

# **Propuesta de Migración a la Tecnología Carrier Ethernet para Operadores en Colombia**



Trabajo de Grado

**LOURDES ADRIANA MUÑOZ DELGADO  
JAIRO ANTONIO CHICANGANA PARRA**

**Director: ING. JOSÉ GIOVANNY LÓPEZ PERAFÁN**

Universidad del Cauca  
**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones**  
**Departamento de Telecomunicaciones**  
**Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones**  
Popayán, Octubre de 2008

# TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	iv
LISTA DE TABLAS .....	iv
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>3</b>
<b>1. ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>3</b>
1.1. ETHERNET .....	3
1.1.1. Estructura de la Trama Ethernet.....	4
1.1.2. Cableado para Ethernet .....	5
1.1.3. Proyectos Ethernet.....	5
1.2. CARRIER ETHERNET .....	6
1.2.1. Atributos y Servicios Carrier Ethernet.....	6
1.2.2. Aplicaciones de Carrier Ethernet.....	8
1.3. METRO ETHERNET FORUM – MEF .....	11
1.3.1. Historia del MEF.....	11
1.4. ATM.....	13
1.5. SDH.....	15
1.6. FRAME RELAY .....	16
1.7. XDSL.....	17
1.8. MPLS.....	19
<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>20</b>
<b>2. CARRIER ETHERNET Y LAS REDES ACTUALES EN COLOMBIA.....</b>	<b>20</b>
2.1. EMPRESAS DE TELECOMUNICACIONES EN COLOMBIA.....	20
2.1.1. Caracterización Inicial de las Empresas Seleccionadas .....	21
2.1.2. Modelo de Red Tradicional en Colombia .....	23
2.1.3. Tendencias de las Telecomunicaciones en Colombia .....	25
2.2. RED CARRIER ETHERNET PROYECTADA.....	27
2.2.1. Carrier Ethernet Extremo a Extremo .....	27
2.2.2. Tecnologías de Red .....	28
2.2.3. Servicios .....	30
2.2.4. Aplicaciones.....	32
2.2.5. Ethernet y otras Tecnologías.....	34
2.2.6. Túneles de Transporte EETT .....	35

2.3. COMPARACIÓN DE LAS REDES TRADICIONALES CON LA RED CARRIER	
ETHERNET .....	37
2.3.1. Servicios Estandarizados .....	37
2.3.2. Escalabilidad.....	39
2.3.3. Confiabilidad .....	40
2.3.4. Calidad de Servicio .....	41
2.3.5. Gestión de Servicio .....	43
2.3.6 SDH y Carrier Ethernet.....	45
2.4. APROXIMACIÓN ECONÓMICA .....	46
2.4.1. Crecimiento de Carrier Ethernet.....	46
2.4.2. Propuestas de Fabricantes.....	49
2.4.2.1. IP NGN Carrier Ethernet Design – Cisco.....	49
2.4.2.2. Alcatel-Lucent’s Carrier Ethernet Framework .....	51
2.4.2.3. Juniper Networks Carrier Ethernet Solution.....	53
2.4.3. Precios de Productos .....	55
<b>CAPITULO 3 .....</b>	<b>59</b>
<b>3. CRITERIOS DE GESTIÓN DE SERVICIOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE</b>	
<b>CARRIER ETHERNET EN COLOMBIA. ....</b>	<b>59</b>
3.1. PROPUESTA CARRIER ETHERNET PARA UN OPERADOR EN COLOMBIA ..	59
3.1.1. Importancia de la Migración .....	59
3.1.2. Modelo Propuesto para Colombia - Modelo de Red Carrier Ethernet .....	61
3.2. GESTIÓN DE REDES .....	65
3.2.1. Modelos de Gestión .....	66
3.2.2. Gestión de Servicios en Carrier Ethernet .....	68
3.2.3. Normatividad para la Gestión de Servicios.....	71
3.3. CRITERIOS PARA EL PROCESO DE MIGRACIÓN .....	76
3.3.1 Criterios Generales .....	77
3.3.2 Criterios para Gestión de Servicios .....	85
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>4 CASO DE ESTUDIO – EMTel S.A. E.S.P.....</b>	<b>89</b>
4.1 CRITERIOS GENERALES PARA LA RED DE EMTel S.A. E.S.P .....	89
4.2 CRITERIOS PARA GESTIÓN DE SERVICIOS EN LA RED EMTel S.A. E.S.P...	96
4.3 APROXIMACIÓN ECONÓMICA EMTel S.A. E.S.P.....	101
4.4 RED CARRIER ETHERNET APROXIMADA PARA EMTel S.A E.S.P.....	102

## CAPÍTULO 5

<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	104
5.1 CONCLUSIONES.....	104
5.2. RECOMENDACIONES .....	106

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Trama Ethernet .....	4
<b>Figura 2</b> Línea de Tiempo de Especificaciones .....	13
<b>Figura 3</b> Modelo Lógico de las Tecnologías de Red de los Operadores Nacionales ..	24
<b>Figura 4</b> Modelo Físico de Red Tradicional en Colombia .....	24
<b>Figura 5</b> Arquitectura Carrier Ethernet Extremo a Extremo .....	27
<b>Figura 6</b> Tecnologías para la Prestación de Servicios Carrier Ethernet.....	29
<b>Figura 7</b> Servicios E-Line .....	30
<b>Figura 8</b> Servicios E-LAN.....	31
<b>Figura 9</b> Servicios E-Tree.....	32
<b>Figura 10</b> Túnel de Transporte Ethernet.....	37
<b>Figura 11</b> Crecimiento de los Servicios Ethernet.....	47
<b>Figura 12</b> Proveedores de Servicios y Fabricantes de Equipos Certificados por el MEF .....	47
<b>Figura 13</b> Aproximación de Carrier Ethernet en Colombia.....	64
<b>Figura 14</b> Diagrama de Flujo del Proceso de Migración .....	88
<b>Figura 15</b> Topología EMTEL S.A. E.S.P.....	62
<b>Figura 16</b> Red Carrier Ethernet Aproximada para EMTEL S.A E.S.P. ....	103

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Proyectos Ethernet .....	6
<b>Tabla 2</b> Tecnologías y Servicios de los Operadores de Colombia. ....	23
<b>Tabla 3</b> Comparación Servicios Estandarizados.....	39
<b>Tabla 4</b> Comparación Escalabilidad .....	40
<b>Tabla 5</b> Comparación Confiabilidad.....	41
<b>Tabla 6</b> Comparación Calidad de Servicio .....	43
<b>Tabla 7</b> Comparación Gestión de Servicio.....	44
<b>Tabla 8</b> Comparación SDH y Carrier Ethernet.....	45
<b>Tabla 9</b> Aproximación Económica Cisco.....	56
<b>Tabla 10</b> Aproximación Económica Alcatel-Lucent .....	56
<b>Tabla 11</b> Aproximación Económica Juniper .....	57
<b>Tabla 12.</b> Comparación de red .....	95
<b>Tabla 13</b> Gestión De Servicios EMTEL.....	97
<b>Tabla 14</b> Relación de Precios.....	102

## RESUMEN

Mediante el presente trabajo de investigación se realiza una propuesta de criterios para la migración de redes tradicionales colombianas a redes Carrier Ethernet, que faciliten a un operador de telecomunicaciones nacional llevar a cabo este proceso. El documento está dividido en cinco capítulos que se describen enseguida.

El primer capítulo, contiene las bases teóricas bajo las cuales se desarrolla el proyecto e información general acerca de Carrier Ethernet y demás tecnologías concernientes a la investigación.

En el siguiente capítulo, se realiza un estudio comparativo entre Carrier Ethernet y sus competidoras para poder analizar las necesidades que se generan para que un operador en nuestro entorno Colombiano tome la decisión de una migración hacia una red Carrier Ethernet. Se presenta además una aproximación económica de esta tecnología.

El tercer capítulo, se proponen los criterios que un proveedor de servicios de telecomunicaciones debe seguir para la migración de su red actual a una red basada en Carrier Ethernet haciendo énfasis en Gestión de Servicios.

En el capítulo cuarto, considerando la información suministrada por la empresa de telecomunicaciones EMTEL S.A E.S.P, y teniendo en cuenta la confidencialidad de algunos de sus recursos, se presentará un esquema del proceso que seguiría la empresa para realizar la migración a Carrier Ethernet.

En el capítulo final, se establecen las conclusiones obtenidas como resultado del trabajo desarrollado, además de las recomendaciones pertinentes para proyectos futuros.

## INTRODUCCIÓN

El creciente y evolutivo mercado de las telecomunicaciones está marcado por una clara tendencia hacia la expansión de redes multiservicios y de banda ancha, que ofrecen un portafolio de servicios con una amplia gama de opciones y características para satisfacer las necesidades de los usuarios que cada día son más exigentes.

Bajo estos parámetros, es necesario que los operadores busquen alternativas para la renovación de su infraestructura que les permita ofrecer bajos costos, altas velocidades, movilidad y servicios de calidad, para mantener su competitividad dentro de este mercado. Entre las distintas posibilidades tecnológicas surge Carrier Ethernet, como una solución a estas necesidades.

El MEF (*Metro Ethernet Forum*: Foro Metro Ethernet), ha venido impulsando la implantación de esta tecnología a nivel mundial, y son muchos los casos de estudio realizados al respecto, sin embargo, en el entorno nacional es muy poco lo que se ha hecho a nivel investigativo en esta área.

Este proyecto se enfoca principalmente a proponer criterios de migración de una red tradicional hacia una Carrier Ethernet, que brinden pautas a los operadores de telecomunicaciones nacionales que lleven a cabo dicho proceso. Los criterios de migración se hacen teniendo muy en cuenta la gestión de servicios, uno de los atributos que definen a Carrier Ethernet.

### 1. ASPECTOS GENERALES

En el presente capítulo se describe brevemente los elementos teóricos que fueron utilizados en el desarrollo de proyecto. En primer lugar se mencionan las características de Ethernet y posteriormente se incluye información general a cerca de Carrier Ethernet y del Foro Metro Ethernet (Metro Ethernet Forum).

Otras tecnologías de red como ATM<sup>1</sup>, FRAME RELAY<sup>2</sup>, XDSL<sup>3</sup>, SDH<sup>4</sup>, WIMAX<sup>5</sup>, de gran aceptación en el entorno colombiano hacen parte también de los conceptos presentados en este capítulo.

La importancia de este capítulo en el desarrollo del proyecto radica en que la información aquí contenida, servirá como base para la comparación en cuanto a prestación de servicios, funcionalidades y características de estas tecnologías con Carrier Ethernet, una nueva propuesta que se está dando a conocer entre los operadores a nivel mundial.

#### 1.1. ETHERNET

A finales de 1972, Metcalfe y el Centro de investigaciones de la compañía Xerox en Palo Alto, California (Xerox PARC) desarrollaron el primer sistema Ethernet experimental denominado "Alto Aloha Network", que posteriormente Metcalfe llamaría Ethernet, para convertirse luego en uno de los esquemas de mayor aceptación dentro de las redes de área local. [1]

El sistema Ethernet consistía principalmente en un mecanismo que detectaría colisiones en la red, verificaría si un canal se encontraba en uso antes de hacer una transmisión, para retransmitirlo posteriormente y permitía además, acceso a un canal compartido por múltiples estaciones. Estas características fueron conocidas

---

<sup>1</sup> **ATM:** *Asynchronous Transfer Mode*: Modo de Transferencia Asíncrona.

<sup>2</sup> **Frame Relay:** Técnica de comunicación mediante transmisión de tramas.

<sup>3</sup> **XDSL:** *Digital Subscriber Line*: Línea de abonado digital.

<sup>4</sup> **SDH:** *Synchronous Digital Hierarchy*: Jerarquía Digital Síncrona

<sup>5</sup> **WIMAX:** *Worldwide Interoperability for Microwave Access*: Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas.

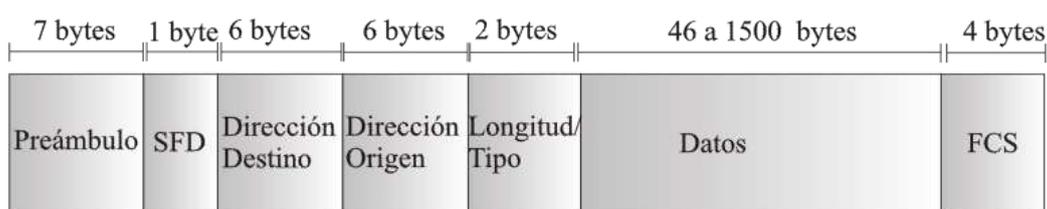
posteriormente como CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Colision Detect - Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Detección de Colisiones).[1]

En la actualidad Ethernet es la tecnología más utilizada en las redes de área local en todo el mundo y supera por un muy amplio rango a otras tecnologías LAN<sup>6</sup> en las ventas de elementos de red.

Ethernet se ha reinventado constantemente, desarrollando nuevas capacidades y al mismo tiempo creciendo y convirtiéndose en la tecnología de red más popular en el mundo.

### 1.1.1. Estructura de la Trama Ethernet[2]

La Figura 1 presenta la estructura de la trama Ethernet:



**Figura 1** Trama Ethernet

**Preámbulo:** Es un campo de 7 bytes que es usado para sincronizar y estabilizar el medio físico antes de realizar la transmisión.

**SFD:** Start Frame Delimiter – este campo indica el inicio de la trama.

**Dirección Destino:** Especifica la dirección MAC hacia la cual será enviada la trama.

**Dirección Origen:** Identifica la dirección MAC desde la cual se envía la trama.

**Longitud/Tipo:** Este campo indica el protocolo de red asociado a la trama, o la longitud del campo de datos.

**Datos:** Contiene la secuencia de bytes con la información transmitida.

**FCS:** Frame Check Sequence – Contiene el valor de verificación de CRC (*Cyclic Redundancy Check* – Chequeo de Redundancia Cíclica).

---

<sup>6</sup> LAN : Local Area Network: Red de Área Local

### 1.1.2. Cableado para Ethernet [2]

**Cable par Trenzado sin Blindaje:** Conocido también como UTP (*Unshielded Twisted Pair*), es el cable de mayor uso en las redes Ethernet de 10 Mbits/s y 100 Mbit/s. En el caso de una red pequeña de solamente dos terminales es posible utilizar cable cruzado. El cable telefónico de par trenzado también se puede utilizar en la red Ethernet pero únicamente a 10 Mbit/s.

**Cable Twinax:** Utilizado para Ethernet de Gigabits, es un cable especial formado por dos alambres paralelos que tienen un blindaje aterrizado.

**Fibra Optica:** Este tipo de cable se puede utilizar para cualquiera de las versiones de Ethernet.

### 1.1.3. Proyectos Ethernet

Desde el estándar publicado a mediados de los años 80 por el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) y conocido con el nombre de IEEE 802.3 ETHERNET, el cual funcionaba a una velocidad de 10Mb/s sobre cable coaxial, las redes y sus progresivos requerimientos han ido realizando proyectos que modifican este estándar y que según sus características han tomado su nombre, algunos de estos se presentan en la Tabla 1. [3]

<b>Tecnología</b>	<b>Velocidad de Tx</b>	<b>Medio físico de TX</b>
10BASE2	10 Mb/s	RG 58 cable coaxial
10BASE-F	10 Mb/s	Fibra Optica (FO)
10BASE-T	10 Mb/s	Par trenzado de cobre
100BASE-BX10	100 Mb/s	FO mono modo
100BASE-FX	100 Mb/s	Dos FO multimodo
100BASE-TX	100 Mb/s	Par Trenzado UTP CAT-5
1000BASE-LX	1000 Mb/s	FO multimodo y monomodo
1000BASE-PX20	1000 Mb/s	Una FO mono modo
1000BASE-T	1000 Mb/s	Cuatro Pares Trenzados UTP CAT-5
10GBASE-CX4	10 Gb/s	Cuatro Pares cable de cobre blindado UTP CAT-6

10GBASE-E	10 Gb/s	Fibra Óptica
aún no estandarizados	40 Gb/s	Fibra Óptica
aún no estandarizados	100 Gb/s	Fibra Óptica

**Tabla 1** Proyectos Ethernet[2]

## 1.2. CARRIER ETHERNET

Para un Proveedor de Servicios, Carrier Ethernet se define como: [4][5]

- Un conjunto de elementos de red certificados que unen en el transporte los servicios ofrecidos al usuario.
- Una plataforma para servicios de valor agregado.
- Un servicio estandarizado para todos los usuarios.

### 1.2.1. Atributos y Servicios Carrier Ethernet

Para un usuario final Carrier Ethernet es un servicio clase portador ubicuo<sup>7</sup> y estandarizado<sup>8</sup>, definido por los siguientes cinco atributos que lo distinguen de la familia LAN basada en Ethernet: [4][5]

- Servicios Estandarizados
- Escalabilidad
- Confiabilidad
- Calidad de Servicio
- Gestión de Servicios

### Servicios Estandarizados [4]

- Provee servicios tipo LAN, E-Line<sup>9</sup>, E-LAN<sup>10</sup>, línea privada, línea privada virtual.
- Un servicio ubicuo local y global a través de equipos estandarizados.
- No requiere ningún cambio del equipo o las redes LAN del cliente y se adecua a la conectividad de red existente tal como señalización y tráfico TDM.

<sup>7</sup> **Servicio Ubicuo:** Puede prestarse de forma independiente desde cualquier parte y en cualquier momento

<sup>8</sup> **Servicio Estandarizado:** Servicio avalado y regulado por un ente de telecomunicaciones.

<sup>9</sup> **E-Line:** Conexión Virtual Ethernet punto a punto

<sup>10</sup> **E-LAN:** Conexión Virtual Ethernet Multipunto a Multipunto

- Apropiado para la convergencia de voz, vídeo y datos.
- Amplias opciones y granularidad del ancho de banda y calidad de servicio.

#### **Escalabilidad [4]**

- Capacidad para que millones de usuarios utilicen un servicio de red, que es ideal para una variedad más amplia de negocios, de información, de comunicaciones y aplicaciones de entretenimiento con voz, video y datos.
- Extiende el acceso de los servicios a nivel metropolitano, nacional y global sobre diferentes infraestructuras implementadas por un gran número de proveedores de servicios.
- Escalabilidad del ancho de banda de 1Mbps a 10Gbps y más allá, en incrementos granulares.

#### **Confiabilidad [4]**

- Capacidad para que la red detecte y se recupere de incidentes sin que los usuarios se vean afectados.
- Satisfacer los requisitos más exigentes de calidad y de disponibilidad.
- Tiempo rápido de recuperación cuando ocurren los problemas, tan bajo como 50mseg.

#### **Calidad del Servicio [4]**

- Amplias opciones y granularidad de ancho de banda y calidad servicio.
- SLAs (*Service Level Agreements* - Acuerdo de Nivel de Servicio) para desempeño end-to-end que unen los requerimientos de voz, vídeo y datos sobre las redes convergentes de negocios y residenciales
- SLAs que suministran desempeño punto a punto basado en CIR<sup>11</sup>, pérdidas de tramas, retardos y variaciones características.

---

<sup>11</sup> **CIR:** *Committed Information Rate*: Velocidad mínima comprometida en la transmisión de información a la red, es medida en bits por segundo.

## Gestión de Servicios [4]

- Capacidad de supervisar, diagnosticar y manejar centralmente la red, usando estándares de diferentes proveedores.
- Clase Carrier OAM<sup>12</sup>.
- Aprovisionamiento rápido del servicio.
  
- **Servicios Carrier Ethernet**

Los siguientes servicios se verán mas adelante en este documento con mayor profundidad [5]:

- **E-Line:** Conexiones punto a punto, usada para Dúplex Ethernet.
- **E-LAN:** Conexiones multipunto a multipunto, utilizado por las VLAN's<sup>13</sup>.
- **E-Tree:** Conexiones punto a multipunto, generalmente aplicada a EPON Ethernet.

### 1.2.2. Aplicaciones de Carrier Ethernet

Dentro de las aplicaciones o servicios para los usuarios finales de Carrier Ethernet se incluyen las siguientes:

- **Punto a Punto**

Ethernet es la plataforma ideal para servicios punto a punto y comercio electrónico entre empresas ya que es fácilmente escalable, permite el mismo nivel de SLA y control QoS como ATM y Frame Relay, además, conserva conceptos como CIR pero a bajos costos. [6] [7]

En aplicaciones punto a punto, Ethernet puede suministrar servicio DSL<sup>14</sup> [7] para pequeñas oficinas y clientes residenciales con el potencial para convergencia de voz, datos y video sobre una sola línea. Las empresas también pueden utilizar E-LAN

---

<sup>12</sup> **OAM:** *Operations, Administration and Maintenance:* Operaciones, Administración y Mantenimiento.

<sup>13</sup> **VLAN:** *Virtual LAN:* Red de área local virtual.

<sup>14</sup> **DSL:** *Digital Subscriber Line:* Línea de abonado digital - Término utilizado para referirse de forma global a todas las tecnologías que proveen una conexión digital sobre línea de abonado de la red telefónica local

privadas, manteniendo calidad de servicio entre enlaces de larga distancia, permitiendo a todos los sitios ser parte de la red de la empresa. [6]

- **Redes Privadas Virtuales - VPN**

Una gran ventaja de Carrier Ethernet es que puede suministrar servicios VPN a empresas que soporten tráfico de aplicaciones IP. Con este servicio, las medianas y grandes empresas gozan de todas las ventajas del ancho de banda garantizado para funcionamiento y seguridad, cifrado y SLAs, que anteriormente estaban disponibles solamente mediante servicios de líneas privadas. [6]

- **Servicios Multimedia con Gran Ancho de Banda**

La verdadera capacidad de la solución Carrier Ethernet de suministrar SLAs punto a punto y calidad de servicio, permite a los proveedores crear redes multimedia de gran ancho de banda para empresas y usuarios residenciales. [6]

A través de una conexión de banda ancha, los clientes gozan de una recepción más eficiente y más rentable de servicios Triple Play (voz, video y datos). Los operadores pueden aumentar la calidad de servicio y los parámetros de SLAs para sus clientes en tiempo real. Además los consumidores pueden cambiar sus valores de calidad de servicio a través de una aplicación web reduciendo incluso los costos del proveedor. [6]

- **Telefonía IP y video por demanda.**

Para empresas con PBXs<sup>15</sup> IP o centros de servicios IP, y para suscriptores de nuevos servicios de telefonía IP, Carrier Ethernet proporciona una plataforma de servicios ideal a bajos costos. [6]

Para los nuevos servicios multimedia, video por demanda y videoconferencia, la calidad de servicio y SLAs punto a punto requeridas por los consumidores pueden ser suministrados por Carrier Ethernet, alcanzando el nivel de redes como Frame Relay, ATM y SONET<sup>16</sup>/SDH, pero a menor costo. [7]

---

<sup>15</sup> **PBX:** *Private Branch eXchange* o *Private Business eXchange*: Servicio ofrecido por una empresa de telecomunicaciones, por el cual una cantidad  $n$  de líneas o números son agrupadas en un único número que se publica o muestra al público y al cual pueden llamar.

<sup>16</sup> **SONET:** *Synchronous Optical Network*: estándar para el transporte de telecomunicaciones en redes de fibra óptica.

- **Videoconferencia [6]**

Las empresas están utilizando las ventajas de la videoconferencia para mejorar las comunicaciones con los consumidores, proveedores y oficinas que se benefician de un nuevo software de colaboración que presenta un escritorio en tiempo real. Sin embargo, están ceñidos a los altos costos de las líneas privadas dedicadas para videoconferencia.

Teniendo en cuenta las características de las redes de Carrier Ethernet, se espera que den solución a estos problemas; la empresa y los trabajadores residenciales podrían participar en las videoconferencias de alta calidad económicamente.

- **Soporte para servicios TDM**

Carrier Ethernet soportará los servicios de líneas privadas, Frame Relay y ATM de las centrales tradicionales de circuitos conmutados. Sus SLAs y QoS características pueden ser duplicadas para asegurar la migración a redes de nueva generación. La ventaja de esta migración es que los nuevos portadores pueden suministrar servicios menos costosos y los operadores históricos pueden continuar dando soporte a sus antiguos clientes con un nuevo y amplio portafolio de servicios [6] [7].

- **Servicio Residencial de Datos**

Con las soluciones de Carrier Ethernet, los clientes pueden aumentar su SLAs y ancho de banda en incrementos de 1 Mbps en tiempo real. Cuando necesitan más ancho de banda, los proveedores pueden proporcionarlo en segundos sin interrupciones en la red. [6]

- **Servicio de Voz**

Carrier Ethernet está diseñada para soportar aplicaciones de Nueva Generación, en particular para telefonía IP ofreciendo confiabilidad, seguridad y calidad de servicio, alcanzando las cualidades de las redes de circuitos conmutados, recibiendo su respectiva prioridad y apropiado manejo en caso de falla de algún nodo o enlace. [7]

- **Servicio de Video**

Las aplicaciones de video de tiempo real son sensibles al retardo y a la inestabilidad y tienen un alto requerimiento de ancho de banda cuando son entregadas como una alternativa de Televisión terrestre o por cable, y en particular para Televisión de Alta Definición (HDTV-*High Definition Television*), haciendo que la planeación del ancho de banda y la infraestructura sean un punto crítico. [6]

### **1.3. METRO ETHERNET FORUM – MEF [8]**

El MEF<sup>17</sup> es una alianza global que abarca más de 120 organizaciones alrededor del mundo, entre las que se encuentran proveedores de servicios de telecomunicaciones, operadores de cable, MSOs<sup>18</sup>, equipos de red, laboratorios y fabricantes de software. La misión del MEF es “Acelerar la adopción a nivel mundial de redes y servicios Carrier Ethernet”. Para esto se encarga de elaborar las especificaciones técnicas e implementar acuerdos para la interoperabilidad y desarrollo de Carrier Ethernet.

El comité técnico y el comité de mercadeo del MEF conducen y organizan la participación voluntaria de los miembros representantes de las compañías. El trabajo de los miembros es complementado por una pequeña cantidad de contratistas. La mayoría de los miembros envían representantes a las reuniones trimestrales celebradas en Norteamérica y Europa.

#### **1.3.1. Historia del MEF [4]**

En el 2001 se establece el MEF para desarrollar servicios ubicuos para negocios principalmente para empresas con acceso sobre redes ópticas metropolitanas para conectar sus LANs.

Fue fundada por Nan Chen y Ron Young, con 16 compañías como miembros iniciales. Bob Klessig y Paul Bottorf dirigían el comité técnico y Mark Whalley era el vicepresidente de mercadeo.

---

<sup>17</sup> **MEF:** *Metro Ethernet Forum:* Foro Metro Ethernet.

<sup>18</sup> **MSO:** *Multiple System Operator:* Operador de Sistemas Múltiples

La primera demostración tecnológica de Servicios Ethernet fue presentada en el 2002, durante “Supercomm 2003”, conferencia líder en tecnologías de la información y de telecomunicaciones.

En el 2003 se publica la primera especificación MEF. Las siguientes ocho especificaciones son publicadas en 2004 y Bob Metcalfe, creador de Ethernet, se une al trabajo del MEF como director asesor. Se realiza también en este año, la primera gran demostración Multi-proveedor de Servicios Ethernet en SuperComm Chicago.

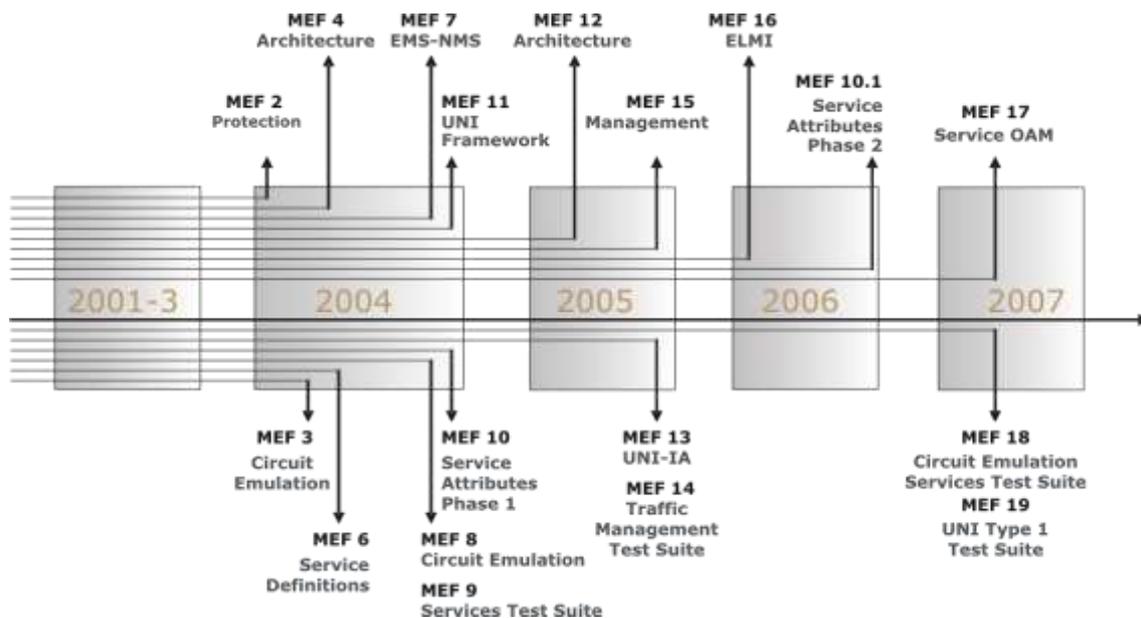
En 2005 aparece el concepto de Carrier Ethernet y se define y adopta el programa de certificación del MEF. Se publican las siguientes tres especificaciones MEF. El MEF presenta el premio “Proveedor de Servicios Carrier Ethernet del Año”, para Norte América; posteriormente se expande a Europa y Asia. En este mismo año se hace la demostración Multi - proveedor de Carrier Ethernet en GlobalComm.

Para el 2006 los miembros del MEF sobrepasan los 100. Se definen los atributos de Carrier Ethernet y se publican dos nuevas especificaciones. Metro se expande a redes de acceso e inalámbricas.

Se lanza Carrier Ethernet en la India en 2007, las certificaciones llegan a 17 proveedores de servicios, 45 fabricantes de equipos y 320 sistemas. Se publican tres especificaciones más. Tres nuevas especificaciones MEF son publicadas.

Para 2008 los miembros del MEF exceden los 150 y se expande Carrier Ethernet hacia las redes móviles.

A continuación, en la Figura 2 se muestra una línea de tiempo donde se destaca los principales acontecimientos respecto a las especificaciones emanadas del MEF desde su creación en el año 2001.



**Figura 2** Línea de Tiempo de Especificaciones

Fuente: Metro Ethernet Forum. <http://www.metroethernetforum.org>

#### 1.4. ATM

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*, Modo de Transferencia Asíncrono), es una tecnología que se ha desarrollado y definido como parte del trabajo hecho en el sector de las telecomunicaciones por la Unión internacional de Telecomunicaciones (ITU-T) en la creación de estándares para RDSI<sup>19</sup> y para brindar apoyo a todos los servicios que la Red Digital de Servicios Integrados brinda a sus usuarios. Con este fin, ATM plantea tipos de servicios de transmisión de datos tanto orientados como no orientados a la conexión. [9]

Las redes ATM también puede suministrar servicios de datos de entrega síncrona o sea aquellos que son uniformes respecto al tiempo y en los que la información transmitida llega en intervalos regulares, como un ejemplo de ello son los servicios de voz y video que requieren una forma síncrona de transmisión cuando los retardos o interrupciones se hacen notables en recepción. [9]

Para su transmisión de datos utiliza unidades de tamaño fijo (53 bytes) llamado celdas y al igual que las redes Frame Relay no utiliza el procedimiento de chequeo de errores o envía mensajes de acuse de recibo en la transmisión de celdas a través de la red. [9]

<sup>19</sup> **RDSI**: Red Digital de Servicios Integrados.

ATM ha sido una de las tecnologías acogida por muchos de los operadores de telecomunicaciones a nivel mundial, por estar basada en estándares internacionales, soportar diferentes tipos de tráfico y por ser escalable en cuanto a distancia y velocidad. Está presente en todos los segmentos de red (MAN<sup>20</sup>, WAN<sup>21</sup>, LAN<sup>22</sup>), permitiendo la prestación de servicios que requieren gran ancho de banda, calidad de servicio y proporciona beneficios en la parte de Gestión. [9]

Los servicios suministrados por la red ATM se definen en 4 clases [10]:

**Clase A:** Esta clase de servicios son aquellos que son orientados a la conexión y además son síncronos, donde la velocidad de bits o bit rate es constante y se mantiene una relación de tiempos entre la fuente y el destino, estos servicios pueden ser utilizados para reemplazar la convencional transmisión de voz o video por un enlace de comunicación por conmutación de circuitos.

**Clase B:** Estos servicios son orientados a la conexión y además son síncronos, donde la velocidad de bits o bit rate es constante y se mantiene una relación de tiempos entre la fuente y el destino. Estos servicios son propuestos para la compresión de audio y video que es utilizados por ejemplo en las videoconferencias donde la velocidad de bits puede ser variable y aun así tolerable dentro de los límites garantizados.

**Clase C:** Los servicios clase C, son orientados a la conexión pero con una velocidad de bits variable y a diferencia de los servicios clase A y B no mantienen una relación de tiempos entre el emisor y el receptor, esta clase de servicio es sugerido para prestar transferencia de datos similar la de un circuito virtual en una tradicional red de computadores.

**Clase D:** Son servicios no orientados a la conexión con velocidad de bits variable y sin relación de tiempos entre la fuente y el destino, son propuestos para proporcionar transferencia de datos no orientados a la conexión comúnmente como los usados en las redes de área local LAN.

---

<sup>20</sup> **MAN:** *Metropolitan Area Network:* Red de Área Metropolitana.

<sup>21</sup> **WAN:** *Wide Area Network:* Red de Amplia Cobertura

<sup>22</sup> **LAN:** *Local Area Network:* Red de Área Local.

## 1.5. SDH

La ITU-T en su recomendación G.780/Y.1351 define la Jerarquía Digital Síncrona (SDH, *Synchronous Digital Hierarchy*) como el “Conjunto jerárquico de estructuras de transporte normalizadas para el transporte por redes de transmisión físicas de cabidas útiles correctamente adaptadas.” [11]

La Jerarquía Digital Síncrona surge en los años 80 como un estándar para las comunicaciones de voz y la transmisión de señales de banda ancha basadas en multiplexación por división de tiempo (TMD). Este estándar de las redes ópticas de alta capacidad, proporciona sistemas con infraestructura de red sencilla, económica y flexible, características con las que no contaban los sistemas tanto en Estados Unidos como en Europa que limitaban su capacidad a los 64 Kbps del canal telefónico digital. [12]

SDH tiene dos ventajas importantes sobre PDH<sup>23</sup>, es su acceso a todos los tributarios de baja velocidad y la multiplexación directa. Estas propiedades son posibles gracias a la posibilidad de la sincronización entre nodos de una red relativamente extensa. Además las estructuras de multiplexación son altamente recurrentes, es decir, las señales de tamaños diferentes tienen las mismas partes, lo que permite la transmisión de datos además de la voz. [13]

SDH transporta información extra que viaja con los tributarios para efectos de operación, gestión y administración, OAM. [12]

Para comenzar a determinar los niveles de las velocidades binarias jerárquicas SDH hay que tener en cuenta el primer nivel que será 155 520 kbit/s o mejor denominado STM<sup>24</sup>-1 ya nombrado en el anterior numeral [12] [13].

Los STM-N se obtienen multiplicando el primer nivel STM-1 por números enteros y su correspondiente nombre se indicará mediante el correspondiente factor de multiplicación [11] [12].

---

<sup>23</sup> **PDH:** *Plesiochronous Digital Hierarchy*: Jerarquía Digital Plesiócrona.

<sup>24</sup> **STM:** *Synchronous Transport Module*: Modulo de transporte síncrono.

Las velocidades SDH son indicadas a continuación:

STM - 1	=	8000 x (270 octetos x 9 filas x 8 bits) = 155520 Kbps.
STM - 4	=	4 x STM-1 = 622080 Kbps.
STM - 16	=	16 x STM-1 = 2488320 Kbps.
STM - 64	=	64 x STM-1 = 9953280 Kbps
STM - 256	=	256 x STM-1 = 39813120 Kbps
STM-N	=	N x STM-1

## 1.6. FRAME RELAY

Frame Relay era inicialmente el componente de conmutación de paquetes de RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), diseñado para proporcionar conectividad entre los dispositivos a altas velocidades. Sin embargo los diseñadores de Frame Relay notaron que sus principios básicos podían aplicarse fuera de los dominios de RDSI, de esta manera surge como protocolo en 1989. [14]

Frame Relay ha sido utilizada por mucho tiempo en las WAN, sus modos de prestar los servicios la han conservado aun en el mercado de las telecomunicaciones, siendo utilizada generalmente en enlaces digitales para la interconexión de redes LAN y WAN. [14]

La forma de Frame relay prestar sus servicios es por medio de circuitos virtuales (CV) que son una conexión lógica creadas entre dos equipos terminales de datos estos CV se clasifican en:

- **Circuitos Virtuales Permanentes (PVC's):** Este tipo de conexiones son circuitos que se establecen permanentemente, brindándole al usuario los beneficios de poseer un ancho de banda dedicado. los PVC's permanecen activos y disponibles para en todo momento [14] [15].
- **Circuitos Virtuales Conmutados (SVC's):** son conexiones constituidas dinámicamente a petición del usuario de la red, esta clase de circuitos se utilizan para transmisiones de datos ocasionales y se interrumpen cuando la transmisión es completada [14] [15].

Con este tipo de conexiones Frame Relay brinda a todos sus subscriptores servicios [14] [15] como:

- Intercambio de información en tiempo real, dentro del ámbito empresarial.
- Correo electrónico
- Transferencia de archivos e imágenes
- Impresión remota
- Aplicaciones host-Terminal
- Construcción de bases de datos distribuidas.
- Aplicaciones cliente-servidor
- Acceso remoto a bases de datos

### 1.7. XDSL

Las tecnologías xDSL (x - Digital Subscriber Line) utilizan medios de transmisión existentes, como el bucle de cobre, para prestar servicios banda ancha a grandes velocidades, valiéndose de diferentes métodos de codificación de la señal. Es necesario que se instale un módem a cada extremo de la línea, este módem depende de la clase de servicio DSL utilizado: ADSL, SHDSL, VDSL, RADS, etc. [16]

Estas tecnologías tienen dos características en común:

- Son técnicas de transmisión en la red de acceso, no extremo a extremo.
- Poseen una limitación en la longitud del cable, dependiente del grosor y tipo del mismo.

El sistema DSL constituye el nivel físico del acceso básico RDSL. La tasa de transmisión que alcanza sobre un único par de abonado es de 160 Kbits/s y utiliza el como código de línea el denominado 2B1Q<sup>25</sup> con el que se consigue una eficiencia espectral de 2 bits/s/Hz, por lo que se requiere un ancho de banda de 80Khz en el par. El alcance de esta tecnología se limita a una distancia aproximada de 5 Kilómetros. [18]

Existen variaciones en los servicios prestados por XDSL que se presentarán en seguida:

---

<sup>25</sup> **2B1Q**: Tipo de codificación de línea.

- **Línea de Abonado Digital Asimétrica - ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)**

ADSL utiliza un único par de cobre, sobre el que proporciona capacidad de transmisión asimétrica y es empleada principalmente en la transmisión de video digital.

El nombre de Asimétrico se debe a que ADSL no suministra el mismo ancho de banda para los canales de transmisión y recepción. Las velocidades más altas anunciadas hoy son 12 Mbit/s y 2 Mbit/s en los sentidos descendente y ascendente, respectivamente. [16] [17]

Mediante la técnica de multiplexación, en una línea ADSL se establecen tres canales de comunicación haciendo posible realizar simultáneamente una llamada telefónica y la transmisión y recepción de datos, utilizando un mismo par telefónico. [17]

- **Línea de Abonado Digital de Alta Velocidad – HDSL (High bit-rate Digital Subscriber Line, HDSL).**

HDSL se destaca sobre las tecnologías xDSL por ser la más implementada alrededor del mundo. HDSL soporta servicios T1<sup>26</sup> y E1<sup>27</sup> con velocidades de 1.5 Mbps y 2 Mbps respectivamente, alcanzando distancias hasta de 3 Kilómetros. [16] [17]

La gran acogida de esta técnica, se debe también a que se instala sobre las líneas de cobre existentes, además no requiere repetidores, acondicionamiento del bucle ni selección del par, lo que reduce significativamente los costos de su implantación. [16] [17]

- **Línea de Abonado Digital Simétrica - SDSL (Symmetrical Digital Subscriber Line)**

Esta técnica de transmisión digital es una variante de la tecnología DSL sobre un único par de cobre simétrico que proporciona igual ancho de banda para transmisión y recepción de datos. Con SDSL se alcanzan velocidades desde 400 Kbps hasta 2.048 Kbps, la variación de estas velocidades depende de la longitud del enlace. [16] [17]

---

<sup>26</sup> **T1**: Formato de transmisión digital.

<sup>27</sup> **E1**: Formato de transmisión digital.

- **Línea de Abonado Digital de un solo par de alta velocidad - SHDSL (Single-Pair HDSL)**

SHDSL está diseñada para transportar datos a alta velocidad simétricamente y soportar servicios punto a punto E1 y T1, mediante uno o dos pares de cobre. Soporta velocidades en un rango de 192 Kbps a 2.304 Kbps, en distancias desde 1.8 hasta 6.5 Kilómetros. Esta técnica proporciona el mismo ancho de banda para transmisión y para recepción. [16] [17]

- **Línea de Abonado Digital de Muy Alta Velocidad - VDSL (Very-high-speed Digital Subscriber Line)**

VDSL es muy similar a ADSL, por ser una tecnología de transmisión asimétrica, pero se diferencia esta, porque está diseñada para velocidades de transmisión muy superiores que oscilan entre 30 a 51 Mbits/s con distancias reducidas, entre 1500 y 300 metros. VDSL transporta señales de gran ancho de banda a cortas distancias, lo que hace que su aplicación se vea limitada en algunos casos. [16] [17]

## **1.8. MPLS**

MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) es un protocolo de red que utiliza etiquetas de longitud fija en vez de direcciones, lo que permite una rápida conmutación de paquetes. [19] [20] [21]

Esta tecnología se utiliza principalmente en Internet, sin embargo se puede utilizar en cualquier tipo de red y con casi cualquier protocolo. El formato de la etiqueta depende del protocolo que se utilice para encapsular los paquetes IP. [21]

Las principales aplicaciones de MPLS son [21]:

- Ingeniería de tráfico.
- Diferenciación de niveles de servicio mediante clases (CoS).
- Servicio de redes privadas virtuales (VPN).

La información anteriormente recopilada en este capítulo, muestra de manera general algunas de las tecnologías de red usadas en la actualidad y que se mencionan a lo largo del documento.

### 2. CARRIER ETHERNET Y LAS REDES ACTUALES EN COLOMBIA

El presente capítulo tiene como objetivo mostrar los resultados de la comparación entre las actuales redes de telecomunicaciones en Colombia y la red Carrier Ethernet, considerando para ello, tecnologías de red, topologías, servicios y usuarios.

La primera parte se enfoca en elaborar una caracterización, un modelo aproximado y unas tendencias, de las redes tradicionales de Colombia, teniendo en cuenta la información obtenida de las principales empresas de telecomunicaciones a nivel nacional como son ETB, UNE EPM y Telefónica, y de la empresa local EMTEL S.A.

La segunda parte de este capítulo describe de manera detallada la red Carrier Ethernet, donde se incluyen aspectos como tecnologías de red usadas, servicios que ofrece y tipos de clientes, para luego realizar la comparación de las redes con la información recopilada en esta sección y la anterior.

El capítulo finaliza con una aproximación económica, basada en las soluciones Carrier Ethernet de algunas empresas de telecomunicaciones de reconocimiento internacional y que cuentan además con la certificación del MEF.

#### 2.1. EMPRESAS DE TELECOMUNICACIONES EN COLOMBIA

Para obtener un modelo de red aproximado a la situación de los operadores de telecomunicaciones en Colombia se recopiló y analizó la información de algunas de las empresas más representativas de este sector, tales como la Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá – ETB, UNE EPM Telecomunicaciones y Telefónica Colombia [22], descritas en el siguiente apartado.

Se incluye además información de la Empresa de Telecomunicaciones de Popayán EMTEL S.A E.S.P., por ser una compañía local y sobre la que se realizará un caso de estudio en este mismo proyecto.

### 2.1.1. Caracterización Inicial de las Empresas Seleccionadas

En primer lugar se recopila información general de las empresas, para dar lugar a una visión de las tecnologías y servicios que ellos utilizan, con esta información se puede elaborar el modelo de red mostrado en el próximo apartado.

#### **Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá - ETB<sup>28</sup>**

ETB que desde principios de los años 90 ha venido prestando diversos servicios de telecomunicaciones, estableciéndose en este sector como una de las más importantes empresas de telecomunicaciones a nivel nacional; su propósito general es *“anticiparse y superar las necesidades de sus clientes”*, contando para este objetivo con la tecnología apropiada para dar cobertura a las principales ciudades del país y prestando los servicios a sus tres tipos de usuarios: Hogares, Pymes (Pequeñas y Medianas Empresas) y Grandes Empresas [23].

#### **UNE EPM Telecomunicaciones<sup>29</sup>**

Empresa pública que proporciona servicios de telecomunicaciones con una amplia gama de productos prestados gracias a una sólida infraestructura que esta desplegada en gran parte del territorio colombiano, estos servicios van dirigidos a hogares, personas y empresas [24].

#### **Telefónica Colombia<sup>30</sup>**

Desde el mes de Abril de 2006 Telefónica se ha posicionado como una de las empresas telecomunicaciones líderes en Colombia, a través de sus redes brinda una amplia gama de servicios que incluyen telefonía fija, telefonía móvil e Internet entre otros. Telefónica ha sectorizado a sus usuarios en Hogares, Negocios y Empresas, brindando sus servicios que se adecuen a las necesidades de cada uno de ellos [25].

Telefónica Colombia tiene presencia en 998 municipios con 2,6 millones de clientes mediante su operación fija con Telefónica Telecom, y una cobertura móvil del 87% de la población colombiana a través de su compañía Movistar.

---

<sup>28</sup> <http://www.etb.com.co/>

<sup>29</sup> <http://www.une.com.co>

<sup>30</sup> <http://www.telefonica.com.co/>

## Empresa de Telecomunicaciones de Popayán - EMTEL<sup>31</sup>

La Empresa de Telecomunicaciones de Popayán, EMTEL S.A E.S.P. cuenta con una cobertura del 75.82% del municipio y cuenta con una infraestructura capaz de prestar servicios de telecomunicaciones de voz, datos y video a sus clientes de una manera integrada a través de diferentes tecnologías convergentes de banda ancha y de nueva generación [26].

### Tecnologías y Servicios de las Empresas Seleccionadas

En la tabla 2 se presentan las principales tecnologías de red y servicios prestados por las empresas anteriormente descritas, la información aquí descrita servirá posteriormente como base para la elaboración de un modelo de red aproximado a la situación de estos operadores.

Empresa	Tecnologías de Red	Servicios
ETB	<ul style="list-style-type: none"><li>• PSTN<sup>32</sup></li><li>• IP/MPLS<sup>33</sup></li><li>• Metro Ethernet</li><li>• SDH</li><li>• ATM</li><li>• Frame Relay</li><li>• RDSI básico y primario</li><li>• Enlaces E1</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Telefonía Fija Local y Larga Distancia</li><li>• Telefonía Móvil</li><li>• Telefonía Pública</li><li>• Internet Banda Ancha</li><li>• Telefonía IP</li><li>• Supercombos<sup>34</sup></li><li>• Datacenter</li><li>• Conectividad Pymes y Grandes Empresas</li></ul>
UNE	<ul style="list-style-type: none"><li>• PSTN</li><li>• Frame Relay</li><li>• ATM</li><li>• SDH</li><li>• XDSL</li><li>• RDSI PRI</li><li>• WiMAX</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Telefonía Fija, Local y Larga Distancia</li><li>• Televisión por Suscripción</li><li>• PPV<sup>35</sup></li><li>• Internet Banda Ancha</li><li>• Internet Conmutado</li><li>• Triple Play<sup>36</sup></li><li>• Hogar Seguro</li></ul>

<sup>31</sup> <http://www.emtel.net.co/>

<sup>32</sup> **PSTN:** *Public Switched Telephone Network*, Red Telefónica Pública Conmutada.

<sup>33</sup> **IP/MPLS:** *Internet Protocol/Multiprotocol Label Switching*

<sup>34</sup> **Supercombos:** Paquetes de servicios que incluyen telefonía fija, televisión, Internet banda ancha de acuerdo a las necesidades del usuario.

<sup>35</sup> **PPV:** *Pay Per View*: Pague Por Ver: El usuario paga por los eventos individuales que desea ver.

<sup>36</sup> **Triple Play:** Empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales (voz, banda ancha y televisión).

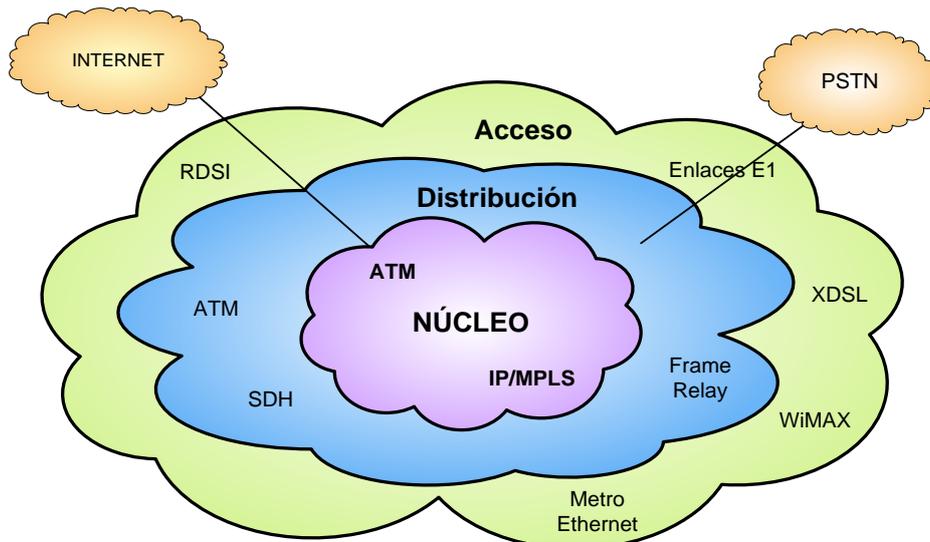
Telefónica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PSTN</li> <li>• PDH</li> <li>• SDH</li> <li>• Frame Relay</li> <li>• ATM</li> <li>• MPLS</li> <li>• IP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Televisión Digital</li> <li>• Telefonía Fija, Local y Larga Distancia</li> <li>• Internet Banda Ancha</li> <li>• Internet Conmutado</li> <li>• Internet Dedicado</li> <li>• Dúos y Tríos<sup>37</sup></li> <li>• Telefonía Móvil</li> <li>• Telefonía Pública</li> <li>• Transmisión de Datos</li> </ul>
EMTEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PSTN</li> <li>• RDSI</li> <li>• ADSL</li> <li>• HDSL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Telefonía local</li> <li>• Transmisión de datos</li> <li>• Internet conmutado</li> <li>• Internet banda ancha</li> <li>• Internet dedicado</li> </ul>

**Tabla 2** Tecnologías y Servicios de los Operadores de Colombia.

### 2.1.2. Modelo de Red Tradicional en Colombia

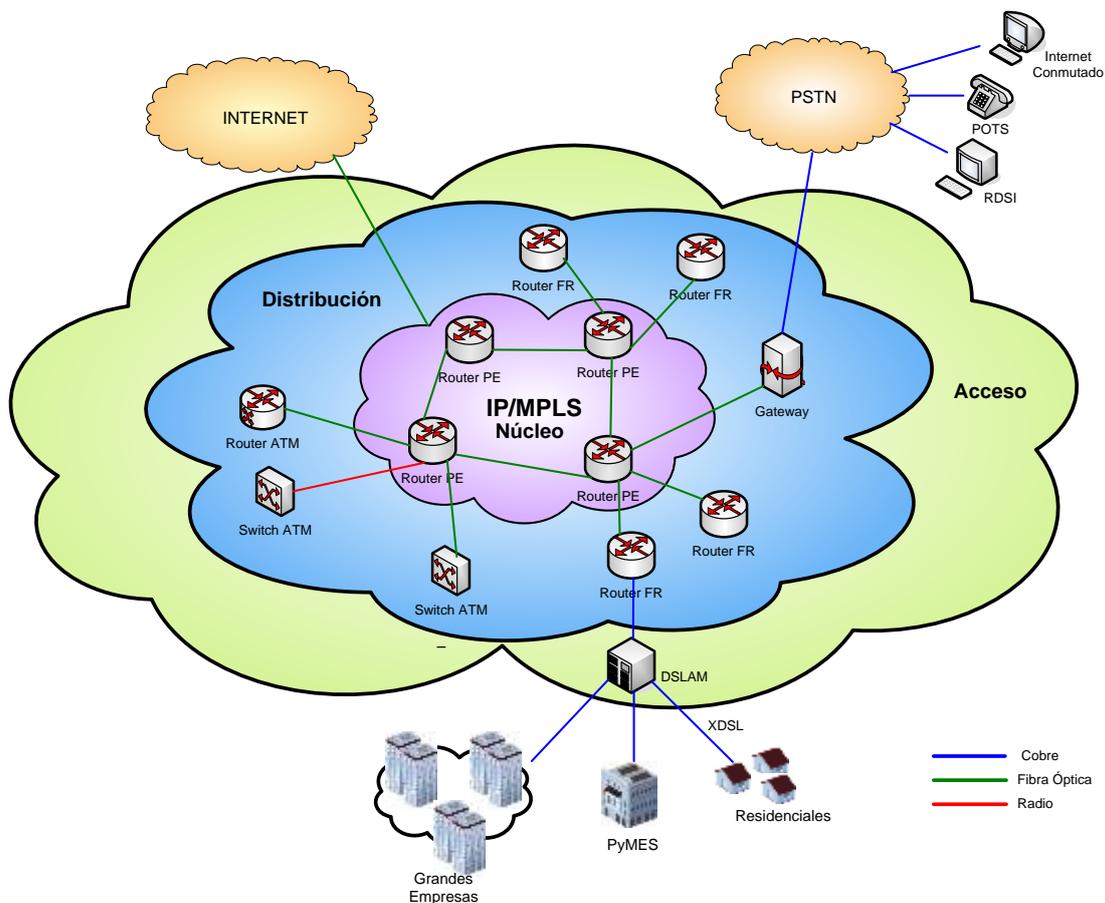
Después de haber recopilado y analizado información sobre las tecnologías y servicios prestados sobre algunas de las más representativas empresas de telecomunicaciones más representativas de Colombia, se han seleccionado algunas de estas para realizar un modelo aproximado de red, el cual servirá de base para la propuesta de migración hacia una red Carrier Ethernet. En la Figura 3 se presentan las tecnologías más utilizadas en los diferentes sectores en los que se estructura o divide una red.

<sup>37</sup> **Dúos y Tríos:** Paquetes de servicios que incluyen telefonía fija, televisión, Internet banda ancha de acuerdo a las necesidades del usuario.



**Figura 3** Modelo Lógico de las Tecnologías de Red de los Operadores Nacionales

Una vez analizadas las características en cuanto a tecnología, cobertura y servicios de las redes los operadores considerados en este estudio, se genera un modelo físico aproximado de red a partir de la selección de las tecnologías más representativas en cada empresa, el cual se muestra en la figura 4.



**Figura 4** Modelo Físico de Red Tradicional en Colombia

Este modelo de red consta de un núcleo basado en IP/MPLS. De acuerdo a la información suministrada por los operadores en sus OBI's (Oferta Básica de Interconexión), se consideran suficientes cuatro nodos principales para brindar cobertura a nivel nacional.

La distribución de la red esta conformada por siete nodos secundarios donde se utilizan las tecnologías Frame Relay y ATM, con conexiones basadas en fibra óptica y enlaces de radio.

En el área de acceso se incluye xDSL como la principal tecnología, y RDSI en una menor proporción, para brindar los diferentes servicios a los usuarios.

La red cuenta además con una conexión a la red global de Internet y a la PSTN (Public Switched Telephone Network – Red Telefónica Pública Conmutada) nacional.

Los servicios que presta esta red se definieron de la misma manera que las tecnologías, es decir, seleccionando los que son comunes para los operadores mencionados al inicio del capítulo. Estos son:

- Telefonía fija local y larga distancia
- Internet Banda Ancha
- Internet Conmutado
- Televisión por Cable
- Servicios Triple Play
- Servicios para Empresas

### **2.1.3. Tendencias de las Telecomunicaciones en Colombia**

Estudios realizados por entidades colombianas, como CINTEL (Centro de Investigación de las Telecomunicaciones) y la CRT (Comisión de Regulación de Telecomunicaciones) respecto a las tendencias de las telecomunicaciones en los últimos años en Colombia, describen que este sector se encuentra en un constante y acelerado crecimiento. [22] [27] [28]

Según los datos oficiales del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), para el cuarto trimestre del 2007 el sector de Transporte,

Almacenamiento y Comunicación alcanzó un crecimiento del 14,44%, en particular, el sector telecomunicaciones creció el 22,82% durante este mismo periodo y alrededor de 19,53% en todo el año. [28] [29]

La telefonía móvil alcanza el mayor número de usuarios y representa el mayor ingreso en el sector de las telecomunicaciones, por otra parte, el número de suscriptores a Internet dedicado o de Banda Ancha también se incremento considerablemente. A pesar de que en la telefonía fija no se presento este fenómeno, manteniéndose en un nivel estable, la telefonía local es la segunda fuente de ingresos del sector. Otro servicio que empieza a destacarse es la televisión por suscripción, que poco a poco va creciendo y se espera que siga en aumento. [27]

La gran acogida de Internet representada en los 1.569.126 usuarios alcanzados a Marzo de 2008, 13.6% por encima de la cantidad de usuarios registrados hasta Diciembre de 2007, ha llevado a que los operadores de telefonía fija saquen el mayor provecho de su infraestructura usando tecnologías como xDSL, HFC y WiMAX, para brindar un portafolio de productos y servicios más amplio para satisfacer las necesidades de los usuarios que cada vez adquieren velocidades de conexión más altas para la lograr un mejor desempeño de las nuevas aplicaciones. [29]

Según los resultados del estudio BIT (Business Technology Project) realizados por CINTEL, en el sector empresarial hay una alta conectividad a través del acceso a Internet, sin embargo no todas las empresas lo hacen a través de Banda Ancha. Además hay que tener en cuenta que las empresas colombianas mantienen las relaciones con sus clientes preferiblemente utilizando los medios convencionales. [27]

Los estudios de CINTEL también arrojaron resultados sobre las barreras que impiden a algunos colombianos ser usuarios activos de Internet, entre los que se destacan el no contar con computador y no tener acceso al servicio. La falta de conocimiento y los costos asociados, fueron otros factores mencionados. [27]

Según lo anterior se puede notar que a pesar de que el acceso a Internet es cada vez mayor en Colombia, todavía hace falta impulsar su adopción por algunos sectores. En esto juega un papel muy importante la migración de las redes tradicionales PSTN a redes de nueva generación – NGN, por facilitar el desarrollo de muchos servicios y aplicaciones ofrecidos a través de Banda Ancha. Migración que deberá realizarse

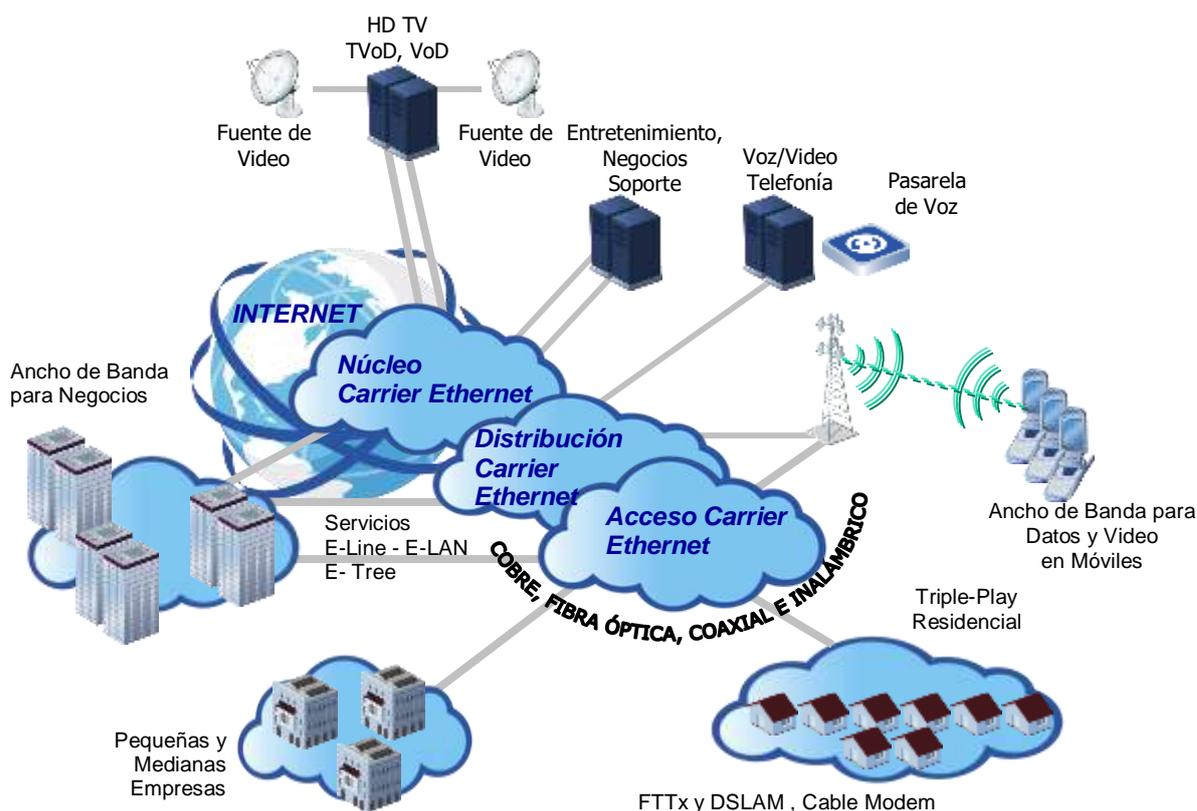
progresivamente, es decir adecuando en un principio la infraestructura existente para reemplazar luego elementos y áreas para lograr finalmente la convergencia de servicios y aplicaciones.

## 2.2. RED CARRIER ETHERNET PROYECTADA

Con la información obtenida del MEF, organismo encargado de definir las características de la red Carrier Ethernet, se presenta a continuación una descripción de esta propuesta, la cual será empleada posteriormente para la comparación con el modelo de red abstraído de la sección anterior.

### 2.2.1. Carrier Ethernet Extremo a Extremo

En la Figura 5, se presenta la propuesta de red Carrier Ethernet Extremo a Extremo del MEF, con los servicios que esta permite y los tipos de usuarios.



**Figura 5** Arquitectura Carrier Ethernet Extremo a Extremo <sup>38</sup>

Fuente: Metro Ethernet Forum. <http://www.metroethernetforum.org>

<sup>38</sup> **HD TV:** *High Definition Television*: Televisión de alta definición, **TVoD:** *Television on Demand*: Televisión bajo demanda, **VoD:** *Video on Demand*: Vídeo bajo demanda, **FTTx:** *Fiber to the x*: Arquitectura que usa fibra óptica para reemplazar parcial o totalmente el cobre, **DSLAM:** *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*: Multiplexor digital de acceso a la línea digital de abonado.

El acceso Carrier Ethernet crea servicios Ethernet extremo a extremo tanto para usuarios comerciales como residenciales, ofrece QoS para IPTV de nueva generación, VoIP y usuarios de datos residenciales e implanta oportunidades de servicios estandarizados para cualquier tipo de suscriptor. [30]

De acuerdo a las recomendaciones del MEF los servicios Ethernet para las redes de distribución serán entregados sobre redes Metro Ethernet nativas que se podrían apoyar en otras tecnologías de transporte. Teniendo siempre como objetivo proporcionar servicios que cumplan con las exigencias de ubicuidad, escalabilidad, calidad, gestión, disponibilidad, estandarización y granularidad. [30] [31]

A nivel de núcleo para la red Carrier Ethernet, el MEF se inclina por la simplicidad antes que por una tecnología o solución en particular; de igual manera que para el transporte global de datos. [30]

### **2.2.2. Tecnologías de Red**

El MEF por medio del comité técnico y en conjunto con algunos de los proveedores de equipos de Carrier Ethernet (CE), resaltan en muchas de sus presentaciones que la interoperabilidad es un factor determinante para la adopción de CE, para ello estas organizaciones se encargan de efectuar acuerdos que proporcionan a los proveedores de servicio adoptar la tecnología con mas facilidad, permitiéndoles conservar mucha de su infraestructura y tecnologías para garantizar el despliegue de los servicios, y así no incurrir en altos costos de implementación. [32]

En la Figura 6 se mencionan algunas de las tecnologías que se pueden utilizar para la prestación de servicios CE. Teniendo en cuenta que algunas de sus características y atributos pueden presentar restricciones dependiendo de la tecnología utilizada para el transporte de las tramas Ethernet, lo que no sucedería con una red de equipos y plataformas CE.



### 2.2.3. Servicios

Para presentar el tipo de servicios prestados por Carrier Ethernet es de importancia tener claro que estos son entregados a través de una Conexión Virtual Ethernet (EVC) que se define como una asociación entre dos o mas UNI's, así que dependiendo del tipo de EVC se establece el tipo de servicio, clasificándose en dos grupos, los punto a punto y multipunto, este último dividido en dos categorías que son multipunto-multipunto y punto-multipunto. [5] [33]

Los servicios que brinda una red Carrier Ethernet esta dirigido a tres tipos de clientes [5], de acuerdo a la propuesta del MEF:

- Residenciales
- Pequeñas y Medianas Empresas
- Grandes Empresas

El tipo de servicios generados según lo descrito son los utilizados para ofrecer una variedad de aplicaciones de nueva generación a los clientes finales. Tanto servicios como aplicaciones desplegados sobre una red Carrier Ethernet se describen a continuación:

- **E-Line**

El servicio E-line para el MEF está basado sobre un EVC que puede ser usado para crear un amplio rango de servicios punto a punto como se aprecia en la Figura 7, logrando suministrar por ejemplo ancho de banda simétrico para el envío de datos en cualquier dirección sin garantía de rendimiento (mejor esfuerzo). Aunque existen formas mas sofisticadas de desplegar este servicio garantizando una mayor QoS. [5] [33] [34]



**Figura 7** Servicios E-Line

Fuente: Metro Ethernet Forum. <http://www.metroethernetforum.org>

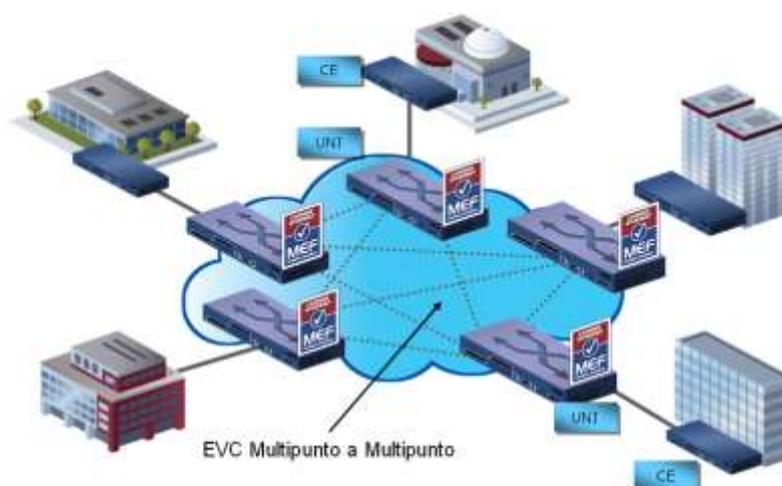
Al hablar de los beneficios obtenidos al ser desplegado un servicio E-Line se ven reflejados varios aspectos importantes, dentro de ellos cabe destacar que E-Line entraría a sustituir las líneas TDM (como E1 y T1) que para los proveedores de servicio resultan costosas, así como las conexiones Frame Relay punto a punto, agregando ancho de banda y reduciendo costos en la entrega de los servicios. [5]

- **E-LAN**

Para este tipo de EVC se define a E-LAN como aquel servicio que se apoya sobre una conexión Multipunto a multipunto; al igual que E-line, E-LAN en su estructura mas sencilla provee un servicio donde se no se garantiza un desempeño seguro catalogado como mejor esfuerzo, por otra parte E-LAN puede establecerse de una manera mas compleja dependiendo de las necesidades del cliente, brindando un mejor servicio que se ve reflejado en algunas características como retardos mas bajos y menor pérdida de paquetes. [5]

Para las redes tradicionales como ATM y Frame Relay la creación de VPN's o redes privadas virtuales multipunto a requerido de altos costos con anchos de banda limitados, por el contrario E-LAN proporciona esta clase de aplicaciones, servicios LAN transparentes para el usuario y acceso a internet con grandes anchos de banda y costos razonables. [5] [33] [34]

En la figura 8. se muestra un ejemplo de una EVC Multipunto Multipunto. [33]



**Figura 8 Servicios E-LAN**

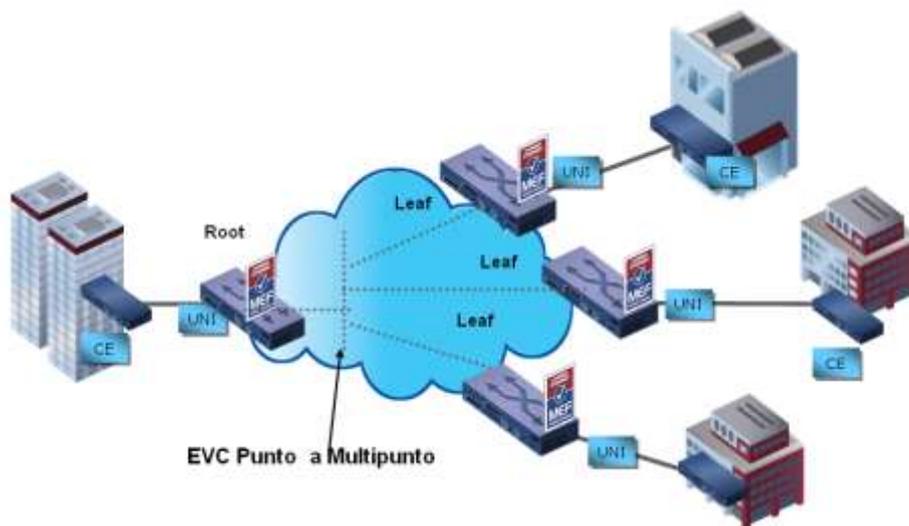
Fuente: Metro Ethernet Forum. <http://www.metroethernetforum.org>

- **E-Tree**

Es un nuevo concepto presentado por el MEF que proporciona servicios punto a multipunto, con menor configuración que la requerida por E-Line, como se presenta en la Figura 9.

Para el despliegue de E-Tree es necesario la creación de 2 S-VLAN's (VLAN de servicio) unidireccionales, garantizando la separación del tráfico de clientes dentro de la red, permitiendo la transmisión de raíz a rama y viceversa, pero nunca la transferencia entre ramas, haciéndolo diferente al Ethernet tradicional. [5] [33]

Este tipo de servicio podría ser útil para un proveedor de servicio de aplicaciones empleándolo en servicios donde el tráfico del cliente debe mantenerse transparente para otros usuarios. [5]



**Figura 9** Servicios E-Tree

Fuente: Metro Ethernet Forum. <http://www.metroethernetforum.org>

#### 2.2.4. Aplicaciones

Carrier Ethernet soporta gran número de servicios y aplicaciones de nueva generación. Estas aplicaciones se pueden clasificar en tres grupos principalmente [6]:

- Servicios para Negocios Usando Carrier Ethernet.

- Acceso Ethernet para Triple Play Residencial.
- Acceso Ethernet para Conexión Móvil. (Mobile Backhaul)

- **Servicios para Negocios Usando Carrier Ethernet**

La disponibilidad de gran ancho de banda es muy importante para los clientes empresariales, por permitirles brindar a los usuarios nuevos y mejores servicios a menores costos y recuperar la inversión inicial al recibir mayores ingresos, estos gracias al suministro fácil, rápido y flexible del ancho de banda y de SLAs. Además, la versatilidad de Ethernet hace posible la creación de E-LANs e E-Lines mientras se da soporte a las antiguas líneas privadas con una sola plataforma.

Dentro de las aplicaciones de servicios para negocios soportados por Carrier Ethernet se tienen:

- Punto a Punto
- Redes Privadas Virtuales - VPN
- Servicios Multimedia con Gran Ancho de Banda
- Telefonía IP y video por demanda.
- Videoconferencia
- Soporte para servicios TDM

- **Acceso Ethernet para Triple Play Residencial.**

La adopción de Carrier Ethernet para los servicios Triple Play (voz, video y datos) elimina la costosa construcción de redes multicapa para suministrar estos servicios al usuario final. Carrier Ethernet entregará a cada suscriptor servicios como televisión de alta definición, video sobre demanda, acceso a Internet de alta velocidad y además reduce los costos de operación [35].

Los servicios Triple Play entregados por Carrier Ethernet traen beneficios como el bajo costo en la habilitación de una alta densidad de consumidores a través de la suscripción controlada en la red, el despliegue de IPTV con alta calidad de servicio y soporte multidifusión

El concepto Triple Play combina los siguientes servicios:

- Servicio Residencial de datos : Internet de Alta velocidad
- Servicio de Voz : Incluye VoIP
- Servicio de Video: Televisión y Video sobre demanda

- **Acceso Ethernet para Conexiones Móviles**

Los operadores de redes móviles han invertido gran capital en sus redes de transporte TDM y ATM para brindar a sus clientes servicios de alta velocidad que requieren grandes anchos de banda. Por lo tanto que se hace necesario que esta red se mantenga al lado de la red Carrier Ethernet por algún tiempo, donde los servicios nuevos que consuman ancho de banda son asignados a Carrier Ethernet o utilicen mecanismos estandarizados para emular ATM y TDM sobre redes de paquetes.

La calidad de Servicio y disponibilidad son direccionadas por el uso de enrutamiento rápido o mediante mecanismos de protección en anillo Ethernet, ambas ofrecen nivel de protección de 50 milisegundos y garantizan QoS extremo a extremo.

### **2.2.5. Ethernet y otras Tecnologías**

La combinación de Ethernet con tecnologías como IP, MPLS, SONET/SDH y WDM permite a la entrega uniforme de servicios sobre una variedad de redes de acceso y topologías. Esto además, permite a los proveedores de servicios la escalabilidad y confiabilidad en la entrega de servicios multipunto, la flexibilidad en el acceso punto – multipunto – punto y el costo optimizado del transporte punto a punto. [35] [36]

El mecanismo de protección de una red Ethernet se basa en el protocolo STP<sup>39</sup>. Cuando ocurre una falla en la red, STP se encarga de establecer una nueva ruta entre los nodos, sin embargo, durante este proceso el servicio es interrumpido de uno a varios minutos, dependiendo del tamaño de la red; aunque este tiempo de recuperación puede admitirse en una LAN, no es apropiado para los requerimientos de protección para una MAN o una WAN. [38]

---

<sup>39</sup> **STP:** *Spanning Tree Protocol:* Árbol de Protocolos de Conmutación. Estándar utilizado en la administración de redes, basado en el algoritmo de Árbol Abarcador, para describir como los puentes y conmutadores pueden comunicarse para evitar bucles en la red.

MPLS se presenta como una solución para este problema, permitiendo a las redes Ethernet alcanzar niveles de protección de 50ms, gracias a la combinación de túneles de protección y caminos de protección punto a punto. Por otro lado, MPLS proporciona a los servicios Ethernet capacidades OAM, escalabilidad y adaptabilidad. [36] [39]

Debido a los costos y complejidad de los equipos que soportan MPLS, esta tecnología no ha sido implementada ampliamente a nivel del acceso y distribución de la red.

Otra de las tecnologías con la que se puede prestar los servicios Carrier Ethernet propuestos por el MEF, es la tradicional SONET/SDH, la que sería útil para aprovechar aquella infraestructura existente y funcionalidades en la red como fiabilidad, elasticidad y la disponibilidad que los proveedores exigen (cinco 9's). El transporte de Ethernet se realizaría encapsulando sus tramas en las cargas útiles de SONET/SDH. Gracias a interfaces adicionadas a los dispositivos ya existentes, esta solución es presentada con la ayuda de tres técnicas (VCAT<sup>40</sup>, GFP<sup>41</sup> y LCAS<sup>42</sup>) que permiten que SONET/SDH alcance algunas de las características requeridas por Carrier Ethernet, pero dichas tecnologías generan para el proveedor costos adicionales y mayor complejidad en todo el sistema de red, lo cual es una limitante para aprovechar todas las características. [40]

“Provider Ethernet” es un Nuevo término que define las tecnologías ethernet usadas en la red de distribución. Esto se refiere principalmente a redes ethernet conmutadas basadas en estándares IEEE, como IEEE 802.1Q (LANs Virtuales), IEEE 802.1ad (Provider Bridges o Q-in-Q), IEEE 802.1ah (Provider Backbone Bridges PBB, o MAC-in-MAC), IEEE 802.1Qay (Provider Backbone Bridge Traffic Engineering PBB-TE, PBT). Las ventajas sobre anteriores tecnologías incluyen flexibilidad en ancho de banda y suministro de servicios, y bajos costos. [40]

#### 2.2.6. Túneles de Transporte EETT

Para manejar el concepto de Ethernet orientado a la conexión se utilizan los EETT (Engineered Ethernet Transport Tunnels – Túneles de Transporte Ethernet). Estas rutas virtuales haciendo uso de protocolos de túnel, proporcionan transporte ethernet entre dispositivos de frontera y los elementos de provisión de servicios, y facilitan

---

<sup>40</sup> **VCAT**: *Virtual Concatenation*: Concatenación Virtual.

<sup>41</sup> **GFP**: *Generic Framing Procedure*: Procedimiento de Enramado Genérico.

<sup>42</sup> **LCAS**: *Link Capacity Adjustment Scheme*: Esquema de ajuste de capacidad de enlace.

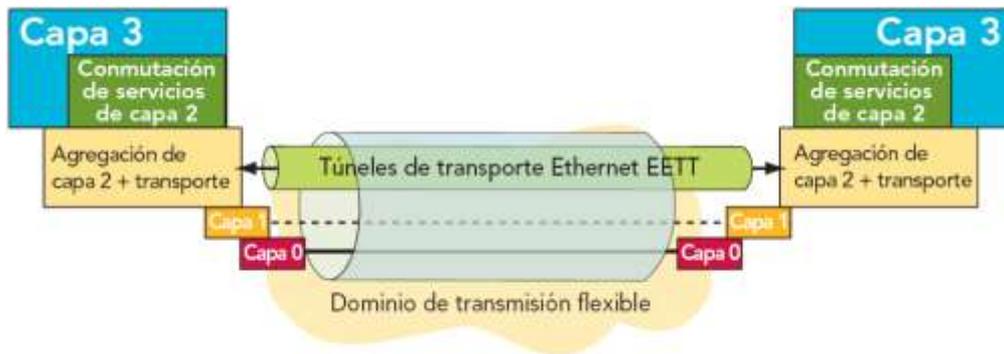
servicios E-Line a nivel de rendimiento a los usuarios finales, manteniendo y mejorando los requisitos de conexión extremo a extremo de Ethernet.

Entre las principales características de los EETT se encuentran las siguientes [41]:

- *Orientación a Conexión (Connection Oriented)*: Las rutas de envío, principales y de protección, se generan a través de un sistema de gestión de red, ya sea de forma manual o automática.
- *Garantía de ancho de banda*: Mediante la administración de perfiles a través de una función de control de admisión de conexión (CAC).
- *Calidad de servicio y clasificación de prioridad*: Por medio de la clasificación de Capa 2 y Capa 3, ingeniería de tráfico y técnicas de prioridad.
- *Separación de clientes*: El tráfico de clientes está separado y las direcciones de cliente se encuentran ocultas al dominio de conmutación.
- *Seguridad*: Los túneles Ethernet evitan funciones básicas de Ethernet que introducen un factor impredecible, como son el aprendizaje de direcciones MAC, inundación y árbol de conmutación, eliminando por consiguiente el factor imprescindible. Haciendo esta tecnología adecuada para el transporte.

Hay varias tecnologías que pueden proporcionar la capacidad para los túneles EETT incluidas la funcionalidad VLAN de conexión cruzada, Traffic Engineered Provider Backbone Bridging (PBB-TE) y MPLS/T-MPLS Label-Switched Paths (LSPs), junto con los cables virtuales (pseudowires) con base en Ethernet.

Los túneles Ethernet, mostrados en la Figura 10, son orientados a la conexión, permitiendo a los proveedores diferenciar los servicios de Ethernet con características equivalentes a las de los circuitos TDM, incluyendo fiabilidad, alcance ampliado, resolución de problemas y facilidad de gestión. Estos túneles también permiten servicios deterministas y de alto rendimiento.



**Figura 10** Túnel de Transporte Ethernet.

Fuente: Ciena.

[http://ciena.co.pt/files/Delivering\\_on\\_the\\_Promise\\_of\\_Ethernet\\_A4\\_WP\\_ES.pdf](http://ciena.co.pt/files/Delivering_on_the_Promise_of_Ethernet_A4_WP_ES.pdf)

### 2.3. COMPARACIÓN DE LAS REDES TRADICIONALES CON LA RED CARRIER ETHERNET [14][42][43][44][45][46][47][48][49][50][51][52]

Como se ha mencionado anteriormente en la sección 1.2 del capítulo 1, los cinco atributos que definen a Carrier Ethernet proporcionan las capacidades necesarias para que un operador utilice Ethernet de la misma manera cómo lo hace con tecnologías como ATM y Frame Relay y otras usadas en la actualidad.

Por lo anterior se tomaron estos atributos como punto de referencia para el análisis comparativo entre Carrier Ethernet y las tecnologías de red utilizadas en el modelo de red tradicional en Colombia propuesto en la sección 2.1.2. de este capítulo.

#### 2.3.1. Servicios Estandarizados

Este atributo permite esencialmente a un proveedor de servicio entregar una gran cantidad de paquetes y servicios multipunto TDM de una manera eficiente y determinista sobre plataformas de equipos estandarizados. Estos servicios soportan multitud de aplicaciones de cliente que están emergiendo a través de voz, datos y videos.

Los componentes que definen al atributo son:

- Ubiquidad
- Servicios Ethernet
- Servicio de Emulación de Circuitos (CES - Circuit Emulation Services)
- Granularidad y Calidad de Servicios (QoS)
- Convergencia de Transporte

En la Tabla 3 se muestran los principales aspectos de este atributo, para Carrier Ethernet y otras tecnologías de red.

Tecnologías de Red	Servicios Estandarizados
<b>Carrier Ethernet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios Ethernet ubicuos por medio de equipo estandarizado, independiente de los medios subyacentes e infraestructura de transporte.</li> <li>• Servicio Ethernet Punto a Punto, Multipunto a Multipunto y Punto a Multipunto.</li> <li>• CES, para la entrega de servicios TDM.</li> <li>• Los servicios soportados brindan opciones de granularidad de ancho de banda y calidad de servicio.</li> <li>• Soporta convergencia de voz, datos y servicios de video sobre un transporte Ethernet unificado y simplifica la entrega, gestión y adición de tales servicios. Generalmente todos los servicios y aplicaciones son soportados por un túnel Ethernet.</li> </ul>
<b>IP/MPLS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediante el uso de etiquetas puede soportar servicios ATM, Frame Relay, TDM y otros, sin necesidad de que el usuario se vea obligado a cambiar sus equipos, ya que el LSR de frontera etiqueta el paquete y lo entrega como MPLS.</li> </ul>
<b>SDH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controla distintos tipos de información, como sistemas de 2Mb/s o 1,5Mb/s.</li> <li>• Cuenta con interfaz unificada para crear un ambiente multiproveedor.</li> </ul>
<b>Frame Relay</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presta sus servicios a través de Circuitos Virtuales Permanentes (PVC) y Circuitos Virtuales Conmutados, según las necesidades de los usuarios.</li> <li>• Permite asignación dinámica de ancho de banda.</li> <li>• TDM asíncrono.</li> </ul>
<b>ATM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay 5 clases de servicios y cada uno permite un control de calidad de servicio distinto: CBR<sup>43</sup>, VBR – NRT<sup>44</sup>, VBR – RT<sup>45</sup>, ABR<sup>46</sup>, UBR<sup>47</sup>.</li> <li>• Proporciona asignación dinámica de ancho de banda.</li> <li>• TDM asíncrono.</li> <li>• ATM soporta, la conmutación y transmisión de tráfico multimedia comprendiendo datos, voz, imágenes y video.</li> </ul>

<sup>43</sup> **CBR:** *Constant Bit Rate:* Velocidad binaria constante.

<sup>44</sup> **VBR – NRT:** *Variable Bit Rate - Non-Real Time:* Velocidad binaria variable sin tiempo real.

<sup>45</sup> **VBR – RT:** *Variable Bit Rate - Real Time:* Velocidad binaria variable de tiempo real.

<sup>46</sup> **ABR:** *Available Bit Rate:* Velocidad binaria disponible.

<sup>47</sup> **UBR:** *Unspecified Bit Rate:* Velocidad binaria sin especificar.

<b>xDSL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios de voz, datos, acceso a Internet, interconexión de PBX, televisión digital, video bajo demanda, teleconferencia, teleconsulta son soportados por las distintas variaciones de xDSL: ADSL, HDSL, SDSL, SHDSL, VDSL.</li> </ul>
-------------	--

**Tabla 3** Comparación Servicios Estandarizados

### 2.3.2. Escalabilidad

Una diferencia fundamental entre una LAN y la red de un proveedor de servicio es la escalabilidad. En la red de un proveedor de servicio, hay por lo general cien veces más usuarios finales y como consecuencia, muchas más conexiones para aplicaciones basadas en Ethernet simplemente porque cubre un área geográfica más grande. Carrier Ethernet, por lo tanto, escala a través de varias dimensiones simultáneamente:

- Usuarios / Puntos Finales
- Alcance Geográfico
- Aplicaciones
- Ancho de Banda

En la Tabla 4 se muestran los principales aspectos de este atributo, para Carrier Ethernet y otras tecnologías de red.

Tecnologías de Red	<b>Escalabilidad</b>
<b>Carrier Ethernet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporta cientos de miles de terminales y millones de usuarios y servicios Ethernet con apropiado nivel de desempeño o QoS.</li> <li>• Los servicios entregados pueden atravesar acceso, metro y más allá, abarcando grandes distancias geográficas, decenas de kilómetros, sobre una gran variedad de infraestructuras.</li> <li>• Soporta una gran cantidad de aplicaciones para negocios, información y entretenimiento, además de la convergencia de voz, datos y video.</li> <li>• Ancho de Banda escalable desde 1Megabyte hasta 1Gigabyte, en incrementos de 1Mega.</li> </ul>
<b>IP/MPLS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporta aplicaciones como Ingeniería de Tráfico, Integración de IP con ATM, Frame Relay, SONET/SDH, Ethernet, redes ópticas; servicios de VPN, Diferenciación de niveles de servicio, Soporte multiprotocolo.</li> </ul>

<b>SDH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad escalable de STM-1(155,52 Mbit/s), hasta STM-N</li> <li>• Soporta transporte de voz, video y datos.</li> <li>• Topología escalable desde redes de área local hasta redes de área amplia.</li> <li>• Soporta transporte de varias tecnologías como PDH, ATM e IP.</li> </ul>
<b>Frame Relay</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su principal aplicación es la interconexión de redes LAN, sin embargo soporta además acceso remoto a bases de datos, aplicaciones cliente-servidor y transmisión de voz sobre Frame-Relay, entre otras.</li> <li>• Facilidad para incrementar ancho de banda mediante el CIR.</li> <li>• Presenta inconvenientes con las nuevas aplicaciones multimedia.</li> </ul>
<b>ATM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad escalable de T1 y NxT1 a 45 Mbps hasta velocidades de gigabit.</li> <li>• Topología escalable desde redes de área local hasta redes de área amplia.</li> <li>• Eficiente manejo de tráfico de voz, video y datos.</li> </ul>
<b>xDSL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usado a nivel de acceso de red.</li> <li>• Cada tipo de DSL, ofrece un ancho de banda diferente y se alcanzan distancias que van desde los 300 metros hasta los 6 kilómetros.</li> <li>• La velocidad de transferencia en DSL, varía de acuerdo a las distancias y a la calidad de la línea.</li> </ul>

**Tabla 4** Comparación Escalabilidad

### 2.3.3. Confiabilidad

Ya que Carrier Ethernet está diseñado para soportar aplicaciones críticas, la capacidad de ubicar rápida y remotamente una falla en la red o en la capa de servicios, es un factor esencial. De este atributo se consideran los siguientes aspectos:

- Flexibilidad de Servicio
- Protección
- Restablecimiento

En la Tabla 5 se muestran los principales aspectos de este atributo, para Carrier Ethernet y otras tecnologías de red.

Tecnologías de Red	Confiabilidad
<b>Carrier Ethernet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localización de fallas en la red, sin afectar a los usuarios y/o las aplicaciones. Rápido proceso de solución y recuperación de fallos y uso de herramientas para minimizar gastos operacionales para el proveedor de servicio y cualquier impacto adverso a los usuarios finales.</li> <li>• Servicios con nivel de protección extremo a extremo contra fallos en la infraestructura empleada en la entrega de servicios.</li> <li>• Restablecimiento similar o mejor que SONET que se encuentra por debajo de los 50 milisegundos. Gran cantidad de aplicaciones de voz y videos, que son sensibles a la latencia, son soportadas sobre una infraestructura Carrier Ethernet</li> </ul>
<b>IP/MPLS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispone de mecanismos de protección para todo el camino o para un segmento de éste según la necesidad.</li> <li>• Se consigue la recuperación ante las fallas, inferior a 50 milisegundos.</li> </ul>
<b>SDH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja latencia</li> <li>• Restablecimiento menor a 50 milisegundos</li> <li>• Incluye circuitos automáticos de respaldo y mecanismos de reparación de fallas.</li> </ul>
<b>Frame Relay</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No posee mecanismos de protección de flujos.</li> <li>• Cuando una red se congestiona algunas tramas se descartan.</li> <li>• Deficiencia en la detección de fallos y congestión en la red.</li> <li>• No corrige los errores encontrados en la red.</li> </ul>
<b>ATM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite conexiones redundantes, incrementando la tolerancia a fallos y la fiabilidad.</li> <li>• No proporciona detección de errores ni retransmisiones.</li> </ul>
<b>xDSL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encontró información al respecto dentro de la bibliografía consultada en el desarrollo de este proyecto.</li> </ul>

**Tabla 5** Comparación Confiabilidad

#### 2.3.4. Calidad de Servicio

Para que Carrier Ethernet logre la aceptación, por encima de tecnologías tradicionales como Frame Relay y ATM, es necesario que garantice QoS y convergencia en la

entrega de servicios. QoS representa un nivel esencial para el buen desempeño esperado de una aplicación. En el caso de Carrier Ethernet que soporta una variedad de aplicaciones para empresas que requieren un muy buen desempeño, esta característica adquiere una gran importancia.

El desafío para un proveedor de servicio es significativo, dado el hecho que tiene que, simultáneamente, dar soporte individual de QoS a miles de aplicaciones y usuarios finales, usando un conjunto limitado de recursos (ancho de banda, conmutación, etcétera) cuya disponibilidad varía con el tiempo.

Los Servicios Carrier Ethernet proveen a QoS y abarcan lo siguiente:

- SLAs
- Parámetros SLA
- Aprovisionamiento de SLA

En la Tabla 6 se muestran los principales aspectos de este atributo, para Carrier Ethernet y otras tecnologías de red.

Tecnologías de Red	Calidad de Servicio QoS
<b>Carrier Ethernet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suministra los SLAs necesarios extremo a extremo para proporcionar una gran cantidad de servicios de voz, video y datos sobre una infraestructura Ethernet.</li> <li>• Cuenta con un conjunto de parámetros configurables que permiten que un proveedor de servicios defina SLAs específicas asociadas con un servicio en particular.</li> <li>• La QoS consta de varios elementos típicos en los que se basa para proporcionar un alto desempeño de las redes, tales como la accesibilidad a una función particular, la pérdida de paquetes, el retardo de paquetes y jitter<sup>48</sup></li> </ul>
<b>IP/MPLS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La calidad de Servicio, se garantiza con el uso en MPLS del modelo DiffServ, que utiliza diversos mecanismos para clasificar el tráfico en un pequeño número de clases de servicio con diferentes prioridades.</li> <li>• Gracias a la ingeniería de tráfico se pueden establecer rutas para servicios especiales de QoS, y evitar cuellos de botella y cargas excesivas de enlaces.</li> </ul>

<sup>48</sup> **Jitter:** Variación en la cantidad de latencia entre paquetes de datos recibidos

<b>SDH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantiza QoS con funciones de Control de Admisión de Conexión (CAC).</li> </ul>
<b>Frame Relay</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No cuenta con buenos mecanismos para garantizar QoS.</li> <li>• No existen estándares de QoS para Frame Relay, lo que obliga a cada fabricante a utilizar sus propias técnicas para solucionar este problema.</li> </ul>
<b>ATM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantiza QoS en relación a pérdida de información, retardo y variación del retardo, mediante mecanismos de control de tráfico y manejo de prioridades, definidos para cada uno de los servicios.</li> </ul>
<b>xDSL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encontró información al respecto dentro de la bibliografía consultada en el desarrollo de este proyecto.</li> </ul>

**Tabla 6** Comparación Calidad de Servicio

### 2.3.5. Gestión de Servicio

Gestionar un gran número de usuarios que se encuentran distribuidos sobre una extensa área geográfica requiere que los proveedores de servicios tengan una gran capacidad para instalar, localizar fallas y mejorar el costo de los servicios rápida y efectivamente. Contratar un medio de transporte cada vez que hay un requerimiento no es viable económicamente hablando haciendo imposible la entrega de Ethernet a mayor escala. Carrier Ethernet soluciona estos inconvenientes mediante:

- Gestión Unificada
- OAM Clase Carrier
- Rápido Aprovisionamiento

En la Tabla 7 se muestran los principales aspectos de este atributo, para Carrier Ethernet y otras tecnologías de red.

Tecnologías de Red	<b>Gestión de Servicios</b>
<b>Carrier Ethernet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad estandarizada de monitoreo, diagnóstico y gestión para proveedores independientemente de la infraestructura usada en la entrega del servicio.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OAM Clase Carrier que se integra a los modelos existentes de los proveedores de servicios y cuenta con las características necesarias para atender miles de suscriptores en decenas de kilómetros.</li> <li>• La capacidad de proporcionar nuevos servicios Ethernet rápidamente es una salida clave de los constantes y prolongados intervalos ocurridos durante la puesta en marcha de los tradicionales servicios TDM. Esto se logra gracias a los incrementos granulares en el ancho de banda de los servicios existentes la adición de nuevos servicios, cada uno con SLAs específico y la habilidad de permitir estos servicios remotamente la mayor parte del tiempo.</li> </ul>
<b>IP/MPLS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encontró información al respecto dentro de la bibliografía consultada en el desarrollo de este proyecto.</li> </ul>
<b>SDH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad para transmitir información OAM y provee altos niveles de funcionalidad y seguridad en la red.</li> <li>• Capacidad de gestión con TMN.</li> </ul>
<b>Frame Relay</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No incorpora una gestión integrada. Estas se implementan a través de señalización fuera de banda.</li> <li>• Cuenta con la LMI<sup>49</sup> que suministra cuatro funciones básicas: Establecimiento de una conexión entre el usuario final y la interfaz de red, supervisión de la disponibilidad de circuitos Frame Relay, notificación a las estaciones de la red de nuevos PVC y notificación a las estaciones de la red de los PVC eliminados o perdidos.</li> </ul>
<b>ATM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los operadores pueden gestionar el tráfico de sus redes por las capacidades de ingeniería de tráfico propias de las tecnologías orientadas a la conexión.</li> <li>• La gestión en ATM implica alta complejidad de la red.</li> </ul>
<b>xDSL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encontró información al respecto dentro de la bibliografía consultada en el desarrollo de este proyecto.</li> </ul>

**Tabla 7** Comparación Gestión de Servicio

<sup>49</sup> **LMI:** *Local Management Interfaz*. Interfaz de Gestión Local

### 2.3.6 SDH y Carrier Ethernet

SDH es, al igual que Carrier Ethernet, una tecnología de transporte que en Colombia es de gran aceptación por parte de los operadores de telecomunicaciones, por tal motivo se hace un análisis particular para esta tecnología [52]. En la **Tabla XXX**, se muestra una comparación entre algunos aspectos de Carrier Ethernet y SDH.

Características	SDH	Carrier Ethernet
<b>Redundancia Protección</b>	- Capacidad de protección automática (50 ms). - LCAS <sup>50</sup> para concatenación virtual.	- Restablecimiento por debajo de los 50 milisegundos.
<b>OAM</b>	- Marco de trabajo OAM.	- OAM Clase Carrier
<b>Detección de Fallas</b>	- Monitoreo y ubicación remota de fallas.	- Localización de fallas sin afectar a los usuarios y/o las aplicaciones. - Rápido proceso de solución y recuperación de fallos.
<b>Escalabilidad</b>	- Velocidades superiores a 40 Gb/s. - Granularidad a nivel de VC (1.5 Mb/s o 2 Mb/s)	- Ancho de Banda escalable desde 1Megabyte hasta 1Gigabyte, en incrementos de 1Mega.
<b>QoS</b>	- Determinística.	- Cuenta con un conjunto de parámetros configurables que permiten que un proveedor de servicios defina SLAs específicas asociadas con un servicio en particular.
<b>Robustez</b>	- 99.999% de tiempo en servicio. - BER <sup>51</sup> = 10 <sup>-12</sup>	- BER = 10 <sup>-12</sup>

**Tabla 8** Comparación SDH y Carrier Ethernet

<sup>50</sup> **LCAS:** *Link Capacity Adjustment Scheme*: Esquema de Ajuste de Capacidad de Enlace.

<sup>51</sup> **BER:** *Bit-error rate*: Relación entre los bits que se recibieron con errores y el número total de bits transmitidos

## 2.4. APROXIMACIÓN ECONÓMICA

Además de los aspectos tecnológicos que implica una migración de red mencionados anteriormente en este capítulo, un proveedor de servicios debe considerar la inversión económica que va a realizar, ya que es de gran importancia la rentabilidad de sus redes, el cual es el reflejo de los gastos operativos (OpEx) y los gastos de capital (CapEx) [41].

Teniendo en cuenta lo anterior se realizó el análisis económico, que da una visión general a un proveedor de servicios sobre la inversión que deberá realizar para implantar Carrier Ethernet en su red.

En el caso particular de Ethernet, sus ventajas de OpEx sobre tecnologías como ATM, Frame Relay, Sonet/SDH radican en su simplicidad y madurez que aumentan la confiabilidad en los equipos y la disponibilidad de servicios, facilitan las operaciones de red y reducen los costos de formación del personal a cargo de los equipos. Además de permitir un rápido aprovisionamiento de servicios gracias a la fácil interconexión entre LAN, MAN y WAN y lograr anchos de banda desde 1 Mbps hasta 1 Gbps sin cambio de equipos [53].

Las ventajas Capex de Ethernet se basan en su economía a escala y su simplicidad, que hacen a sus equipos más rentables, que otros con similares características. La alta velocidad de Ethernet permite aumentar la vida útil de los equipos y generar mayor rentabilidad [53].

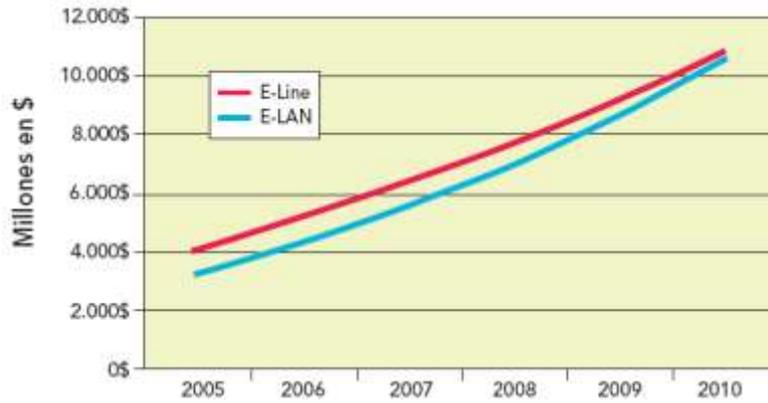
### 2.4.1. Crecimiento de Carrier Ethernet

Uno de los elementos importantes que debe ser considerado por un proveedor de servicios y que forma parte de la aproximación económica, es el crecimiento y grado de aceptación que tiene la tecnología que va a implantar en su red [41] [54].

De acuerdo a estudios realizados por la consultora OVUM-RHK<sup>52</sup>, los servicios Ethernet (E-Line, E-LAN) están teniendo cada vez más acogida y se espera que esta tendencia se mantenga por mucho más tiempo, por lo que es una gran oportunidad en el mercado Ethernet para los proveedores de servicios. En la Figura 11 se muestra el crecimiento de los servicios Ethernet desde 2005 y lo que se espera para el 2010.

---

<sup>52</sup> **OVUM-RHK:** Consultora de Telecomunicaciones y Software. <http://www.ovum.com>

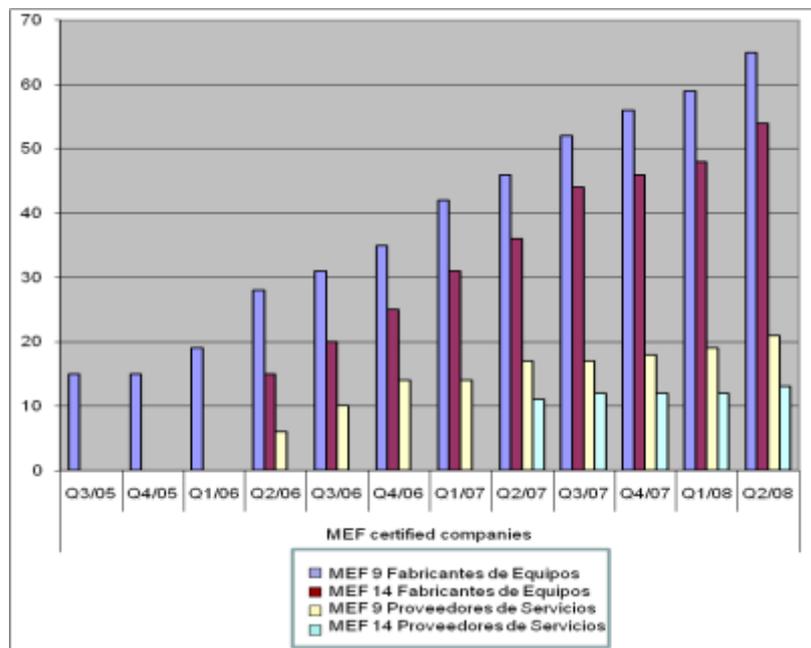


**Figura 11** Crecimiento de los Servicios Ethernet

Fuente: Ciena.

[http://ciena.co.pt/files/Delivering\\_on\\_the\\_Promise\\_of\\_Ethernet\\_A4\\_WP\\_ES.pdf](http://ciena.co.pt/files/Delivering_on_the_Promise_of_Ethernet_A4_WP_ES.pdf)

Según informes presentados por el MEF, el número de compañías fabricantes de equipos y de proveedores de servicios certificadas crece de una manera acelerada, llegando a 65 y 21 respectivamente, hasta junio de 2008, como se aprecia en la Figura 12. Esto es una clara muestra de cómo Carrier Ethernet se está posicionando a nivel mundial y del interés de los proveedores por incluir esta tecnología en sus soluciones.



**Figura 12** Proveedores de Servicios y Fabricantes de Equipos Certificados por el MEF

Fuente: Metro Ethernet Forum. <http://www.metroethernetforum.org>

Infonetics Research<sup>53</sup> en el reporte “Service Provider Routers and Switches”, afirma que los enrutadores y conmutadores Carrier Ethernet aumentaron la rentabilidad de los proveedores de servicio durante el año 2006 en un 8% durante el primer trimestre, mientras que los de otro tipo disminuyeron.

Por otra parte, se redujo la inversión de los proveedores de servicios en redes ATM y se estima que el mercado Carrier Ethernet alcance los \$5.0 billones de dólares en 2009, superando por más del doble la cifra de \$2.1 billones de dólares registrados en 2005.

Dice además este reporte, que el auge de estos elementos se debe a que soportan las tendencias actuales de las telecomunicaciones, como aplicaciones que requieren grandes anchos de banda, la transmisión de datos en dispositivos móviles con mayores velocidades y el cambio de los proveedores de servicios hacia las redes IP y Ethernet de nueva generación.

De acuerdo al estudio de mercado “Carrier Ethernet Switch/Router Quarterly Market Tracker” publicado por Heavy Reading<sup>54</sup>, El Mercado de los enrutadores y conmutadores Carrier Ethernet se incremento en un 6% en el tercer trimestre de 2007 representado en \$508 millones de dólares. Para el cuarto trimestre de este mismo año se reportaron ventas por un total de \$1.86 billones. Cifras que llaman la atención de analistas financieros, inversionistas y fabricantes de equipos, para incursionar en el mercado Carrier Ethernet.

En el tercer trimestre de 2007, la inversión de los proveedores de servicios en negocios Ethernet, consumidores triple play y servicios *backhaul* móviles, impulsaron la rentabilidad de los Carrier Ethernet en muchas regiones del mundo, siendo EMEA<sup>55</sup> la de mayor desempeño en este trimestre. *Heavy Reading* estima que más de 412 operadores de telecomunicaciones, compañías de cable, municipalidades, y otras entidades despliegan plataformas Carrier Ethernet.

El mismo estudio presenta a Cisco como el líder del mercado Carrier Etherner con un 56% hacia el tercer trimestre de 2007, seguido de Alcatel – Lucent con un 19% y

---

<sup>53</sup> **Infonetics Research:** Principal consultora a nivel internacional en estudios de mercados, especializada en redes de datos y telecomunicaciones.

<sup>54</sup> **Heavy Reading:** Organización que ofrece estudios de mercado de tecnologías de telecomunicaciones para proveedores de servicios, vendedores e inversionistas.

<sup>55</sup> **EMEA:** Europa, Medio Oriente, África

Huawei con 5%. Con el 4% del mercado Hitachi Cable se ubica en cuarto lugar y Nortel con el 3% en quinto lugar.

Con la información de los estudios mencionados anteriormente, se puede observar con claridad como Carrier Ethernet se está expandiendo de una manera acelerada a nivel mundial e igualmente se está posicionando en el mercado de las telecomunicaciones.

Desde el punto de vista económico Carrier Ethernet cumple con uno de los requisitos más importantes que exigen los proveedores de servicios, la rentabilidad de sus redes. Y según las estimaciones de los analistas, esta tendencia se mantendrá por muchos años de manera ascendente.

#### **2.4.2. Propuestas de Fabricantes**

La acogida que ha tenido Carrier Ethernet a nivel mundial hace que los proveedores de equipos se interesen por hacer parte de este mercado y presentar la mejor solución para los proveedores de servicios. Sin embargo, hay múltiples enfoques para el diseño de estas redes [55].

A continuación se exponen las propuestas de algunos de los fabricantes de equipos más destacados con el fin de presentar las distintas opciones de desempeño, capacidades y costos. La elección de una u otra, dependerá de las necesidades de cada proveedor de servicios.

##### **2.4.2.1. IP NGN Carrier Ethernet Design – Cisco [55]**

Con *Cisco IP NGN Carrier Ethernet Design* la multinacional Cisco System suministra una infraestructura de red que es escalable, flexible y orientada hacia la entrega de nuevos servicios. Con el fin de afrontar los nuevos retos empresariales, los proveedores de servicios deben tener suficiente flexibilidad en la infraestructura de la red actual para escalar sus servicios y permitir rápidamente nuevos servicios. La red Carrier Ethernet es compatible con todos servicios de la misma forma, entre ellos:

- Servicios Residenciales
- Servicios para Negocios

- Servicios Móviles
- Servicios a Gran Escala.

Uno de los principios de Cisco IP NGN Carrier Ethernet Design es que usa múltiples protocolos de Capa 2 y Capa 3, para proporcionar una flexibilidad óptima para los actuales servicios ofrecidos y los de próxima generación. Estos protocolos incluyen EoMPLS, L3 PIM SSM, MPLS VPN, H-VPLS, IEEE 802.1ad, y Q-in-Q.

Esto permite a los proveedores de servicios soportar una amplia gama de aplicaciones y reducir al mínimo los gastos CapEx y OpEx relacionados con la infraestructura de la red.

Este diseño flexible en comparación con los diseños rígidos que proponen que la H-VPLS como la única tecnología utilizada en el acceso y la distribución de la red y que el enrutamiento IP L3 (de capa 3) se limita al núcleo de la red.

Si bien H-VPLS es una buena tecnología para algunos servicios y aplicaciones, no es la mejor para todas las aplicaciones y proveedores de servicios. Por ejemplo, H-VPLS no se adapta bien a la distribución de video, ya que requiere el uso de la tecnología multicast que no es escalable. En contraste IP NGN apoya PIM SSM, acreditado, escalable y basada en estándares IETF para la entrega de tráfico IP multicast. Del mismo modo, en muchos casos, L3 MPLS VPN ofrece el mejor enfoque para la creación de un mejor servicio debido a la ubicuidad de MPLS VPN en las redes SP.

En muchos casos los H-VPLS se ven forzados a resolver problemas que deberían manejarse en la capa 3. Para evitar este inconveniente Cisco se enfoca en un diseño más flexible que minimiza el costo total de propiedad en la distribución y el acceso de la red, mientras que soporta una amplia gama de aplicaciones y servicios.

*IP NGN Carrier Ethernet Design*, es el enfoque más escalable para la entrega de IPTV residencial porque utiliza estándares basados en IP multicast (PIM) para entregar video sobre la red IP. PIM es el único protocolo de multidifusión IP que ha sido probado para funcionar con fiabilidad a gran escala. PIM de Cisco ha sido optimizado para IPTV suministrando rápido enrutamiento y rápido cambio de canal necesario para la producción de IPTV.

*IP NGN Carrier Ethernet Design*, es un ejemplo de una arquitectura de IP NGN sobre un diseño de red actual. Esta usa elementos claves de la arquitectura IP NGN para permitir una mejor implementación de Carrier Ethernet. Componentes de *Service Exchange Framework (SEF)*, también son incorporados a este diseño para proporcionar una red flexible, escalable y fiable para satisfacer las actuales y futuras necesidades de servicio de red. La red Carrier Ethernet se divide en una jerarquía de los elementos:

- **Acceso:** Proporcionar acceso a clientes particulares y empresariales sobre DSL, fibra, cable o inalámbrica.
- **Borde de Distribución:** Añade la red de acceso a través de una red Carrier Ethernet y proporciona interconexión entre en borde y el núcleo IP/MPLS.
- **Borde de Servicio Inteligente:** Interfaz de servicios con el núcleo IP/MPLS. Es el borde del proveedor para servicios de suscripción residenciales y de negocios.
- **Núcleo IP/MPLS:** Proporciona enrutamiento escalable IP/MPLS en el núcleo de la red.
- **Capa de Políticas de Servicio:** Proporciona políticas de manejo de banda ancha para la prestación de servicios. Este componente forma parte de *Service Exchange Framework*.

#### 2.4.2.2. Alcatel-Lucent's Carrier Ethernet Framework [36]

*Carrier Ethernet Framework* de Alcatel - Lucent ofrece la más avanzada arquitectura de red extremo a extremo para la entrega de servicios personalizados.

Va más allá de las conexiones básicas punto a punto para maximizar el acceso, servicio y transporte y permitir la entrega mejorada de servicios punto a punto y multipunto sobre una infraestructura convergente de servicios y aplicaciones.

Esta solución soporta servicios críticos de negocios demandados por empresas, las comunicaciones personalizadas triple play y los servicios de entretenimiento esperados por los consumidores, tales como la evolución a una nueva generación de servicios de banda ancha ofrecidos por los operadores de telefonía móvil.

*Carrier Ethernet Framework*, ofrece a los proveedores de servicios una manera eficaz de actualizar su infraestructura. Esto les permite mantener la continuidad del negocio y

migrar de portafolio de productos basado en la conectividad a uno basado en servicios personalizados.

Con la combinación de Ethernet con IP y MPLS y el aprovechamiento de tecnologías de transporte ya establecidas como SONET/SDH y WDM, Alcatel-Lucent permite la prestación de servicios uniformes a través de una variedad de redes de acceso y topologías. Ofrece a los proveedores de servicios la escalabilidad y la fiabilidad en la entrega de servicios multipunto, la flexibilidad de acceso punto a Multipunto, así como la optimización de costos en el transporte punto a punto.

Esta flexibilidad permitirá a los proveedores de servicios la entrega de nuevos y mejorados servicios IP/MPLS y la evolución del transporte basado en circuitos a conmutación de paquetes, o de sistemas de transporte óptico de paquetes (P-OTS) a proveer transporte de paquetes optimizado.

La arquitectura extremo a extremo de *Carrier Ethernet Framework* abarca: Acceso Flexible, siempre en servicio y Costo Optimizado de Transporte. Además gestiona de manera integrada la red, los elementos, los servicios y los suscriptores.

Para la entrega de todos los beneficios de los servicios que permite Carrier Ethernet, *Carrier Ethernet Framework* divide su red en tres niveles: acceso, servicio y transporte:

**En el nivel de acceso:** Permite a los proveedores de servicios maximizar su rentabilidad mediante soluciones Carrier Ethernet que soportan la convergencia del acceso residencial y de negocios mientras optimiza el ancho de banda y aumenta al máximo la cobertura a través de una variedad tecnologías de acceso de último kilómetro tales como cobre, fibra, PON, y la tecnología inalámbrica.

**En el nivel de servicios:** permite a los proveedores generar ingresos adicionales usando Carrier Ethernet para la entrega de nuevos y avanzados servicios seguros, rentables y escalables tales como triple play y servicios VPN para negocios y aplicaciones con QoS garantizada. Soporta además servicios móviles y de banda ancha a través de una única infraestructura IP/MPLS.

**En el nivel de transporte,** *Carrier Ethernet Framework*, permite a los proveedores de servicios reducir los costos, minimizar la complejidad y maximizar la capacidad de las

redes de transporte al tiempo que ofrece un camino para la evolución de transporte basado en circuitos a transporte óptico basado en paquetes.

Además, soporta la gestión integrada y unificada de la red, elementos, servicios y suscriptores mediante el control distribuido por suscriptor y por servicio. Esto asegura un alto nivel de capacidades OA&M extremo a extremo y una QoE inigualable para el usuario final.

Las soluciones de acceso fijo Alcatel-Lucent abarcan cobre y fibra:

- Banda Estrecha Ethernet sobre pares de cobre utilizando ADSL (2 +), VDSL2, y G. SHDSL (ATM) ofrece velocidades de acceso de 2 Mbps a 10-20 Mbps dependiendo de la distancia.
- Banda Media Ethernet sobre pares de cobre utilizando G. SHDSL (EFM) proporciona velocidades de acceso entre 10 Mbps y 45 Mbps dependiendo de la distancia.
- Soluciones de Acceso mediante Fibra óptica que incluyen Ethernet punto a punto sobre fibra y Ethernet sobre GPON y ofrece flexibilidad en el ancho de banda con velocidades de acceso entre 10 Mbps y 1 Gbps.

Alcatel-Lucent ofrece además la posibilidad de soluciones de acceso que combinen xDSL, GPON o punto a punto sobre fibra, de acuerdo a los requerimientos específicos de un proveedor.

#### **2.4.2.3. Juniper Networks Carrier Ethernet Solution [56]**

Juniper Networks tiene un enfoque multidimensional de las soluciones Carrier Ethernet para los proveedores de servicios. En primer lugar, están disponibles las series E, M y T de enrutadores que pueden ser expandidas por varias partes de la red. Para que de esta manera se implemente Ethernet de acuerdo a los requerimientos con el menor esfuerzo y la menor inversión.

En Segundo lugar, la serie MX ESRs (Ethernet Services Routers) es la nueva familia de productos construida con el fin de entregar a los proveedores de servicios Carrier Ethernet con alto rendimiento, escalable y fiable. Está diseñada además para proporcionar flexibilidad, fiabilidad y rentabilidad, necesarias en las redes de los proveedores de servicios que requieren de mayor ancho de banda y pueden aprovecharse para una variedad de funciones de red incluyendo transporte Ethernet, distribución y servicios basados en Ethernet.

La serie MX está diseñada para proporcionar 10 GB Ethernet en la actualidad, pero son capaces de llegar más allá de acuerdo a las crecientes necesidades de los clientes, manejan hasta un millón de direcciones MAC y aseguran el desempeño con las adición de interfaces gracias a la densidad de puertos en los concentradores de DPCs (Dense Port Concentrators) que combinan una alta densidad de puertos con una arquitectura distribuida.

Esta serie ayuda a los proveedores de servicios de disminuir el consumo de energía y el impacto ambiental mediante el suministro de plataformas eficientes lo que representa un ahorro significativo de los gastos de funcionamiento de la red.

Otra importante característica de esta serie es que proporcionan funciones de capa 2 y de capa 3 en un solo dispositivos, simplemente adicionando una tarjeta DPC, lo que reduce la complejidad de la red, CaPex y OpEx. Esta flexibilidad permite a los proveedores ofrecer servicios Ethernet, tales como E-LAN, E-LINE o E-TREE.

Los proveedores de servicios pueden beneficiarse de la serie MX ESRs casi que en cualquier parte de su red, desde el acceso, el borde, la distribución y el núcleo.

Esta serie permite además ofrecer servicios que requieren gran ancho de banda, como es el caso de IPTV, VoIP, y VoD, ya que incluye características MPLS que brindan ingeniería de tráfico y QoS.

Los proveedores de servicios de redes inalámbricas cuentan con tecnologías como IP RAN y WiMAX, que a medida que son desplegadas, requieren más puntos de agregación. La serie MX-ESR proporciona portadores inalámbricos como una forma rentable de agregar múltiples estaciones de base WiMAX e IP RAN, además, el conjunto de características MPLS encontradas se puede utilizar para proporcionar QoS y gestión de tráfico necesarios.

### 2.4.3. Precios de Productos

Para realizar la aproximación económica de una red es necesario conocer los costos que tendría que cubrir el proveedor de servicio. A continuación se describe de manera general los costos respecto a componentes para las soluciones de los proveedores mencionados anteriormente: Cisco Systems, Alcatel-Lucent y Juniper Networks.

Toda la información referente a los precios de los equipos es manejada con gran reserva por los proveedores, esto se debe a que el valor inicial que se da en las cotizaciones no suele ser el mismo al final de la venta. Esta variación de precios ocurre en muchas ocasiones por descuentos que hacen los proveedores de equipos por compras de gran volumen, acuerdos o estrategias de mercado.

Los precios mostrados a continuación se obtuvieron a través de las páginas web de distribuidores autorizados y son útiles para este estudio, sin embargo, por las razones mencionadas anteriormente estos valores podrán ser inferiores para el caso de un operador real que desee cambiar su infraestructura.

Por otra parte, ya que el valor de cada uno de los componentes se incrementa o disminuye de manera directa a sus características y funciones, se presenta un rango de precios.

En las Tablas 8, 9 y 10, se presentan los precios para los productos Cisco, Alcatel-Lucent y Juniper, respectivamente

<b>Productos Cisco</b>	<b>Precio*</b>
<b>Acceso</b>	
Cisco ME 3400 Series Ethernet Access Switches	\$1.770 - \$1.880
Cisco Catalyst® 3750 Metro Series Switches	\$2.695 - \$5.706
Cisco Catalyst 4500 Series Switches	\$5.495 - \$16.495
Cisco Catalyst 6500 Series Switches	\$5.000 - \$27.995
Cisco ME 6524 Ethernet Switch	\$14.733 - \$24.995
<b>Borde de Agregación</b>	
Cisco 7600 Series Routers	\$9.800 - \$28.000
<b>Borde de Servicio Inteligente</b>	
Cisco 10000 Series Routers	\$30.300 - \$54.500

Cisco 7200 Series Routers	\$8.100 - \$13.560
Cisco 7300 Series Routers	\$11.050
Cisco 12000 Series Routers	\$15.000 - \$95.000
SCE 1010 (DPI)	\$26.000
SCE 2020 (DPI)	\$43.300
<b>Núcleo IP/MPLS</b>	
Cisco CRS-1 Carrier Routing System (CRS-1)	\$450.000

**Tabla 9** Aproximación Económica Cisco

\*precio en dólares

Productos Alcatel-Lucent	Precio*
<b>Núcleo IP/MPLS</b>	
7750 SR (Service Router)	\$28.000- \$87.500
<b>Servicio de Borde y Agregación</b>	
7450 ESS (Service Switch/Router)	\$26.000

**Tabla 10** Aproximación Económica Alcatel-Lucent

\*precio en dólares

Productos Juniper	Precio*
<b>Distribución</b>	
MX960	\$68.000 - \$110.000
MX480	\$65.000 - \$107.000
MX240	\$55.000 - \$ 97.000
<b>Borde de Servicio</b>	
ERX-1440	\$15.000 - \$25.000
ERX-1410	\$15.000 - \$25.000
MX960	\$68.000 - \$110.000
MX480	\$65.000 - \$107.000
MX240	\$55.000 - \$ 97.000
M7i	\$4.000 - \$15.000
M10i	\$6.000 - \$15.000
M40e	\$65.000
M320	\$90.000 - \$145.000
<b>Núcleo</b>	
T320	\$100.000
T640	\$75.000
TX Matrix	\$11.000 - \$25.000

MX960	\$68.000 - \$110.000
MX480	\$65.000 - \$107.000
MX240	\$55.000 - \$ 97.000

**Tabla 11** Aproximación Económica Juniper

\*precio en dólares

De la información presentada en este capítulo, respecto a Carrier Ethernet y otras tecnologías se puede deducir lo siguiente:

En la mayor parte de este documento se señala el aumento en la demanda de mayores anchos de banda y mejores servicios, así como la muestra clara de las ventajas de Carrier Ethernet sobre otras tecnologías y soluciones utilizadas hasta la actualidad.[6]

Una de los aspectos importante que se deben tener en cuenta por parte del operador que examine la opción de migración son los Gastos de capital (CapEx) que son más bajos que TDM, ATM, SDH, por que la tecnología Ethernet es ampliamente desplegada y fundamentada sobre una especificación menos compleja.

Los proveedores que he opten por la tecnología Carrier Ethernet proporcionarán ideales enlaces de datos y plataformas de servicio a bajos costos. Y para los nuevos servicios multimedia, vídeo sobre demanda y servicios de videoconferencia, la QoS, los SLAs de extremo a extremo, y sistemas de gestión serán garantizados por Carrier Ethernet que consigue los mismos y mejores niveles que las tecnologías como Frame Relay, ATM y redes SDH pero con costos muy inferiores. [57]

Estudios realizados por el MEF y entidades consultoras encontraron que las soluciones de servicios basados en Ethernet proporcionan gastos operacionales (OpEx) del 49% y ahorros de gasto de capital (CapEx) del 39% comparando con soluciones SDH. [53]

Las redes basadas en SDH, se han caracterizado para un crecimiento lento, tráfico de voz por circuitos conmutados, anchos de banda pequeños, carecen de escalabilidad rápida y funcionalidad dinámica necesarias para mantenerse vigentes en el mercado.

Los sistemas SDH desplegados por las aéreas metropolitanas y el núcleo de las redes están constituidas por multiplexores ADMs (*add/drop multiplexers*) y DACS (*Digital access cross-connect systems*); la naturaleza de optimización de voz de estas redes requiere que para el tráfico de datos se incorporen conmutadores o enrutadores

adicionales, lo que da como resultado una red compleja multi jerárquica e ineficiente para el transporte de datos que se establecen según las tendencias. [40]

Así que, combinando la simplicidad y la escalabilidad de la tecnología Carrier Ethernet se vencen las limitaciones de redes, Frame Relay, ATM, SDH, ayudando a reducir gastos en soporte técnico así como en CapEx y OpEx, también simplificando el aislamiento de fallas y aumentando características de OAM, haciendo más eficiente el transporte de datos, brindando para las empresas una mejor rentabilidad y nuevas oportunidades para la prestación de nuevos y mejores servicios.

### **3. CRITERIOS DE GESTIÓN DE SERVICIOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE CARRIER ETHERNET EN COLOMBIA.**

Este capítulo describe los conceptos fundamentales para proponer criterios de Gestión de Servicios, que faciliten a un operador de Telecomunicaciones en Colombia, el proceso de migración hacia una red Carrier Ethernet, tema principal de este proyecto. La primera sección representa la base sobre la cual los operadores pueden guiarse para visualizar lo que podría ser su futura red de una manera general, posteriormente se presentan los fundamentos teóricos que dan soporte a una serie de pautas a seguir por un operador en Colombia para su exitosa migración.

Todas las referencias que se tomaron hasta el momento de la elaboración de este proyecto han estado vigentes, así que se sugiere que cuando se efectúe la lectura a este documento se realicen revisiones de las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias mencionadas aquí.

#### **3.1. PROPUESTA CARRIER ETHERNET PARA UN OPERADOR EN COLOMBIA**

En el capítulo 2 se realizó un modelo de red que cuenta con características generales comunes entre algunos de los operadores nacionales, y se presentó la red Carrier Ethernet del MEF, información que fue considerada en esta sección para elaborar una propuesta de red Carrier Ethernet que se adapte a los requerimientos de los proveedores de servicios y a los usuarios, en el entorno Colombiano.

##### **3.1.1. Importancia de la Migración**

Según los proveedores de equipos e infraestructura Carrier Ethernet, que promueven el despliegue de esta tecnología, las redes para la prestación de servicios ya existentes, como por ejemplo las líneas privadas (TDM) o las redes privadas virtuales Frame Relay y ATM, no llenan las expectativas de las empresas y usuarios residenciales en cuanto a la entrega de nuevos servicios ubicuos y muchos de ellos de tiempo real, agregándole a esto sus elevados costos. Además el avance de estas

redes conlleva a la creación de redes independientes en capas que por estar separadas se tienen que transportar, gestionar y proveer de la misma manera, teniendo por consecuencia mayores costos además de varios problemas en la red como retardos y congestión [58].

Dentro de esta propuesta, es muy importante destacar las características que están permitiendo que Carrier Ethernet se posicione como una tecnología líder entre las redes existentes, al suplir la necesidad de los operadores de prestar servicios atractivos para el usuario con grandes anchos de banda a bajos costos y con poca complejidad de utilización, además de facilitarles la inclusión tanto de nuevos servicios como de usuarios, garantizando QoS, OAM y mejorando los SLAs. Se requiere que dichos servicios se presten de una manera confiable y segura donde las fallas como los retardos, inestabilidad y pérdidas de paquetes, sean una cuestión del pasado.

Son muchos los obstáculos que Ethernet ha tenido que superar para poder llegar al nivel de Carrier. En primer lugar, brindar QoS de un extremo al otro, garantizando menor latencia, mayor ingeniería de tráfico y estabilidad para el tráfico sensible al retardo, apoyándose en MPLS para cumplir con algunas de estas características. El segundo reto que ha superado es la provisión de OAM en Ethernet, que para una red clase Carrier es de vital importancia debido a la cantidad de usuarios que soporta y a la extensa área de cobertura, (esta característica se podrá ver de manera completa en la recomendación ITU-T Y.1731). En tercer lugar la protección sub-50ms que en Carrier Ethernet se ha logrado gracias a las bondades de MPLS, este tipo de protección funciona en cualquier topología sin necesidad de atravesar todo un árbol de protocolos lo que generaría mucho más que los 50ms. Finalmente, la arquitectura MPLS con Carrier Ethernet ha permitido lograr la escalabilidad en la red y los servicios, habiendo superado las limitaciones de este aspecto que hacían parte del tradicional Ethernet [59].

Carrier Ethernet está cumpliendo con la mayoría de las exigencias de los usuarios y proveedores, ofreciendo mayores velocidades, flexibilidad y gran soporte de infraestructura en cobre, fibra, tecnologías inalámbricas y combinación de éstas. Además de evolucionar a una red basada en paquetes.

Con esta migración, los operadores pueden hacer frente a los desafíos en torno a la administración de clientes, fijación de precios y provisión de servicios de valor

agregado de una manera ágil, para alcanzar el éxito en el mundo de la convergencia, si perder de vista la creciente competencia que representan las otras empresas del sector [60].

### **3.1.2. Modelo Propuesto para Colombia - Modelo de Red Carrier Ethernet**

Una vez realizado el estudio de la tecnología Carrier Ethernet y después de haber elaborado la caracterización de las redes existentes en el capítulo uno y dos, se plantea un modelo de red Carrier Ethernet a implementarse por un operador de telecomunicaciones en Colombia, mostrando el resultado que se lograría si el proceso de migración se lleva a cabo en forma completamente satisfactoria, teniendo en cuenta que esta propuesta deberá dar soporte a la misma cantidad de servicios y aplicaciones que las redes tradicionales.

Esta adaptación se elabora haciendo un análisis de la arquitectura de red desplegada por la mayoría de los operadores de telecomunicaciones en Colombia, siguiendo pautas presentadas por los fabricantes de equipos Carrier Ethernet, tomando algunos de los pasos claves propuestos en la metodología Top Down de Cisco y tomando como modelo global la propuesta hecha por el MEF.

El modelo de red Carrier Ethernet propuesto presentado en la Figura 13, conserva un núcleo IP/MPLS con sus cuatro nodos principales, sin embargo a diferencia del Modelo de Red Tradicional en Colombia, ilustrado en el capítulo dos, se incluyen interfaces de frontera que permiten la interconexión entre el núcleo IP/MPLS y la red de distribución Ethernet.

Esta red debe estar en capacidad de recibir tráfico proveniente de otros operadores y transportarlo hacia su destino de manera transparente y confiable, con excelentes capacidades de respaldo y conmutación ante fallas.

Las capacidades de los equipos según lo propuesto por los fabricantes son: alta confiabilidad, redundancia, calidad de servicio QoS y capacidad para crecer de una manera ágil y modular.

El Modelo de Red Carrier Ethernet conserva la estructura establecida en el Modelo Aproximado de Red Tradicional en Colombia y adicionalmente cuenta con un módulo de gestión.

## **Topología**

Para esta propuesta de red, se ha elegido un tipo de topología jerárquica que gracias a sus virtudes permite sistemas más organizados que le dan características de escalabilidad y adaptabilidad, ideal para redes de gran tamaño como es el caso de esta red nacional, además se está aprovechando el despliegue de la infraestructura existente evitando gastos adicionales al operador.

- **Núcleo**

En el modelo se distribuyen cuatro enrutadores Carrier Ethernet de gran capacidad conectados en anillo entre si sobre fibra óptica, diseñados para dar disponibilidad y desempeño en el backbone de la red, que proporcionarán transporte óptimo entre los diferentes sitios y darán acceso de alta velocidad a los clientes, conectados entre si sobre fibra óptica y permitiendo una Red Multiservicios en el territorio Colombiano. Además, en el núcleo se ubican dos E-NNI (External Network Network Interface – Interfaz de red a red externa) para la conexión de la red a Internet y a la PSTN nacional, incluyendo conexiones a otras redes MEN (*Metro Ethernet Network*, Red Metro Ethernet).

- **Distribución**

Se encuentran interconectados dispositivos como enrutadores y conmutadores certificados por el MEF que darán cubrimiento a muchos sectores de la geografía nacional conectando los servicios de la red a la capa de acceso e implementando políticas de gestión y seguridad. Provider Ethernet se utiliza como tecnología de red en la distribución, manteniendo igual cantidad de nodos secundarios que la red tradicional propuesta, con conexiones de fibra óptica y radio, según los requerimientos. Se adicionará un enrutador de borde que de soporte a los servicios Frame Relay y ATM de la red anterior (red tradicional).

- **Acceso**

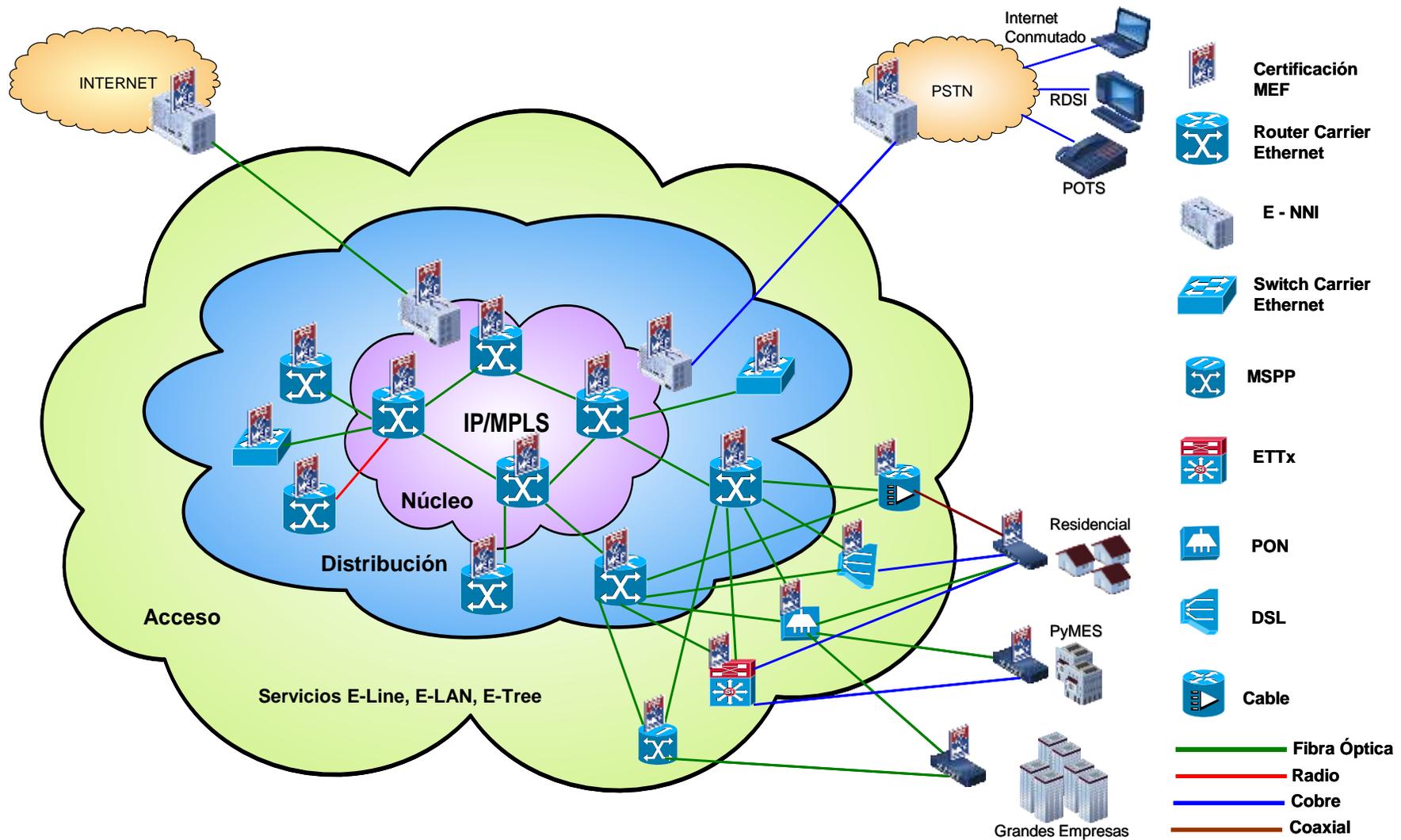
En este sector de la red se tienen diferentes dispositivos de bajo nivel que ayudarán a prestar los servicios Carrier Ethernet de calidad a los diferentes usuarios. Metro Ethernet, considerado como la mejor opción para este modelo, es la tecnología empleada en la red de acceso.

Los servicios Carrier Ethernet llegan a los usuarios finales por medio de una red de acceso compuesta por conexiones que incluyen fibra óptica, cable de cobre, y cable coaxial, y soportados por dispositivos como MSPPs (*Multi-Service Provisioning Platforms* - Plataforma de Aprovechamiento Multiservicio), DSLAMs, PON (*Passive Optical Networks* - Red Óptica Pasiva) y routers Ethernet de bajo nivel.

- **Gestión**

Como una tarea adicional de los operadores y hacia donde está enfocado esta parte del proyecto, se requerirá la implementación de un sistema de gestión centralizado que permita reducir riesgos que principalmente tienen que ver con fallas en la prestación de servicios y consecuentemente la reducción del costos de operación, haciendo fácil el monitoreo y control de los eventos ocurridos en la red.

El modelo propuesto de red Carrier Ethernet se presenta más claramente en la figura 13.



**Figura 13** Aproximación de Carrier Ethernet en Colombia

### 3.2. GESTIÓN DE REDES

*“La gestión de redes incluye el despliegue, integración y coordinación de todo el hardware, software y los elementos humanos para probar, monitorear, consultar, configurar, analizar, evaluar y controlar los recursos de la red para conseguir los requerimientos de tiempo real, desempeño operacional y calidad de servicio” [61]*

Uno de los aspectos más importantes en el desempeño y despliegue de servicios en una red de telecomunicaciones es una adecuada gestión en la red, ya que con esto se pueden identificar puntos críticos de calidad en el servicio, captar la rentabilidad esperada e implementar nuevos y mejores servicios. Todo esto en conjunto brinda la satisfacción del cliente así como su seguridad y comodidad y a las compañías les permite alcanzar los objetivos del negocio logrando posicionarse en buen nivel de competencia, proporcionando servicios de alta calidad y rendimiento óptimo en sus redes.

Para cumplir con estos objetivos ha sido necesario que la gestión de redes haga parte del trabajo activo de los servicios de red, contando con las nuevas tecnologías relacionadas con el Internet las que ofrecen al usuario información y algo de control sobre los servicios que ellos han contratado.

Para este propósito el sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT creó en el año de 1997 las *“Funciones de gestión de la red de gestión de las telecomunicaciones”* en el documento M.3400 donde se especifican tareas de gestión de redes FCAPS<sup>56</sup> que se han tomado en la recomendación MEF 15 donde se enumeran y se hace un detalle de los requerimientos que los elementos de red de una red Carrier Ethernet (MENE: *Metro Ethernet Network Element*, Elementos de Red Carrier Ethernet) debería tener para un correcto proceso de gestión [62].

La siguiente subsección presenta dos de los modelos de gestión más utilizados en redes de telecomunicaciones.

---

<sup>56</sup> **FCAPS:** *Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security*, Falla, Configuración, Contabilidad, Desempeño, Seguridad

### 3.2.1. Modelos de Gestión

En los sistemas de gestión se ha visto una gran evolución debido a la unificación de las redes de telecomunicaciones de hoy en día, lo que quiere decir que los servicios actuales coexistan con los servicios futuros, por lo que se requiere que aspectos como la gestión de red, los protocolos de red y/o los elementos que garanticen la calidad de servicio sean estandarizados.

En el caso particular de la gestión de redes existen dos modelos para este propósito, TMN (Telecommunication Management Network, Red de gestión de telecomunicaciones) y SNMP (Simple Network Management Protocol, Protocolo simple de gestión de red):

- **TMN**

TMN surge en los años 80 por la necesidad de apoyar la interconexión de diferentes sistemas de gestión en las redes de telecomunicaciones, debido a que existían numerosos tipos de sistemas de operaciones como cantidad de equipos [63].

TMN tomó aspectos claves del modelo OSI como la técnica de orientación a objetos y el sistema gestor agente, donde el método de gestión no envía órdenes directamente a los recursos, si no a través de los agentes localizados más cerca de los mismos.

TMN ha sido adoptado por operadores de telecomunicación para poder distribuir, ordenar y darle mayor eficacia al proceso de la prestación de servicios que es la base del negocio de las telecomunicaciones [64].

El modelo TMN se compone de 5 capas, descritas en la recomendación M.3010.de la ITU [63]:

- Capa de gestión empresarial.
- Capa de gestión de servicios.
- Capa de gestión de red.
- Capa de gestión de elementos.
- Capa de elementos de red.

La funcionalidad que el MEF le ha dado a las FCAPS, que componen cada una de las capas TMN anteriormente mencionadas son las siguientes:

- Gestión de desempeño: EL MEF en este aspecto hace énfasis en:
  - Recolección de datos.
  - Generación de reportes.
  - Análisis de datos.
  - Contadores de tráfico.
  - Etc.
  
- Gestión de fallas: algunas de las funcionalidades son:
  - El manejo de alarmas.
  - Clasificación de las alarmas.
  - La detección de problemas.
  - La corrección de dichos problemas.
  - Pruebas internas y externas.
  - Recuperación de la red.
  
- Gestión de Configuración: se encarga de la inicialización, el mantenimiento y el cierre de los recursos del sistema haciendo:
  - Notificaciones de actualización.
  - Configuración de recuperación del sistema.
  - Aprovisionamiento e instalación de la red.
  - Activaciones de servicios.
  - Notificaciones de cambios de estado operacional.
  - Activación y desactivación de los elementos de red.
  - Aprovisionamiento de la red.
  - Autodescubrimiento.
  - Respaldos.
  - Manejo de base de datos.
  
- Gestión de Seguridad: con el uso de políticas, ayuda a la prevención y descubrimiento de mal uso de los recursos de red, así mismo para advertir de falsos accesos y robos de servicios, controlando las funciones de los elementos de red.

Todas estas funciones según la recomendación de la UIT M.3400 se representan en una estructura de niveles que cubrirán los aspectos de gestión requeridos por el proveedor de servicio u operador de red.

- **SMNP**

SNMP es un sistema Gestor - Agente donde se gestionan elementos de red en los que ha sido instalado un software al que se le asocia un modelo de información MIB. Este modelo consiste en un conjunto de datos que representan componentes y elementos que pueden ser gestionados. Esta base de información ayuda a realizar procedimientos de gestión tales como configuración, detección y aislamiento de fallas, mantenimiento preventivo del dispositivo, etc. que serán guiados por una serie de peticiones llamadas primitivas que realizará el agente al recurso gestionado. Las primitivas son [65]:

GET: se utiliza para obtener el valor de las variables de la MIB.

SET: para fijar el valor de las mismas variables.

TRAP: utilizado para que el agente anuncie sucesos relevantes.

El proceso de envío y recepción de los mensajes entre el gestor y el agente llamado sondeo, en redes de gran tamaño puede generar congestión y disminuir el rendimiento de la red.

Con SNMP cualquier equipo que haga parte de la red ejecuta unos procesos, con los que se puede efectuar una gestión completa de la red. Estos procedimientos generan variables que a su vez son actualizadas y almacenadas con sus valores y que en un tiempo futuro pueden ser consultadas tanto local como remotamente.

### **3.2.2. Gestión de Servicios en Carrier Ethernet**

Las tendencias de las actuales redes de telecomunicaciones indican que los nuevos dispositivos, servicios y necesidades de los usuarios ha transformado la manera en la que se prestaban los servicios y se gestionaba la red, haciendo que las compañías de hoy en día enfoquen sus sistemas de gestión no solamente en la red física sino que hagan parte activa de este sistema a los servicios que prestan.

Para Ethernet ha sido fácil hasta el momento el aislamiento de fallas y el aprovisionamiento de ancho de banda en las LANs, dado que la infraestructura y los servicios están dentro de una misma jerarquía, debido a la poca extensión de estas redes, haciendo que los sistemas de gestión sean simples y de más sencilla configuración que las redes de área extensa [66].

Ethernet no era adecuado para cumplir con los requerimientos necesarios para la entrega de servicios clase carrier, además, no poseía ninguna capacidad de gestión que permitiera la detección o reporte de fallas en la capa 2. Sin embargo, gracias a la normatividad que se describe más adelante en este capítulo Ethernet logra características que lo sitúan como una buena opción en el manejo de los servicios en redes MAN y WAN [66].

Las especificaciones DOCSIS<sup>57</sup> detallan el uso de instrumentos de Gestión de red estandarizados, incluyendo en ellos al protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol) que define un conjunto extenso de estadística y parámetros controlables que están disponibles para el operador de red.

La Gestión de Servicios para Carrier Ethernet, gestiona un gran número de clientes expandidos sobre un área geográfica amplia, esto requiere que Proveedores de Servicio tengan una capacidad de instalación, solución y mejora del costo de los servicios Ethernet con mayor rapidez y eficacia.

Carrier Ethernet refuerza las ventajas que Ethernet posee en las redes de área local para los usuarios finales, permitiendo a Proveedores de Servicio ofrecer a un conjunto de atributos clase carrier yendo de la mano con otros servicios como ATM, Frame relay, y Línea Privada como fue visto en el capítulo 2.

Para que la gestión de los servicios Ethernet tenga solución a aquellos inconvenientes descritos, el MEF introduce las siguientes características [71]:

---

<sup>57</sup> **DOCSIS:** *Data Over Cable Service Interface Specification*: Especificación de Interfaz sobre Servicios de Datos por Cable.

- **Gestión Unificada**

Hasta hace algún tiempo la gestión de red se lograba de una manera ineficiente debido a la falta de compatibilidad entre equipos, protocolos de diferentes dominios e información excesiva, lo que conduce a costos altos en operaciones servicios deficientes a los usuarios finales.

Como ya se mencionó al inicio de esta sección, las redes y servicios han logrado que muchas formas de brindar, percibir y gestionar los servicios vayan en constante evolución, debido al crecimiento que se ha generado en todo el sector de las telecomunicaciones [72].

Hablando en términos de gestión de red y más específicamente de gestión de servicios como lo ha clasificado el MEF, estos cambios llevan a que se busque una administración de red y servicios de manera unificada con el propósito de satisfacer las necesidades de las nuevas y extensas redes. Por una parte, se pueden lograr ahorros sustanciales en capital para la empresa, dado que los desplazamientos al sitio de las fallas implican gastos, que con un sistema de gestión unificado pueden en muchos casos reducirse a ceros. Además, se puede realizar una gestión preventiva de los posibles fallos tanto en dispositivos como en la infraestructura en general evitando la caída de los servicios [71][73].

Además de estos ahorros en capital, las empresas con sistemas de gestión unificados se ven favorecidas, dado que existe una liberación de monopolios en cuanto a equipos permitiendo realizar un diseño de red que cumpla con todas y cada una de las características que se requieran en ella, sin restricciones en cuanto a fabricantes, protocolos y plataformas de gestión [74].

Se puede considerar que la gestión de redes y servicios ideal es la que permite interoperabilidad entre plataformas y gestión homogénea a nivel mundial. Es por esto que el MEF, en trabajo conjunto con muchos de los fabricantes de equipos, establece un perfil elaborado con las recomendaciones y certificaciones MEF, que ofrecen un entorno de gestión integrada centralizada la que ya no posea estas deficiencias de los sistemas de gestión tradicionales [72] [75].

- **OAM clase Carrier**

Carrier Ethernet integrará las características de Operación, Administración, y Mantenimiento (OAM) con los modelos existentes operacionales de Proveedores de Servicio [71].

Uno de los aspectos más representativos que ha llevado a Ethernet a la MAN es el esfuerzo por poseer características de gestión como OAM, para esto se han reunido recomendaciones y especificaciones necesarias para la operación y el mantenimiento de los aspectos de servicios para que Carrier Ethernet cumpla con estas exigencias. En la recomendación UIT-T Y.1731 se describen algunos mecanismos para la conectividad Ethernet punto a punto y Ethernet multipunto, lo que le ayudará al proveedor de servicios a construir un modelo de gestión que se adapte con sus necesidades y servicios prestados [76] [77].

Con redes basadas en Carrier Ethernet que alcanzarán decenas de kilómetros y miles de suscriptores, la necesidad de rasgos de OAM significativos es clara. Carrier Ethernet incorpora creación de servicios de vanguardia y técnicas de Gestión que superan tanto a Ethernet de empresa como a la infraestructura de telecomunicaciones tradicional [78].

- **Aprovisionamiento Rápido**

La capacidad de aprovisionar nuevos servicios Ethernet rápidamente es una salida clave de los largos y prolongados intervalos de puesta en servicio para redes tradicionales. Esta capacidad se traduce en la facultad de abastecer aumentos granulares del ancho de banda a servicios existentes, la adición de nuevos servicios, cada uno con un SLA específico, y la capacidad de proporcionar servicios tipo Carrier con una estructura de soporte Ethernet solucionando los desafíos y requerimientos de proveedores y clientes [78] [79].

### **3.2.3. Normatividad para la Gestión de Servicios.**

En seguida se describirá el trabajo realizado por algunas entidades de estandarización y regulación con el objetivo de realzar las capacidades de Ethernet y que sus servicios puedan llegar a un nivel de Carrier.

- **Especificación Técnica MEF 7 - Modelo de Información EMS-NMS<sup>58</sup> [71]**

El MEF 7 éste se concentra en la capa de servicio Ethernet, proporcionando conceptos para la gestión y monitoreo de flujos a través de redes no orientadas a conexión.

Esta especificación detalla un Sistema de Gestión de Elementos para el modelo informativo de sistema de gestión de red. Este modelo define los conceptos y mecanismos requeridos para que un proveedor gestione los servicios Ethernet en su red. Esto es necesario para comenzar el proceso de definir un medio de proporcionar OAM en la capa de servicios de Ethernet, permitiendo la configuración, gestión de fallas, descubrimiento de nodos, pruebas de conectividad, monitoreo de CoS, y detección de deterioro del servicio, además realizando una definición consistente de la información de gestión requerida para administrar a Carrier Ethernet, siendo de gran utilidad para aquellos proveedores de servicios y fabricantes para poder brindar un enfoque inicial para las métricas de los SLAs, como conectividad, latencia, pérdidas de paquetes e inestabilidad.

- **Especificación Técnica MEF 15 - Requerimientos para la gestión de Elementos de Red Metro Ethernet - Fase 1 [72]**

Del mismo modo que el MEF 7 esta especificación está dirigida a fabricantes de equipos y proveedores de servicios que implementen servicios Carrier Ethernet, concentrándose en la funcionalidad de gestión de red de los elementos de una red Metro Ethernet que estén soportando servicios Ethernet, brindando una serie de elementos esenciales para que las redes Ethernet puedan prestar sus servicios de una manera confiable y segura, para lo que es necesario ingresar un elemento llamado por el MEF como ME – NE (*Metro Ethernet Network Element* – Elemento de Red Metro Ethernet) que es un elemento de apoyo a la red del borde del proveedor de servicios Ethernet.

En esta especificación se detallan los requerimientos para la gestión de los ME – NE:

- **Gestión de Configuración:** que establece un conjunto de funciones como inicialización, mantenimiento y cierre de recursos del sistema, haciendo

---

<sup>58</sup> **EMS-NMS:** *Element Management System–Network Management System:* Sistema de Gestión de Elementos - Sistema de Gestión de Red.

notificaciones de actualización, recuperaciones y backup de datos, activaciones de servicios, etc.

- **Gestión de Fallas:** este tipo de gestión se enfoca en el descubrimiento y recuperación de fallas examinando respuestas de los elementos gestionados, incluyendo pruebas de desempeño, conectividad, integridad, tiempo de respuesta, diagnóstico, etc.
- **Gestión de Desempeño:** se encarga del monitoreo del desempeño en general, estableciendo contadores y realizando reportes estadísticos de tráfico, así mismo guardando historiales del mismo y generando reportes periódicos que ayuden al administrador del sistema a prevenir averías y posibles congestiones.
- **Gestión de Seguridad:** permite establecer en los elementos de red interfaces de autenticación y en las plataformas sesiones de control para prevenir suplantaciones y pérdidas de información.

- **Especificación Técnica MEF 16 - Interfaz Local de Gestión Ethernet E-LMI<sup>59</sup> [79]**

En esta especificación se describe con bastante detalle el protocolo E-LMI que es usado para que los Customer Edge (CE) soliciten y reciban información del estado de los atributos de servicios de la MEN, con el propósito de conseguir una autoconfiguración para acceder a los servicios Metro Ethernet.

Aunque E-LMI se ha basado en gran medida en Frame Relay LMI, éste no gestiona el enlace entre el CE y las MEN. E-LMI asume que esto es llevado a cabo por otros medios, como la función de gestión de enlace en la recomendación IEEE 802.3.

El protocolo E-LMI también lleva la información necesaria para que el CE pueda realizar una configuración automática, con la que también puede recibir mensajes del estado tanto de los EVC's como de las UNI asociadas.

- **IEEE 802.3ah**

La recomendación 802.3ah o Ethernet OAM es conocida como "Enlace OAM" dado que éste corre sobre un enlace punto a punto 802.3. En la siguiente lista se muestra algunas de las funcionalidades que permite OAM [80] [81]:

---

<sup>59</sup> **E-LMI:** *Ethernet local management interface:* Interfaz Local de Gestión Ethernet.

- Gestión.
- Monitoreo del desempeño de enlaces.
- Mantenimiento de las redes basadas en Ethernet.
- Indicación de fallas básicas.
- Ping de la capa MAC (control de acceso al medio).
- Control remoto de loopback<sup>60</sup>.
- Colección de estadísticas.
- Descubrimiento OAM.

Ethernet OAM utiliza una simple trama PDU (Protocol Data Unit, protocolo de unidad de datos) que corre directamente sobre una cabecera estándar MAC Ethernet. Proporciona una capacidad útil de gestión incluyendo aislamiento de fallas, descubrimiento de fallas y pruebas de desempeño de enlace.

Ethernet OAM se ha considerado lo más útil en “el último kilómetro” para monitorear el acceso de servicios Ethernet, además de garantizar la interoperabilidad ya que es un protocolo multi-proveedor y como ya se ha mencionado en este documento, se caracteriza por su sencilla implementación, configuración y provisión de servicios, pero también puede ser usado por cualquier enlace Ethernet en la red [82].

- **IEEE 802.1ag**

El estándar 802.1ag define protocolos, procedimientos y objetos de gestión para soportar la Gestión de Fallas de Conectividad de Ethernet (CFM: Connectivity Fault Management) para supervisar uno o varios servicios que incluyen VLANs, redes VPLS, etc [83] [84].

802.1ag Ethernet CFM, corre sobre un circuito virtual punto a punto Ethernet que incluye protocolos que proporcionan la capacidad de descubrir, verificar, y aislar faltas de conectividad. También corre directamente sobre tramas Ethernet que se transportan con el tráfico de cliente. Los dispositivos que no soportan CFM entregarán las tramas y no participarán del envío de los mensajes.

---

<sup>60</sup> Loopback: interfaz de red virtual que siempre representa al propio dispositivo independientemente de la dirección IP que se le haya asignado. El valor en IPv4 es 127.0.0.1

Los tres protocolos Ethernet CFM son continuity check<sup>61</sup>, loopback, y linktrace<sup>62</sup>. El control de continuidad proporciona un tipo de mensaje Keep-alive<sup>63</sup> sobre un servicio Ethernet y es usado para detectar y notificar que una falla ha ocurrido. El protocolo Loopback es análogo a un ping IP y junto con el LBR (Loopback Reply: respuesta a loopback) pueden verificar cualquier falla. El protocolo linktrace parece a un IP traceroute<sup>64</sup> y con su mensaje de respuesta LTR (linktrace reply: respuesta a linktrace) son capaces de aislar fallas [84].

Ethernet CFM puede definir la jerarquía dentro de un dominio. Por ejemplo, un cliente sólo puede tener la visibilidad de un enlace punto a punto, pero un proveedor podrá observar todos los saltos.

Las características vistas de los anteriores mensajes generan un componente esencial para que la entrega de servicios Ethernet se pueda hacer en un área extensa.

- **ITU-T Y.1731**

Según la ITU esta Recomendación ha sido creada particularmente para soportar enlaces punto a punto y conectividad multipunto en la capa ETH, estableciendo mecanismos de OAM para permitir capacidades de operación y mantenimiento de servicios de esta capa ETH. En la siguiente lista se pueden observar algunos de las funciones OAM para gestión de averías que permiten detectar, verificar, localizar y notificar distintas situaciones de falla [77] [80]:

- Verificación de Continuidad Ethernet
- Bucle Ethernet
- Rastreo de enlace Ethernet
- Señal de indicación de alarma Ethernet
- Indicación de defecto distante Ethernet
- Señal Ethernet bloqueado
- Señal de prueba Ethernet

---

<sup>61</sup> **Continuity Check** : protocolo usado para detección de fallas entre dos puntos de gestión en la red.

<sup>62</sup> **Linktrace**: Protocolo usado para descubrir rutas entre dos puntos de gestión en la red.

<sup>63</sup> **Keep-alive**: Mensaje enviado por un dispositivo a otro para comprobar que el enlace entre los dos funciona.

<sup>64</sup> **Traceroute**: Herramienta de diagnóstico de redes que permite seguir la pista de los paquetes que van desde un punto de red a otro.

- Conmutación de protección automática Ethernet

Es de aclarar que en cuestión de capacidades de gestión de desempeño que incluyen medidas de pérdida de tramas, retardo de tramas y medidas de rendimiento la recomendación Y.1731 no está ampliamente implementada.

### **3.3. CRITERIOS PARA EL PROCESO DE MIGRACIÓN**

En un proceso de migración es importante tener claros algunos aspectos que permitan al operador tomar decisiones acertadas sobre su nueva red. Los criterios propuestos a continuación, tienen como objetivo ayudar en la realización ágil y eficiente de dicho proceso. Estos criterios se elaboraron considerando de manera especial los aspectos relacionados con la gestión de servicios presentados con anterioridad en este capítulo.

En la primera parte de estos criterios, se propone al operador realizar una identificación de la totalidad de su red que le permita reconocer sus bondades y falencias, ya que las condiciones actuales son el punto de referencia para establecer la necesidad de migración o si por el contrario la red es aún competitiva y en el caso en que se opte por la migración, determinar si la empresa está en la capacidad de llevar a cabo este proceso.

Las necesidades de los clientes y la empresa, deben ser tenidas en cuenta para no llegar a implementaciones que pueden en el futuro ser subutilizadas y evitar que el operador incurra en gastos innecesarios. Por lo que es otro factor considerado dentro de los criterios y es presentado con mayor detalle posteriormente.

Habiendo realizado el estudio de la red actual, la red Carrier Ethernet y las perspectivas del usuario, se hizo una comparación para establecer que tan beneficiosa sería la migración. Seguido de un estudio económico minucioso de la compañía que es de vital importancia en el momento de tomar una decisión de migración.

Dadas por cumplidas las anteriores pautas, se dará comienzo a los criterios que involucran directamente al atributo de Carrier Ethernet Gestión de Servicio, en el que se enfoca este proyecto.

La utilización de estos criterios no pretende modificar las actuales propuestas y metodologías ofertadas por los fabricantes y entidades reguladoras, lo que se propone aquí, es una guía que puede ser tomada total o parcialmente por los operadores para realizar su diseño, suministro, instalación, y puesta en funcionamiento de equipos y elementos necesarios (hardware y software) para la migración hacia la red Carrier Ethernet en el entorno Colombiano haciendo énfasis en la Gestión de Servicios.

Todo lo consignado en este proyecto contiene la información de soporte y conocimiento relevante a partir del cual se generan los siguientes criterios:

### **3.3.1 Criterios Generales**

#### **Criterio 1 (Caracterización del Estado actual de la red)**

Mediante la caracterización de la red actual del operador, se podrán identificar sus fortalezas y debilidades, para posteriormente realizar un análisis con esta información para establecer si se requiere o no empezar el proceso de migración [33][60].

Dentro de la información recopilada para lograr la caracterización de la red actual caracterización se incluyen los siguientes parámetros:

- Topologías utilizadas a lo largo de la red.
- Tecnologías
- Protocolos
- Equipos
- Modelos de Gestión
- Servicios
- Cobertura
- Personal
- Rentabilidad

Con ayuda de herramientas software el operador podrá además verificar algunos aspectos de desempeño de la red como:

- Ancho de Banda
- Disponibilidad
- Variación de Retardo.

## **Criterio 2 (Consideraciones sobre la red Carrier Ethernet) [85]**

Después de realizar la caracterización de la actual red del operador y en el caso en que se establezca la necesidad de migración este criterio será el siguiente paso que se llevará a cabo.

Con este criterio se sugiere elaborar un listado con los requerimientos de los usuarios y del operador e identificar de qué manera la red Carrier Ethernet satisface estas necesidades.

- **Consideraciones del Usuario**

A través de un estudio de mercado establecer cuales son las expectativas y requerimientos de los usuarios. Esta investigación será llevada a cabo por el departamento de marketing de la empresa quienes establecerán estrategias para dicho fin. Dentro de los elementos a considerar para este estudio están [66] [80]:

- Expectativas económicas de los servicios futuros.
  - Correcta facturación.
  - Facturación por paquetes.
  - Variedad de opciones.
  - Obsequios
  - Promociones.
- Necesidades en cuanto a servicios.
  - Calidad
    - Atención al usuario.
    - Aprovisionamiento del servicio.
    - Tiempo de respuesta.
    - Agilidad en los procesos.
  - Cantidad
    - Número de servicios.
    - Velocidades.
    - Opciones de paquetes.
    - Flexibilidad en los servicios instalados.
  - Precios.
    - De acuerdo a las necesidades.

- Estratos.
- Mejores con respecto a otras compañías.
- Cobertura.
  - Que se preste los servicios en muchos lugares con los mismos beneficios.

- **Consideraciones del Proveedor**

De igual manera que en el criterio 1, el operador deberá considerar sobre la red Carrier Ethernet elementos que le permitan conocer mejor esta opción tecnológica.

Para lo anterior es de gran utilidad la información contenida en este documento en los capítulos 2 y 3, para tener claridad sobre aspectos como:

- Topologías
- Tecnologías
- Protocolos
- Equipos
- Modelos de Gestión
- Servicios
- Cobertura
- Personal
- Rentabilidad

El MEF define los siguientes parámetros a nivel de desempeño de la red Carrier Ethernet, que deberán ser considerados por el operador [33]:

### **Ancho de Banda**

En este aspecto el MEF establece los siguientes parámetros:

- CIR (Committed Information Rate - Tasa de Información Comprometida), expresada en bits por segundo.  $CIR \geq 0$ .

- CBS (Committed Burst Size – Ráfaga Comprometida), expresada en bytes. Cuando CIR > 0, CBS ≥ al tamaño de la Unidad Máxima de Transmisión más grande entre todos los EVCs a los que se les aplica este parámetro.
- EIR (Excess Information Rate – Velocidad Máxima Autorizada), expresada en bits por segundo. EIR ≥ 0.
- EBS (Excess Burst Size – Tamaño de la Ráfaga en Exceso), expresada en bytes. Cuando EIR > 0, EBS ≥ al tamaño de la Unidad Máxima de Transmisión más grande entre todos los EVCs a los que se les aplica este parámetro.
- CF (Coupling Flag – Bandera Acoplada) tiene solamente uno de dos posibles valores, 0 o 1.
- CM (Color Mode– Modo de Color), tiene dos posibles valores “color-blind” y “color-aware”

### Variación del Retardo de la Trama

La FDV (*Frame Delay Variation* - Variación de retardo de la trama) es una medida de las variaciones en el desempeño del retardo de la trama entre un conjunto de Tramas de Servicio. FDV es aplicable a todas las tramas de Servicio nuevas entregadas con éxito para una Clase de Identificador de Servicio particular que es un EVC Punto a Punto, durante un intervalo de tiempo T.

El desempeño de la FDV será definido como un porcentaje de la diferencia del retardo en un sentido de los pares de las tramas nuevas que logren el ingreso a una UNI dentro de un intervalo de tiempo T y que tiene intervalos de inter-frame<sup>65</sup> de tiempo de  $\Delta t$  segundos.

La opción del valor de  $\Delta t$  es relacionado con información de tiempo de cada aplicación, como un ejemplo para aplicaciones de voz donde las tramas de voz son generadas para intervalos regulares,  $\Delta t$  puede ser escogido para ser pocos intervalos múltiples entre las tramas.

$a_i$  es el tiempo de llegada del primer bit de la nueva trama al UNI, entonces las dos tramas i y j son seleccionados según el criterio de selección:

---

<sup>65</sup> **Inter-frame:** *Inter – trama:* técnica que explota la correlación temporal entre tramas consecutivas.

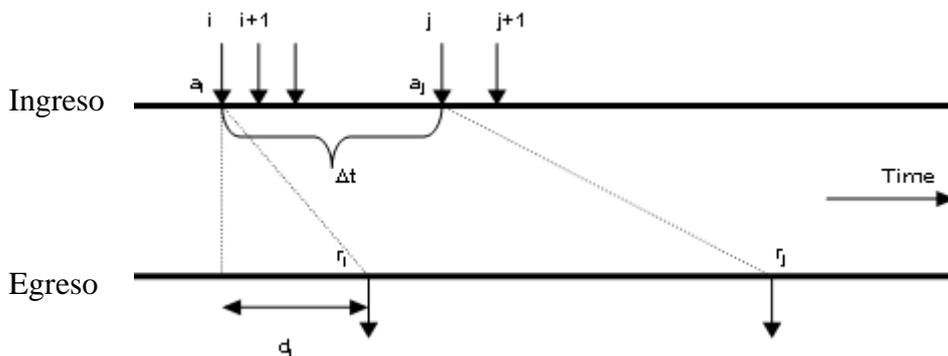
$$\{a_j - a_i = \Delta t \text{ con } j > i\}$$

$r_i$  es el tiempo en el que la trama es totalmente recibida (último bit de la trama) en el destino, entonces la diferencia encontrada en los tiempos para la trama  $i$  y  $j$  se determina por :

$$\Delta T_{ij} = (a_j - a_i) - (r_j - r_i) = (r_i - a_i) - (r_j - a_j) = d_i - d_j$$

$d_j$  constituye el retardo de la trama  $j$ -ésima, un valor positivo para  $\Delta T_{ij}$  indica que las dos tramas son colocadas conjuntamente en el destino mientras que un valor negativo para  $\Delta T_{ij}$  implica que las dos tramas llegan separadas al destino. Si cualquiera de las dos tramas es perdida o no entregada, entonces el valor de  $\Delta T_{ij}$  no es computado y no contribuye a la evaluación de la FDV.

En la figura se muestra una descripción de los diferentes tiempos que están relacionados con el desempeño de Variación de retardo de la trama.



### Parámetros de la Variación de Retardo de la Trama

$S_{\Delta T} = \{\Delta T_{ij} : \forall i, j \text{ tal que } a_j - a_i = \Delta t, a_i \in T, \text{ con } a_j \in T\}$  este es el conjunto de todas las variaciones de todos los pares de tramas elegidos de las tramas de servicio. Se define  $\tilde{d}_{\Delta T}$  para ser el porcentaje ( $P$ ) para el conjunto tal que

$$\tilde{d}_{\Delta T} = \min\{d : P \leq \frac{100}{K} \sum I(d, \Delta T_{ij})\}$$

donde;

$I(d, \Delta T_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{si } d > \Delta T_{ij} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$ , y la suma es llevada sobre todos los valores en el conjunto  $S_{\square T}$ .

El desempeño de la variación del retardo de la trama depende de la opción del valor para  $\Delta t$ . los valores tanto para  $\Delta t$  como para T típicamente deben ser escogidos para lograr un razonable nivel de exactitud estadística.

### Tasa de Pérdida de Tramas

La tasa de pérdida de tramas para una clase de servicio, en particular sobre un EVC punto a punto para un intervalo de tiempo T, se define como la tasa, expresada en porcentaje, del número de tramas de servicio perdidas respecto al número de tramas ingresadas que pueden ser entregadas exitosamente durante el tiempo del intervalo T.

Matemáticamente, la tasa de pérdida de tramas esta expresada como

$$FLR_T = \left( \frac{I_T - E_T}{I_T} \right) \times 100\%$$

Donde

$I_T$  = Número de tramas de servicio que deberían ser entregadas durante el intervalo T.

$E_T$  = Número de tramas de servicio que son entregadas durante el intervalo T.

### Disponibilidad

La disponibilidad es el porcentaje del tiempo dentro de un intervalo especificado durante el cual la tasa de pérdida de tramas es pequeña.

Informalmente, la disponibilidad está basada en la pérdida de tramas de servicio durante una secuencia de pequeños intervalos de tiempo consecutivos.

Si la secuencia anterior fuera definida como disponible, y si la pérdida de tramas es alta para cada pequeño intervalo de tiempo en la secuencia actual, entonces la secuencia actual es definida como no disponible.

Por otra parte, si la secuencia anterior fue definida como no disponible, y si la pérdida de tramas es baja para cada pequeño intervalo de tiempo en la secuencia actual, entonces la secuencia actual es definida como disponible.

De manera formal, la disponibilidad está basada en los siguientes cuatro parámetros:

- $\Delta t$ , intervalo de tiempo mucho más pequeño que  $T$ .
- $C_u$ , umbral de porcentaje de pérdidas, si es igual o excedido se sugiere indisponibilidad.
- $C_a$ , umbral de porcentaje de pérdidas, si no excedido se sugiere disponibilidad con  $C_a \leq C_u$ .
- $n$ , número de pequeños intervalos de tiempo consecutivos,  $\Delta t$ , sobre el que se calcula la disponibilidad.

### **Parámetros para emulación de circuitos [86]**

#### **Inestabilidad de Trama Ethernet**

A continuación se nombran algunas de las recomendaciones que son una guía para el nivel de la inestabilidad de la trama que la IWF debería ser capaz de tolerar:

El CES IWF (Circuit Emulation Inter-working Function – Emulación de Circuitos Función de Interoperabilidad) deberá tener la capacidad de funcionar correctamente cuando es usado en conjunto con MEN de Circuitos Virtuales Ethernet con una inestabilidad de trama hasta de 10ms.

## **Disponibilidad de la Red**

Para la emulación de circuitos un EVC tendrá suficiente calidad para soportar un porcentaje de disponibilidad sobre los servicios TDM de un 99.95% o mejor cuando es usado para transportar servicios TDM emulados.

## **Aprovisionamiento de Ancho de Banda**

Para aprovisionar amplitud de banda eficazmente para un circuito emulado, las MEN deberían ser capaces de aprovisionar la amplitud de banda en incrementos de 100 kbit/s o menores.

## **Criterio 3 (Comparación entre la red actual y la red Carrier Ethernet)**

Una vez hecha la caracterización de la red actual del operador y la red Carrier Ethernet, es necesario que el operador realice una comparación entre ellas. Dicha comparación se llevara a cabo tomando como puntos de referencia los elementos mencionados en los criterios 1 y 2, tanto de manera general como topologías, servicios, tecnologías y demás, como los factores de desempeño de las redes.

El resultado obtenido será de utilidad para que el operador pueda decidir qué es lo más conveniente para su negocio.

## **Criterio 4 (Balance Económico)**

Toda migración sea parcial o total en cualquier red de telecomunicaciones requiere de una análisis económico profundo que permita al operador de red visualizar cual será su estado de capital actual y futuro analizando rentabilidad a corto y a largo plazo haciendo proyectos que permitan planear la recuperación de la inversión sin perjudicar a los usuarios finales.

El primer paso para la migración en cuestión financiera es realizar un estudio interno que muestre su capacidad económica y que permita establecer si se está en posibilidad de afrontar una situación tan importante como lo es el paso a Carrier Ethernet. Abordando temas tales como el de la recuperación del capital sin perjudicar al usuario final, dado que en Colombia el ingreso de nuevas tecnologías posee

grandes barreras debido a que los servicios prestados con estas conllevan costos muy altos.

Para Colombia sería muy conveniente que los operadores hicieran una recopilación de las experiencias que se han vivido en países con mayor avance tecnológico para tener una visión más amplia de lo que sería contar con servicios Carrier Ethernet, claro está que muchas de las características serán diferentes ya sea por las culturas o tipos de necesidades implantadas en los diferentes territorios, pero todo esto dará una perspectiva de la posible rentabilidad obtenida y en general del estado económico de la tecnología ya desplegada; además de esto las estadísticas realizadas por los mismos proveedores de equipos revelan datos de interés con respecto a la opción de inversión en esta nueva tecnología.

### **3.3.2 Criterios para Gestión de Servicios**

#### **Criterio 1 (Gestión de red)**

Como fue revisado en el punto 3.2 gestión de redes se tiene que analizar por parte del operador que tipo de gestión va a implementar en su nueva red y si cumple con los sistemas de gestión de nueva generación es decir que se desempeñe con características tales como la utilización de gestión remota en sus elementos de red, y utilización de protocolos estandarizados que permitan la interoperabilidad entre los dispositivos de diferentes fabricantes, así como indagar sobre las características de gestión en los elementos de red actuales y características de gestión en los elementos de red disponibles para Carrier Ethernet.

Sería de gran importancia para el operador que haya personal especializado en estos modernos entornos de gestión, de no ser así, lo conveniente es realizar contrataciones que le permitan al operador asesorarse muy bien en este campo.

#### **Criterio 2 (Gestión de servicios en Carrier Ethernet)**

Secciones anteriores sirven de soporte teórico para este criterio de gestión de servicios en Carrier Ethernet dado que en ellas se ha estudiado directamente tres características (gestión unificada, OAM clase Carrier, aprovisionamiento rápido) que describen globalmente los beneficios que este tipo de servicios y tecnología traen, después de mejoras realizadas por entidades reguladoras, a Ethernet le han dado la

posibilidad de mostrarse como una tecnología de clase portadora con la que se pueden prestar servicios de nueva generación sin las restricciones del Ethernet ya conocido en las redes de área local dándole la importancia al usuario y operador de red con la creación de la gestión de servicios.

Para el operador es de mucha responsabilidad tomar dichas características con sus respectivas recomendaciones y especificaciones descritas en los módulos 3.2.1. y 3.2.2 y realizar un exhaustivo análisis que le permita comprender cuál es la magnitud de afectación en proceso de migración.

### **Criterio 3 (Estrategia de Gestión de Servicios)**

Se ha considerado que Carrier Ethernet a pesar de ayudar a cumplir con las características necesarias para una adecuada gestión de servicios, por parte del operador de telecomunicaciones en Colombia se deberá establecer estrategias que perfeccionen dicha gestión esto debido a que la cultura nacional de consumo en cuanto a telecomunicaciones es muy diferente a las de otras regiones del mundo, por eso estas estrategias de gestión de servicios deben ir encaminadas al soporte de servicios, y a la entrega de los mismos. Obteniendo mayor información y soporte en el documento *“ITIL Foundation for IT Service Management”* de *Hewlett-Packard Development Company* [87]

### **Criterio 4 (Selección de Equipos)**

En un proceso de migración un punto muy importante a tener en cuenta es la selección de los equipos que van reemplazar la infraestructura hasta ahora utilizada, para este caso y después de haber hecho un estudio sobre lo que es Carrier Ethernet se debe tener en cuenta que para esta tecnología es de vital importancia que los equipos hayan sido certificados por el MEF así como también:

Características generales:

- Desempeño.
- Vida útil.
- Servicios soportados.

- Protocolos soportados.
- Compatibilidad con otros equipos.

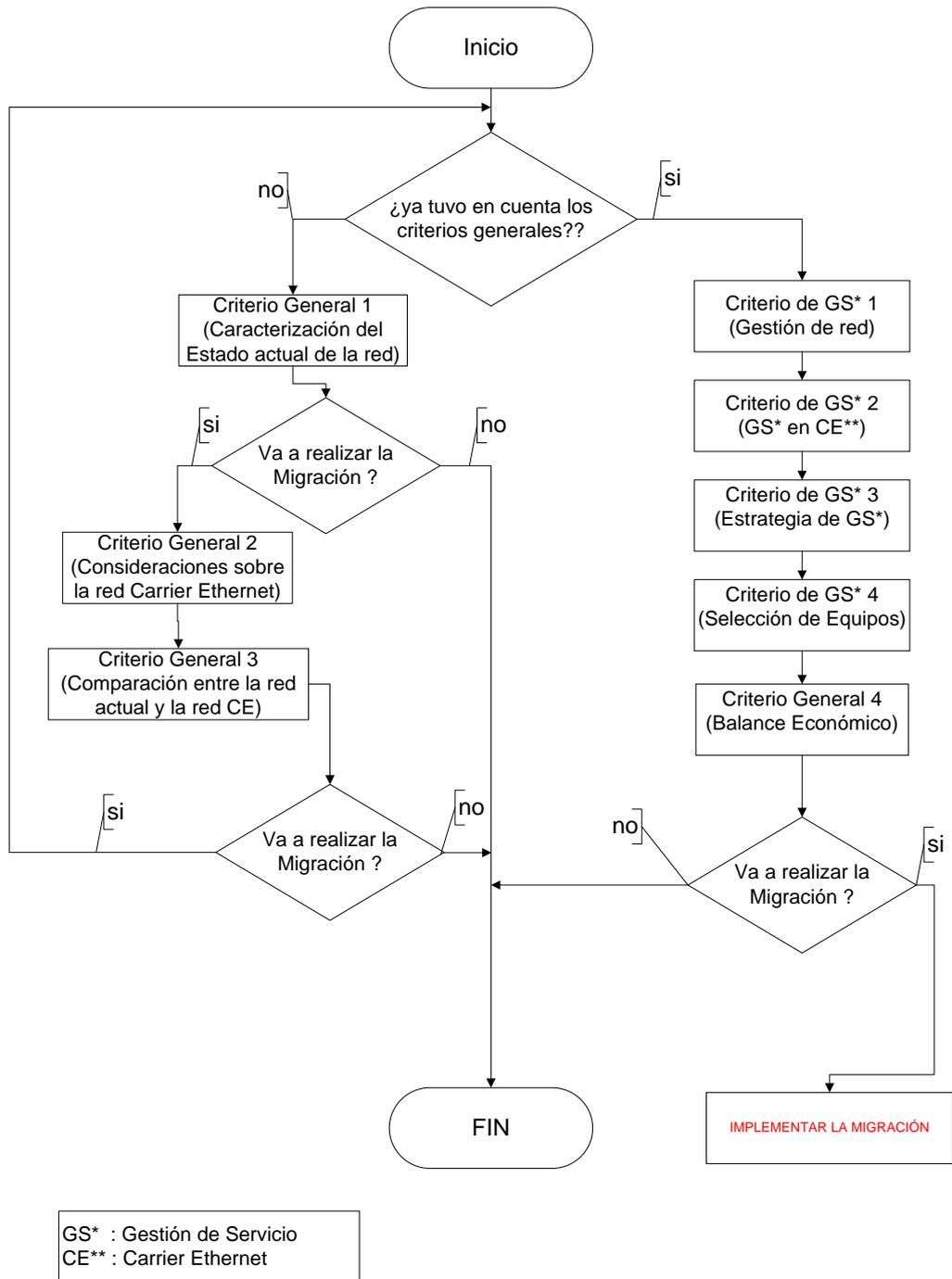
En general todo lo que tiene que ver con la contratación de productos y servicios:

- La experiencia de la compañía encargada de realizar la migración.
- El precio total de la migración.
- Certificado MEF del proveedor de los equipos y del fabricante de los mismos
- Comparación de la cotizaciones
- Pedir garantías en la instalación de la nueva red
- Cumplimiento de cronogramas
- Multas

Junto con las especificaciones que incluyen los requisitos de equipos, hardware, licenciamiento de software, garantías, servicios de instalación, capacitación, entrenamiento y transferencia tecnológica.

### **3.3.3 Diagrama del Proceso de Migración.**

Con el diagrama de flujo mostrado en la figura 14, se presenta de una manera clara, el proceso que debería seguir un operador para llevar a cabo un proceso de migración de su red tradicional a una red Carrier Ethernet, considerando de manera principal el atributo Gestión de Servicios.



**Figura 14** Diagrama de Flujo del Proceso de Migración

### 4 CASO DE ESTUDIO – EMTEL S.A. E.S.P.

Considerando la información suministrada por la empresa de telecomunicaciones EMTEL S.A E.S.P, y teniendo en cuenta la confidencialidad de algunos de sus recursos, se presentará un esquema del proceso que seguiría la empresa para realizar la migración a Carrier Ethernet según los criterios propuestos y tomando como guía el diagrama de flujo de la Figura 14 del capítulo anterior.

El tipo de referencias utilizadas en el capítulo son motivadas por la agrupación de diferentes fuentes en párrafos individuales que se construyeron con la síntesis de estas. Por tal razón se ubican al inicio de cada sección.

#### 4.1 CRITERIOS GENERALES PARA LA RED DE EMTEL

De acuerdo al diagrama de flujo, el primer paso en el proceso de migración que debe seguir el operador, es tener en cuenta los criterios generales como sigue:

##### **Criterio 1. Caracterización del Estado Actual de la Red de EMTEL**

EMTEL S.A E.S.P actualmente posee un sistema de Transmisión SDH STM4 de marca SIEMENS, el cual está implementado con cuatro nodos SMA ¼ y un nodo SMA1 con versiones de software release 2.3.28, e interconectados a través de fibra óptica monomodo como se muestra en la siguiente topología, autorizada por EMTEL para ser publicada en este documento:

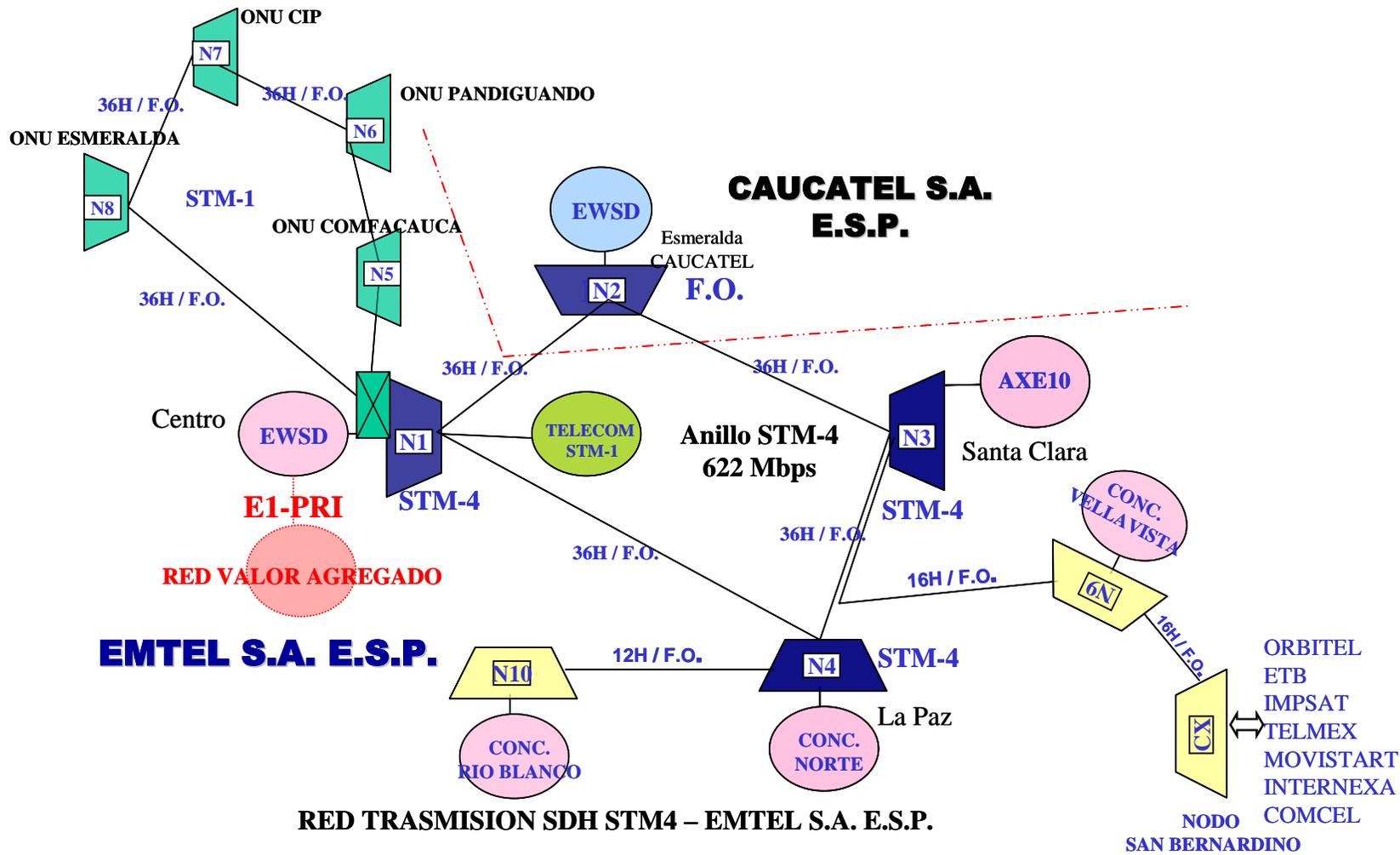


Figura 15 Topología EMTel S.A. E.S.P.

Fuente Emtel S.A. E.S.P.

El anillo de transmisión SDH entre centrales está configurado a través de un STM-4 el cual tiene redundancia 1+1, a nivel lógico por su topología de configuración en anillo.

Hacia el sector suroccidente de Popayán se tiene 4 concentradores de acceso remoto instalados sobre un anillo SDH configurado a través de un STM-1 en configuración 1+1. Para la implementación de este anillo se utilizaron las ONU-1000 de SIEMENS (Tecnología FastLink) que son armarios inteligentes que permiten la prestación además de servicios de telefonía, servicios de banda ancha a través de xDSL.

Este sistema de transmisión SDH STM4 y STM1 que posee actualmente EMTEL S.A. E.S.P. solo posee interfaces E1 (2.048 Kbps), y por consiguiente no permite el transporte de flujos de datos directamente, lo cual es una desventaja muy grande para la Empresa debido al crecimiento de los nodos de datos representados en DSLAM, Switches L2 y L3, que se han venido adicionando en cada uno de los nodos de transmisión y que actualmente utilizan recursos individuales de fibra óptica, equipos conversores de medio, fibras ópticas independientes, entre otras, lo cual hace tedioso y complejo el mantenimiento y administración de estos equipos aislados, además de generar sobre costos para la empresa en la adquisición de stock de repuestos para atender las fallas.

Este sistema de Transmisión SDH de EMTEL S.A. E.S.P. a través de 2 enlaces E1 que toman el reloj de alta precisión de la Red de TELECOM. Esta condición debe ser tenida en cuenta en caso de realizarse la migración a Carrier Ethernet.

## **Criterio 2. Consideraciones sobre la Red Carrier Ethernet**

Una vez realizada la caracterización de la red actual de EMTEL de acuerdo al criterio 1 y considerando necesaria una actualización en su red, el operador continua el proceso con las consideraciones que hacen parte del criterio 2.

- **Consideraciones del Usuario**

Estudios realizados por el MEF muestran que en el mundo de hoy existe una tendencia hacia el consumo de servicios de nueva generación ya sea por sus actividades laborales o por la influencia de las mismas tecnologías, pero el usuario siempre está presente para que los servicios sean introducidos en su medio, dentro de las expectativas están:

- Cualquier aplicación
- Cualquier conectividad
- Sobre cualquier dispositivo
- Información, voz, video, datos.
- Entretenimiento
- Conectividad en el hogar en la oficina, en movimiento
- Conectividad todo el tiempo 24/7/365.
- Todo entregado sobre un mismo servicio de alto rendimiento

- **Consideraciones del Proveedor**

EMTEL S.A E.S.P. dentro de su plan de acción ha definido diferentes proyectos encaminados a actualizar y modernizar su infraestructura tecnológica para la prestación de servicios de telecomunicaciones de voz, datos y video a sus clientes de una manera integrada a través de diferentes tecnologías convergentes de banda ancha y de nueva generación.

La convergencia de las telecomunicaciones, simplifica la prestación y administración de los servicios, así como una mayor satisfacción para los usuarios finales.

Un estudio sobre la industria de telecomunicaciones realizado a nivel mundial, indica que más del 80% de los ejecutivos de telecomunicaciones entrevistados acordaron que será esencial adoptar la convergencia dentro de los tres próximos años como fuente de crecimiento de los ingresos en el largo plazo.

Los factores que influyen considerablemente hacia la convergencia son la explosión de la demanda del acceso de banda ancha, los avances tecnológicos, la competencia y el potencial de crecimiento de los ingresos de los proveedores de servicio.

Se considera que el desarrollo de nuevos productos y servicios van a ser la mayor área de crecimiento de ingresos para los próximos tres años en las empresas de telecomunicaciones.

En general, se espera que la convergencia va a generar un abanico más amplio de modelos de negocio en el campo de las telecomunicaciones, y por consiguiente se plantean desafíos a los operadores de telecomunicaciones en dos frentes: un mayor foco en las necesidades de comunicaciones con sus clientes, y la provisión de conectividad simple y confiable a los usuarios.

Los operadores deben hacer frente a los desafíos en torno a la administración de clientes, fijación de precios y provisión de servicios de valor agregado, de una manera ágil, para alcanzar el éxito en el mundo de la convergencia, si perder de vista la creciente competencia.

En la actualidad y debido a la convergencia digital es necesario visualizar las telecomunicaciones en función de la principal necesidad del ser humano: comunicarse y tener acceso a la información; brindando la posibilidad de acceder a un servicio y/o producto, que ofrece lo que el usuario requiere y que constituye un nuevo desafío para las empresas proveedoras y fabricantes, que deseen mantenerse competitivas.

EMTEL S.A. E.S.P. consiente de esta transformación que está viviendo el sector de las telecomunicaciones, la convergencia digital de servicios, satisfacer la gran demanda de servicios de banda ancha y con el fin de asegurar sus ingresos en los próximos años, examina la migración de su infraestructura hacia una red convergente de servicios, o Red de Nueva Generación (NGN), con tecnologías de última generación, que le permita la proyección a corto y mediano plazo de nuevos productos y/o servicios de telecomunicaciones, sostener y ampliar sus ingresos y enfrentar de manera ágil los nuevos retos tecnológicos y la fuerte competencia que se presenta.

Desde el año 2006, la Empresa viene ejecutando el proyecto de acceso por fibra óptica, consistente en extender sus redes de fibra óptica monomodo hasta las premisas<sup>66</sup> de los clientes corporativos, pymes, sector bancario, Universidades, colegios, entidades gubernamentales, entre otras.

---

<sup>66</sup> **Premisa:** Instalación, dependencia, local o propiedad.

Para complementar este proyecto, EMTEL S.A. E.S.P. requiere suministro e implementación de una solución tecnológica de nueva generación que le permita equipar equipos para iluminar las fibras ópticas ya instaladas hacia los clientes corporativos y proveerles soluciones de conectividad, alta disponibilidad, alta velocidad y seguridad.

#### **Requerimientos de equipos por parte de la empresa:**

Para el nivel de core IP/MPLS se sugiere una solución compuesta por tres nodos, con soporte para todas las funcionalidades propias de MPLS como VPNs de capa dos y capa tres, calidad de servicio e ingeniería de tráfico. El core IP/MPLS se encargará de recibir el tráfico proveniente de otros operadores y también de la conexión con el enrutador de borde existente en el nodo Centro, para la salida hacia Internet. La red IP/MPLS debe estar en capacidad de recibir y transportar todo el tráfico proveniente de DSLAM, Switches de acceso, y demás equipos de datos, más el tráfico agregado que entrega la red Carrier Ethernet.

#### **Criterio 3. Comparación entre la Red Actual de EMTEL Y la Red Carrier Ethernet**

Continuando con la secuencia del diagrama de flujo de la Figura 14, se efectúa la comparación entre su red actual y la red Carrier Ethernet, para determinar si continuará con el proceso de migración.

En la tabla 11 se aprecian algunos de los numerosos aspectos que le ofrecen a EMTEL más elementos de juicio que le permitan tomar la decisión más adecuada en cuanto al tema de la migración.

CARACTERÍSTICAS	EMTEL ACTUAL	EMTEL CON CARRIER ETHERNET
Servicios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Telefonía local</li> <li>• Transmisión de datos</li> <li>• Internet conmutado</li> <li>• Internet banda ancha</li> <li>• Internet dedicado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Punto a Punto</b> servicio DSL voz, datos y video sobre una sola línea.</li> <li>• <b>Redes Privadas Virtuales - VPN</b></li> <li>• <b>Servicios Multimedia</b> Triple Play (voz, video y datos), interacción con el usuario.</li> <li>• <b>Telefonía IP y video por demanda.</b> Niveles de SLA y calidad de servicio, superiores</li> <li>• <b>Videoconferencia.</b> bajos costos</li> <li>• <b>Soporte para servicios TDM.</b> servicios de líneas privadas, Frame Relay y ATM de las centrales tradicionales de circuitos conmutados</li> <li>• <b>Servicio Residencial de Datos</b> ancho de banda en incrementos de 1 Mbps en tiempo real</li> <li>• <b>Servicio de Voz</b> telefonía IP con calidad y prioridad.</li> <li>• <b>Servicio de Video</b> Video en tiempo real sin inestabilidad ni retardos</li> </ul>
Anchos de banda ofrecidos	E1 (2.048 Kbps)	Escalabilidad del ancho de banda de 1Mbps a 10Gbps
Gastos de inversión	Anillo SHD de EMTEL, Capex y Opex, mayor que con Carrier Ethernet.	Bajo Capex y Opex

**Tabla 12.** Comparación de red

#### **Criterio 4. Balance Económico de EMTEL**

Debido a las restricciones en la información suministrada por la compañía de telecomunicaciones EMTEL S.A E.SP., este criterio no pudo ser analizado en el desarrollo de este proyecto.

#### **4.2 CRITERIOS PARA GESTIÓN DE SERVICIOS EN LA RED DE EMTEL**

Una vez finalizado el proceso de evaluación de los criterios generales y considerando aún necesaria la migración de la red actual de EMTEL, se desarrollo la segunda parte indicada por el diagrama de flujo de la Figura 14 que corresponde a los criterios de Gestión de Servicios.

##### **Criterio 1. Gestión de Red**

En la actualidad, EMTEL no posee ningún modelo de gestión de red, lo que lleva a la empresa a gastos operacionales innecesarios. Por este motivo es indispensable que se generen modelos y se investigue más a fondo sobre este tema, encargando de este asunto a personal especializado.

Con la aplicación de un modelo de gestión de red, la empresa dispondrá de un sistema homogéneo y estandarizado que cuente con configuraciones de tipo distribuidas para realizar una gestión adecuada de la red, que evitará inconvenientes de funcionamiento e interoperabilidad además de los gastos que surgen en un entorno mal diseñado y mal administrado.

##### **Criterio 2. Gestión de Servicios en Carrier Ethernet**

Si EMTEL opta por desplegar una red Carrier Ethernet en su MAN, debe construir un entorno de gestión de servicios siguiendo las recomendaciones y estándares definidos por el MEF. En la Tabla 12 se realiza un resumen de todos los estándares, recomendaciones y especificaciones, que hacen parte de la gestión de servicios:

Características	Definición	Referencias
<b>OAM Clase Carrier</b>	Identifica y gestiona cualquier suceso, rápidamente a través de la red.	MEF 7,IEEE 802.3ag, IEEE 802.3ah, ITU-T Y1731
<b>Gestión Unificada</b>	Define un marco de trabajo para monitorear y gestionar flujos a través de redes no orientadas a conexión en la capa Ethernet.	MEF 7,MEF 15,
<b>Rápido aprovisionamiento de servicios.</b>	Define la interfaz local de gestión, para facilitar gestión y rápido aprovisionamiento.	MEF 16

**Tabla 13** Gestión De Servicios EMTEL

### **Criterio 3. Estrategia de Gestión de Servicios [87][88]**

Para el caso de EMTEL lo más apropiado es generar un marco de trabajo que sea encaminado hacia el Ciclo de Vida del Servicio, y todas las estrategias consignadas en *El curso de Fundamentos de ITIL V3*, donde se propone realizar una serie de tácticas tales como:

- **Estrategia del Servicio:** con lo que se pretende tener algún control sobre los clientes, como puede ser el registro de incidentes, cambios de pedidos, configuración de los servicios, todo lo anterior por parte del usuario.

Un buen número de estas tácticas se han logrado gracias a las nuevas aplicaciones de internet las que hacen que exista facilidad en la administración de los servicios ya que parte de esta la hará el mismo cliente, reduciendo costos, y trámites complejos para el usuario, aunque existen inconvenientes en esta estrategia de autoservicio, que se generan a la hora de una asistencia personalizada y de conocimiento profundo en el tema del servicio que se preste.

- **Diseño del Servicio:** en esta parte lo que se quiere es elaborar métodos que ayuden a plasmar diseños novedosos de servicios que se puedan sacar al mercado, con lo que se ayudará a que la empresa siempre esté un paso delante de sus competidoras.
- **Transición del Servicio:** Tiene mucha relación con el diseño que se ha hecho anteriormente por que aquí se analiza los posibles cambios que pueda tener el diseño anterior o la evolución que estos experimenten ya sea por las tendencias o por las mismas exigencias del usuario.
- **Operación del Servicio:** aquí se administra el funcionamiento del servicio prestado. Se tiene un contacto permanente con el cliente para proveerse de información que asista a mejoras en dichos servicios.
- **Mejora Continua del Servicio:** Se enfoca en mejorar los servicios que se estén prestando actualmente, también tiene como meta optimizar los procesos internos de la empresa.

En la Gestión de Servicios también juegan una parte importante los ya que tienen mucho que ver con la calidad del servicio que se está prestando. Además diferencian a los operadores, dándoles un mejor nivel competitivo, esto se debe a que las compañías que contratan los servicios confían sus aplicaciones mas críticas a los que ofrezcan mejores garantías.

Así que el operador debe definir unas políticas y niveles del servicio, considerando parámetros alcanzables de la red como son: Ancho de Banda, Utilización Óptima, Throughput, Carga ofrecida, Exactitud, Eficiencia, Retardo (Latencia), Variación de Retardo, Tiempo de Respuesta y sobre todo la disponibilidad. De acuerdo a lo anterior el operador debe elaborar niveles alcanzables en cuanto a la prestación de servicios, para no generar falsas expectativas en los clientes actuales y en los futuros.

#### **Criterio 4. Selección de Equipos**

Para la selección de los equipos que harían parte de la infraestructura de EMTEL se tuvieron en cuenta, algunas ofertas de los fabricantes así como los requerimientos por ellos impuestos, como son: número de puertos requeridos para las interconexiones, la facilidad de configuración, que los equipos sean gestionables, el costo de estos, las perspectivas de crecimiento a nivel local y regional, requerimientos en cuanto a velocidades ofrecidas, interoperabilidad con los equipos de la red existente y la reputación de los fabricantes de los equipos, además esta elección se vio limitada a los equipos que dentro de la bibliografía encontrada poseían valores específicos o rangos de valores, debido a que los fabricantes no proporcionan este tipo de información. Esto se realizó con el objetivo de efectuar una aproximación económica de la inversión que la empresa debería hacer.

#### **NUCLEO IP/MPLS**

La solución para el núcleo incluye tres enrutadores IP/MPLS con las siguientes características:

- Soporte de las funcionalidades propias de una red MPLS como VPN (Redes Privadas Virtuales) de capa 2 y 3, calidad de servicio e ingeniería de tráfico.
- Interfaces ópticas GigaEthernet o 10GigaEthernet, FasEthernet, interfaces eléctricas 10/100/1000 y enlaces troncales con soporte MPLS.
- Cumplir con todas las características estándares para MPLS en Frame Mode, con base en la implementación de los estándares de la IETF y el ATMF.
- Contar con certificaciones MEF.
- Redundancia en su sistema de alimentación como en sus tarjetas controladoras y de conmutación para garantizar una alta disponibilidad del sistema.
- Capacidades para transportar cualquier tipo de tráfico para ser encapsulado en MPLS.
- Soporte a aplicaciones de datos, transmisión de video de alta calidad en tiempo real, transporte de voz, juegos interactivos, Internet.
- Soporte a la operación de todas sus interfaces a velocidad de línea para todo tamaño de paquete.
- Flexibilidad de combinar tarjetas de interfaz de tal forma que puedan ser instaladas y aprovisionadas individualmente.

- Deberán soportar los algoritmos necesarios para identificación y clasificación de tráfico, manejo de colas, control de congestión, reserva de recursos en la red, que permitan dar tratamiento diferenciado al tráfico entre usuarios y entre aplicativos o servicios.
- Alta densidad de puertos.
- Contar con el agente de elemento de red, el cual debe soportar el protocolo SNMP para ser gestionado en tiempo real por el sistema de gestión de red centralizado, de tal forma que se puedan chequear alarmas, estadísticas de tráfico, ocupación de procesadores, ocupación de recursos, configuración y aprovisionamiento entre otras. El agente debe tener la funcionalidad de chequeo de fallas, ejecución de pruebas en líneas y manejo de estadísticas de tráfico, entre otras.
- Es requerido que soporten MIB SNMP.
- La alimentación de potencia de los equipos IP/MPLS requeridos, será suministrada por los equipos de fuerza instalados en las instalaciones de EMTEL S.A. E.S.P, los cuales son de -48 VDC +/- 10%, como voltaje nominal; por tal razón, esos equipos deben tener fuentes de alimentación redundantes que operen con este voltaje, con la capacidad de mantener la operación normal del equipo a su máxima capacidad de chasis.

El Enrutador Cisco de la serie IP/MPLS CRS-1 se considera el más adecuado para cumplir con estos requerimientos. En el anexo A se presenta el datasheet del equipo.

Su costo esta alrededor de \$450.000 dólares.

## **AGREGACION**

Como se mencionó anteriormente, la agregación de la red de EMTEL está conformada por un anillo de fibra óptica y un sistema de transmisión SDH STM4 de Siemens de cinco nodos, que cuenta con redundancia 1+1.

Para migrar este sistema a uno Carrier Ethernet, los equipos Siemens utilizados en los nodos pueden ser reemplazados por equipos MX 480 (Anexo B) de Juniper que cumplen con las condiciones actuales y adicionan características que mejoran el rendimiento de la red y eliminar los problemas existentes hasta el momento.

## ACCESO

EMTEL S.A. E.S.P., en su proceso de masificación de los servicios de banda ancha y buscando ofrecer servicios integrados de voz, datos y video, requiere una solución de fibra óptica en su acceso, para 6 nodos principales.

Para esta solución se requieren equipos con las siguientes características:

- Interfaces GigaEthernet ópticas para la conexión con los DSLAM y la red de agregación.
- Interfaces ópticas FastEthernet y/o GigaEthernet para la conexión con cada uno de los CPEs de acceso instalados en los premisas de los clientes.
- Interfaces ópticas GigaEthernet o 10Gigaethernet. Estas interfaces deben estar disponibles para fibra óptica monomodo de corto, medio y/o largo alcance.
- Interfaces eléctricas 10/100/1000 Ethernet.
- Funcionar como dispositivos de capa 3 y realizar tareas de enrutamiento.
- Tener redundancia en su fuente de alimentación.
  
- Contar con el agente de elemento de red, el cual debe soportar el protocolo SNMP para ser gestionado en tiempo real por el sistema de gestión de red centralizado, de tal forma que se puedan chequear alarmas, estadísticas de tráfico, ocupación de procesadores, ocupación de recursos, configuración y aprovisionamiento entre otras. El agente debe tener la funcionalidad de chequeo de fallas, ejecución de pruebas en líneas y manejo de estadísticas de tráfico, entre otras.
- Los equipos deben soportar MIB II

El Conmutador Cisco ME 3400 Serie Ethernet Access se considera el más adecuado para cumplir con estos requerimientos. Ver Anexo C

### 4.3 Aproximación Económica EMTEL S.A. E.S.P

A continuación en la tabla 13 se presenta la relación entre precio y cantidad de equipos, que serian necesarios para la migración de la actual red de EMTEL a una red Carrier Ethernet.

Equipo	Valor	Cantidad	Valor Total
Enrutador Cisco de la serie IP/MPLS CRS-1	\$450.000	3	\$1'350.000
MX480 Ethernet Services Router	\$65.000 - \$107.000	5	\$325.00 – \$535.000
Conmutador Cisco ME 3400 Serie Ethernet Access	\$1.770 - \$1.880	6	\$10.620 - \$11280

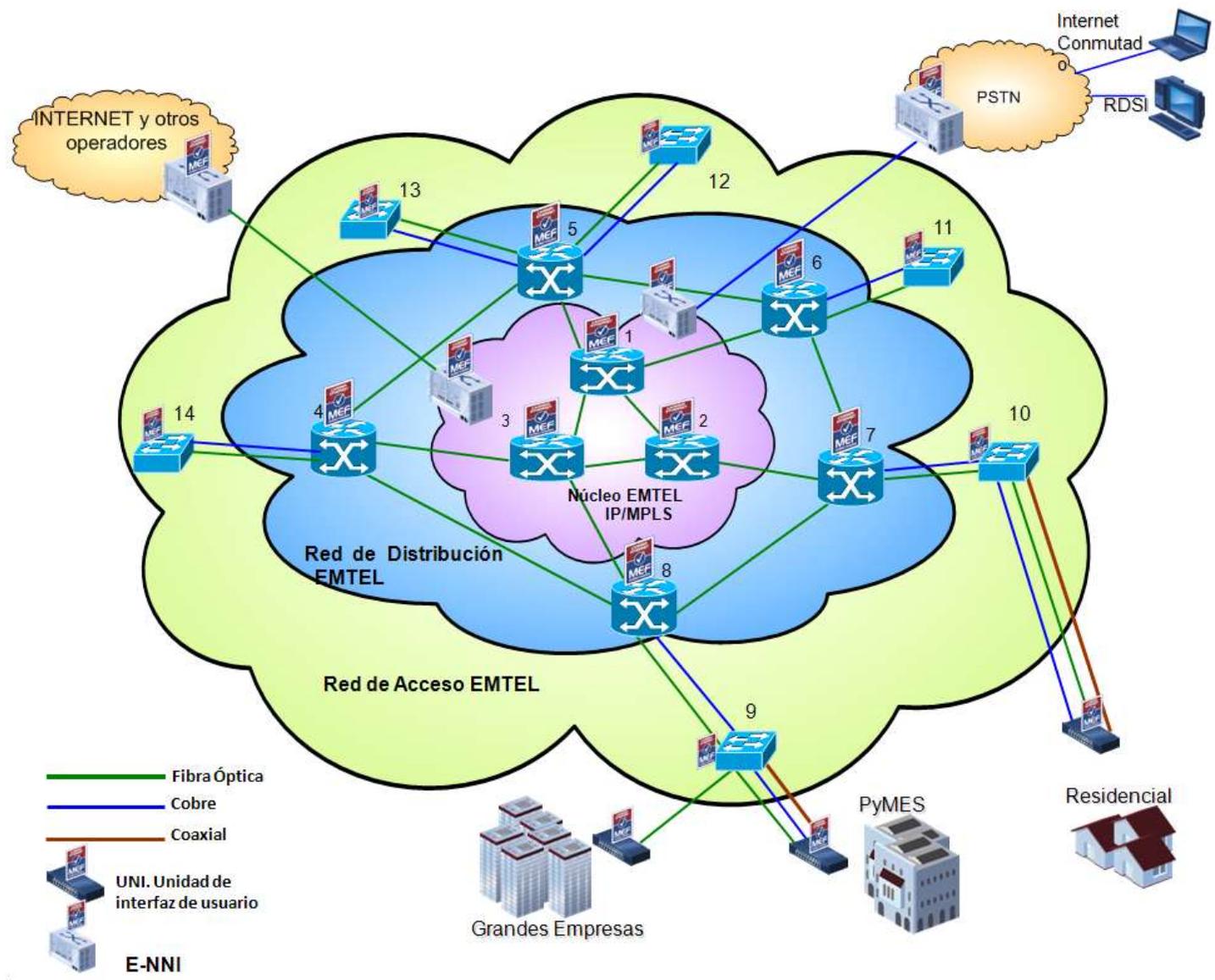
Tabla 14 Relación de Precios

#### 4.4 RED CARRIER ETHERNET APROXIMADA PARA EMTEL S.A E.S.P.

Después de haber realizado el proceso de migración según lo consignado en los criterios del cuarto capítulo y el respectivo diagrama de flujo se obtuvo una red aproximada Carrier Ethernet para la empresa EMTEL con una distribución geográfica que se menciona a continuación:

Para la red Carrier Ethernet de EMTEL se han tomado los siguientes nodos:

- 1: Nodo Norte: Enrutador Cisco de la serie IP/MPLS CRS-1.
  - 2: Nodo Centro: Enrutador Cisco de la serie IP/MPLS CRS-1.
  - 3: Nodo Occidente: Enrutador Cisco de la serie IP/MPLS CRS-1.
  - 4: Nodo Esmeralda: *MX480* Router de servicio Ethernet de Juniper Networks.
  - 5: Nodo la Paz: *MX480* Router de servicio Ethernet de Juniper Networks.
  - 6: Nodo Santa Clara: *MX480* Router de servicio Ethernet de Juniper Networks.
  - 7: Nodo Centro: *MX480* Router de servicio Ethernet de Juniper Networks.
  - 8: Nodo Valencia: *MX480* Router de servicio Ethernet de Juniper Networks.
- Nodos 9, 10, 11, 12, 13,14: Nodos de acceso que dan cubrimiento a toda la ciudad de Popayán: Conmutadores Cisco ME 3400 Serie Ethernet Access.



**Figura 16** Red Carrier Ethernet Aproximada para ETEL S.A E.S.P.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo de este proyecto se analizaron muchos de los puntos que forman parte de un proceso de migración de red, para formular una propuesta de criterios que faciliten a un operador de telecomunicaciones en Colombia llevar a cabo dicho proceso, partiendo de su red actual hacia una red Carrier Ethernet, lo que constituye el objetivo general de este trabajo de investigación.

Se hizo énfasis en la gestión de servicios, uno de los atributos de Carrier Ethernet que se tuvo muy en cuenta en la elaboración de los criterios ya que este tema no ha sido ampliamente desarrollado.

A continuación, se presentan las conclusiones que resultaron del desarrollo de este proyecto de investigación respecto al trabajo mismo y respecto a la migración de las redes tradicionales a redes Carrier Ethernet en el entorno Colombiano.

Posteriormente, se mencionan una serie de recomendaciones para futuros proyectos de investigación en esta área, que podrán ser desarrollados por estudiantes de la facultad.

#### 5.1 CONCLUSIONES

- El Modelo Físico de Red Tradicional en Colombia, que consiste en una aproximación a la actual situación de un operador de telecomunicaciones nacional, es de gran utilidad ya que facilita un análisis comparativo entre esta red y una red Carrier Ethernet.
- Carrier Ethernet brinda soluciones a los operadores que les permitirán ofrecer nuevos y mejores servicios, con costos de inversión y operación relativamente bajos, comparados con otras tecnologías de red. Estas ventajas a nivel

económico, beneficiaran tanto al operador como a los usuarios que podrán acceder a estos servicios a precios más bajos.

- Un operador debe tener claridad sobre las características y alcance de su red, tanto a nivel tecnológico como económico, para que de esta manera pueda establecer en que momento es necesario hacer una actualización total o parcial de esta.
- Los criterios propuestos en este documento servirán a un operador de telecomunicaciones para facilitarle el proceso de migración de su actual red a una red Carrier Ethernet, ayudándole en la toma de decisiones basadas en consideraciones hechas sobre aspectos técnicos y económicos.
- El análisis del atributo “Gestión de Servicios”, ha sido un gran aporte en este proyecto, teniendo en cuenta que la información al respecto es muy limitada. La recopilación de las recomendaciones, estándares y especificaciones concernientes a la normatividad de este tema, facilitaran su posterior estudio.
- El desarrollo de un caso de estudio, como el planteado en este proyecto, requiere de la participación activa de la empresa por que de su colaboración depende en gran medida los resultados exitosos del estudio.
- Las políticas de confidencialidad de EMTEL S.A. E.S.P, hicieron que la información suministrada fuera muy limitada, lo cual dificultó el desarrollo del caso de estudio de la manera que se había pensado al iniciar el proyecto.
- Mediante la elaboración de este proyecto se obtuvo una base teórica de la tecnología Carrier Ethernet, incluyendo la descripción de sus atributos, los servicios E-Line, E-LAN e E-Tree que presta, las aplicaciones que soporta y demás características, que servirá como fuente de bibliográfica a futuros proyectos.
- Considerando las condiciones socio económicas de Colombia, donde el acceso a servicios de telecomunicaciones en muchas ocasiones se ve limitado por la falta de recursos de los usuarios para pagar sus altos costos, Carrier Ethernet se

presenta como una solución ideal para este inconveniente por ser una tecnología económica.

- Gracias a las bondades de Carrier Ethernet y el soporte que da a una gran cantidad de aplicaciones y servicios de banda ancha, la cultura tecnológica en el entorno colombiano crecería con mayor facilidad.
- El alcance de esta investigación se puede visualizar desde dos perspectivas:
  - **De Negocio:** el estudio de aspectos relacionados con la rentabilidad de las empresas y la forma como abordan los temas de nuevas inversiones, contribuyen a que los operadores puedan realizar migraciones de una manera más organizada y eficiente.
  - **Académica:** con este desarrollo se contribuye a la actualización en cuanto a tecnología, lo cual puede ser utilizado con fines académicos en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Durante la ejecución del proyecto se logró determinar, que para la tecnología Carrier Ethernet existe un camino muy amplio por recorrer en cuanto a tecnologías inalámbricas se refiere, es por esto que se recomienda realizar investigaciones al respecto, que contribuyan a las líneas de desarrollo e investigación de la facultad de Ingeniería Electrónica y telecomunicaciones de la universidad del Cauca.
- Tener cuidado a la hora de elegir desarrollos de proyectos que dependan de factores externos para su elaboración como entidades o empresas, dado que existen casos en los que la colaboración de parte de estas, llega a interrumpir la continuidad de la correcta ejecución del trabajo.

- En la investigación realizada a Carrier Ethernet, se pudo observar que es una tecnología que esta invadiendo el mercado mundial de las telecomunicaciones, sobre la cual se conoce muy poco a nivel regional, por esto que se sugiere a las líneas de investigación y desarrollo que adquieran material educativo referente al tema.



## REFERENCIAS

- [1] Charles E. Spurgeon. (Febrero de 2000). *Ethernet: The Definitive Guide*. Estados Unidos: Publicaciones O'Reilly & Associates. p.p (3 – 5).
- [2] IEEE. (Junio de 2005). Estándar 802.3. *Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications*. Estados Unidos.
- [3] Roy Blake. (2001). *Electronic Communication Systems*, Estados Unidos: Delmar Cengage Learning Editores. p.p. (373-377).
- [4] Metro Ethernet Forum. (Octubre 2006). *Carrier Ethernet Overview*. [Presentación PPT]. Disponible: [http://metroethernetforum.org/PPT\\_Documents/Carrier%20Ethernet%20Overview.ppt](http://metroethernetforum.org/PPT_Documents/Carrier%20Ethernet%20Overview.ppt)
- [5] Metro Ethernet Forum. (Noviembre 2007). *Carrier Ethernet Service Overview*. [Presentación PPT]. Disponible: [http://metroethernetforum.org/PPT\\_Documents/D1-06-Carrier\\_Ethernet\\_Services\\_Overview\\_ECI.ppt](http://metroethernetforum.org/PPT_Documents/D1-06-Carrier_Ethernet_Services_Overview_ECI.ppt)
- [6] Metro Ethernet Forum. (Marzo 2007). *Carrier Ethernet - The Technology of Choice for Access Networks*. [Documento Word]. Disponible: [http://www.metroethernetforum.org/MSWord\\_Documents/Access\\_White\\_Paper\\_March\\_2007.doc](http://www.metroethernetforum.org/MSWord_Documents/Access_White_Paper_March_2007.doc)
- [7] Metro Ethernet Forum. (Abril 2004). *Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks*. [Documento PDF]. Disponible: <http://metroethernetforum.org/PDFs/Standards/MEF3.pdf>
- [8] Metro Ethernet Forum. (2008). *MEF Overview*. [En línea]. Disponible: [http://metroethernetforum.org/page\\_loader.php?P\\_Id=1](http://metroethernetforum.org/page_loader.php?P_Id=1)

- [9] J. Martin, J. Leben, K. K. Chapman. (1997). *Asynchronous Transfer Mode: ATM Architecture and Implementation*. Estados Unidos. Editorial Prentice-Hall. p.p. 11- 20.
- [10] IP/MPLS Forum. (1999). *About ATM*. [Documento PDF]. Disponible: [http://www.ipmplsforum.org/education/atm\\_presentations.shtml](http://www.ipmplsforum.org/education/atm_presentations.shtml)
- [11] Unión Internacional de Telecomunicaciones. ITU-T. (Julio 2004). *Recomendación G.780/Y.1351: Términos y Definiciones para las Redes de Jerarquía Digital Síncrona*. Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la ITU,
- [12] Enrique Herrera Pérez. (2003) *Introducción a las Telecomunicaciones Modernas*. México: Noriega Editores. p.p. 339 - 350.
- [13] J. Capmany Franco y B. Ortega Tamarit. (2006). *Redes Ópticas*, España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia. p.p.( 52 – 56).
- [14] T. Parnell. *LAN TIMES, Guía de Redes de Área Extensa*. España: Editorial Mc GrawHill, p.p. (159 – 165).
- [15] E. Herrera Pérez. (2003). *Tecnologías y Redes de Transmisión de Datos*, México: Editorial Limusa. p.p. (216).
- [16] J. M. Huidobro Moya y D. Roldán Martínez. (2005). *La Tecnología E-business*, Estados Unidos: Delmar Cengage Learning Editores. p.p. 37-38.
- [17] María Carmen España Boquera. (2003). *Servicios Avanzados de Telecomunicación*, España: Ediciones Díaz Santos.
- [18] Unión Internacional de Telecomunicaciones. ITU-T. (Octubre 2001). *Documento 2/82(Rev.2)-S 30: Informe sobre los Sistemas xDSL*. Oficina de desarrollo de las telecomunicaciones - Comisiones de Estudio del UIT-D.
- [19] J. Martinez, V. Casares. (2005). *Conmutadores de Paquetes: Arquitectura y Prestaciones*. España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia. p.p. (166).

- [20] A. Barba Martí, X. Hesselbach Serra. *Inteligencia de Red*. Esapaña: Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, p.p. (155).
- [21] M. S. Canalis. *MPLS "Multiprotocol Label Switching": Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI*. [Documento PDF]. Disponible: <http://exa.unne.edu.ar/depar/areas/informatica/SistemasOperativos/MPLS.PDF>
- [22] Comisión de Regulación de Telecomunicaciones. CRT. (Mayo 2008). *Continúa Dinámica de Crecimiento en el Sector de Telecomunicaciones. Informe Sectorial de Telecomunicaciones*. no. 10.
- [23] Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá. ETB. (2008). [En línea]. Disponible: <http://www.etb.com.co/comco/Home/default.aspx>
- [24] UNE EPM Telecomunicaciones. (2008). [En línea]. Disponible: <http://www.une.com.co/>
- [25] Telefónica Colombia. (2008). [En línea]. Disponible: <http://www.telefonica.com.co/>
- [26] Empresa de Telecomunicaciones de Popayán. EMTEL. (2008). [En línea]. Disponible: <http://www.emtel.net.co/>
- [27] Centro de Investigación de las Telecomunicaciones. Cintel. (2007). *Panorama de las Telecomunicaciones en Colombia 2007. Resumen Ejecutivo Estudio Sectorial 2007*.
- [28] Comisión de Regulación de Telecomunicaciones. CRT. (Junio 2007). *Estudio Integral de Redes de Nueva Generación y Convergencia", Documento Amarillo Centro de Conocimiento del Negocio*.
- [29] Comisión de Regulación de Telecomunicaciones. CRT. (Mayo 2008). *Los suscriptores dedicados aumentan un 17,5% en el primer trimestre del año, Informe Trimestral de Conectividad*. no. 12.

- [30] Metro Ethernet Forum. (Julio 2007). *Carrier Ethernet Access: Extending Ethernet into the First Mile*. [Presentación PPT]. Disponible: [http://metroethernetforum.org/PPT\\_Documents/mef\\_carrier\\_ethernet\\_in\\_the\\_access\\_overview.ppt](http://metroethernetforum.org/PPT_Documents/mef_carrier_ethernet_in_the_access_overview.ppt)
- [31] Metro Ethernet Forum. (2008). *Carrier Ethernet in the Access, Metro and Core*. [En línea]. Disponible: [http://metroethernetforum.org/page\\_loader.php?p\\_id=22](http://metroethernetforum.org/page_loader.php?p_id=22)
- [32] MEF - Deploying Carrier Ethernet. [En línea]. Disponible: <http://metroethernetforum.org>
- [33] Foro Metro Ethernet. (Noviembre 2004). *MEF 10 - Ethernet Services Attributes Phase II*. [Documento Word]. Disponible: [http://metroethernetforum.org/MSWord\\_Documents/MEF10.doc](http://metroethernetforum.org/MSWord_Documents/MEF10.doc)
- [34] Foro Metro Ethernet. (Junio 2004). *MEF 6 - Metro Ethernet Services Definitions Phase I*. [Documento PDF]. Disponible: <http://metroethernetforum.org/PDFs/Standards/MEF6.pdf>
- [35] Extreme Networks (Septiembre 2006). *Carrier Ethernet Solution Brief*. Presentado en Carrier Ethernet World Congress 2006. [Documento PDF]. Disponible: [www.extremenetworks.com/libraries/solutions/SBCarrierEthernet\\_20k\\_1207.pdf](http://www.extremenetworks.com/libraries/solutions/SBCarrierEthernet_20k_1207.pdf)
- [36] Alcatel-Lucent. (2008). *Beyond the Connection: Leading the Deployment and Evolution of Carrier Ethernet*. [White Paper]. Disponible: <http://www.alcatel-lucent.com>
- [37] Atrica Inc. (2003). *Enabling Carrier-Class Ethernet with MPLS*. [White Paper], p.p 2-7. Disponible: <http://www.atrica.com/>
- [38] Nortel. (2007). *Adding Scale, Qos and Operational Simplicity to Ethernet*. [White Paper]. p.p. (2-6). Disponible: <http://www.nortel.com/solutions/collateral/nn115500.pdf>

- [39] Atrica. (2005), *SAN Extension Service Using Carrier Ethernet*. [White Paper]
- [40] IXIA. (2007). *Carrier Ethernet* [White Paper] p.p. (4-5). Disponible: [http://www.ixiacom.com/pdfs/library/brochures/carrier\\_ethernet\\_brochure.pdf](http://www.ixiacom.com/pdfs/library/brochures/carrier_ethernet_brochure.pdf)
- [41] Ciena. (2007). *Prestación de Servicios basados en la promesa de Ethernet*. [White Paper], p.p. (6-7). Disponible: [http://ciena.co.pt/files/Delivering\\_on\\_the\\_Promise\\_of\\_Ethernet\\_A4\\_WP\\_ES.pdf](http://ciena.co.pt/files/Delivering_on_the_Promise_of_Ethernet_A4_WP_ES.pdf)
- [42] L. de D. Morcillo. (Septiembre 2005). *Análisis de la seguridad en IP/MPLS VPN: comparación con ATM*. España: Universidad Politécnica de Cataluña. [en línea]. Disponible: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3716/2/40393-2.pdf>
- [43] Antoni. TUTORIAL DE REDES. Tema 4. *Introducción acceso a WANs*. [Documento PDF]. p.p(17-25). Disponible: [http://www.ucaribe.edu.mx/archivos/freyes/IT0103/cbxc\\_wans.pdf](http://www.ucaribe.edu.mx/archivos/freyes/IT0103/cbxc_wans.pdf)
- [44] Sprint Technical Report (2001). *A Comparative Overview of Frame Relay & Atm*. [White Paper]. Disponible: <http://www.patentstorm.us/patents/7333509.html>
- [45] José Ramón Gallego. (Noviembre 2007). *Redes y servicios Frame Relay y ATM*. [Presentación PPT]. Disponible: [http://catedratelefonica.unizar.es/tecnologias\\_de\\_red/2006/Frame%20Relay%20y%20ATM%20.ppt](http://catedratelefonica.unizar.es/tecnologias_de_red/2006/Frame%20Relay%20y%20ATM%20.ppt)
- [46] J. C. López López. (Diciembre 1998). *ATM versus Frame Relay*. *Revista Electrónica*. [En línea]. Disponible: <http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No4/FRVSATM.html>
- [47] Telefónica (2007). *Las Telecomunicaciones de Nueva Generación*. [White Paper]. Disponible: [http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/html/publicaciones\\_nueva\\_gener.shtml](http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/html/publicaciones_nueva_gener.shtml)

- [48] NEC. *Sistemas de Transmisión SDH* [White Paper]. p.p (3-6). Disponible: [http://www.eng.cam.ac.uk/~jbr28/files/SDH\\_Spanish\\_Rosas.pdf](http://www.eng.cam.ac.uk/~jbr28/files/SDH_Spanish_Rosas.pdf)
- [49] Alcatel. (2005). *QoS in practice: Experiences and Perspectives* [White Paper]. p.p (7-11). Disponible: [www.tlc-networks.polito.it/QoS-IP2005/slides/tilab.pdf](http://www.tlc-networks.polito.it/QoS-IP2005/slides/tilab.pdf)
- [50] Ashwin Gumaste, Tony Antony (Diciembre de 2002). *DWDM Network Designs and Engineering Solutions*. Estados Unidos: Cisco Press p.p(252-256)
- [51] Acterna. (2002). *SDH Synchronous Digital Hierarchy Pocket Guide* [White Paper]. p.p(15-23). Disponible: <http://alexandria.tue.nl/extra2/afstversl/tm/lasten2004.pdf>
- [52] EXPO. (2006). *SONET/SDH VS. Ethernet: Migration and Testing Issues*. [White Paper] . p.p(2-3). Disponible: <http://documents.exfo.com/appnotes/anote152-ang.pdf>
- [53] MEF. Metro Ethernet Forum. (2005). *Accelerate Worldwide Adoption of Carrier Class Ethernet Networks and Services*. p.p. (5 – 6). [Documento PDF]. Disponible: [http://metroethernetforum.org/PDF\\_Documents/MEF\\_Brochure.pdf](http://metroethernetforum.org/PDF_Documents/MEF_Brochure.pdf)
- [54] MEF. Metro Ethernet Forum. (2008). *MEF Certification Program*. [Presentación PPT]. Disponible: [http://metroethernetforum.org/PPT\\_Documents/20070924%2012-00%20Carrier%20Ethernet%20Certification%20Program%20-%20Final.ppt](http://metroethernetforum.org/PPT_Documents/20070924%2012-00%20Carrier%20Ethernet%20Certification%20Program%20-%20Final.ppt)
- [55] Cisco Systems. (2008). *IP NGN Carrier Ethernet Design*. [Catálogo]. [http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns577/networking\\_solutions\\_solution.html](http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns577/networking_solutions_solution.html)
- [56] Juniper Networks. (Septiembre 2007). *The Juniper Networks Solution Portfolio for Carrier Ethernet*. p.p (2–5). [Catálogo]. Disponible: <http://www.juniper.net/solutions/literature/brochures/160019.pdf>
- [57] The Metro Ethernet Network, Comparison to Legacy SONET/SDH MANs for Metro Data Service Providers

- [58] ATRICA INC. (2003). *Migration from SONET/SDH to Carrier Ethernet In Metropolitan Area*. [White Paper]. p.p (1-28). Disponible: <http://www.atrica.com/>
- [59] ATRICA INC. (2003). *Enabling Carrier-Class Ethernet with MPLS*. [white Paper]. p.p (2-7). Disponible: <http://www.atrica.com/>
- [60] Cisco Press. Partes:1,2 y 3. (2004). *Top-Down Network Design Second Edition*. ISBN: 1-58705-152-4. p (600).
- [61] Springer Netherlands. (2004). *A Generic Multimedia Service and Management Architecture*, Journal of Network and Systems Management. (Volume 5). [en línea]. Disponible: <http://www.springerlink.com/content/k5335l5l91853wr3/>
- [62] Unión Internacional de Telecomunicaciones. ITU-T. (02/2000). *Funciones de gestión de la red de gestión de las telecomunicaciones*. SERIE M. [Recomendación]. Disponible: [http://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=s&id=T-REC-M.3400-200002-!!!PDF-S&type=items](http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-M.3400-200002-!!!PDF-S&type=items)
- [63] International Engineering Consortium. (2007). *The TMN FCAPS model of oss tasks*. [en línea]. Disponible: <http://www.iec.org/online/tutorials/ems/topic03.html>
- [64] A.F. Góngora. Gerente proyectos red de gestión. (1998). *La Gestión De Redes Y Servicios De Telecomunicaciones. Experiencia De Telecom – Colombia*. foro citel/ccp.i. Buenos Aires. Disponible: <http://www.citel.oas.org/sp/ccp1/l%20Foro/doc541.PDF>
- [65] IETF. (1990). *A Simple Network Management Protocol (SNMP)*. [en línea]. Disponible: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1157.txt>
- [66] MEF. Metro Ethernet Forum. Dr. K.N. Sivarajan. R. Santitoro. C. Easley. *The 5 Attributes of Carrier Ethernet & Industry Specifications*. [Presentación PDF]. Disponible: <http://www.metroethernetforum.org>
- [67] Cable Television Laboratories Inc. (2005). *Acceptance Test Plan*. [PDF] Disponible: [www.cablelabs.com/specifications/CM-TP-BPI-ATP-I06-050112.pdf](http://www.cablelabs.com/specifications/CM-TP-BPI-ATP-I06-050112.pdf)

- [68] ADVA optical networking Inc. (2007). *Delivering Managed Carrier Ethernet Services*. [White Paper]. Disponible: <http://www.advaoptical.com>
- [69] J.M. Caballero. Marcombo (1997). *Redes De Banda Ancha*. ISBN 8426711367, 9788426711366. p. 272
- [70] MAD-Eduforma. (2005). *Informática Temario A. Volumen IV. Profesores de Educación Secundaria*. ISBN 8466506098, 9788466506090. p. (267)
- [71] MEF. Metro Ethernet Forum. Technical Specification MEF 7. (2004). *EMS-NMS Information Model*. [Especificación]. Disponible: <http://metroethernetforum.org/>
- [72] MEF. Metro Ethernet Forum. Technical Specification MEF 15. (2004). *Requirements for Management of Metro Ethernet Phase 1 Network Elements*. [Especificación]. Disponible: <http://metroethernetforum.org/>
- [73] MEF. Metro Ethernet Forum. (2008). *Program overview*. [en línea]. Disponible: <http://metroethernetforum.org>
- [74] R.J. Millán Tejedor. Master en Tecnologías de la Información. Comunicaciones World. (2004). *Tendencias en gestión de red*. [en línea]. Disponible: <http://www.idg.es/comunicaciones/impart.asp?id=158481>
- [75] MICROSOFT. Modelo De Optimización De Infraestructura. (2008). *Core IO - Gestión de Redes y Seguridad*. [en línea] Disponible: <http://www.microsoft.com/spain/iom/modelo/redes.aspx>
- [76] Instituto De Ingenieros Eléctricos Y Electrónicos IEEE. (2007). *802.1ag - Connectivity Fault Management*. [Estándar,PDF]. Disponible: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ag.html>
- [77] Unión Internacional de Telecomunicaciones. ITU-T. (05/2006). *Funciones Y Mecanismos De Operación, Administración Y Mantenimiento Para Redes Basadas En Ethernet*. Y.1731. SERIE Y. [Recomendación]. Disponible: <http://www.itu.int/rec/>

- [78] MEF. Metro Ethernet Forum. (visitada Julio de 2008). Service Management: Service Creation, Carrier-class OAM, and Guaranteed SLA. [Documento Word]. Disponible: <http://metroethernetforum.org>
- [79] MEF. Metro Ethernet Forum. Technical Specification MEF 16. (2006). *Ethernet Local Management Interface (E-LMI)*. [Especificación]. Disponible: <http://metroethernetforum.org/>
- [80] World Wide Packets. (2006). *OAM Operations, Administration and Maintenance*. [White Paper]. p.(6).
- [81] Instituto De Ingenieros Eléctricos Y Electrónicos IEEE. (2002). *EFM OAM Baseline Transport Proposal*. [presentación PDF]. Disponible: [http://ieee802.org/3/efm/baseline/squire\\_2\\_0502.pdf](http://ieee802.org/3/efm/baseline/squire_2_0502.pdf), 20 May 2002
- [82] Teledata Networks. (2004). *Ethernet En La Primera Milla*. [White Paper]. Disponible:[http://www.teledata-networks.com/data/SIP\\_STORAGE/files/8/228.pdf](http://www.teledata-networks.com/data/SIP_STORAGE/files/8/228.pdf)
- [83] Adva Optical Networking. Fred Ellefson. (2006). *Ethernet OAM and demarcation*. [Presentación PDF]. Disponible: [http://www.advaoptical.com/Whitepapers/Ethernet\\_OAM\\_Demarcation.pdf](http://www.advaoptical.com/Whitepapers/Ethernet_OAM_Demarcation.pdf)
- [84] P. Indoo. International Engineering Consortium. Nortel. (2007). *Ethernet OAM*. [en línea]. Disponible: [http://www.iec.org/newsletter/march07\\_1/broadband\\_2.html](http://www.iec.org/newsletter/march07_1/broadband_2.html)
- [85] NEC empowered by innovation. *Redes de Transmisión de Nueva Generación*. [en línea]. Disponible: [http://www.nec.com.co/productos/redesnewgene\\_redtransmi.htm](http://www.nec.com.co/productos/redesnewgene_redtransmi.htm)
- [86] MEF. Metro Ethernet Forum. Technical Specification MEF 3. (2004). *Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks* [Especificación]. Disponible: <http://metroethernetforum.org/>

- [87] Hewlett-Packard Development Company. (2005). ITIL Foundation for IT Service Management. ITSM ITIL V3. *Curso de Fundamentos de ITIL V3*. [currículum del curso]. Disponible: <http://h10076.www1.hp.com/education/curr-tilv3.htm>
- [88] Cisco Systems. P. kohler. (2002). Understanding Service Level Management and Qos Management. [en línea]. Disponible: [http://cnscenter.future.co.kr/resource/rsc-center/presentation/cisco/networkers02-Copenhagen/NSC-212\\_Denis\\_Churlet.pdf](http://cnscenter.future.co.kr/resource/rsc-center/presentation/cisco/networkers02-Copenhagen/NSC-212_Denis_Churlet.pdf)

## ANEXOS

Anexo A. Enrutador Cisco de la serie IP/MPLS CRS-1.

Anexo B. MX480 Ethernet Services Router

Anexo C. Conmutador Cisco ME 3400 Serie Ethernet Access