ha obligado que los portadores existentes busquen migrar sus redes tradicionales a tecnologías de nueva generación; sin embargo la mayoría de ellos aún no lo ha hecho y se encuentran en etapa de proyectos o pruebas. Solamente Telconet dispone de una red operativa con tecnología MPLS, sobre la cual ya se ha implementado soluciones Metro Ethernet.
- El implementar un *backbone* Metro Ethernet Puro (PBB/PBB-TE) tendrá mayor oportunidad en infraestructuras que empiezan desde cero y en redes que no trabajen aún con MPLS, puesto que una vez realizada la inversión en equipos MPLS, será más fácil implementar transporte Ethernet sobre MPLS mediante técnicas VPLS.
- Para tener mayor precisión en el diseño de la red portadora del presente proyecto se realizó el dimensionamiento de la misma con la estimación de clientes reales, como son las empresas existentes en Quito, y la densidad de penetración de servicios portadores en las mismas; a diferencia de los anteriores diseños realizados que utilizan el

crecimiento poblacional (habitantes) como base para el dimensionamiento de la red.

- Se analizó que los datos de las empresas registradas en las entidades reguladoras como la Superintendencia de Compañías o Cámara de Comercio de Quito no contemplan la realidad del número de empresas existentes en el país debido a la alta extralegalidad que existe en las mismas, lo cual se refleja en los informes desarrollados por el Banco Interamericano de Desarrollo. En cuanto a la SUPERTEL, la publicación de información suele ser un poco lenta e incompleta. Según se nos informó en la misma institución, las estadísticas de abonados y enlaces existentes, sólo se las realiza por provincia y no por ciudades, además varios operadores estaban retrasados o entregaban datos incompletos sobre los reportes de sus clientes y servicios.
- Al enfocarse el proyecto en el diseño de una red completamente nueva en el DMQ, se estimó como potenciales clientes a un porcentaje de aquellas nuevas empresas que surjan y presenten la necesidad del servicio portador, que al no encontrarse aún cubiertas por los portadores ya existentes constituirán el nicho de mercado inicial más importante.
- Con la distribución de nodos propuesta para la red *Carrier Metro Ethernet* se pretende dar una adecuada cobertura a todo el territorio urbano de Quito y a los principales sectores localizados fuera del sector urbano donde se proyecta un significativo crecimiento de potenciales clientes en los sectores suburbanos como los valles, y ciertas poblaciones periféricas como Calderón.
- Mediante un análisis de tráfico generado de nodo a nodo se desarrolló una matriz de tráfico inicial propia del sistema sin recurrir a matrices de tráfico de redes de otros servicios o portadores existentes, donde no se

encuentra la realidad de este tipo de servicio ni del estudio realizado sobre la concentración de potenciales clientes.

- Se ha analizado que en el mercado varios fabricantes están desarrollando soluciones para arquitecturas *Carrier Ethernet*, pero principalmente Nortel y *Extreme Networks* han apostado por mantener a Ethernet en el núcleo de la red cumpliendo con los requerimientos de tecnologías portadoras a través de PBB-TE en sus equipos.
- La transmisión de datos se ha convertido en un verdadero «sistema nervioso», imprescindible para aumentar la eficacia y la competitividad, que alcanza a todos los ámbitos, desde la fabricación hasta la instalación y el transporte, o el mantenimiento de las redes de Telecomunicaciones. En nuestro país hoy se tiene la posibilidad de implementar los cambios necesarios para aprovechar el potencial que ofrece la convergencia de nuevas tecnologías que permitan brindar a los usuarios nuevas aplicaciones con gran calidad y a menor costo.

4.2 RECOMENDACIONES

El proyecto desarrollado establece las bases y abre las puertas a la realización de gran variedad de futuros proyectos, entre ellos se pueden diferenciar dos clases:

- Los que pretenden continuar con la dimensión del presente proyecto pero basándose más en el área económica, planes de *marketing*, análisis de tarifas, etc.
- Los que pretenden continuar a nivel técnico-económico con la base desarrollada de la red Metro Ethernet presente.
 - Se recomienda que los organismos reguladores de Telecomunicaciones en nuestro país, especialmente la SUPERTEL desarrollen estadísticas sobre la realidad de los usuarios y enlaces que tienen los servicios

portadores en cada ciudad del país, esto beneficiará un mayor control y sectorización de los proveedores y abonados. No se tuvo disponible estadísticas sobre el número de usuarios que se tiene en la ciudad de Quito para el análisis del presente proyecto; sin embargo luego de una solicitud realizada a la SUPERTEL, se nos facilitó la información que fue elaborada en el momento de la petición realizada.

- Ya que el presente proyecto tuvo como objetivo el diseñar una nueva red portadora para la ciudad de Quito, sería muy viable llevar el estudio de esta tecnología a la migración de un *carrier* ya existente, para comprobar técnica y económicamente en qué escenarios de plantas ya instaladas será factible la implementación de esta tecnología.
- Se plantea desarrollar varios estudios que analicen la aplicación de PBB-TE con un plano de control automático y distribuido basado en GMPLS. Asimismo, también se pueden desarrollar proyectos que consideren PLSB (*Provider Link State Bridging*) basado en IS-IS para gestionar la red PBB-TE. Esta aproximación permitiría soportar conexiones punto - multipunto y servicios de difusión no orientados a conexión.
- Se recomienda estudiar el *UNIVERSAL ETHERNET TELECOMMUNICATIONS SERVICE* conocido como UETS que plantea una nueva solución para operar directamente sobre el nivel de enlace definido en la normativa IEEE 802, como alternativa a los modelos o arquitecturas que se venían utilizando como OSI o TCP/IP, y que han generado problemas de escalabilidad.
- En el presente estudio se planificó la red metropolitana para la ciudad de Quito, pero la tecnología *Carrier Ethernet* tiene toda la capacidad necesaria para interconectar varias ciudades. Se recomienda analizar estos casos y verificar que Ethernet y todos los desarrollos realizados sobre el mismo podrán extenderse para redes WAN.

- El funcionamiento del protocolo PBB-TE está listo para trabajar sobre infraestructuras de *backbones* MPLS, con el fin de obtener las mismas ventajas y mecanismos obtenidos mediante MPLS-TE pero de una manera mucho más sencilla y económica. Se recomienda profundizar el funcionamiento de este innovador protocolo y la metodología para realizar esta posible fusión donde sea PBB-TE quien maneje el control e ingeniería de tráfico.
- Se recomienda plantear panoramas con varios proveedores de servicio bajo una misma red portadora Metro Ethernet y analizar las funcionalidades que OAM Ethernet presenta para la operación y mantenimiento de dichos escenarios, donde cada red se considerará un dominio independiente.
- Se puede utilizar el proyecto desarrollado como base para el análisis y establecimiento de tarifas para los servicios que ofrecerá un portador Metro Ethernet en nuestra ciudad y así demostrar con estudios financieros como: flujos de caja, rentabilidad, valor actual neto, tasa interna de retorno, etc., la factibilidad económica y el costo beneficio real de ofrecer servicios de última generación.
- Se recomienda utilizar el estudio realizado para llevar este proyecto propuesto a la práctica e implementar en la ciudad de Quito una red *Carrier* Ethernet que provea servicios de nueva generación con reducidos costos para el operador y el cliente.
- Una vez realizada la implantación de la red de servicios portadores será indispensable mantener un monitoreo continuo del tráfico existente en la red, en cuanto a capacidad y enrutamiento, para con ello poder ajustar más eficientemente los recursos de la red y aplicar las políticas y mecanismos de operación, administración y mantenimiento que más se alineen a la realidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CISCO SYSTEMS INC., Academia de networking de Cisco Systems, Guía del Primer año CCNA 1 y 2, tercera edición, Pearson Educación S.A., Madrid, 2004.
- [2] UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT), Recomendación UIT-T Y.2001, Redes de la próxima generación – Marcos y modelos arquitecturales funcionales (versión en español), Diciembre 2004.
- [3] BARROSO, José Morales, GOMEZ, Ángel, La Red Inteligente: Ahorro energético y Telecomunicaciones (Ethernet Forum), L&M Data Communications, España, Octubre de 2006.
- [4] NORTEL, Provider Backbone Transport, United States, 2007.
- [5] METRO ETHERNET FORUM, Metro Ethernet Network Architecture Framework Part 1: Generic Framework, MEF 4, Noviembre 2003
- [6] VELASCO Luis, PERELLÓ, Jordi, JUNYENT, Gabriel, Urrea Enrique, Redes Ethernet Ópticas para Operadores, Comunicaciones de Telefónica I+D, Número 36, Madrid, 2005
- [7] COFFEY, Ellen; Cisco Systems, SERVICIOS Y SOLUCIONES METRO ETHERNET , 2005. (MetroEthernetTDM)
- [8] ANONIMO, <http://www.huawei.com/es/catalog.do?id=57>>Comunicado de Prensa
- [9] METRO ETHERNET FORUM, <http://www.metroethernetforum.org/about>.
- [10] Metro Ethernet Forum, An Overview of the Work of the MEF,sc , 2008. (www.MetroEthernetForum.org/presentations.htm)
- [11] Metro Ethernet Forum, Ethernet Services Attributes Phase 2 Technical Specification MEF 10.1, 2006.
- [12] CISCO SYSTEMS INC., Cisco_it_high_availability, Metro Ethernet Services Concepts, USA, 2003.
- [13] METRO ETHERNET FORUM, Requirements and Framework for Ethernet Service Protection Technical Specification 2, 2006.
- [14] IEEE COMPUTER SOCIETY, IEEE Std 802.3ah
- [15] HIGUERO, Marivi, ASTARLOA, Armando, Modelo de Red Orientado a Servicios Basado en Ethernet, Universidad del País Vasco, Noviembre 2006.

[16] VALERA, Francisco, Redes y Servicios Internet de Nueva Generación Mecanismos de QoS para servicios Triple Play en redes de nueva generación, Template para el trabajo de la asignatura “Redes y Servicios de Internet de Nueva Generación”, Universidad Carlos III de Madrid , Madrid, 2006

[17] IEEE COMPUTER SOCIETY, IEEE Std 802.1ad™-2005 (Amendment to IEEE Std 802.1Q™-2005), IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Virtual Bridged Local Area Networks Amendment 4: Provider Bridges, New York, USA, Marzo 2006.

[18] IEEE COMPUTER SOCIETY, IEEE Std 802.1ah

[19] IEEE COMPUTER SOCIETY, <http://www.ietf.org/html.charters/pwe3-charter.html>.

[20] WITTERS, Johann; DE CLERCQ, Jeremy; KHANDEKAR, Sunil, Tutorial Técnico del VPLS, Revista de Telecomunicaciones de Alcatel, 4º trimestre del 2004

[21] PESSINI, José Eduardo; Telecomunicaciones
<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/espanhol/autores/jpessini.htm>.

[22] TELECOM GROUP LIMITED E IDG GLOBAL SOLUTIONS, La influencia de las aplicaciones en la configuración de las redes, Documentación de COLT, 2007.

[23] COLT Telecom Group Limited, http://www.2658.co.uk/es/ethernet_wan.asp

[24] Redes de acceso de Banda Ancha.
http://www.bandaancha.es/NR/rdonlyres/C440697C-454B-48C2-8FD0-A5E48302E0D1/0/librotaba28_1_de_3.pdf

[25] CARRION, Hugo, Regulación e Inversión en Telecomunicaciones, Estudio de Caso para Ecuador, IMAGINAR.org, Centro de Investigación de la Sociedad de la Información, Quito, 2007.

[26] EMPRESA ELÉCTRICA QUITO, Anexo 1. Información general del sector de telecomunicaciones en Ecuador. Febrero 2007

[27] *EXTREME NETWORKS INC.*, Carrier Ethernet Solution Overview, White Paper, USA, 2007.

[28] NORTEL, Provider Backbone Bridges bring massive service scalability to Ethernet, White Paper, USA, 2007.

[29] LÓPEZ, Cristina, Ethernet llega hasta el salón de nuestros hogares. Redes & Telecom, 2004.

[30] WORLD WIDE PACKETS, Provider Backbone Transport of Carrier Ethernet Services, White Paper, Washington, 2.007.

- [31] NORTEL, Carrier Ethernet Technologies.
http://www2.nortel.com/go/technologyinnovation_index.jsp
- [32] Telefónica I+D, Telefónica I+D finaliza pruebas de la tecnología ethernet de Nortel. Las tecnologías PBB/PBT simplifican la entrega de los servicios de banda ancha y disminuyen los costos para los proveedores de servicios., España. Febrero 2008
- [33] SIMON, Álvaro; VELA Fernando, Ethernet, a la conquista del núcleo de la red de transporte. Telecom.cat, Editorial ACET, Edición 39. 2007.
- [34] ILUSTRE MUNICIPIO DE QUITO, Plan Quito Siglo XXI- 2 Estrategias de desarrollo al 2025, Distrito Metropolitano de Quito, abril 2004
- [35] EMPRESA ELECTRICA QUITO, Imagen Satelital de Quito
<http://pia.eeq.com.ec/gis/googleVehiculos.html?Xmin=&Ymin=&Xmax=&Ymax=&abonado=true&vehiculo=true>
- [36] DIRECCION METROPOLITANA DE PLANIFICACION TERRITORIAL, Mapas Temáticos del Distrito Metropolitano de quito.
http://www4.quito.gov.ec/spirales/9_mapas_tematicos/
- [37] CABALLERO, José; HENZ, Francisco, QoS in Metro Ethernet-Provisioning and testing, Barcelona, 2005.
- [38] CISCO SYSTEMS INC., Business Case for Carrier Ethernet Services, White Paper, USA, 2005.
- [39] FRAULOB, Davi; PIACENTINI Edgar, MetroEthernet, Curitiba, noviembre 2006.
- [40] CISCO SYSTEMS INC; Ethernet Operations, Administration, and Maintenance; USA, Septiembre 2006.
- [41] STEIN JONATHAN, RAD Data Communications; Ethernet OAM; White Paper; Israel, Marzo 2006
- [42] WESTERMO TELEINDUSTRI AB, Transmisión de datos industriales Aplicaciones teóricas y generales, Manual Westermo, Quinta edición, Suecia, 2005.
- [43] NORTEL, Metro Ethernet Routing Switch 8600, Product Brief, USA, marzo 2008.
- [44] NORTEL, Nortel Metro Ethernet Services Unit portfolio, Product Brief, segunda edición, USA , marzo 2008.

[45] NORTEL, Carrier Ethernet Solutions.
<http://www.nortel.com/solutions/index.htm>

[46] *EXTREME NETWORKS*, Presentación de Equipos de Conmutación para Redes Metro Ethernet, <http://www.extremenetworks.com/products/switching-products-family.aspx>

[47] *EXTREME NETWORKS*, BlackDiamond® 12800R Series, *Extreme Networks* Data Sheet, USA, Noviembre 2007

[48] CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DEL ECUADOR
CONATEL,
http://www.conatel.gov.ec/website/baselegal/regulacionn1.php?cod_cont=196&no mb_grupo=regulacion&cod_nivel=n1

[49] SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES DEL ECUADOR
SUPERTEL, <http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/portadores.htm>

[50] SECRETARIA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DEL ECUADOR
SENATEL, <http://www.senatel.gov.ec>