

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPUESTA PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA RED DE ALTA VELOCIDAD EN FIBRA ÓPTICA BASADA SOBRE EL PROTOCOLO ETHERNET

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Coffaro B, Fabricio
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPUESTA PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA RED DE ALTA VELOCIDAD EN FIBRA ÓPTICA BASADA SOBRE EL PROTOCOLO ETHERNET

Prof. Guía: Ing. Carlos Eduardo Fuenmayor
Tutor Industrial: Ing. Carlos Cárdenas

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Coffaro B, Fabricio
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas 2008



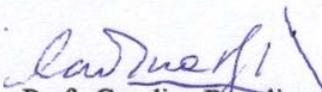
CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 19 de noviembre de 2008

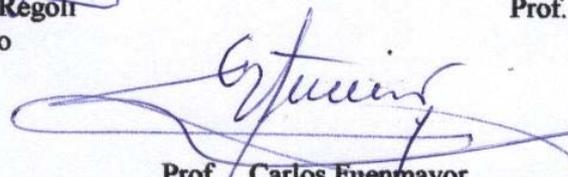
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Fabricio Coffaro, titulado:

“PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ALTA VELOCIDAD EN FIBRA OPTICA BASADA SOBRE EL PROTOCOLO ETHERNET”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Carolina Regoli
Jurado


Prof. Dan EL Montoya
Jurado


Prof. Carlos Fuenmayor
Prof. Guía



DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado a mi primo Diego Flores, quien tras tu inesperada partida ha dejado un vacío en nuestros corazones y en el de sus amigos, siempre serás recordado por todos y cada una de las personas que conociste.

No se si exista alguna manera mejor de honrar a mi primo que esta, o será de aprender de la forma en la que el vivía la vida feliz y sin preocupaciones haciendo lo que el pensaba que era lo correcto, lo cierto es que para todo lo que significa una persona en la vida de uno estas palabras son pocas y no expresan lo que uno siente de verdad, en el momento que uno teme perder a alguien se da cuenta de lo valioso de estas personas y como le cambiaron la vida y la forma de ser a uno, en vida y en su lamentable partida. Primo esta tesis esta dedicada a ti y de verdad espero que algún día nos volvamos a encontrar. Siempre hace falta tu opinión en todo, por lo ocurrido intentaré honrarte en vida y vivir de una manera simple y feliz. Se te quiere siempre y tu bien sabes que dejaste un vacío irremplazable en el corazón de todos tus familiares y amigos. Cuando ando en la carretera manejando solo suelo pensar que estas allí conmigo así como cuando estabas vivo, deséanos todo lo mejor a todos acá abajo.

A su debido momento nos encontraremos de nuevo para seguir hablando de todo, así sea de domino.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la empresa Brasil Telecom en las personas que ella representa, las cuales hicieron que este trabajo fuese posible, el Ing Carlos Cardenas, Ing Patrick Blesso, Ing Jesús Arellano, Ing Alonso.

Agradecimientos a todas las personas que me ayudaron a llegar al punto donde me encuentro como mi familia especialmente mi mama y mi nonna.

Especial agradecimiento a Rossanna Jiménez quien contribuyo a la realización de esta tesis.

Agradecimientos a mi profesor guía Carlos Fuenmayor.

A mis amigos Marco Silva, Andrés Landi, Edgar de Freitas, Katiuska Pacheco, Jainer Muñoz, Ronald García, Juan Carlos Contreras, Ernesto Echenique, Jhonny Rinaldi, Manuel Martínez, con quienes siempre pude contar en el transcurso de la carrera e hicieron que cada momento fuese diferente y divertido.

Coffaro B ., Fabricio J.

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA RED DE
ALTA VELOCIDAD EN FIBRA OPTICA BASADA SOBRE EL
PROTOCOLO ETHERNET**

**Profesor Guía: Carlos Fuenmayor. Tutor Industrial: Ing Carlos Cárdenas.
Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Eléctrica. Ingeniero Electricista.
Comunicaciones. Institución: Globenet. 2008. 92h.+anexos.**

Palabras Clave: Fibra óptica, Jerarquía Digital Sincrónica (SDH), Multiplexación por División de Longitud de Onda (DWDM) , ETHERNET.

Resumen. Se plantea la elaboración de una propuesta para implementar una red de distribución de Internet basada en ETHERNET sobre una red de fibra óptica. El estudio se basa en el diseño de red, topología, circuitos de protección, escalabilidad y selección de los equipos, los cuales servirán para dar servicios a empresas que requieran Internet a velocidades de 10/100MB eléctrico y de hasta 1GB óptico, asegurando las condiciones de calidad de servicio que se le ofrece al cliente.

INDICE GENERAL

	Pág
Dedicatoria.	II
Reconocimientos y Agradecimientos.	III
Resumen.	IV
Índice de Tablas	IX
Índice de Figuras y Gráficos	X
Lista de Acrónimos	XII
INTRODUCCION	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
OBJETIVOS.	5
CAPITULO I	
MARCO TEÓRICO.	6
1.1 Ethernet	6
1.1.1 Trama Ethernet	7
1.1.2 Señales de línea y codificación en Ethernet	8
1.2 WDM	9
1.2.1 CWDM	10
1.2.2 DWDM	10
1.2.3 Espaciamiento entre Canales en WDM.	11
1.3 SDH	15
1.3.1 Funcionamiento de las capas SDH	16

1.3.1.1	Capa de Trayecto	. . . . .	17
1.3.1.1.1	Equipo Terminal de camino.	. . . . .	17
1.3.1.2	Capa de multiplexación	. . . . .	17
1.3.1.2.1	Equipo Terminal de sección de multiplexación	. . . . .	18
1.3.1.3	Capa de sección de regeneración	. . . . .	18
1.3.1.4	Capa fotónica.	. . . . .	18
1.3.2	Arquitecturas de Protección en SDH	. . . . .	19
1.3.2.1	Conmutación de protección automático.	. . . . .	19
1.3.2.2	Protección 1+1	. . . . .	19
1.3.2.3	Protección 1: N	. . . . .	20
1.4	MPLS	. . . . .	21
1.4.1	Beneficios.	. . . . .	22
1.4.1.1	Infraestructura de red unificada	. . . . .	22
1.4.1.2	Core Libre de BGP.	. . . . .	23
1.4.1.3	Ingeniería de Tráfico..	. . . . .	24
1.4.2	Arquitectura	. . . . .	25
1.4.2.1	Etiquetas MPLS	. . . . .	25
1.4.2.2	Label Switched Path (LSP)	. . . . .	27
1.5	AToM	. . . . .	28
1.5.1	Arquitectura	. . . . .	29
1.5.1.1	Palabra de Control	. . . . .	31
1.5.1.2	MTU en MPLS para redes AToM	. . . . .	32
1.5.2	Ethernet over MPLS	. . . . .	33
1.5.2.1	Fowarding en MPLS	. . . . .	34
1.5.2.2	Escenarios de EoMPLS	. . . . .	35
1.5.2.2.1	EoMPLS	. . . . .	35
1.5.2.2.2	EoMPLS Ethernet Trunk	. . . . .	36
1.5.2.2.3	EoMPLS VLAN	. . . . .	37

1.6 NG-SDH	38
1.6.1 Concatenación.	38
1.6.1.1 Concatenación Contigua	38
1.6.1.2 Concatenación Virtual	39
1.6.2 GFP	40
1.6.3 LCAS	42
1.6.4 Diferencias entre SDH y NG-SDH.	44
1.7 VLAN	44
1.7.1 802.1Q.	46
1.7.1.1 Formato de la trama 802.1Q	46
1.8 VPLS	47
1.8.1 Arquitectura	48
1.8.2 Calidad de Servicio.	49
 CAPITULO II	
METODOLOGIA	50
2.1 Caracterización de la Red Existente	50
2.2 Diseño de Red compatible con el existente	54
2.3 Arquitectura de red	55
2.4 <i>Network Management System</i>	56
2.5 Criterio de Selección de Equipos.	57
2.6 Criterio de Planificación para Implementación...	57
2.7 Criterio de Calidad de Servicio	58
 CAPITULO III	
ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	59
3.1 Arquitectura de Red	59

3.1.1 Ethernet/DWDM	.	.	.	.	.	.	.	58
3.1.2 Ethernet/SDH/DWDM	.	.	.	.	.	.	.	62
3.1.3 ETH/NG-SDH/DWDM.	.	.	.	.	.	.	.	65
3.2 Topología de Red.	.	.	.	.	.	.	.	65
3.3 Network Management System	.	.	.	.	.	.	.	67
3.4 Selección de Equipos	.	.	.	.	.	.	.	67
3.5 Planificación para la implementación.	.	.	.	.	.	.	.	69
3.6 Cronograma de Trabajo.	.	.	.	.	.	.	.	70
3.7 Calidad de servicio	.	.	.	.	.	.	.	71
3.8 Configuración del Equipo Seleccionado.	.	.	.	.	.	.	.	73
CONCLUSIONES	.	.	.	.	.	.	.	74
RECOMENDACIONES	.	.	.	.	.	.	.	76
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	.	.	.	.	.	.	.	77
BIBLIOGRAFIA	.	.	.	.	.	.	.	78
ANEXOS	.	.	.	.	.	.	.	79

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag
1 Espaciamiento entre canales Recomendación ITU.	12
2 CWDM ITU-T G.694.2	14
3 Tasa de Velocidades SDH	16
4 Eficiencia de NG-SDH con respecto al tipo de carga que transporta .	39
5 Velocidades de transmisión de la jerarquía SDH	40
6 Diferencias entre SDH y NG-SDH.	44
7 Tráfico cursante en servicios Ethernet	53
8 Circuitos a implementar	53
9 Precios Referenciales de los equipos Ethernet	68
10 Cronograma tentativo de trabajo	70

INDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

	Pag
1 Trama Ethernet	7
2 Conexión DWDM	9
3 Espaciamiento de canales CWDM	10
4 Espaciamiento de canales DWDM	11
5 Esquema de funcionamiento de las capas en SDH.	16
6 Esquema de equipo terminal de camino	17
7 Esquema de protección 1+1	20
8 Esquema de protección 1:1	21
9 Esquema de funcionamiento de una red MPLS	22
10 Etiqueta MPLS	25
11 <i>Label Stack</i>	26
12 LSP	27
13 LSP anidados	28
14 Esquema de Red AToM	29
15 Creación de un Pseudowire	30
16 Emulación de PW mediante protocolos	31
17 Palabra de control	32
18 Orden de etiquetas en MPLS	32
19 MTU en MPLS	33
20 Forwarding en MPLS	34
21. Encapsulado en Ethernet Simple	35
22 Esquema de red MPLS transportando Ethernet	35
23 Encapsulado para Ethernet Trunk.	36
24 Esquema de red MPLS transportando Ethernet trunk	36
25 Encapsulado al transportar una VLAN	37
26 Esquema de red MPLS transportando una VLAN	37

27 Esquema de Concatenacion Contigua	38
28 Mapeo de señales de clientes mediante GFP	41
29 Esquema de uso de fibra optica en NG-SDH	41
30 Uso de ancho de banda LCAS	42
31 Formato 802.1Q	46
32 Red VPLS	47
33 Red de la Empresa Brasil Telecom of America	50
34. Arquitectura de red submarina equipos 1620SLTE y Tera10	52
35. Gestión SDH/DWDM equipos Alcatel 1620 y Tera10	52
36 Topología de la red submarina	55
37 Esquema Arquitectura de Red IP/ETH/SDH/DWDM	56
36 Esquema Arquitectura de Red Eth/DWDM	58
37 Esquema de Arquitectura de Red Eth/DWDM	59
38. Arquitectura de red 1 canal de 10GB Eth por fibra	60
39. Red 1 canal de 10Gb Ethernet por fibr	61
40. Esquema y arquitectura de red Eth/DWDM	62
41 Esquema de Arquitectura de Red Eth/SDH	64
42. Esquema de conexión entre estaciones de la red	64
43 Topología de Red	66
44. Configuracion de la Plataforma Ethernet.	73

LISTA DE ACRÓNIMOS

Eth	<i>Ethernet</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
RARP	<i>Reverse Address Resolution Protocol</i>
AARP	<i>Anycast Address Routing Protocol</i>
NRZ	<i>Non Return to Zero</i>
GbE	<i>Gigabit Ethernet</i>
STM-N	<i>Synchronic Transfer Module</i>
SONET	<i>Synchronous Optical Network Technologies</i>
SDH	<i>Synchronic Digital Hierarchy</i>

ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
PTE	<i>Path Terminal Equipment</i>
MSTE	<i>Multiplex Section Terminal Equipment</i>
QnQ	<i>Queuing and Queuing</i>
VC	<i>Virtual Circuit</i>
VC	<i>Virtual Container</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
HDLC	<i>High-Level Data Link Control</i>
PPP	<i>Point to Point Protocol</i>
BGP	<i>Bridge Gateway Protocol</i>
OSPF	<i>Open Short Path First</i>
ISIS	<i>Intermediate System to Intermediate System</i>
LSR	<i>Label Switched Router</i>
PE	<i>Provider Edge</i>

CE	<i>Customer Edge</i>
VCID	<i>Virtual Circuit Identifier</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
VPLS	<i>Virtual Private LAN Service</i>
PSN	<i>Packet Switched Network</i>
PW	<i>Pseudowire</i>
SLA	<i>Service Level of Agreement</i>
STS	<i>Synchronic Transfer Signal</i>
DWDM	<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>
CWDM	<i>Coarse Wavelength Division Multiplexing</i>

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este proyecto es proponer un sistema de distribución de Internet basado en el protocolo Ethernet a distintas velocidades sobre una red de fibra óptica para una empresa tipo “CARRIER”.

Este estudio se dividió en distintas etapas para desarrollar un esquema lógico, el cual permita solucionar las necesidades de la Empresa, éste consta de 4 etapas, éstas son:

a) **Estudio preliminar.** En esta etapa se busca conocer el tipo de servicio a prestar, sus necesidades y demandas así como el alcance del mismo. Así se establece la aproximación inicial al problema y se estima los requerimientos del trabajo, buscando basamentos teóricos de redes en diversas fuentes bibliográficas, que sustenten una solución para el problema.

b) **Diseño de Red.** En esta etapa se busca mediante fundamentos teóricos y estudio de la red actual, establecer sus nuevos requerimientos y elementos existentes, para hacer un diseño de red ETHERNET adaptado para la Empresa.

c) **Recomendaciones para la implementación de la red Ethernet.** En esta etapa se establecen aquellas recomendaciones a la Empresa sobre el diseño de la red Ethernet, estándares a ser recomendados, de la planificación de ésta en el tiempo, escalabilidad y funcionamiento, calidad de servicio, sistema de gestión y características asociadas al diseño.

d) **Análisis de control de calidad del servicio.** En esta etapa se realizarán las recomendaciones necesarias para que el sistema cumpla con la calidad de servicio requerida por el usuario, características asociadas con la red de distribución y transporte.

Al cumplir a cabalidad con estas etapas, se logrará culminar con éxito el diseño de la red satisfaciendo las necesidades de la Empresa.

En el desarrollo teórico del trabajo especial de grado, se hará una reseña de sistemas de transporte de datos, voz y video en fibra óptica como lo son SDH y DWDM, ambos asociados con Ethernet, los diferentes diseños, aplicaciones, protecciones y características por las cuales usar uno u otro diseño, verificando cuál de estos esquemas de red y topología se asemejan más a las necesidades de la Empresa, finalmente se decidirá cuál diseño de red a utilizar.

Después de haber desarrollado el diseño de la red, se busca cotizar los equipos necesarios que cumplan con las características requeridas para satisfacer las necesidades de la Empresa, teniendo en cuenta como principal factor los costos de éstos. Como paso final, se procederá a realizar una propuesta fundamentada en el estudio llevado a cabo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La evolución tecnológica que ha ocurrido en estos últimos años ha dado cabida al desarrollo de nuevas tecnologías y al mejoramiento de tecnologías ya existentes, observándose un aumento gradual de velocidades de acceso y transporte, esto da lugar a una etapa de actualización de las distintas tecnologías en el mercado actual, haciendo que éste tenga una tendencia a utilizar aquella tecnología que por sus beneficios y aplicaciones supere a otras, satisfaciendo así las necesidades de cada empresa.

Actualmente, tecnologías como VoIP y Ethernet son de gran utilidad en el mundo actual, esto se ve reflejado en el hecho que existen compañías que mediante el uso de tecnologías de VoIP, disminuyen gastos y optimizan los recursos de sus empresas. En el caso de Ethernet, estándar lanzado por primera vez en el año 1980, ha venido evolucionando poco a poco, mejorando velocidades y tipo de medio de transmisión; con la incorporación de este protocolo en la fabricación de computadores personales y la expansión que ha tenido Internet en las últimas décadas, hace que Ethernet sea una de las tecnologías de más importancia para transporte de información debido a su extensión, a causa de ello, compañías tipo *carriers*, han tenido que diversificar sus servicios para satisfacer las necesidades de sus clientes, dando cabida al desarrollo de un sistema de distribución de Internet basado en Ethernet.

Las compañías *CARRIERS* venden tráfico de Internet a sus clientes en otros países, éstas poseen redes de fibra óptica submarinas y/o terrestres interconectadas entre varios países, haciendo posible la distribución de Internet a altas velocidades entre éstos, siendo los principales clientes, empresas (ISP) *Internet Service Provider*

(CANTV, SUPERCABLE, NET1). La importancia de este proyecto radica en el hecho de que cada compañía tiene necesidades distintas para servicios distintos y para aplicaciones distintas, por ello es muy importante la diversificación de éstos a la hora de ofrecerlos a los clientes, por ello se hará una propuesta para la implementación de una red de alta velocidad en fibra óptica basada sobre el protocolo ETHERNET, que permita ofrecer el servicio Ethernet a distintas ráfagas para estos clientes.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Elaborar una propuesta para implementar una red de distribución de Internet basada en Ethernet sobre una red de fibra óptica de una empresa tipo *Carrier*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar las necesidades y el comportamiento del sistema de fibra óptica a utilizar.
- Diseñar una red Ethernet compatible con la red existente, de acuerdo a sus necesidades, estrategias y planes.
- Especificar equipos que permitan proveer servicios de *VLAN Tagging*, *QnQ Tagging*, y proveer velocidades de 10/100M y 1Gb Ethernet que aseguren QoS (calidad de servicio).
- Analizar presupuestos de los equipos que se ajusten a las necesidades de la Empresa en cuanto a costo, mantenimiento, facilidades de uso y especificaciones en los equipos.
- Planificar implementación de la red de servicio Ethernet seleccionada.
- Parametrizar las condiciones de calidad de servicio de la red a implementar.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Ethernet [1]

Es denominado el compendio de familias basadas en tecnología de tramas para redes de computadoras locales LAN. Con los adelantos tecnológicos se fue incrementando gradualmente la velocidad de transmisión en Ethernet sobre distintos medios y diversificándose para no solo ser una tecnología de acceso, sino también de transporte.

El estándar que lo define es el IEEE 802.3 en sus distintas variaciones, las cuales se presentan a continuación:

- 10 BASE-T (aprobado en 1990)
- 100 BASE-TX Fast Ethernet (802.3u aprobado en 1995)
- 1000 BASE-X Gigabit Ethernet (802.3z aprobado en 1998)
- 1000 BASE-T Gigabit Ethernet en cobre (802.3ab aprobado en 1999)
- 10 Gigabit Ethernet (802.3ae aprobado en 2002) (IEEE 802.3 2005 standards)

En el modelo OSI, Ethernet es considerado un protocolo de capa de Enlace (data link) lo que quiere decir que tiene ciertas funciones principales como lo son, la sincronización de las estructuras de información que se envía, independientemente de la sincronización de bit que realice la capa física, control de errores, control de comunicación y control del medio de comunicación, que permite la transmisión y recepción de la información garantizando la correcta transmisión de ésta y del acceso que tenga cada estación a la misma.

1.1.1 Trama Ethernet [2]

Ethernet es un protocolo de capa de enlace orientada a bit, esto quiere decir que usa la información contenida en ciertas posiciones específicas de los bloques de información, es decir una trama, para controlar las funciones de la transmisión, por ello se tiene que establecer un orden específico para transmitir la información en forma de trama.

Existen 2 tipos de trama Ethernet, la actualmente más usada es la tipo 2 que establece ciertos bloques de información específicos, la trama puede tener un tamaño variable de 64 a 1518 bytes, ésta está compuesta por distintos campos, los cuales son los MAC *address* de destino y fuente de 6 bytes cada uno, el *Ether Type* de 2 bytes, la carga que puede variar de 46 a 1500 bytes y el CRC chequeo de errores 4 bytes, ordenados como en el esquema que se muestra a continuación.

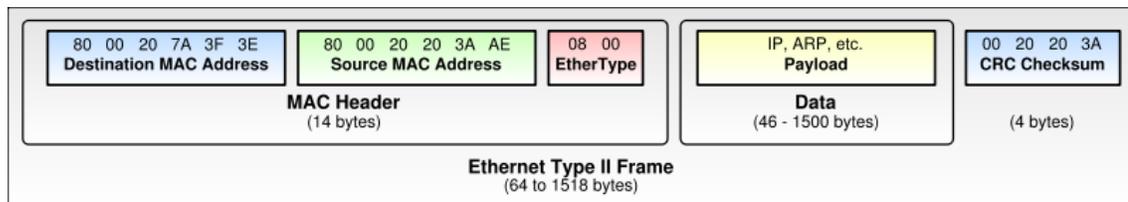


Fig1. Trama Ethernet [2]

El MAC *Address* es el llamado *media access control*, que es un identificador de equipos de red, es decir, cada equipo que esté conectado a una red posee un identificador único de 6 bytes de tamaño, y por su identificador se puede saber a qué equipo particular pertenece. En los campos de destino y fuente de la trama Ethernet se establece el equipo que transmite y el equipo receptor de la información, y la red es la que mediante los adaptadores de red y el enrutamiento lleva la información a los distintos equipos que requirieron dicha información.

El campo *Ether Type* compuesto por 2 bytes, establece qué tipo de protocolo está siendo transportado en una trama de Internet, como lo pueden ser IPv4, IPv6, ARP, RARP, Ethertalk, AARP, etc.

El campo *Payload* o carga es el que lleva la información encifrada en distintos protocolos para ser transportada.

El campo CRC es el encargado de hacer la detección de errores al tiempo de transmisión.

1.1.2 Señales de línea y codificación en Ethernet

Para Fast Ethernet 100Base TX (802.3u), la codificación de señales se lleva a cabo mediante el código 4B/5B, y para Gigabit Ethernet 1000 BASE-X (802.3z), la codificación utilizada es 8B/10B. Donde cada uno de los canales binarios son convertidos de una señal binaria de 2 a la 4 bits a 2 a la 5 bits, igualmente con 8B/10B que convierte un código de 2 a la 8 bits en uno de 2 a la 10 bits. La transmisión de estos datos es serial.

La señalización de línea usada para Fast Ethernet 100Base TX (802.3u), es MLT-3, *multilevel threshold-3*, esto significa que por cada transición de la señal, ésta puede tomar 1 de los 3 niveles. La codificación 4B/5B es transmitida en el cable trenzado de cobre en una serie de 3 voltajes.

La señalización de línea usada para Gigabit Ethernet 1000 BASE-X (802.3z), es 8B/10B NRZ, usando 10 bits para codificar cada byte (8bits). Usando esta codificación de 10Bits causa que la velocidad de transmisión sea de 1000Mbps (GbE).

1.2 WDM [3]

Es el acrónimo para *wavelength division multiplexing*, el proceso mediante el cual se multiplexan diferentes longitudes de onda de diferentes frecuencias en una sola fibra óptica, al hacer esto se crean varias fibras virtuales con la capacidad de transportar diferentes señales.

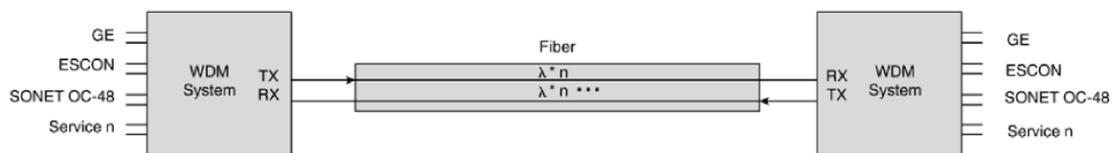


Fig2. Conexión DWDM (1)

Cada canal virtual contenido en la fibra óptica, tiene la capacidad de transportar señales a distintas velocidades, como lo pueden ser STM-1 y STM-4, como también en distintos formatos como SONET/SDH, ATM y muchos otros. WDM soporta distintas topologías como lo son malla, anillo y punto a punto. Para largas distancias en WDM se usa típicamente topologías punto a punto. La principal razón para la implementación de WDM es que es mucho más sencillo añadir una longitud de onda a un sistema de WDM que conectar nuevas fibras.

Existen 4 tipos de servicios WDM

- Metro WDM (<200Km)
- Larga distancia o WDM regional (200Km a 800Km)
- Larga distancia extendida WDM (800Km a 2000Km)
- Ultra larga distancia (>2000Km)

1.2.1 CWDM

Acrónimo para *coarse wavelength division multiplexing*, estos sistemas de WDM son específicamente usados para transmisiones de corto alcance (<50Km) de datos, voz, video y servicios multimedia, las cuales no necesitan regeneración de la señal ni la presencia de amplificadores ópticos.

Estos sistemas pueden alcanzar velocidades de transmisión de hasta 2.5Gbps y pueden multiplexar un máximo de 18 longitudes de onda, dando como resultado una velocidad de transmisión máxima de 45Gbps por fibra.

Se usa las ventanas de transmisión de 1270nm hasta 1610nm.

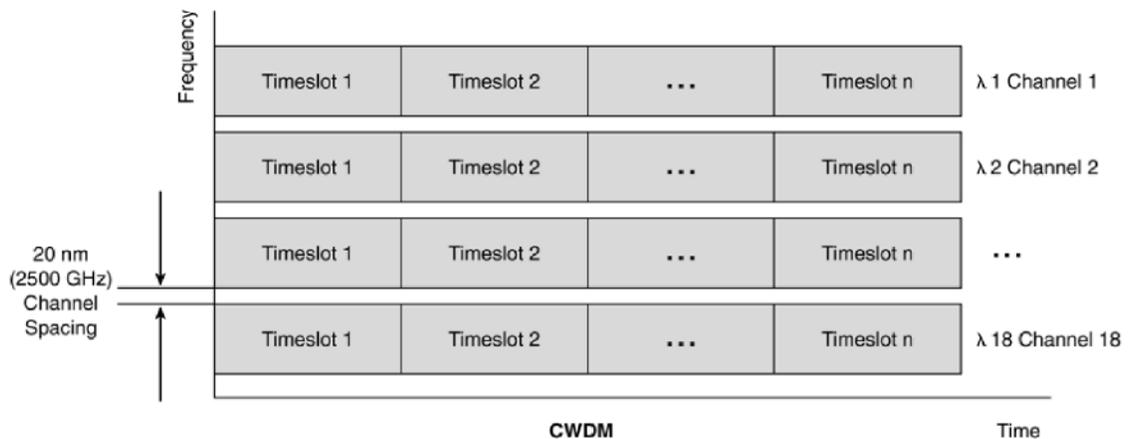


Fig3. Espaciamiento de canales CWDM (1)

1.2.2 DWDM

Acrónimo para *dense wavelength division multiplexing*, estos sistemas son usados tanto en transmisiones de largo alcance como de corto alcance, en servicios de datos, voz, video y servicios multimedia, adecuados para los *core* donde la capacidad y

demanda de tráfico sean extremadamente grandes, los sistemas típicos de DWDM usan velocidades de transmisión de hasta 10Gbps y pueden multiplexar hasta 240 longitudes de onda en una sola fibra alcanzando un máximo de 2.4Tbps por fibra. La mayoría de los sistemas de DWDM usan la banda de 1530nm a 1565nm (banda C) y desde 1565nm a 1625nm (banda L).

Es válido acotar que no todas las fibras actualmente instaladas son compatibles con DWDM, dado que la mayoría de los equipos de DWDM trabajan en banda C y las plantas antiguas de fibra están optimizadas para la banda O (1310nm).

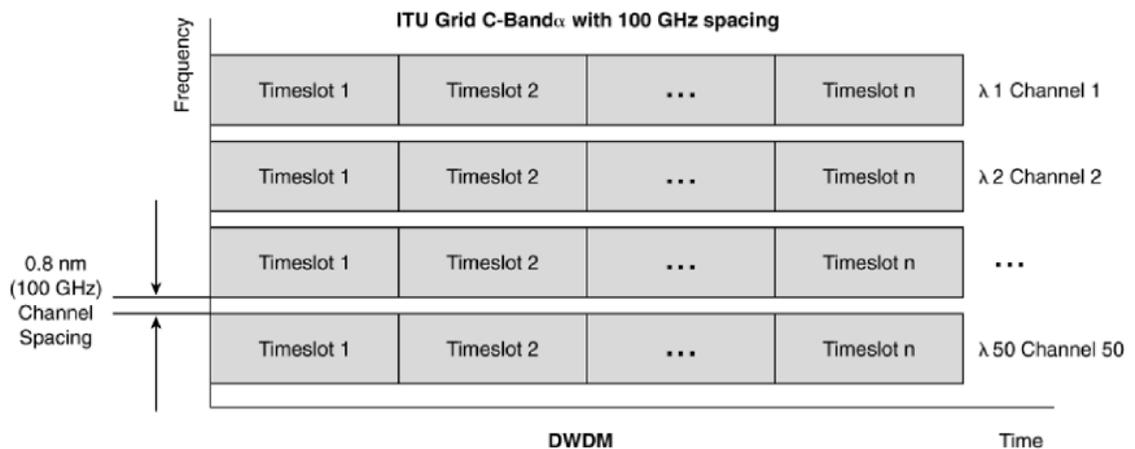


Fig4. Espaciamiento de canales DWDM (1)

1.2.3 Espaciamiento entre canales en WDM

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) estableció una serie de estándares para las telecomunicaciones, por las cuales se rigen todos los sistemas ópticos de WDM hoy en día. Esto tiene la finalidad de hacer que la interoperabilidad internacional de diversos sistemas de DWDM sea posible. La introducción del estándar ITU-G.694.1, establece una tabla de frecuencias con la cual operar en sistemas de fibra óptica para aplicaciones de DWDM. La tabla está anclada a 193.1 Thz o 1552.52nm y soporta una variedad de espaciamiento entre canales que pueden ser, 12.5Ghz (0.1nm), 25Ghz (0.2nm), 50Ghz(0.4nm) y 100Ghz(0.8nm).

Los sistemas más comúnmente usados en DWDM usan espaciamiento entre canal de 50GHz y 100GHz.

Tabla de frecuencias ITU G.694.1

Tabla1.Espaciamiento entre canales Recomendación ITU (1)

L-Band ^[a]		L-Band ^[b]		C-Band ^[a]		C-Band ^[b]		S-Band ^[a]		S-Band ^[b]	
100-GHz Grid		50-GHz Offset		100-GHz Grid		50-GHz Offset		100-GHz Grid		50-GHz Offset	
THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm
186.00	1611.79	186.05	1611.35	191.00	1569.59	191.05	1569.18	196.00	1529.55	196.05	1529.16
186.10	1610.92	186.15	1610.49	191.10	1568.77	191.15	1568.36	196.10	1528.77	196.15	1528.38
186.20	1610.06	186.25	1609.62	191.20	1567.95	191.25	1567.54	196.20	1527.99	196.25	1527.60
186.30	1609.19	186.35	1608.76	191.30	1567.13	191.35	1566.72	196.30	1527.22	196.35	1526.83
186.40	1608.33	186.45	1607.90	191.40	1566.31	191.45	1565.90	196.40	1526.44	196.45	1526.05
186.50	1607.47	186.55	1607.04	191.50	1565.50	191.55	1565.09	196.50	1525.66	196.55	1525.27
186.60	1606.60	186.65	1606.17	191.60	1564.68	191.65	1564.27	196.60	1524.89	196.65	1524.50
186.70	1605.74	186.75	1605.31	191.70	1563.86	191.75	1563.45	196.70	1524.11	196.75	1523.72
186.80	1604.88	186.85	1604.46	191.80	1563.05	191.85	1562.64	196.80	1523.34	196.85	1522.95
186.90	1604.03	186.95	1603.60	191.90	1562.23	191.95	1561.83	196.90	1522.56	196.95	1522.18
187.00	1603.17	187.05	1602.74	192.00	1561.42	192.05	1561.01	197.00	1521.79	197.05	1521.40
187.10	1602.31	187.15	1601.88	192.10	1560.61	192.15	1560.20	197.10	1521.02	197.15	1520.63
187.20	1601.46	187.25	1601.03	192.20	1559.79	192.25	1559.39	197.20	1520.25	197.25	1519.86
187.30	1600.60	187.35	1600.17	192.30	1558.98	192.35	1558.58	197.30	1519.48	197.35	1519.09
187.40	1599.75	187.45	1599.32	192.40	1558.17	192.45	1557.77	197.40	1518.71	197.45	1518.32
187.50	1598.89	187.55	1598.47	192.50	1557.36	192.55	1556.96	197.50	1517.94	197.55	1517.55
187.60	1598.04	187.65	1597.62	192.60	1556.55	192.65	1556.15	197.60	1517.17	197.65	1516.78
187.70	1597.19	187.75	1596.76	192.70	1555.75	192.75	1555.34	197.70	1516.40	197.75	1516.02
187.80	1596.34	187.85	1595.91	192.80	1554.94	192.85	1554.54	197.80	1515.63	197.85	1515.25

L-Band ^[a]		L-Band ^[b]		C-Band ^[a]		C-Band ^[b]		S-Band ^[a]		S-Band ^[b]	
100-GHz Grid		50-GHz Offset		100-GHz Grid		50-GHz Offset		100-GHz Grid		50-GHz Offset	
187.90	1595.49	187.95	1595.06	192.90	1554.13	192.95	1553.73	197.90	1514.87	197.95	1514.49
188.00	1594.64	188.05	1594.22	193.00	1553.33	193.05	1552.93	198.00	1514.10	198.05	1513.72
188.10	1593.79	188.15	1593.37	193.10	1552.52	193.15	1552.12	198.10	1513.34	198.15	1512.96
188.20	1592.95	188.25	1592.52	193.20	1551.72	193.25	1551.32	198.20	1512.58	198.25	1512.19
188.30	1592.10	188.35	1591.68	193.30	1550.92	193.35	1550.52	198.30	1511.81	198.35	1511.43
188.40	1591.26	188.45	1590.83	193.40	1550.12	193.45	1549.72	198.40	1511.05	198.45	1510.67
188.50	1590.41	188.55	1589.99	193.50	1549.32	193.55	1548.91	198.50	1510.29	198.55	1509.91
188.60	1589.57	188.65	1589.15	193.60	1548.51	193.65	1548.11	198.60	1509.53	198.65	1509.15
188.70	1588.73	188.75	1588.30	193.70	1547.72	193.75	1547.32	198.70	1508.77	198.75	1508.39
188.80	1587.88	188.85	1587.46	193.80	1546.92	193.85	1546.52	198.80	1508.01	198.85	1507.63
188.90	1587.04	188.95	1586.62	193.90	1546.12	193.95	1545.72	198.90	1507.25	198.95	1506.87
189.00	1586.20	189.05	1585.78	194.00	1545.32	194.05	1544.92	199.00	1506.49	199.05	1506.12
189.10	1585.36	189.15	1584.95	194.10	1544.53	194.15	1544.13	199.10	1505.74	199.15	1505.36
189.20	1584.53	189.25	1584.11	194.20	1543.73	194.25	1543.33	199.20	1504.98	199.25	1504.60
189.30	1583.69	189.35	1583.27	194.30	1542.94	194.35	1542.54	199.30	1504.23	199.35	1503.85
189.40	1582.85	189.45	1582.44	194.40	1542.14	194.45	1541.75	199.40	1503.47	199.45	1503.10
189.50	1582.02	189.55	1581.60	194.50	1541.35	194.55	1540.95	199.50	1502.72	199.55	1502.34
189.60	1581.18	189.65	1580.77	194.60	1540.56	194.65	1540.16	199.60	1501.97	199.65	1501.59
189.70	1580.35	189.75	1579.93	194.70	1539.77	194.75	1539.37	199.70	1501.21	199.75	1500.84
189.80	1579.52	189.85	1579.10	194.80	1538.98	194.85	1538.58	199.80	1500.46	199.85	1500.09
189.90	1578.69	189.95	1578.27	194.90	1538.19	194.95	1537.79	199.90	1499.71	199.95	1499.34
190.00	1577.86	190.05	1577.44	195.00	1537.40	195.05	1537.00	200.00	1498.96	200.05	1498.59
190.10	1577.03	190.15	1576.61	195.10	1536.61	195.15	1536.22	200.10	1498.21	200.15	1497.84
190.20	1576.20	190.25	1575.78	195.20	1535.82	195.25	1535.43	200.20	1497.46	200.25	1497.09
190.30	1575.37	190.35	1574.95	195.30	1535.04	195.35	1534.64	200.30	1496.72	200.35	1496.34
190.40	1574.54	190.45	1574.13	195.40	1534.25	195.45	1533.86	200.40	1495.97	200.45	1495.60
190.50	1573.71	190.55	1573.30	195.50	1533.47	195.55	1533.07	200.50	1495.22	200.55	1494.85
190.60	1572.89	190.65	1572.48	195.60	1532.68	195.65	1532.29	200.60	1494.48	200.65	1494.11
190.70	1572.06	190.75	1571.65	195.70	1531.90	195.75	1531.51	200.70	1493.73	200.75	1493.36
190.80	1571.24	190.85	1570.83	195.80	1531.12	195.85	1530.72	200.80	1492.99	200.85	1492.62
190.90	1570.42	190.95	1570.01	195.90	1530.33	195.95	1529.94	200.90	1492.25	200.95	1491.88

La recomendación ITU G.694.2 especifica una longitud de onda para aplicaciones en CWDM en redes metropolitanas, el plan de longitud de onda contenido en esta recomendación G.694.2 tiene un espaciamiento de canal de 20nm, para acomodar láseres que tienen gran amplitud espectral y/o deriva termal. Él especifica 18 longitudes de onda para CWDM definidas en el rango de 1270nm a 1610nm.

Tabla2. CWDM ITU-T G.694.2 (1)

Center Wavelength (nm)
1270
1290
1310
1330
1350
1370
1390
1410
1430
1450
1470
1490
1510
1530
1550
1570
1590
1610

Actualmente muchos equipos DWDM operando en banda C con espaciamiento de 100GHz usan la recomendación ITU-T G.692. Las longitudes de onda del estándar G.692 son una subcategoría del estándar G.694.

En WDM la protección utilizada es en diversidad de fibra, ya que las fallas principales que pueden ocurrir en estos sistemas son generalmente en las líneas físicas, y el reenrutamiento de la información es automático en caso de tener un anillo como topología.

1.3 SDH

Es el acrónimo para *Synchronous Digital Hierarchy*, el cual es definido por los estándares ITU-T SDH, que establece la tasa de bits, formato, capa física, elementos de red, características de arquitectura y criterios operacionales de las redes.

Las recomendaciones ITU-T SDH son las siguientes:

- G.691- Interfaces ópticas para sistemas SDH con un solo canal con amplificadores ópticos y sistemas STM-64.
- G.707- Interfaz de nodo de red para SDH.
- G.781- Recomendaciones en estructura de equipos para SDH.
- G.782- Tipos y características para equipos SDH.
- G.783- Características de bloques funcionales en equipos SDH.
- G.803- Arquitecturas en redes de transporte basadas en SDH.
- G.813- Características en los relojes esclavos de equipos SDH (SEC).
- G.825- Control del Jitter en redes digitales basadas en SDH.
- G.826- Parámetros de comportamiento de error y objetivos para una tasa de bit constante en los caminos digitales por encima de la tasa primaria.
- G.831- Capacidades de manejo de transporte en redes basadas en SDH.
- G.957- Equipos de interfaz óptica y sistemas relacionados con SDH.
- G.958- Sistemas de línea digital basadas en SDH para uso con cables de fibra óptica.
- I.432- Criterios para interfaz de la capa física de la red B-RDSI.

Los sistemas SDH tienen distintas velocidades de transmisión, siendo esto posible mediante la multiplexación de contenedores virtuales, el término STM-N es utilizado para denotar los circuitos SDH lo cual significa *Synchronous Transfer Module*, modulo de transferencia sincrónica, y el número inmediatamente después, establece la multiplexación del circuito como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla3. Tasa de Velocidades SDH (1)

Nivel SDH	Tasa de Linea (Mbps)	Tasa de Carga (Mbps)	Tasa Overhead (Mbps)	Equivalente SONET
STM-0	51.840	50.112	1.728	STS-1
STM-1	155.520	150.336	5.184	STS-3
STM-3	466.560	451.008	15.552	STS-9
STM-4	622.080	601.344	20.736	STS-12
STM-6	933.120	902.016	31.104	STS-18
STM-8	1244.160	1202.688	41.472	STS-24
STM-13	1866.240	1804.032	62.208	STS-36
STM-16	2488.320	2405.376	82.944	STS-48
STM-32	4976.640	4810.752	165.888	STS-96
STM-64	9953.280	9621.504	331.776	STS-192
STM-256	39813.120	38486.016	1327.104	STS-768

1.3.1 Funcionamiento de las capas SDH

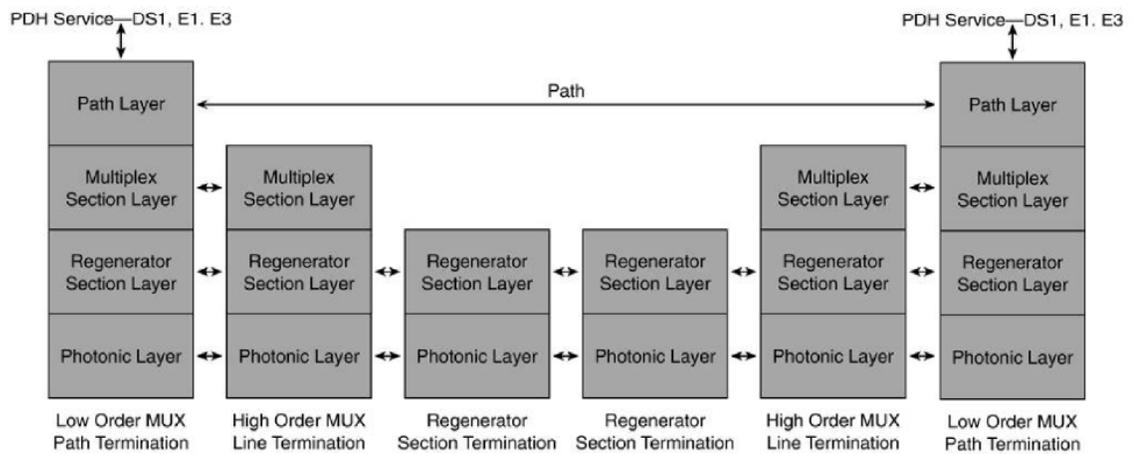


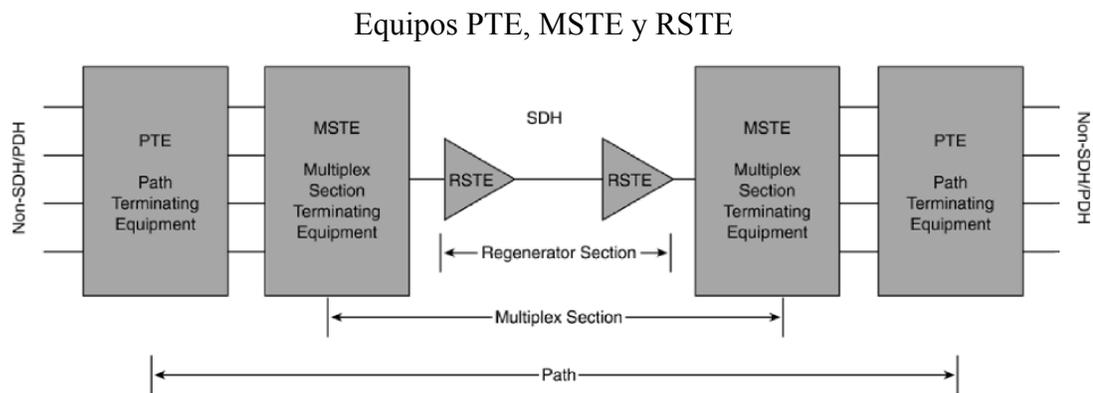
Fig5. Esquema de funcionamiento de las capas en SDH (1)

1.3.1.1 Capa de Trayecto (*Path Layer*)

Es el camino lógico entre los puntos en que la trama SDH es ensamblada y desensamblada, el *Path Overhead* (POH) es añadida o quitada en esta capa.

1.3.1.1.1 Equipo Terminal de camino (*Path Terminal Equipment*) PTE

El PTE SDH es un elemento de red que permite la multiplexación y demultiplexación de los contenedores virtuales (VC-N payload) existentes en el formato de una trama SDH, la cabecera POH es generada cuando la señal no SDH entra en el PTE y es desincorporado de la trama SDH cuando la señal deja un PTE.



1.3.1.2 Capa de multiplexación (*Multiplex Section*)

La sección de multiplexación se define como el medio de transmisión, junto con el equipo asociado. Es el encargado de proveer los medios para transportar la información entre dos elementos de red (NE), un elemento de red origina la señal de línea y el otro la elimina, en esta capa se añade o se extrae el *overhead* MSOH (*multiplex section overhead*).

1.3.1.2.1 Equipo Terminal de sección de multiplexación (*Multiplex Section Terminal Equipment*) MSTE

Un equipo SDH MSTE es aquel que origina y/o termina las señales STM-N, el *overhead* MSOH es generado por el MSTE y es usado para la comunicación y sincronización entre los nodos principales y para el monitoreo de errores.

1.3.1.3 Capa de sección de regeneración (*Regenerator Section Layer*)

Es la porción de la instalación de transmisión, es decir el punto Terminal de un elemento de red y el punto terminal de uno o dos regeneradores, el *overhead* de regeneración RSOH, *regeneration section overhead*, es añadido y extraído en esta capa.

Equipo Terminal de regenerador de sección (*Regeneration Section Terminal Equipment* RSTE)

El equipo terminal de regeneración de sección, es el elemento de red que regenera la señal de los circuitos STM-N en las transmisiones de largo alcance, este equipo puede acceder, modificar o terminar los *overhead* RSOH o puede realizar una combinación de las acciones anteriores.

1.3.1.4 Capa fotónica (Photonic Layer)

Ésta principalmente maneja el envío de bits a través del medio físico (fibra óptica), su función principal es la conversión de señales STM-N y de pulsos de luz en la fibra.

Sus funciones incluyen lanzamiento de longitudes de onda, formación de pulsos y modulación de niveles de potencia.

1.3.2 Arquitecturas de protección en SDH

1.3.2.1 Conmutación de protección automático (*Automatic Protection Switching*) APS

APS es una tecnología concebida para proveer recuperación de enlaces en caso de alguna falla, esto es posible teniendo dispositivos SDH en 2 pares de fibra distintas, uno de ellos (transmisor y receptor), es el que cursa el tráfico, y el otro par es usado para protección, el tramo que transporta el tráfico y el tramo de protección son enrutados sobre caminos físicos distintos para que la protección sea efectiva.

Las fibras usadas para protección pueden o no cargar copia del tráfico cursante, dependiendo de cómo esté configurada la protección (1: N o 1+1), solo la sección de multiplexación está protegida por el APS, debido a que la transmisión es protegida en las secciones ópticas desde el punto en el cual el *overhead* MSOH es insertado hasta el punto en que éste es eliminado. La protección de conmutación es iniciada como resultado de falla en la señal, degradación de la señal o en respuesta a alguna orden de algún terminal local (*Craft Terminal*) o un controlador remoto de red (*remote network manager*).

1.3.2.2 Protección 1+1

En protección 1+1, la señal en el punto de emisión es continuamente puentada al nivel de los contenedores virtuales VC-4/STM-1, tanto en el tramo de transmisión como en el de protección, para que una carga idéntica sea transmitida sobre un par de fibras distintas hasta el punto de recepción, en este punto las señales son monitoreadas continuamente en caso de fallas, entonces el equipo mediante criterios locales selecciona cuál de las señales no presenta fallas. Como la señal está siempre en ambos tramos, el tiempo de conmutación al tramo de protección es muy corto, el

receptor puede detectar alguna degradación de la señal y hace el cambio entre el tramo a seleccionar, asegurando que no existan problemas en la transmisión.

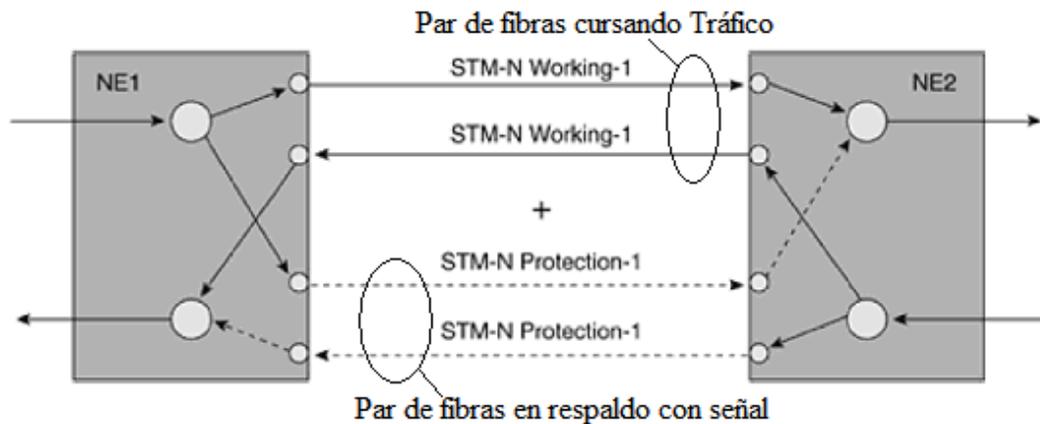


Fig7. Esquema de protección 1+1 (1)

1.3.2.3 Protección 1: N

En este tipo de arquitectura de protección, el tráfico cursante es transmitido en un tramo sencillo hasta que ocurre alguna falla, la protección es activada cuando esto ocurre. Se establece que existe un solo tramo de protección para N circuitos que cursan tráfico en alguna red, de ocurrir una falla, el protocolo APS es usado para conmutar el tráfico al tramo de protección. Como solo se protege un solo tramo a la vez, en caso de que falle más de un circuito, se debe establecer una prioridad entre los circuitos a proteger, para que en el momento que ocurran las fallas, el circuito de más importancia sea el que utilice el tramo de protección, el tráfico cursante de los demás circuitos será descartado.

En el caso 1:N existe un tramo de protección por cada N tramos que cursan tráfico, pero no existe tráfico en el tramo de protección.

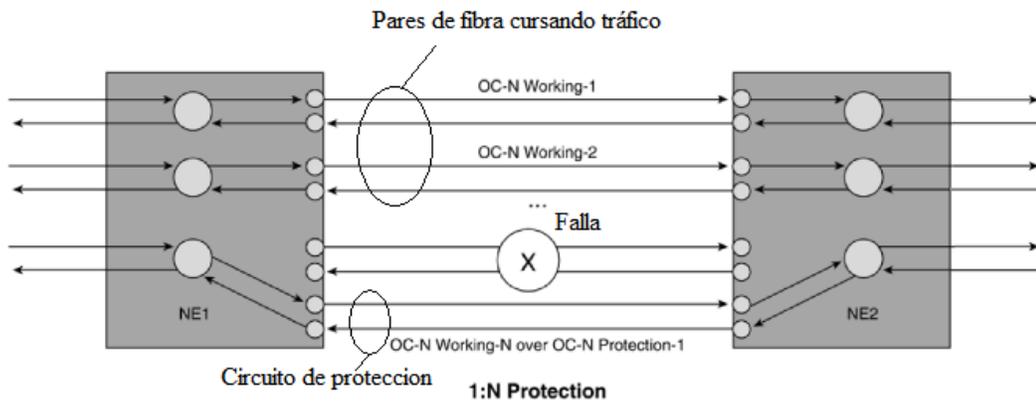


Fig8. Esquema de protección 1:N (1)

1.4 MPLS *Multi Protocol Label Switching* [4] [5]

Es un mecanismo de transporte de información, que pertenece a la familia de redes conmutadas de paquetes, este esquema corresponde a un nivel de la capa OSI entre la capa de enlace de datos (capa 2) y la capa de red (capa 3). Este protocolo es usado para transportar distintos tipos de tráfico, como IP y tramas Ethernet.

Las etiquetas MPLS se disponen en los routers de las redes, para así construir un mapa de etiqueta a etiqueta. A cada paquete IP se le añade una etiqueta MPLS para cuando éste es enviado a la red, el enrutamiento sea llevado a cabo por las etiquetas MPLS y no por el enrutamiento IP, es decir al enrutar un paquete IP por MPLS, éste se guía por la etiqueta MPLS y no por la destinación IP del mismo, estando el enlace *end to end*, así garantiza la completa transmisión de los paquetes.

En la siguiente figura se muestra un esquema de red IP/MPLS, donde se puede observar, que la ruta del tráfico es seleccionada por MPLS.

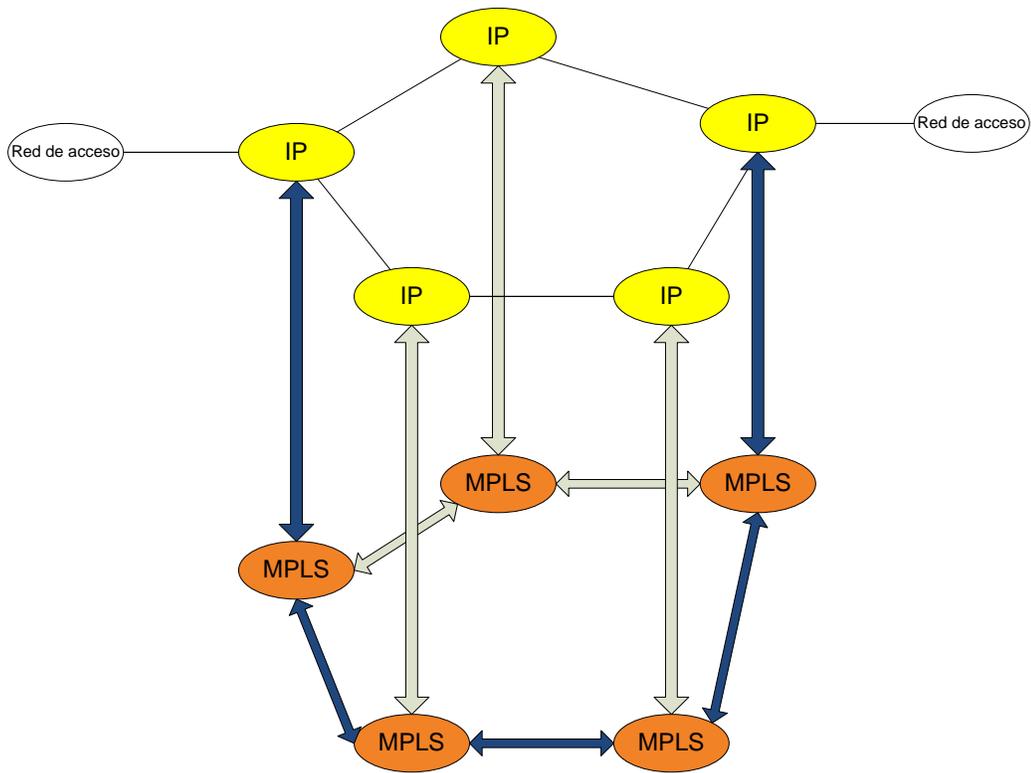


Fig9. Esquema de funcionamiento de una red MPLS (elaboración propia)

1.4.1 Beneficios de MPLS

1.4.1.1 Infraestructura de red unificada

Cada paquete que ingresa en la red es etiquetado mediante MPLS, basándose en la dirección destino, para así enrutar todo el tráfico en una infraestructura común. Al usar MPLS con IP, se pueden extender las posibilidades en lo que se puede transportar, ya que mediante el uso de etiquetas añadidas a los paquetes, se permite que otros protocolos además de IP, sean transportados sobre un backbone IP MPLS *Layer 3*.

MPLS puede transportar IPv4, IPV6, ETHERNET, HDLC y otras tecnologías de capa 2, la característica que permite a cualquier trama de capa 2 ser transportada a través del *backbone* MPLS es llamado *Any Transport over MPLS (AToM)* (Protocolo propietario desarrollado por CISCO). Los routers que enrutan el tráfico MPLS no necesitan estar concientes de la carga MPLS, solo necesitan ser capaces de enrutar el tráfico al observar la etiqueta que reside sobre cada paquete. En esencia, MPLS es un método simple de enrutar múltiples protocolos en una sola red, lo único que se necesita es tener una tabla de envío que consiste en etiquetas entrantes que son sustituidas por etiquetas salientes para un próximo salto.

1.4.1.2 Core Libre de BGP

En las redes IP, el proveedor de servicio debe enviar el tráfico, y cada router de la red debe buscar la dirección IP destino, si estos paquetes son enviados a direcciones que son externas para el proveedor de servicios de red, los prefijos de las direcciones IP externas deben estar presente en la tabla de enrutamiento de cada router, el protocolo BGP es el que se encarga de los prefijos externos como de los prefijos del usuario o de los prefijos Internet, esto significa que todo los routers de la red deben funcionar con BGP.

MPLS en cambio, permite a los paquetes entrantes en la red, observar las etiquetas en vez de observar las direcciones IP. MPLS establece una etiqueta asociada con un egreso en el router y no la dirección IP destino, esta etiqueta es la información adherida al paquete y le indica a cada router intermedio, a cuál router ubicado en el límite de la red local debe enviar cada paquete. Por lo tanto los enrutadores ubicados en el *Core* de la red no necesitan utilizar el protocolo BGP, pero los enrutadores ubicados en el límite de la red necesitan utilizar BGP debido a que se necesita visualizar la dirección IP destino.

Cada prefijo BGP que ingresa a un enrutador MPLS tiene un IP de próximo salto asociado con él, ésta es una dirección IP que denota el egreso de un enrutador MPLS, la etiqueta asociada con el paquete IP es la que está asociada con el BGP de próximo salto IP. Cada enrutador envía un paquete basado en la etiqueta MPLS, que está asociado con el BGP de próximo salto IP. Cada uno de estos paquetes que egresan de un enrutador MPLS deben ser conocidos por todos los enrutadores del *Core* y esto es posible mediante cualquier protocolo interno de *Gateway (IGP)* como OSPF o ISIS.

1.4.1.3 Ingeniería de Tráfico

La idea primordial de la ingeniería de tráfico es el uso óptimo de la infraestructura de red incluyendo los enlaces que no son completamente utilizados por no estar en el camino preferido por los enrutadores, esto significa que se debe proveer la posibilidad de direccionar tráfico a través de la red en caminos diferentes del preferido, que no es más que el camino de menor costo seleccionado por el enrutamiento IP. El camino de menor costo es el camino “más corto” seleccionado por el *dynamic routing protocol*, con ingeniería de tráfico implementada en redes MPLS, se puede transportar el tráfico destinado de un punto A hacia otro B con ciertas condiciones de calidad de servicio o para un prefijo particular, a través de caminos distintos al de menor costo. El resultado es que el tráfico puede ser esparcido de manera pareja a través de los enlaces disponibles en la red y hacer uso de enlaces no utilizados que no cumplen con el criterio del camino de menor costo.

1.4.2 Arquitectura MPLS

1.4.2.1 Etiquetas MPLS

Una etiqueta MPLS es un campo de 32 Bits que posee una estructura específica.

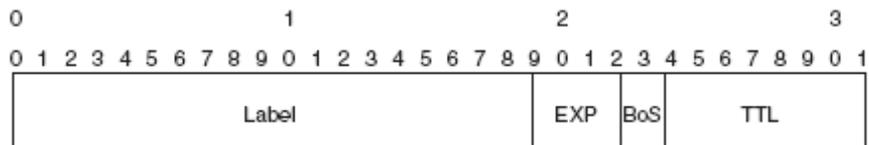


Fig10. Etiqueta MPLS (3)

Los primeros 20 bits son valores de la etiqueta, que representan 1.048.575 valores, sin embargo, los primeros 16 valores son exentos del uso normal, ya que éstos poseen un significado especial. Los bits del 20 al 22 son los 3 bits *Experimental* (EXP), son usados solamente para calidad de servicio (QoS).

El bit 23 es el llamado *Bottom of Stack* (BoS) que significa “fondo de la pila”, éste siempre toma el valor “0” a menos que éste sea la etiqueta final en la pila y en este caso es “1”. *The Stack* o la pila es la recopilación de etiquetas que son encontradas encima del paquete, esta pila puede tener 1 o más etiquetas, el número de etiquetas que se pueden encontrar en la pila son ilimitadas, sin embargo muy raramente se pueden ver pilas que consistan de 4 o más etiquetas.

Los bits desde el 24 hasta el 31 son los 8 bits usados para (TTL) o *Time to Live*, que no es más que el tiempo de vida del paquete, éste cumple la misma función que en la cabecera IP, simplemente el conteo de TTL decrece con cada salto y su función principal es evitar que un paquete se quede en un lazo de enrutamiento, si no estuviesen presente los bits TTL, el paquete puede estar infinitamente en un lazo entre 2 enrutadores, si el valor TTL llega a “0”, el paquete es descartado por el enrutador.

En la siguiente figura se muestra una pila de etiquetas encima de un paquete, se puede observar que el bit 23 o BoS es “0” en todas las etiquetas a excepción de la última en la cual el valor es “1”. En algunas aplicaciones MPLS, son necesarias más de una etiqueta en la pila para poder enviar los paquetes etiquetados. Los ejemplos más comunes de esto son MPLS VPN y AToM, ambas aplicaciones colocan 2 etiquetas en la pila.

Label	EXP	0	TTL
Label	EXP	0	TTL
...			
Label	EXP	1	TTL

Fig11. *Label Stack (3)*

Los elementos de una red MPLS son los llamados *Label Switch Router (LSR)* o enrutadores de etiquetas, es un router capaz de entender las etiquetas MPLS y de recibir y transmitir paquetes etiquetados a través de un enlace de datos. Existen 3 tipos de LSR, los cuales son:

- LSRs de Ingreso: Son aquellos enrutadores que reciben un paquete no etiquetado entrante a la red MPLS, éste le inserta la etiqueta en frente del paquete para enviarlo a un enlace de datos.
- LSRs de Egreso: Son aquellos que al recibir un paquete etiquetado, le remueven la etiqueta y lo envían a un enlace de datos ubicado afuera de la red MPLS.

- LSRs Intermedios: Estos son aquellos que reciben un paquete etiquetado y realizan intercambios de etiquetas para enviarlo al enlace correcto dentro de la red MPLS.

1.4.2.2 Label Switched Path (LSP)

Es llamado el camino enrutado de etiquetas, comprende una secuencia de LSRs que enrutan paquetes etiquetados a través de una red MPLS, básicamente un LSP es el camino a través de la red MPLS o una parte de este camino que toman los paquetes. El primer LSR de un LSP es el LSR de ingreso para ese LSP, donde el último LSR del LSP es el LSR de egreso, y todos los LSRs entre el ingreso y egreso son los LSRs intermedios. Vale acotar que cada LSP es unidireccional.

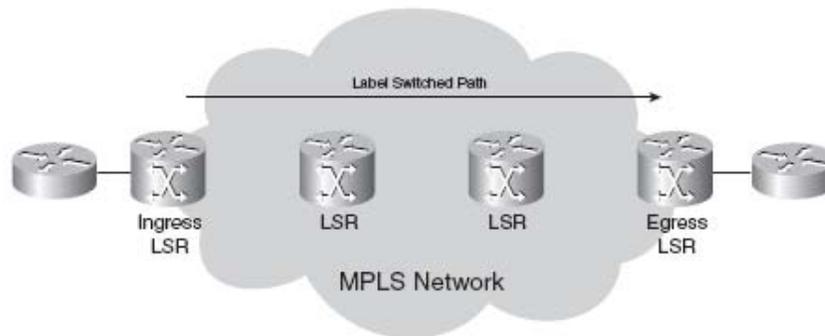


Fig12. LSP (3)

No necesariamente, el primer LSR en etiquetar un paquete es el LSR de ingreso para un LSP específico, debido a que pueden existir LSRs anidados que corresponden a LSPs diferentes, lo que significa tener un LSP dentro de otro LSP. Lo que ocurre en este caso es que por cada LSP, cada paquete contiene una etiqueta debido a que el router de ingreso para cada LSP añade una etiqueta, la etiqueta ubicada en el tope del paquete pertenece al LSP anidado y la etiqueta que se encuentra en el fondo del *Label Stack* pertenece al LSP que atraviesa toda la red MPLS. Generalmente, los LSP anidados corresponden a un caso de respaldo de ingeniería de tráfico (TE) en las redes MPLS.

En la siguiente figura se muestra un LSP dentro de otro LSP, ambos transportan paquetes, etiquetados por LSR distintos. De ésta manera se puede observar como funciona la ingeniería de tráfico en una red MPLS.

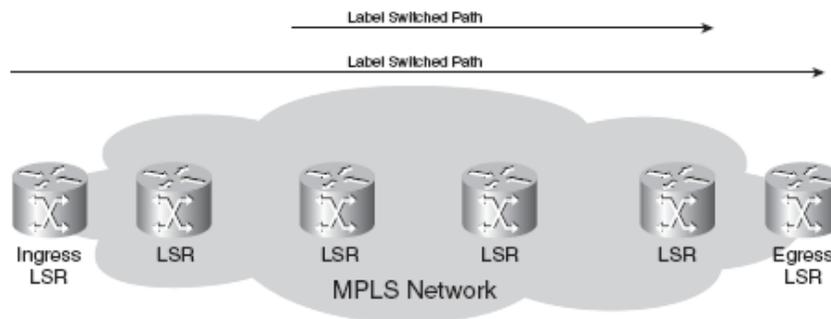


Fig13. LSP anidados (3)

1.5 All Transport over MPLS (AToM)

AToM fue desarrollado después de varios años del uso de MPLS VPN, como solución para transportar tráfico IP a través de un *backbone* MPLS compartido, de un proveedor de servicio. El proveedor de servicio posee una red específica construida para transportar tráfico en capa 2 desde los clientes, pero los enrutadores de los clientes están interconectados en capa 3 y no interaccionan con los equipos del proveedor de servicio en capa 3, debido a que éste posee un *backbone* MPLS y la red por la cual se transporta tráfico en capa 2 desde los clientes es antigua (legacy network), AToM se encarga de transportar el tráfico en capa 2 desde los clientes hasta la red MPLS, eliminando la necesidad de trabajar con 2 redes separadas lado a lado, una en capa 2 y otra en capa 3.

En la siguiente figura se puede observar un esquema de red AToM, donde los clientes están conectados a los PE mediante enlaces en capa 2, y a partir de estos, los paquetes son transportados a través de la red MPLS hacia los otros clientes.

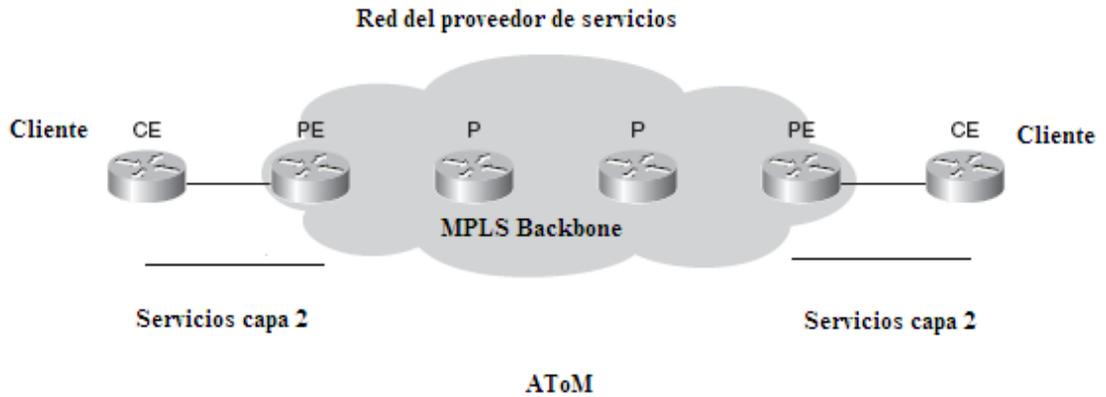


Fig14. Esquema de Red AToM (3)

MPLS VPN provee el servicio de crear VPNs en capa 3, en cambio AToM crea VPNs en capa 2, algunas veces referida como L2VPN, la inteligencia de AToM reside en el *provider edge* (PE) por lo tanto es una tecnología de límite (*Edge*) y ésta se limita a crear servicios punto a punto en capa 2, también llamado como *virtual private wire service* (VPWS).

1.5.1 Arquitectura

La arquitectura está basada en *pseudowires*, éstos cargan el tráfico de los clientes en capa 2 de un lado al otro del *backbone* de la red conmutada de paquetes, independientemente si este *backbone* es IP o MPLS. Los *pseudowires* son conexiones entre enrutadores PE y emulan un circuito que está transportando tramas en capa 2 usando *tunneling*. Las tramas en capa 2 son encapsuladas en un paquete IP como (L2TPv3) o etiquetadas (MPLS), el resultado es que este servicio de capa 2, su operación y características son emuladas a través de la red conmutada de paquetes (PSN).

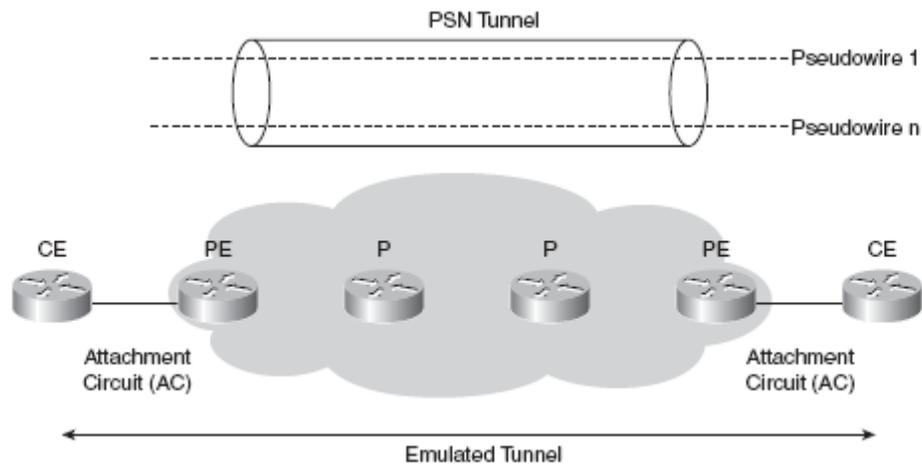


Fig15. Creación de un *Pseudowire* (3)

Dentro de los túneles pueden haber uno o más *pseudowires* que conectan a los circuitos (AC) por medio de los enrutadores PE, los circuitos AC pueden estar funcionando con protocolos como ATM, Frame Relay, Ethernet y HDLC, estas tramas al llegar a un enrutador PE son encapsuladas y enviadas a través de un *pseudowire* al enrutador remoto PE, el enrutador de egreso PE recibe el paquete del *pseudowire* y remueve lo encapsulado, éste extrae las tramas y las envía al circuito AC (*attachment circuit*) remoto.

Los túneles son *Label Switched Path* (LSP) entre 2 enrutadores PE, la etiqueta asociada a ese túnel es llamada etiqueta de túnel en el contexto de AToM. En MPLS existen 2 tipos de señalización, el primero es mediante el protocolo *Label Distribution Protocol* (LDP), que señala salto por salto entre 2 enrutadores PE, el segundo es estableciendo el LSP como un túnel MPLS implementado con ingeniería de tráfico (TE) que el *Resource Reservation Protocol* (RSVP) señala con las extensiones necesarias para la ingeniería de tráfico.

La etiqueta de túnel cumple la función de identificar a cuál túnel de la red conmutada de paquetes pertenece la sesión del cliente, también permite transportar los paquetes desde un enrutador de ingreso a uno de egreso a través del *Backbone* MPLS. Para

poder multiplexar varios *pseudowires* en un túnel de la PSN, los enrutadores PE deben añadir otra etiqueta para identificar el *pseudowire*, esta etiqueta es llamada VC (circuito virtual) o PW (*pseudowire*) y es usada para identificar el VC o PW en la cuál está multiplexada la trama.

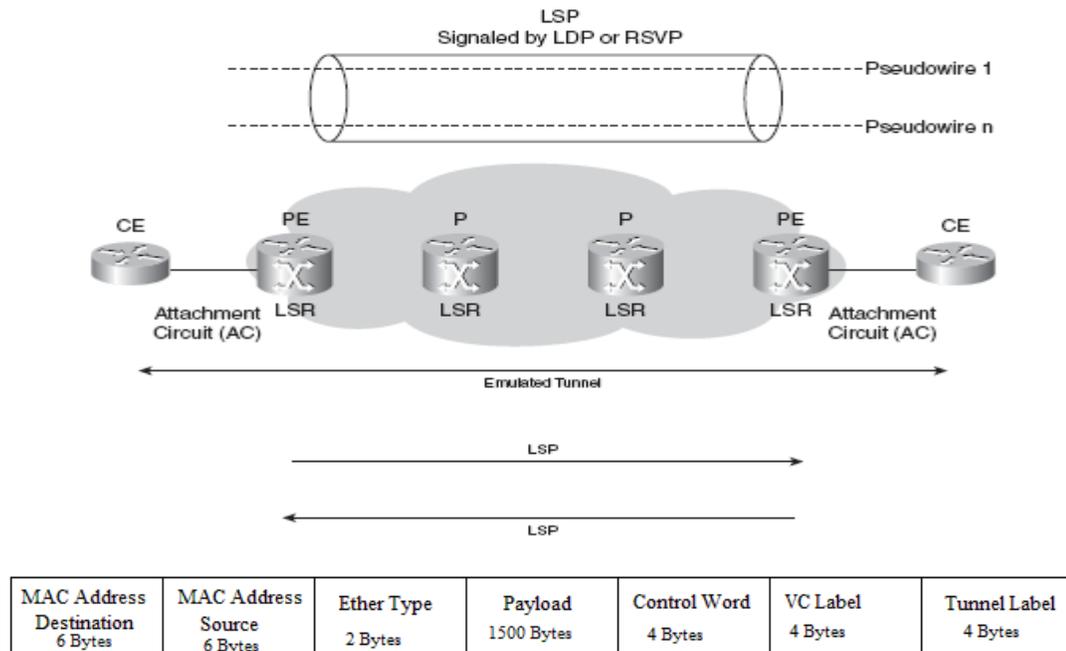


Fig16. Emulación de PW mediante protocolos (3)

Cabe destacar que los LSP son unidireccionales, y para establecer un *pseudowire* se deben establecer 2 LSP entre 2 enrutadores PE, uno en cada dirección.

1.5.1.1 Palabra de Control (*Control Word*)

La palabra de control es un campo de 32 bits que es insertado entre la etiqueta VC y la trama en capa 2 transportada, en el caso de AToM es necesaria para ciertos tipos de protocolos y opcionales para otros, este campo contiene información concerniente a información de control de protocolo y una secuencia de números, todo esto se lleva a cabo en un formato comprimido. Esta información es necesaria para transportar

eficientemente los protocolos de capa 2 a través de una red MPLS, esta palabra de control cuando es usada, es señalizada por los enrutadores PE o puede ser configurada en ellos.

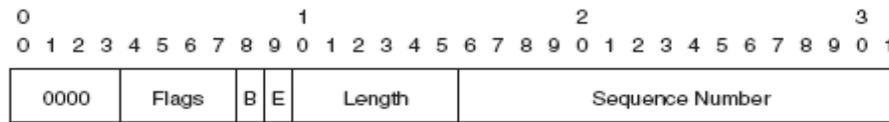


Fig17. Palabra de control (3)

Las funciones de la palabra de control son:

- Ensamblar y desensamblar paquetes pequeños.
- Cargar los bits de control de las cabeceras de capa 2 del protocolo transportado.
- Preservar la secuencia de las tramas transportadas.
- Facilitar el correcto balanceo de los paquetes AToM en la red MPLS.
- Facilitar la fragmentación y re-ensamblaje.

En resumen, para transportar eficientemente una trama en capa 2 por AToM, se añaden las etiquetas encima de la trama en el siguiente orden:

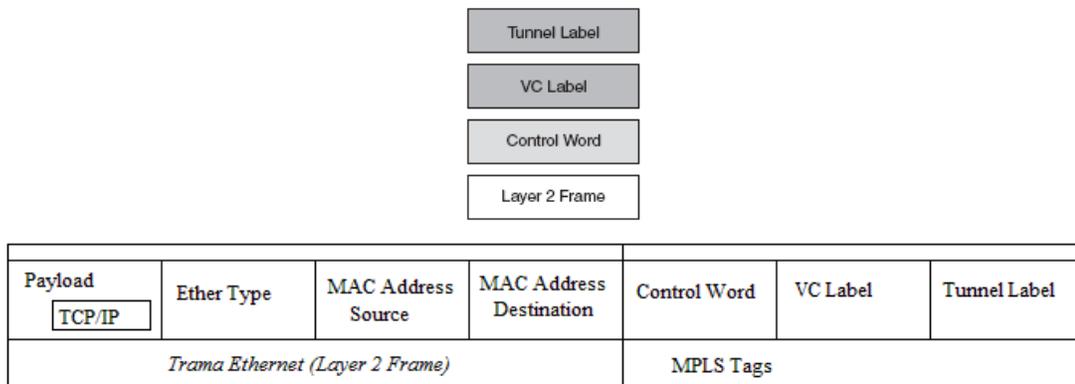


Fig18. Orden de etiquetas en MPLS (3) (Elaboración propia)

1.5.1.2 MTU en MPLS para redes AToM

Para asegurar que no va a existir segmentación de paquetes en la red, el tamaño del paquete en MPLS debe ser de igual o menor tamaño que la trama de mayor tamaño a transportar en la red, éste puede ser configurado en la red dependiendo del protocolo en el cual se esté cursando el tráfico, para así establecer el tamaño de los paquetes de manera eficiente, por ejemplo en el caso de Ethernet sobre MPLS, transportando un paquete IP de 1500 bytes, la carga AToM sería de 1514 o 1518 bytes, los 14 bytes añadidos son los 6 bytes para la dirección MAC fuente y destino, otros 2 bytes para el *Ethertype* para un paquete de 1514 bytes , pero en caso de trabajar con 802.1Q (VLAN Tag) se añadirían 4 bytes, y el total de la trama sería 1518 bytes.

Por lo que se recomienda, que en los núcleos de la red MPLS, la unidad de transporte de mensaje o tamaño de cada paquete sea de al menos 1530 bytes para evitar fragmentación en la red, y transportar cada trama individualmente como un paquete.

Payload 1500 Bytes	Ether Type 2 Bytes	802.1Q 4 Bytes	MAC Address Source 6 Bytes	MAC Address Destination 6 Bytes	Control Word 4 Bytes	VC Label 4 Bytes	Tunnel Label 4 Bytes
1530 Bytes							

Fig19. MTU en MPLS (Elaboración propia)

1.5.2 Ethernet over MPLS

Al usar Ethernet sobre MPLS, se utilizan estrictamente topologías punto a punto, todas las tramas Ethernet son transportadas de un enrutador PE de ingreso a otro PE de egreso, esto sería el equivalente a conectar dos redes LAN a través de un enlace WAN punto a punto, la conexión no es multipunto y por esto no hay emulación de funcionalidad LAN.

1.5.2.1 Forwarding en MPLS

Cuando el enrutador de ingreso recibe la trama Ethernet, éste quita el preámbulo, el delimitador de comienzo de trama (SFD) y los campos FCS, después se añade la palabra de control, se etiqueta la trama y la envía a través de la red MPLS, si la trama posee una etiqueta 802.1Q, ésta se mantiene. En el enrutador de egreso PE, la etiqueta VC se quita, y la palabra de control es removida, se añade el FCS Ethernet y la trama es enviada a través del enrutador o switch CE.

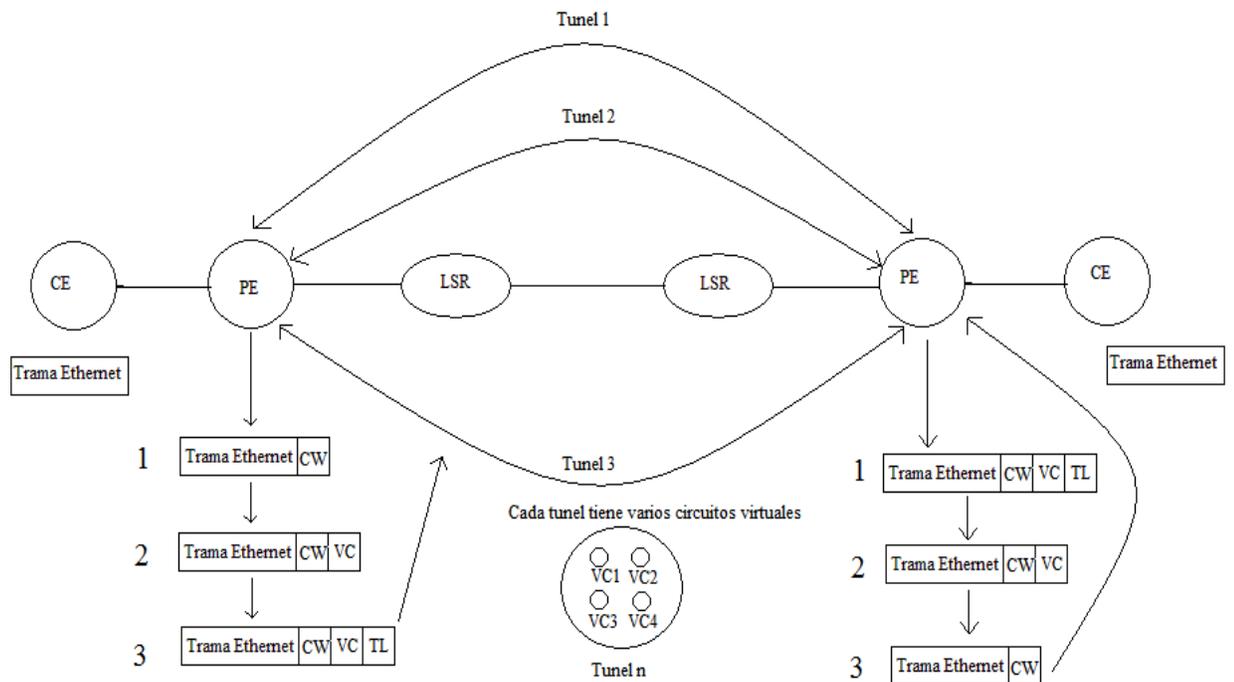


Fig20. Forwarding en MPLS (Elaboración propia)

1.5.2.2 Escenarios de EoMPLS

1.5.2.2.1 EoMPLS Transportando Ethernet simple.

Payload 1500 Bytes	Ether Type 2 Bytes	MAC Address Source 6 Bytes	MAC Address Destination 6 Bytes	Control Word 4 Bytes	VC Label 4 Bytes	Tunnel Label 4 Bytes
-----------------------	-----------------------	----------------------------------	---------------------------------------	-------------------------	---------------------	-------------------------

Fig21. Encapsulado en Ethernet Simple (Elaboracion Propia)

Los enrutadores PE cargan las tramas no etiquetadas recibidas de los enrutadores CE a través de los *pseudowires*. Los enrutadores PE corren EoMPLS en modo Ethernet de puerto. Esto quiere decir que se establece una única sesión a través de un *pseudowire* entre 2 enrutadores PE de la red MPLS, mediante una conexión punto a punto y así transportar las tramas Ethernet.

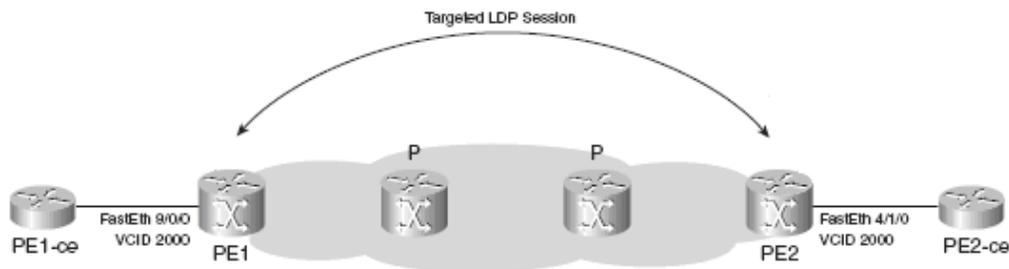


Fig22. Esquema de red MPLS transportando Ethernet Simple (3)

En el gráfico se observa el identificador de circuito virtual donde se transportan las tramas Ethernet, para este ejemplo es el VCID 2000, es decir, con un solo identificador se denota una sola sesión para un único usuario, se observa que se utiliza un solo puerto Ethernet en cada enrutador CE (Fast Eth 9/0/0 y Fast Eth 4/1/0) para ésta sesión.

1.5.2.2.2 EoMPLS Transportando *Ethernet Trunk*

Payload 1500 Bytes	Ether Type 2 Bytes	802.1Q 4 Bytes	MAC Address Source 6 Bytes	MAC Address Destination 6 Bytes	Control Word 4 Bytes	VC Label 4 Bytes	Tunnel Label 4 Bytes
-----------------------	-----------------------	-------------------	----------------------------------	---------------------------------------	-------------------------	---------------------	-------------------------

Fig23. Encapsulado para Ethernet Trunk (Elaboración propia)

Cuando el *Attachment Circuit* es un *Ethernet Trunk*, la configuración es la misma que en el caso anterior, con la diferencia que los enrutadores CE son configurados con subinterfaces 802.1Q, por lo que las tramas Ethernet son etiquetadas cuando el enrutador PE las recibe. El resultado es que los enrutadores PE transportan todo el *Trunk* 802.1Q a través de la red MPLS en un *pseudowire* y las tramas transportadas tienen las etiquetas 802.1Q.

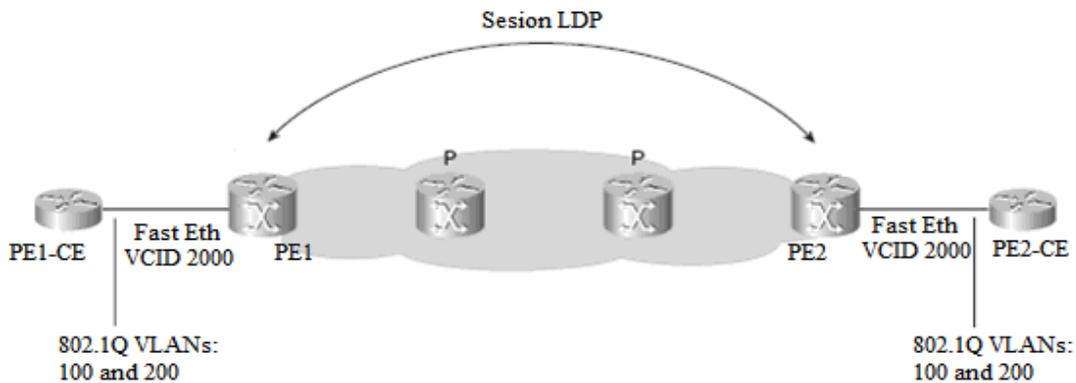


Fig24. Esquema de red MPLS transportando Ethernet trunk (3)

En este caso, se establece un solo *pseudowire* en la red MPLS, para transportar 2 sesiones Ethernet identificadas por las etiquetas 802.1Q (identificadores VLAN 100 y 200), a través del circuito virtual VCID 2000, y se usa un solo puerto por el cuál enviarlas a través de la red.

Un *Ethernet Trunk* es un enlace punto a punto entre una o más interfaces de conmutadores Ethernet y algún otro elemento de red como un router o switch, éstos pueden transportar el tráfico de múltiples VLAN a través de un enlace simple y permitir extenderlas completamente en una red.

1.5.2.2.3 EoMPLS Transportando una VLAN

Payload 1500 Bytes	Ether Type 2 Bytes	802.1Q 4 Bytes	MAC Address Source 6 Bytes	MAC Address Destination 6 Bytes	Control Word 4 Bytes	VC Label 4 Bytes	Tunnel Label 4 Bytes
-----------------------	-----------------------	-------------------	----------------------------------	---------------------------------------	-------------------------	---------------------	-------------------------

Fig25. Encapsulado al transportar una VLAN (Elaboración propia)

Se tiene un *trunk* 802.1Q entre los enrutadores CE y PE, cada VLAN es mapeada en un *pseudowire*, como cada VLAN es mapeada en un *pseudowire* distinto, se tiene la ventaja de poder enrutar de manera diferente cada uno de ellos en la red MPLS, o de manera similar, tener los *pseudowires* distintos entre enrutadores PE. Esto quiere decir que se tiene la ventaja de enviar el tráfico por distintos VC y *pseudowires*, de las sesiones establecidas VLAN.

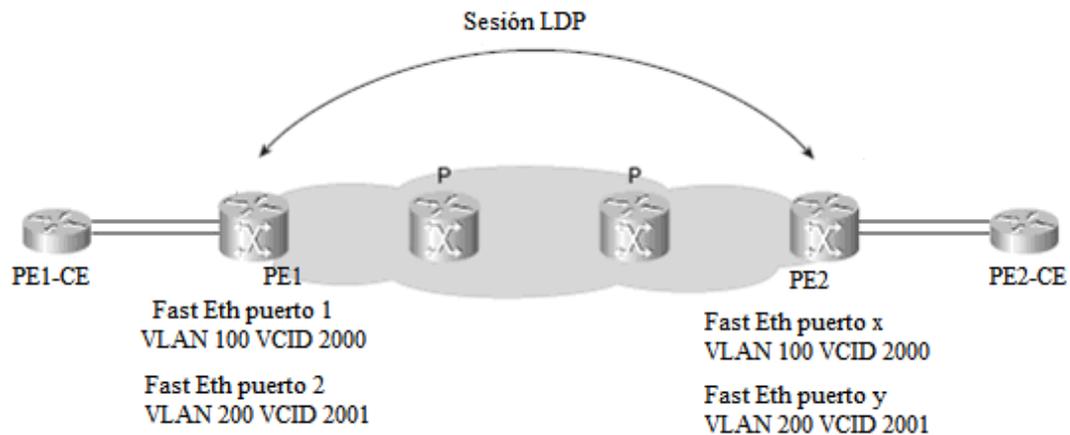


Fig26. Esquema de red MPLS transportando una VLAN (3)

(Se tienen entre 2 PE distintos 2 pseudowires)

En este caso, se puede observar que se tienen 2 sesiones 802.1Q, etiquetadas por el enrutador CE, y éste las envía al enrutador PE a través de 2 puertos Ethernet distintos, y por circuitos virtuales distintos (VCID 2000 y VCID 2001). Se envían 2 sesiones de VLAN distintas en *pseudowires* distintos y en puertos distintos.

1.6 NG-SDH [6]

Los sistemas tradicionales de SDH inicialmente fueron concebidos para redes orientadas a voz, por ello no son totalmente eficientes a la hora de transportar paquetes, de esta necesidad nacen los sistemas de nueva generación de SDH, que son muy eficientes al transportar voz, datos y video en forma de paquetes, siendo compatibles con sistemas TDM.

Las diferencias fundamentales que se pueden nombrar, que son causales del buen desempeño de NG-SDH, son los nuevos protocolos usados dentro del mismo, los cuales son GFP, VC y LCAS entre los más importantes.

1.6.1 Concatenación

Es el proceso de colocar en un contenedor grande, el ancho de banda de varios contenedores del mismo tipo, existen dos tipos de concatenación, virtual y contigua.

1.6.1.1 Concatenación Contigua (*contiguous concatenation*) CC [9]

Este proceso es el responsable de crear grandes contenedores virtuales a través de contenedores más pequeños, a la hora de transmitir estos contenedores no se pueden dividir, en el extremo receptor, el elemento de red debe de tener la capacidad de reconocer las tramas y extraer los paquetes de éstas.

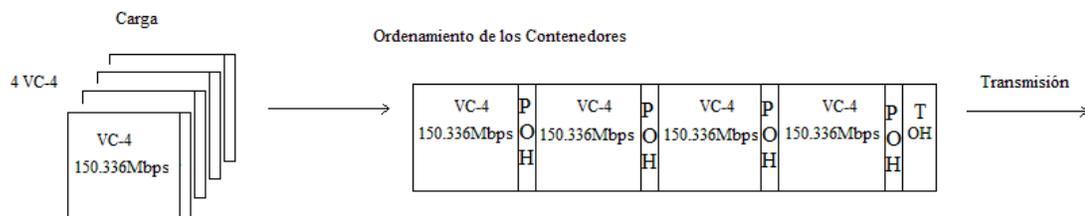


Fig27. Esquema de Concatenación Contigua (Elaboración Propia)

1.6.1.2 VC (*virtual concatenation*) Concatenación Virtual

En este proceso, una trama de alta velocidad es segmentada en contenedores de bajo orden o paquetes, entonces cada contenedor de bajo orden es transportado individualmente por cargas SDH distintas y por caminos distintos. De esta manera aumenta la eficiencia en transporte de tráfico sobre distintos protocolos.

En el punto de recepción en la red, los contenedores de bajo orden son recolectados y reensamblados a su forma original. Como consecuencia de usar caminos separados para transportar los contenedores, éstos pueden tener un *retardo diferencial*, esto implica que en el punto de destino, los contenedores deben entrar en un *buffer* para ser arreglados en el orden correcto, realineados y entonces ser reensamblados.

En la siguiente tabla se muestran las eficiencias entre CC y VC al transportar distintos tipos de tráfico en diferentes circuitos.

Tabla4. Eficiencia de NG-SDH con respecto al tipo de carga que transporta (2)

Table 4.5 Efficiency of CC and VC for various payloads

Service	Data rate (Mbits/s)	CC		Efficiency (%)	VC		Efficiency (%)
		SONET	SDH		SONET	SDH	
Ethernet	10	STS-1	VC-3	20	VT-1.5-7v	VC-12-5v	90
Fast Ethernet	100	STS-3c	VC-4	67	STS-1-2v	VC-3-2v	100
Gbit-Ethernet	1,000	STS-48c	VC-4-16	42	STS-1-21v	VC-4-7v	95
ESCON	200	STS-12c	VC-4-16	33	STS-1-4v	VC-3-4v	100
FC	1,000	STS-21c		85	STS-1-18v		95
ATM	25	STS-1	VC-3	50	VC-1.5-16v	VC-12-12v	98

Tabla5. Velocidades de transmisión de la jerarquía SDH (2)

Table 4.3 ITU-T data rates for SONET/SDH

Signal designation			
SONET	SDH	Optical	Line rate (Mbps)
STS-1	STM-0	OC-1	51.84 (52 M)
STS-3	STM-1	OC-3	155.52 (155 M)
STS-12	STM-4	OC-12	622.08 (622 M)
STS-48	STM-16	OC-48	2,488.32 (2.5 G)
STS-192	STM-64	OC-192	9,953.28 (10 G)
STS-768	STM-256	OC-768	39,813.12 (40 G)

OC-*N*: optical carrier-level *N*

STS-*N*: synchronous transport signal-level *N*

STM-*N*: synchronous transport module-level *N*

1.6.2 GFP (*Generic Framing Protocol*) GFP, defined in ITU-T G.7041 (2)

Generic Framing Protocol (GFP) es un tipo de trama de trabajo de encapsulación flexible para adaptación de tráfico, en aplicaciones de transporte de banda ancha sincrónicas (DS-*n*/E-*n*), de datos paquetizados (IP, GbE, FC, etc.), como también para tramas concatenadas virtualmente en NG-SDH con mejoras en eficiencia y utilización de ancho de banda con el uso de LCAS.

Este procedimiento permite a diferentes tipos de clientes compartir un canal, con mecanismos eficientes para *mapear* protocolos de banda ancha (*fiber Channel*, *ESCON*, *FICON*, *GbE*) en varios contenedores de carga STS-1 concatenados en tramas SONET/SDH.

Permite diferentes topologías de red, haciendo que las redes orientadas a paquetes tengan baja latencia, con calidad de servicio. El GFP permite que las redes existentes de conmutación de circuitos y otras redes basadas en paquetes sean usadas como plataforma integrada e interoperable de transporte, que provee eficiencia en costos y calidad de servicio.

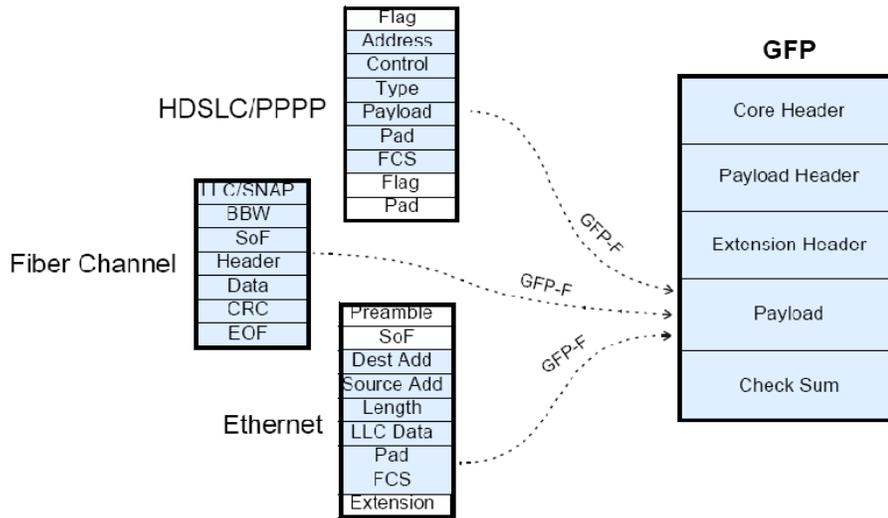


Fig28. Mapeo de señales de clientes mediante GFP-F [6]

NG-SDH y SDH se diferencian principalmente por el proceso de encapsulación flexible de diversos protocolos en tramas generalizadas de GFP, que son mapeados en envoltorios de carga sincrónico de SDH para permitir conmutación de circuitos y de paquetes de gran longitud. GFP toma en cuenta la tecnología DWM (CWDM y DWDM) para sistemas de redes ópticas, la flexibilidad de este protocolo en NG-SDH sobre WDM permite que un canal óptico (un lambda) pueda cargar señales distintas de clientes distintos, para así mejorar la utilización y eficiencia en el ancho de banda.

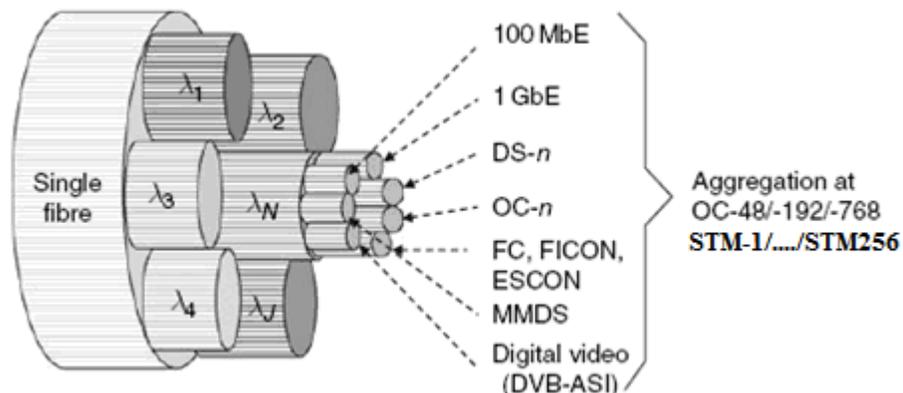


Fig29. Esquema de uso de fibra óptica en NG-SDH (2)

Se encuentran dos tipos de GFP para clientes, también conocidos como modos de transporte, GFP-F para el que contiene tramas mapeadas y el GFP-T con mapeo transparente.

El modo GFP-F (*Framed Mapped*) es óptimo para aplicaciones de conmutación de paquetes, incluyendo IP, PPP, Ethernet (GBE y 10GBE) y GMPLS.

EL modo GFP-T (*Transparent Mapped*) es óptimo para aplicaciones que requieren eficiencia en ancho de banda y aplicaciones sensibles a los retrasos, como FC, FICON, ESCON y SAN (storage area network).

1.6.3 LCAS (*Link Capacity Adjustment Scheme*)

Este protocolo permite a los contenedores NG-SDH (por concatenación virtual) ser añadidos o removidos dinámicamente, tanto para alcanzar los requerimientos de ancho de banda de los usuarios, como para balancear la carga de tráfico cursante en una red. Al añadir o remover contenedores no ocurren choques, esto permite que no haya interrupción de flujo de tráfico.

En la siguiente gráfica se muestra cómo se obtienen los bloques LCAS al segmentar los datos de cliente y utilizar GFP-T.

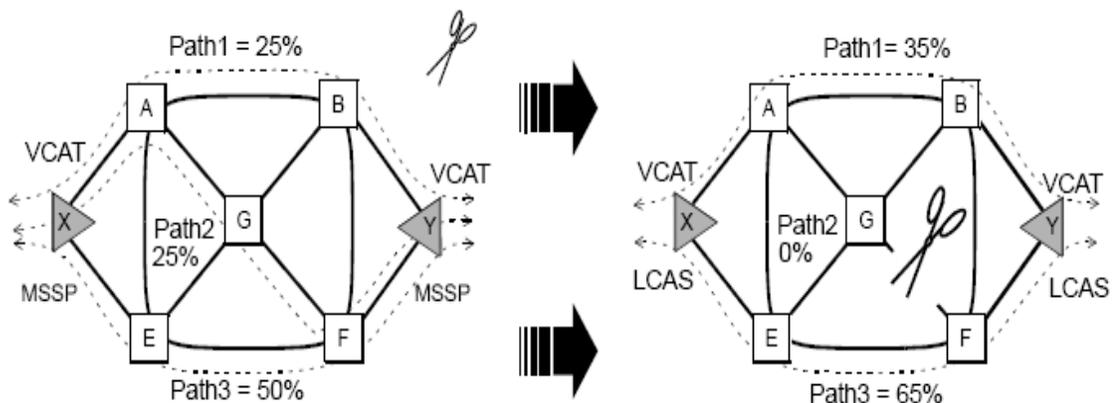


Fig30. Uso del ancho de banda LCAS (2)

LCAS ha logrado el uso de paquetes de control, éstos tienen la finalidad de configurar el camino entre la fuente y el destinatario, el paquete de control es transportado en el byte H4 (SONET/SDH) para contenedores virtuales de alto orden en una supertrama, y en el byte K4 (SONET/SDH) para contenedores virtuales de bajo orden.

Una supertrama consiste en N multitramas, donde cada multitrama consiste en 16 tramas, un paquete de control en la supertrama describe el estado del enlace de la próxima supertrama, los cambios son enviados al nodo receptor dándole suficiente tiempo para reconfigurar al momento en que arriban los paquetes, así se completa la reconfiguración del enlace y toma lugar la conmutación de paquetes.

LCAS es el responsable de que sea posible el envío de contenedores por caminos distintos, haciendo posible, alta eficiencia a la hora de transportar distintos tipos de tráfico sobre NG-SDH.

1.6.4 Diferencias entre SDH y NG-SDH

Tabla6. Diferencias entre SDH y NG-SDH Springer110

	SONET/SDH	NG- SONET/SDH
Topología	Anillo y punto a punto	Anillo, malla, punto a punto, árbol
Tasa de bit	OC-n	OC-n y otros (granularidad incrementada)
Interfaces	OC-n	Interfaces desde DS1 a oc-768 (STM-256)
Canales Ópticos	Compatible con DWDM	Compatible con DWDM
Eficiencia de Carga	Sincrónica y <i>mapeo</i> ATM, poca eficiencia para paquetes	Compatible con todos los <i>mapeos</i> de carga con alta eficiencia, encapsulación y concatenación
Conmutación	Bajo y alto orden	Bajo y alto orden, paquetes
Concatenación	Contigua	Contigua y virtual
Confiabilidad	Alta	Alta
Funcionalidad	Definida SONET/SDH	Múltiple, integrada en el mismo NE
Estrategia de Protección	Conmutación <50 ms para protección por canal y solo para topologías de anillo y punto a punto	Conmutación <50 ms para protección por canal, línea y camino para las topologías que son compatibles
Costo	Alto	Bajo

1.7 VLAN [7]

VLAN es el acrónimo para *Virtual Local Area Network*, es comúnmente conocido como un grupo de usuarios que están conectados a través de una LAN, pero físicamente en lugares distintos, entendiéndose por esto, ubicados en enrutadores diferentes.

Este tipo de redes nace de la restricción, de que la única forma de interconectar usuarios en una red local lo limitaban, la geografía, topologías físicas y distancias entre los equipos, esto quiere decir que para poder establecer una red local, todos los usuarios debían estar conectados directamente al mismo enrutador.

En las VLANs se pueden agrupar lógicamente redes donde los usuarios no estén atados físicamente a su ubicación geográfica, esto quiere decir que se pueden establecer enlaces entre usuarios conectados en enrutadores distintos como si estuviesen en una red local.

Las tecnologías más comúnmente utilizadas que soportan VLAN son:

- ATM
- FDDI
- Fast Ethernet
- Gigabit Ethernet
- 10 Gigabit Ethernet

Las VLAN son esencialmente redes a nivel de capa 2, por lo que las tecnologías asociadas son principalmente de capa 2 como Ethernet, debido a esto el protocolo más utilizado para el desarrollo de VLANs es el 802.1Q, o también conocido como *VLAN Tagging*, el cual es un mecanismo que permite a múltiples redes compartir transparentemente la misma capa física sin tener pérdida de información entre ellas, para ello usan identificadores de VLAN, de esta manera se establece a qué red y a qué sesión pertenecen, permaneciendo como factor común a nivel de acceso el uso de protocolos Ethernet.

Una de las características fundamentales de las VLAN es que mediante el uso de ellas, se pueden establecer sesiones diferentes para tipos de tráfico diferentes en una misma red, utilizando los identificadores de red o etiquetas VLAN.

1.7.1 VLAN Tagging 802.1Q [10]

Una VLAN es básicamente un dominio limitado de broadcast, de forma tal que todos los miembros de una misma VLAN reciben todos y cada uno de los paquetes broadcast enviados por miembros de la misma VLAN pero no los paquetes enviados por miembros de diferentes VLANs..

1.7.1.1 Formato de la trama 802.1Q

La trama 802.1Q es un campo dentro de la trama Ethernet que tiene un tamaño de 4 bytes y está ubicada entre la dirección MAC fuente y el *Type/Lenght* de la trama original.

16 bits	3 bits	1 bit	12 bits
TPID	PCP	CFI	VID

Fig31. Formato 802.1Q

TPID Etiqueta identificadora de protocolo, es un campo de 16 bits que es utilizado para identificar la trama etiquetada.

PCP Prioridad de punto de código, es un campo de 3 bits con el cual se refiere la prioridad en 802.1p, se utiliza para priorizar el tráfico de 0(menor) a 7 (mayor), a los distintos tipos de tráfico (voz, dato o video).

CFI Indicador de forma canónica, es un campo de 1 bit, si el valor es 1 la dirección MAC está en forma no canónica, y si el valor es “0” está en forma canónica. En los enrutadores y *switches* Ethernet siempre está en cero y se usa para compatibilidad entre redes Ethernet y Token Ring.

VID Identificador de VLAN, es un campo de 12 bits que especifica a cuál VLAN pertenece cada trama, si el valor es cero, la trama no pertenece a ninguna VLAN y en este caso la etiqueta 802.1Q especifica solo una prioridad con esa etiqueta.

1.8 VPLS (*Virtual Private LAN Service*) [8]

VPLS emula segmentos de LAN a través del *Backbone* MPLS, usando para esto *pseudowires* o circuitos virtuales. Para cada usuario en VPLS se crea una o más LAN. Cuando el usuario se conecta a través del *Backbone* MPLS con diferentes sitios Ethernet donde esté presente VPLS, pareciera como si todos los sitios estuviesen interconectados a través de un enrutador Ethernet virtual. Una LAN Ethernet es un dominio de capa 2, las tramas Ethernet son transportadas a través del *Backbone* MPLS, de la misma manera en la que funciona EoMPLS, sin embargo este último es un servicio punto a punto, en comparación con VPLS emulando LAN, es un servicio punto a multipunto y debe soportar *Replicating Broadcast* y tramas *Multicast*. En la siguiente figura se muestran 3 LAN conectadas entre si por una red VPLS.

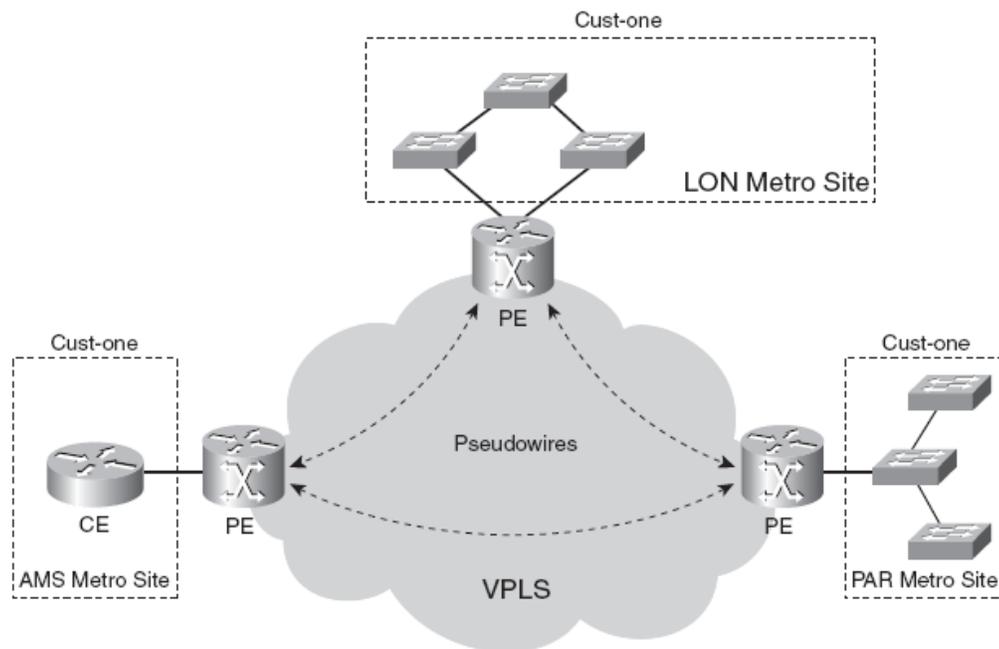


Fig32. Red VPLS

La red VPLS está compuesta por distintos equipos, los que están ubicados en el PE (*Provider Edge*) y los que están ubicados en el (*Client Edge*), los PE se encuentran distribuidos a través de una red MPLS y éstos están conectados a su vez por túneles virtuales conocidos como *Pseudowires*, en VPLS se asume que Ethernet es la interfaz entre el PE y el CE.

En el dispositivo PE reside toda la inteligencia de VPN, es donde VPLS comienza y termina y donde se establecen todos los túneles necesarios para conectar los otros PEs.

Cada instancia VPLS crea una malla llena de *pseudowires* entre todos los enrutadores PE que participan en esa instancia (sesión)

1.8.1 Arquitectura VPLS

Los servicios VPLS emulan una LAN o las funcionalidades de los *switches* de Ethernet como lo son:

- Envío de tramas Ethernet.
- Envío de tramas Ethernet *Unicast* con direcciones MAC con destino desconocido.
- Replicación de Tramas *Broadcast* y *Multicast* a más de un puerto.
- Prevención de Lazo cerrado (*LOOP*).
- Aprendizaje dinámico de direcciones MAC.
- Envejecimiento de direcciones MAC. (Eliminación de direcciones MAC inactivas de la tabla de direcciones).

Las tramas Ethernet reciben dos etiquetas MPLS antes de ser enviadas a través de la red MPLS, se impone una etiqueta de circuito virtual, la cual sirve como etiqueta de

demultiplexación, e indica a qué circuito virtual pertenece la trama, y la etiqueta de túnel que es aquella colocada al tope e indica cómo van a ser enviadas las tramas en el ingreso del PE hasta el egreso del router del PE.

1.8.2 Calidad de servicio en VPLS

Con AToM se puede implementar calidad de servicio (QoS) en VPLS, normalmente los bits prioritarios del protocolo 802.1Q son copiados en los Bits *Experimental* (EXP) de las etiquetas MPLS, de esta manera si el proveedor de servicios desea cambiar la calidad de servicio a ofrecer, éste puede emplear *Modular QoS Command Line Interface* (MQC). Esto significa que en la interfaz VLAN, el proveedor de servicios puede configurar el MQC para controlar el tráfico, de esta manera se pueden establecer los bits EXP de las etiquetas MPLS impuestas en los circuitos, en un valor específico, para así darle al tráfico una tasa promedio en velocidad.

De esta manera, los bits EXP en la etiqueta tope de la “label stack” determinan la QoS del paquete y cómo va a ser tratado cuando un LSR *Label Switching Router* lo envía.

Las diferencias entre VPLS y EToM es principalmente que mientras EToM solamente transporta tramas Ethernet de manera punto a punto a través de MPLS, VPLS establece el envío de tramas Ethernet de una manera punto a multipunto, lo que quiere decir que VPLS es el servicio de capa 2 que emula una LAN a través de una red MPLS.

CAPITULOII

METODOLOGIA

2.1 Caracterización de la Red Existente

Para realizar la planificación y elegir el diseño adecuado de red, se debe analizar y conocer la configuración de la red actualmente utilizada, así como sus equipos, tecnologías, sistemas de control de alarmas, protección y de respaldo en caso de problemas (“NMS”), de esta manera se puede hacer un diseño de red adaptado a las necesidades de la Empresa tomando en cuenta parámetros como escalabilidad de los equipos, vida útil, costos y facilidad de mantenimiento.

Actualmente, la red de la Empresa consta de dos anillos de fibra óptica, los cuales unen a norte América con sur América, mediante el siguiente esquema:



Fig33. Red de la Empresa Brasil Telecom of America [11]

En la estación de cable submarino en La Guaira, se tienen 2 salas principales en las cuales se encuentran los equipos que gestionan el tráfico en la red submarina, en la primera sala se encuentra la plataforma de cable submarino Alcatel 1620SLTE, el cual gestiona el tráfico que se transa entre Maiquetía Venezuela y la ciudad de Boca Raton en Florida, de la misma manera en la segunda sala, se encuentra la plataforma de cable submarino Alcatel Tera10, el cual gestiona el tráfico que se transa entre Maiquetía Venezuela y la ciudad de Fortaleza en Brasil.

La plataforma submarina 1620SLTE, es la nueva generación de equipos que sustituirá gradualmente a la plataforma Tera 10 en toda la red submarina.

Cada estación maneja el tráfico de Internet mediante el uso de equipos Alcatel de fibra óptica submarina SLTE (*Submarine Line Terminal Equipment*) 1620SLTE y TERA10, estos equipos son los que manejan el tráfico total de la red y surten a su vez a equipos que ofrecen diversos servicios. Estos equipos funcionan gestionando SDH/DWDM a nivel submarino, y tienen una capacidad máxima de tráfico de 68 λ (1620SLTE), en la banda C a 1550nm, debido a esto se debe tomar la decisión de trabajar con las interfaces que este equipo pueda manejar a esa longitud de onda. Las opciones como interfaces de agregados son:

- Interfaces 10GbE WAN PHY.
- Interfaces STM-64 (10Gb).
- Interfaces DWDM.

Los tributarios actualmente usados en el equipo son las interfaces STM-64(1 STM-64 por cada λ en la red submarina), ya que los servicios ofrecidos en su mayoría son SDH y una menor demanda en servicios Ethernet.

La siguiente figura muestra la arquitectura de red submarina.

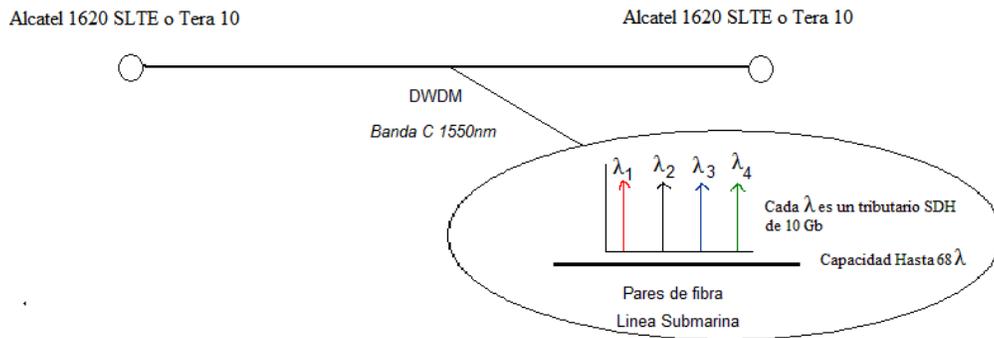


Fig34.Arquitectura de red submarina equipos 1620SLTE y Tera10 (Elaboración propia)

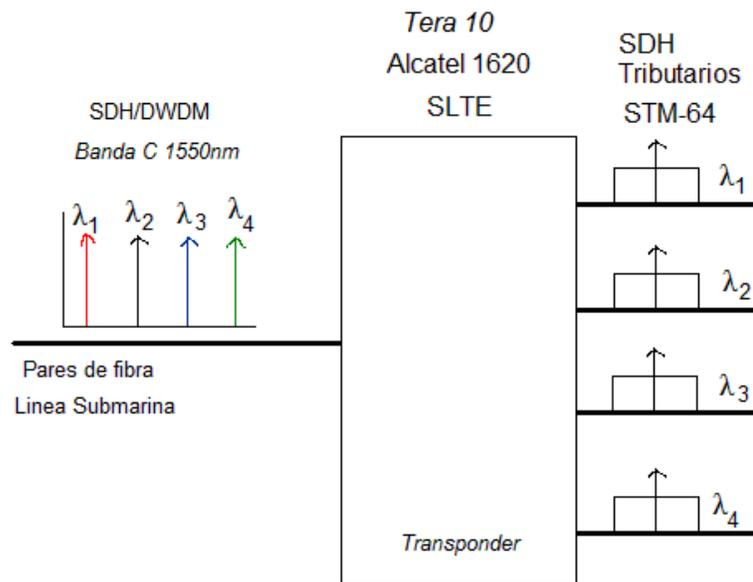


Fig35.Gestión SDH/DWDM equipos Alcatel 1620 y Tera10 (Elaboración propia)

Para la planificación de los servicios Ethernet, se debe conocer la demanda de éstos en el año, como el crecimiento anual, de esta manera se puede establecer una configuración eficiente para solucionar el problema de demanda y maximizar la relación costo beneficio de la Empresa, como la de mejorar la calidad del servicio ofrecido.

Según los datos suministrados por el encargado en ventas y planificación de servicios de la Empresa, la demanda de servicios Ethernet es del 100% por año, donde en el año 2007 se cuentan 4 compañías distintas, lo que quiere decir que para el año 2008 se establecerían servicios para 4 nuevas compañías haciendo que en total sean 8 empresas que requieren servicios Ethernet, en sus diferentes variantes.

A continuación se muestra una tabla de empresas con el tráfico que requieren:

Tabla7. Tráfico cursante en servicios Ethernet

Compañía	Circuitos	Capacidad Instalada	Próximas Instalaciones
IFX		10Mb	Migración a 1Gb Eth 2009
Dayco Host		2x75Mb=150Mb	Migración a 1Gb Eth 2009
COMSAT		90Mb	
Schlumberger		20Mb	
Total	5	270Mb	

A continuación se muestra una tabla de nuevas empresas con el tráfico que requieren:

Tabla8. Circuitos a implementar

Compañía	Próximas Instalaciones
CANTV	1Gb Eth 2008
NET UNO	1Gb Eth 2008
CENIT	1Gb Eth 2008
Genesis*	1Gb Eth 2008
Total	4Gb

El tráfico total a cursar en el año para los servicios ETHERNET es de 4.27Gbps, lo que quiere decir que dentro de un año, haciendo una proyección del 100%, el tráfico se incrementaría a aproximadamente 8Gbps, por ende, al colocar un agregado de 10Gbps se estaría cubriendo el tráfico de 2 años, de la misma manera, al incluir otro agregado de 10Gbps se puede cubrir la demanda del 3er año en caso de que se cumplan las predicciones en ventas.

En cuanto a la escalabilidad de la red, se puede decir que mediante la elección correcta de los equipos a cotizar, se pueden establecer distintos grados de escalabilidad, dependiendo de la cantidad de aplicaciones, compatibilidad y protocolos que pueda manejar el equipo, las necesidades requeridas de los equipos para el proyecto son:

- *VLAN Tagging*
- *QnQ Tagging*
- Ethernet 10/100M eléctricos y 1Gb óptico.
- Escalabilidad para SDH.

Todo lo anteriormente nombrado, tiene la finalidad de establecer las condiciones bajo las cuales se diseñará la propuesta de red Ethernet, en cuanto a familiarización de la red actual, tráfico Ethernet cursante y requerido, datos técnicos de equipos y escalabilidad.

2.2 Diseño de Red compatible con el existente

Como aproximación principal al problema, se pueden utilizar 2 tipos de redes, IP/ETH/DWDM o IP/ETH/SDH/DWDM, sus diferentes características y utilidades se explican anteriormente en el marco teórico. Debido a que el uso de fibra oscura está reservado para proyectos de muy alto tráfico, no se utilizará la opción de IP/ETH/DWDM, pero será tomada en cuenta por tener cabida como diseño de red. Como variante de IP/ETH/SDH/DWDM se tiene NG-SDH en vez de SDH debido a sus ventajas para el transporte de paquetes.

La topología de la red submarina, es en anillo por su disposición al ser observada en el mapa y por su arreglo físico, virtualmente la red se comporta con un servidor principal ubicado en Boca Raton Florida y otro de apoyo en caso de que falle el primero ubicado en Fortaleza Brasil, los cuales autorizan o no cambios en los circuitos de la red submarina. Cada estación está comunicada con las restantes a través de los servidores, por lo que virtualmente la topología a nivel de control es de tipo estrella, y a nivel de tráfico es un anillo, ya que éste se distribuye por la red hacia las estaciones respectivas. Debido a esto, el diseño entonces debe ser compatible con la topología actual de la red.

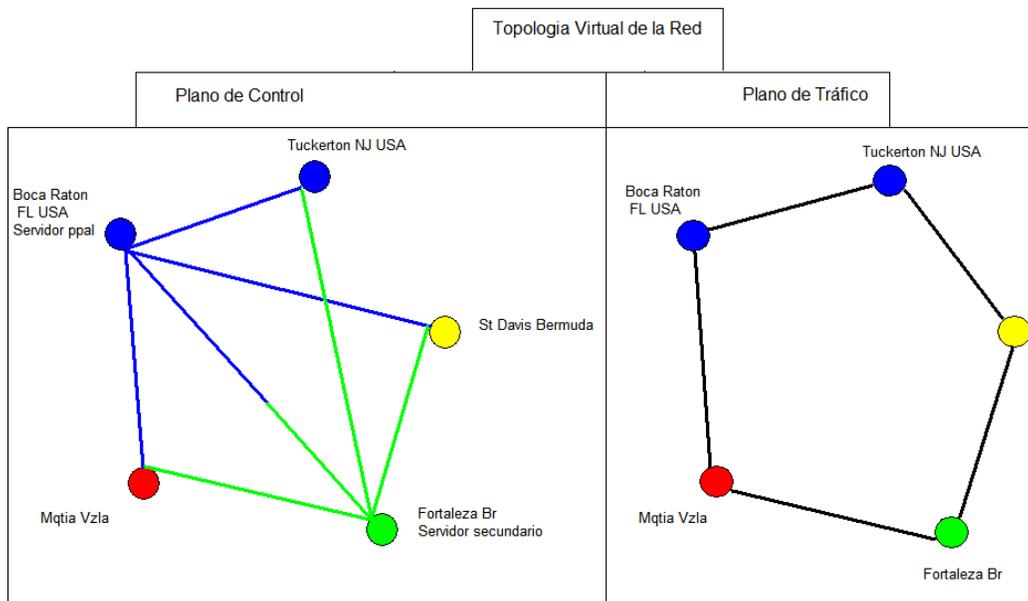


Fig36. Topología de la red submarina (Elaboración propia)

2.3 Arquitectura de red

La arquitectura de red IP/ETH/SDH/DWDM corresponde a una de capa2/capa1, el servicio entregado al usuario sería Ethernet a nivel de la red de acceso, SDH a nivel del *backbone* (tributarios a usar) y DWDM a nivel del *core* de la red. Para el usuario son transparentes los pasos de conversión de la señal, y a nivel de red para la

plataforma Ethernet la arquitectura de red es Eth/SDH o Eth/DWDM en caso de usar interfaces de 10Gb Ethernet.

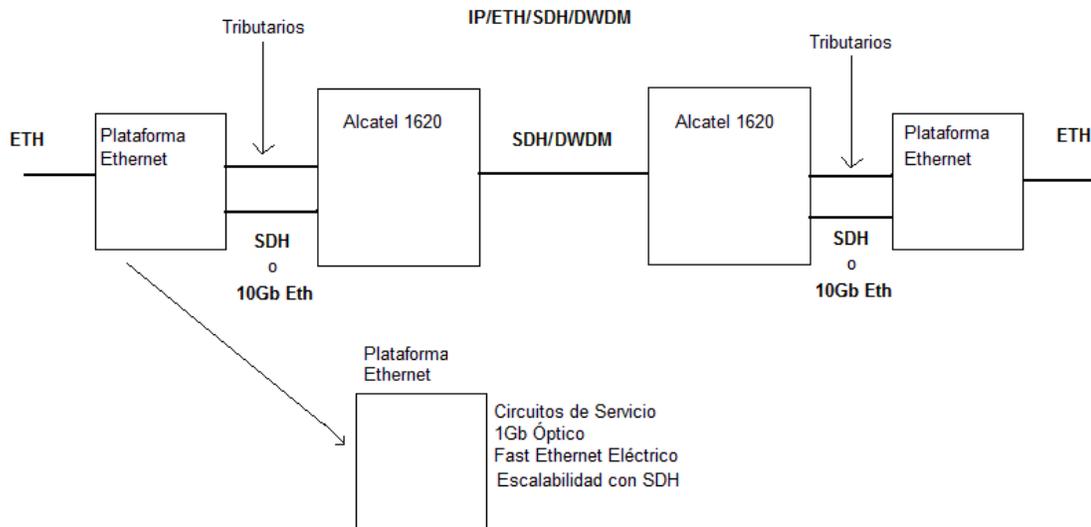


Fig37. Esquema Arquitectura de Red IP/ETH/SDH/DWDM (Elaboración propia)

2.4 Network Management System

Representa el sistema de control de la red, éste es uno de los puntos más importantes para el funcionamiento de la red, ya que mediante éste es que se lleva a cabo el monitoreo y gestión del sistema, y se envían las alarmas al personal respectivo para que los problemas sean solucionados.

Principalmente se establece de qué manera se desea recibir las alarmas, ya bien sea por correo electrónico o por servicio de localizador, se necesita tener dos o más vías de comunicación a la hora de informar sobre las alarmas asumiendo que ocurra una interrupción en la vía principal. Mediante esto se puede identificar el problema con anticipación para así poder solucionarlo de manera rápida y adecuada, para prever posibles problemas que ocurran en el día a día de las operaciones, garantizando al cliente calidad de servicio.

2.5 Criterio de Selección de equipos

Se seleccionaron 3 compañías importantes en el área de comunicaciones para elegir entre ellas equipos de tráfico Ethernet, por sus capacidades y costos, la primera elección fue de 3 compañías: HUAWEI, FOUNDRY, ERICSSON.

Todas las compañías poseen la tecnología para elaborar equipos de igual capacidad, condiciones de calidad de servicio, manejo de tráfico, interfaces y software, la diferencia fundamental de los equipos radica en tiempos de envío, manejo, mantenimiento y costo. Debido a que la Empresa trabaja principalmente con equipos. ALCATEL, NORTEL y HUAWEI, se pensó inicialmente en estas compañías para seleccionar los equipos. ALCATEL no se seleccionó, ya que no contaba con una plataforma Ethernet, de tráfico similar a las compañías antes nombradas, NORTEL es una empresa la cual se conoce por poseer tecnología de excelente calidad y durabilidad pero de muy alto costo, por contrario HUAWEI es una empresa que posee muy buena tecnología a nivel de cualquier otra compañía y muy alta competitividad en precios.

Al observar las características de los equipos y observar que la diferencia principal entre ellos radica en el costo, la decisión para seleccionar la compañía se rige por aquella que tenga el menor costo por equipos, y por aquel que posea las facilidades de manejo tanto en hardware y software para el personal de la Empresa.

2.6 Criterio de Planificación para Implementación

Para planificar la implementación se deben conocer los tiempos de envío de los equipos desde el punto de fabricación, verificar los tiempos de nacionalización de éstos y el tiempo que ellos van a estar en la aduana, transporte hacia la ubicación final, arribo de los técnicos a instalar estos equipos, tiempo de ensamblado y puesta en funcionamiento e instrucciones finales de los instructores.

Con lo anteriormente nombrado, se debe establecer un cronograma de trabajo en cada una de las estaciones de la red donde la plataforma Ethernet será instalada, el trabajo se debe realizar en paralelo en todas las estaciones a manera de establecer el servicio en todos los puntos de la red al mismo tiempo, esto, si es posible debido a que el envío de los equipos se realizará de manera distinta a cada país donde se encuentre una estación.

2.7 Criterio Calidad de servicio [3]

Los problemas que se encuentran regularmente en sistemas de fibra óptica asociados con DWDM y SDH, son principalmente aquellos asociados con la transmisión en fibra a través de largos tramos, como lo son: atenuación, dispersión, no linealidad y distorsión. Estos problemas son solventados al seguir adecuadamente los estándares y colocar correctamente los puntos de regeneración de la red submarina para así tener una buena transmisión de información.

En cuestiones de calidad de servicio se pueden establecer ciertos parámetros de seguridad, como lo son, la continuidad en el servicio eléctrico, ya que este factor es primordial para establecer la confiabilidad del servicio. BER de los equipos, temperatura de la estación, disponibilidad del servicio.

Para que el diseño sea correcto, se debe tomar en cuenta factores como compatibilidad en los protocolos de los equipos y tomar en cuenta la selección de los equipos para que además de utilizar principalmente las interfaces ETHERNET, éstos puedan utilizar también interfaces SDH, debido a que este servicio es el principal que ofrece la Empresa, y por ello se toma en cuenta para la escalabilidad del proyecto.

En arquitecturas de red como ETH/SDH/DWDM, carentes de calidad de servicio QoS, es necesario, la adición de protocolos de control, que garanticen la transmisión correcta de los datos, estos protocolos son MPLS y 802.1Q, que sumados con la arquitectura de red anterior, aumenta la calidad de servicio en el sistema.

CAPITULOIII

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Después de haber caracterizado la red y estudiado las diferentes soluciones, se plantearán 3 posibles diseños de red, los cuales serán analizados y comparados para establecer cuál es el diseño más adecuado y rentable para la Empresa.

Para la solución del problema principal que es el diseño de red ETHERNET, se plantean las opciones que se mencionan a continuación.

Éstas opciones mostradas tienen como alcance, modificaciones a partir del Backbone ya existente de la red, en ningún momento se pueden establecer o plantear cambios en el *Core* de la red.

3.1 Arquitectura de red

3.1.1 Ethernet sobre DWDM

Este diseño de red es utilizado en el caso en que se posea fibra oscura disponible en el sistema, el cual establece, que la plataforma ETHERNET está conectada directamente a la fibra óptica, y por ende, el equipo forma parte del anillo de fibra óptica. Actualmente, las únicas interfaces para Ethernet de transporte es la interfaz 10GB Ethernet WAN PHY, ésta actuaría como tributario de la plataforma Ethernet al ser conectada directamente sobre el anillo de fibra óptica, gestionando el tráfico de información entre las estaciones de la red.

Se pueden encontrar 2 tipos de redes Ethernet sobre DWDM.

El primer tipo de redes, consta de pocos pares de fibra, donde los tributarios 10GbEth, son los que conforman el *Core* de la red, es decir, se tienen tantos tributarios de 10Gb Ethernet como pares de fibra se tengan, teniendo como consecuencia, poca flexibilidad a la hora de ampliar la capacidad de tráfico en la red, pero haciendo que su implementación sea poco costosa en comparación con los sistemas de SDH/DWDM.

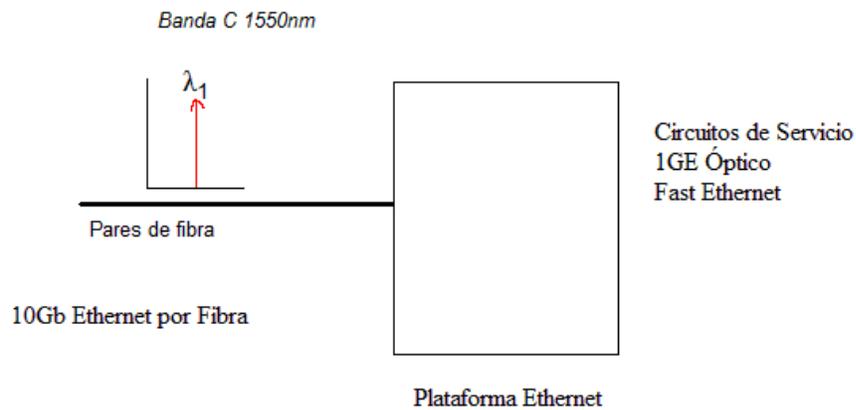


Fig38.Arquitectura de red 1 canal de 10GB Eth por fibra (Elaboración propia)

Este tipo de redes es propicio, para redes Metro Ethernet de poco tamaño, usualmente encontradas en empresas o Universidades, donde el número de usuarios no es muy grande. (No recomendado para empresas tipo *Carrier*)

En la siguiente figura se muestra un esquema de conexión para una red con un solo par de fibras

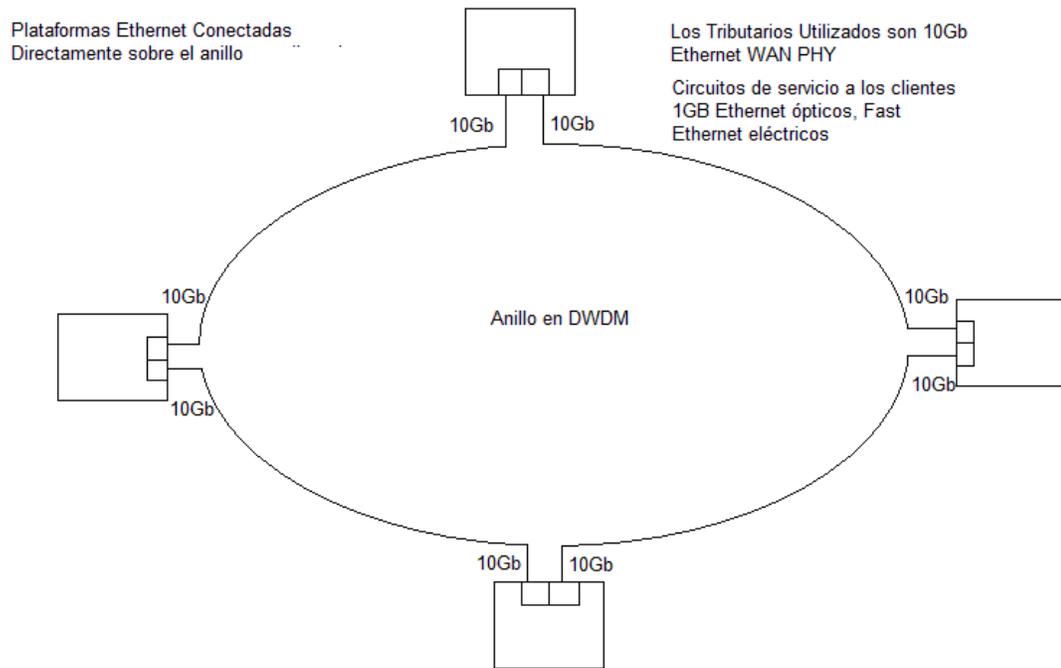


Fig39.Red 1 canal de 10Gb Ethernet por fibra (Elaboración Propia)

El segundo tipo de redes, consta de portadoras de 10Gb Ethernet sobre canales DWDM, haciendo que el tráfico que se transa en estos sistemas sea muy alto, y se tiene una mayor flexibilidad a la hora de aumentar el tráfico en la red. Al estar el equipo directamente sobre la red de fibra óptica, éste garantiza las protecciones y redundancia de circuitos que ofrece la tecnología DWDM y la vigencia del diseño es alta.

En la siguiente figura se muestra un esquema de arquitectura de red Eth/DWDM.

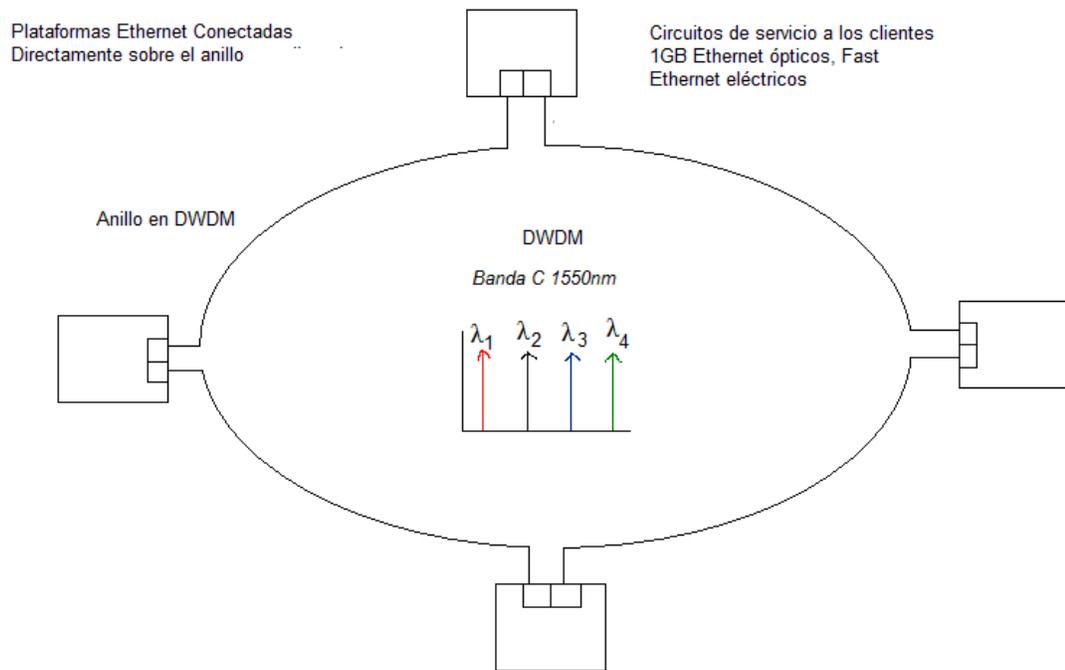


Fig40.Esquema y arquitectura de red Eth/DWDM (Elaboración propia)

En nuestro caso este diseño de red no es el más recomendado para la red de la Empresa, ya que el tráfico que cursan los servicios ETHERNET no es muy alto en comparación con el tráfico que cursaría el sistema con un diseño similar de red. (Diseño de red no compatible con SDH para escalabilidad, no se cuenta con fibra oscura disponible).

3.1.2 Ethernet sobre SDH/DWDM

Debido a que el tráfico total de la empresa lo manejan los equipos Alcatel 1620 SLTE y Tera 10, los cuales están directamente sobre el anillo de fibra óptica, estos equipos trabajan en DWDM en la parte submarina, con tributarios SDH en la estación, sus interfaces de servicio son tarjetas STM-64, las cuales se usan de distintos modos, multiplexando, demultiplexando o conectando directamente a los distintos equipos de servicio SDH, dependiendo de cuál sea la necesidad del servicio o circuito a conectar a algún cliente. Debido a que los circuitos tributarios se encuentran en SDH, el diseño

de red apropiado es uno que tenga el protocolo SDH, de esta manera se ahorran recursos debido a que las interfaces ya se encuentran en la estación y no se tendrían que cotizar.

En este diseño se conectarían los tributarios STM-64 directamente a la plataforma ETHERNET, la cual tendría las interfaces de usuario en distintas velocidades.

Las interfaces de tributario que puede utilizar la plataforma ETHERNET pueden ser de dos tipos, la primera en SDH interfaces STM-64, la segunda es una interfaz llamada 10Gb Ethernet WAN PHY, la cual es compatible con los protocolos SDH, pero gestiona Ethernet hacia el equipo al que está conectado, es decir que en función de la arquitectura de red desde la plataforma ETHERNET, ésta estaría funcionando sobre un *BACKBONE* Ethernet y no sobre uno SDH, cuando en realidad el tributario que lo surte desde el equipo terminal de red submarino es una interfaz STM-64; de esta manera la arquitectura de red que se ve desde la plataforma ETHERNET es ETH/DWDM.

Las ventajas que ofrece este diseño de red son los beneficios de la tecnología SDH, por las protecciones en el *backhaul bone* y la protección de *switcheo* automático de los circuitos, en caso de problema con las rutas físicas o errores en la transmisión de datos.

La protección a utilizar sería en los tributarios, de forma 1+1 o 1:N dependiendo de las necesidades del cliente, debido a que al utilizar más interfaces y recursos del sistema, se elevan los costos de operación acrecentando el costo del servicio para el cliente.

El esquema de conexión es el siguiente:

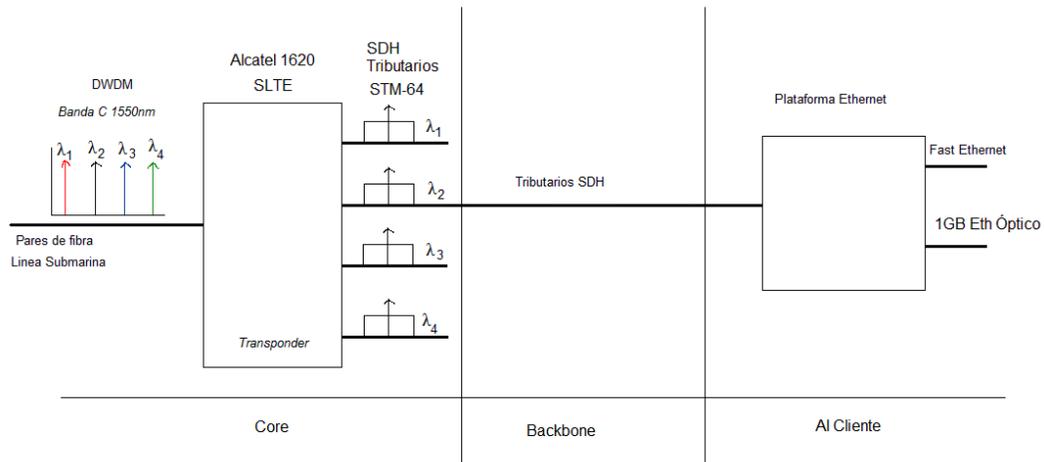


Fig41.Esquema de Arquitectura de Red Eth/SDH (Elaboración propia)

En la siguiente figura se muestra el esquema de conexión entre todas las estaciones de la red y la plataforma Ethernet.

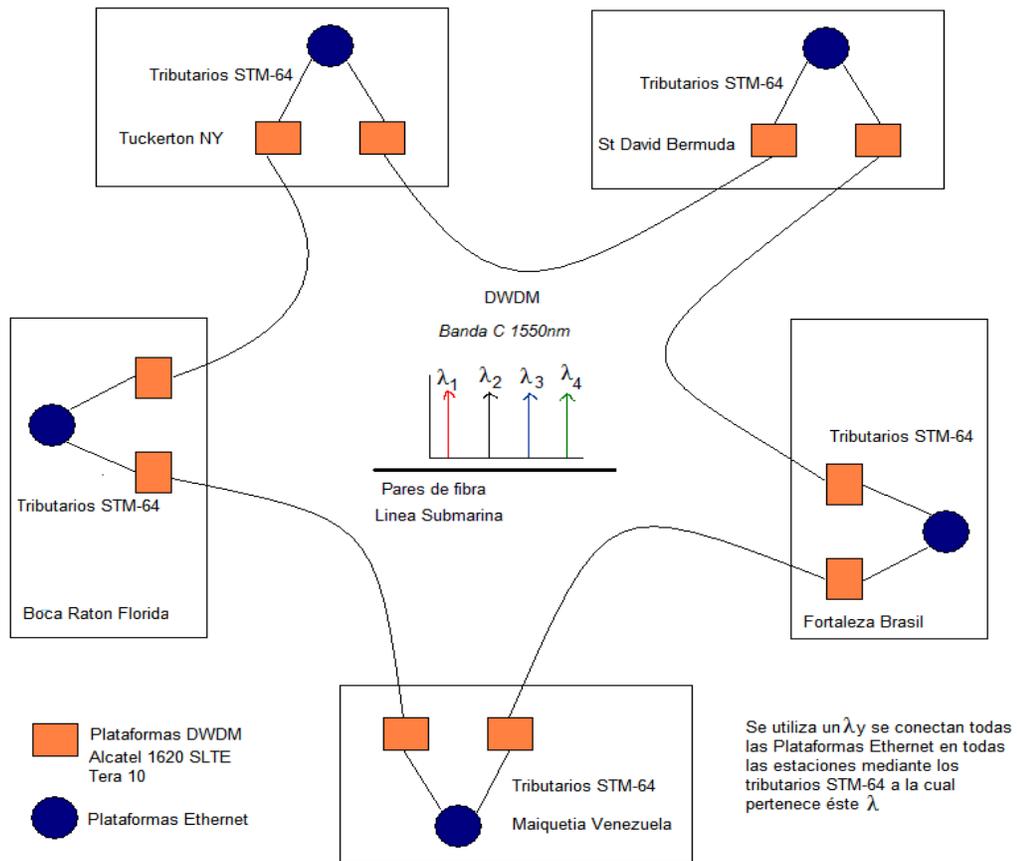


Fig42.Esquema de conexión entre estaciones de la red. (Elaboración propia)

3.1.3 ETH/NG-SDH/DWDM

Esta arquitectura de red es muy parecida a ETH/SDH/DWDM, la diferencia principal que existe entre ellas, es que con la nueva generación de SDH existen mejoras en el transporte de la carga. Debido a que SDH nació para conmutación de circuitos, no está totalmente adaptado para transportar paquetes, la nueva generación de SDH nace precisamente para mejorar las condiciones a la hora de trabajar con paquetes, esto se logra mediante la adición de 3 protocolos de control al sistema de SDH, como lo son *Generic Framing Protocol*, *Virtual Concatenation* y *Link Capacity Adjust Scheme*, por ejemplo, en SDH se usa el método de concatenación continua (CC), el cuál crea grandes contenedores que no se pueden dividir al ser transmitidos, cada elemento de la red debe tener la funcionalidad de concatenación, a diferencia en NG-SDH que usa el método de concatenación virtual (VC), el cual transporta los contenedores virtuales y los agrega al final del punto de transmisión, esto hace que solamente la funcionalidad de concatenación sea requerida en el equipo terminal del trayecto de transmisión, mejorando la eficiencia en la cual se transmiten los paquetes, y con la adición del LCAS se mejora el aprovechamiento del ancho de banda cuando se usan diversos servicios como Fast Ethernet y Gigabit Ethernet, al usar arquitecturas de red que contengan SDH como tecnología de transporte.

3.2 Topología de la Red

Como se mencionó anteriormente al caracterizar la red, ésta está compuesta por diversas estaciones en países distintos y cada estación está conectada mediante un anillo de fibra óptica submarino. Ellas a su vez están conectadas a redes terrestres, a través de éstas se proporcionan los servicios a los distintos clientes. En modo macro la red se comporta como un anillo, pero los servicios que se ofrecen a distintos clientes y empresas son punto a punto, ya que los servicios ofrecidos son para clientes específicos y las sesiones son de modo transparente, es decir cada circuito es privado para cada cliente y en un solo puerto. De esta manera se ofrecen distintas velocidades

de acceso a Internet en modo ETHERNET mediante circuitos eléctricos y ópticos conectados a los clientes por redes terrestres, bien sean propias o por servicios de terceras empresas (*outsourcing*).

La topología a implementar en la red sería la siguiente, virtualmente los circuitos entre las plataformas ETHERNET ubicadas en distintas estaciones estarían dispuestos en forma de malla, sin tener un servidor principal que autorice la puesta en funcionamiento de algún circuito a levantar, haciendo que sea más sencillo realizar algún cambio en la red, esto es importante en caso de que ocurriese algún problema y se tuviese que migrar un circuito de puerto a nivel de la red de acceso. Es decir todas las estaciones tienen igual prioridad y no requieren permisos para realizar cambios como en el caso de la red submarina. Como todo el tráfico es gestionado por la red submarina, basta con establecer los permisos necesarios para los agregados de las plataformas ETHERNET, de esta manera se consigue independencia en la red a la hora de mantener, levantar o migrar un circuito, siempre teniendo en cuenta e informando al cliente a la hora de un corto en el servicio.

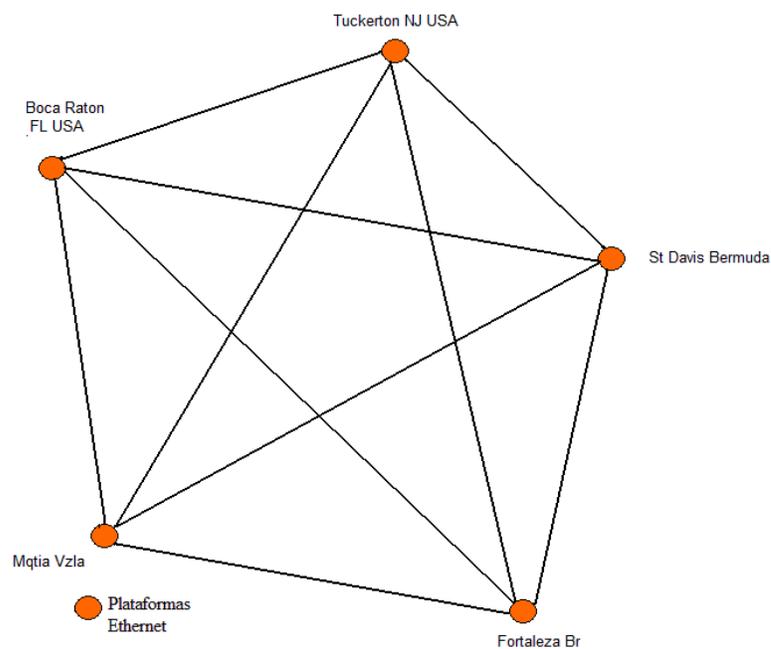


Fig43. Topología de Red (Elaboración propia)

3.3 Network Management System

Este es el sistema encargado de manejar e informar las alarmas, aquí se utiliza el software de envío de correos electrónicos de la plataforma Ethernet, se configuran las prioridades de las alarmas, y si son de tomar en cuenta, el equipo envía un correo electrónico a uno o a varias direcciones de correo electrónico; lo importante de esto es que si se dispone de un celular de 3ra generación, se puede contactar con la operadora de servicio telefónico celular para activar el correo electrónico específico del celular, dado esto, se puede enviar directamente el correo electrónico al celular para así informar de las posibles alarmas de la manera más expedita y eficientemente posible.

En caso de que ocurriese algún problema con las líneas físicas que ofrecen servicio en la Empresa, se puede utilizar un MODEM v.92 para contactar el sistema de localizador por línea telefónica, mediante un puerto paralelo conectado a la computadora que controla las alarmas, y como tercera opción se puede comprar un MODEM EVDO y conectarlo a la computadora por una segunda tarjeta de red o por vía USB, y así asegurar el servicio de Internet de manera inalámbrica. De esta manera se asegura que en caso de que ocurriese algún problema con el equipo, éste sería diagnosticado inmediatamente para así tomar las medidas necesarias para solventarlo.

3.4 Selección de los equipos

Las plataformas de tráfico ETHERNET que cumplen con los requerimientos especificados para el proyecto de las compañías nombradas anteriormente, Ericsson, Foundry y Huawei, son los siguientes.

NETIRON XMR 8000 de Foundry networks (especificaciones anexos).

MARCONI OMS 2400 de Ericsson (especificaciones anexos).

HUAWEI QUIDWAY 600CX (especificaciones anexos).

Por cuestiones de privacidad en las cotizaciones de las empresas, no es posible hacer publicaciones de éstas, ya que son hechas específicamente para la Empresa, y la publicación de estas incurriría en un delito contra propiedad intelectual de las compañías.

Para mostrar cuál precio es el más atractivo para la Empresa, se establece un precio referencial con el cual comparar los equipos seleccionados y así hacer la decisión final para elegir el equipo.

Tabla9. Precios Referenciales de los equipos Ethernet

Compañía	Precios Referenciales	Costos
ERICSSON	>300000\$	Altos
FOUNDRY	aprox. 300000\$	Medios
HUAWEI	<300000\$	Bajos

Se selecciona HUAWEI por las siguientes razones, el personal de la Empresa está familiarizado con el uso y mantenimiento de software como el de los equipos, por esto no es necesario el entrenamiento adicional requerido en caso de seleccionar otra compañía, ya que esto traería costos adicionales para la Empresa, con el beneficio adicional de contar con el presupuesto más atractivo, ya que es mucho menor que el de las otras compañías seleccionadas.

El equipo seleccionado entonces es el HUAWEI QUIDWAY 600CX, el cual presenta todas las capacidades requeridas por el proyecto, como lo son interfaces ETHERNET 10/100/1000Mb eléctricos y 1Gb óptico, teniendo en cuenta para la escalabilidad que es compatible con interfaces SDH, y puede trabajar en modo MPLS para VPN L2/L3,

con circuitos transparentes o *mapeados* dependiendo de la configuración a seleccionar.

3.5 Planificación para la implementación

Se establecería un cronograma de trabajo en todas las estaciones teniendo en cuenta el tiempo de construcción de los equipos y tiempo de envío de los mismos, el principal problema con el cronograma sería tomar en cuenta el tiempo que se tardaría la empresa encargada de nacionalizar los equipos y hacer los tramites de aduana, después de todo lo anterior se toma en cuenta el tiempo de ensamblaje de los equipos, pruebas y puesta en funcionamiento.

Debido a que se seleccionó un equipo HUAWEI, el tiempo de entrenamiento en el equipo se ve reducido notablemente debido a la familiaridad que posee el personal de la Empresa en manejar, mantener y configurar equipos y programas de la compañía HUAWEI.

La fabricación del equipo demora aproximadamente de 2 a 3 semanas, y el tiempo de envío es de 2 a 3 semanas, después de que los equipos lleguen a la aduana, dependiendo de la empresa de nacionalización, se establecería un tiempo entre 30 y 45 días, para que los equipos lleguen a la Empresa.

Después de tener los equipos en las inmediaciones de la Empresa, con la llegada del técnico, éste ensamblaría el equipo en un tiempo de 2 semanas haciendo las pruebas respectivas y se tomaría 1 semana para aclarar dudas sobre su funcionamiento y manejo, con respecto a algún cambio de software en comparación con los que ya maneja el personal de la empresa, a modo de tener un completo manejo del equipo y de las utilidades de alarma y problemas que puedan ocurrir frecuentemente.

3.6 Cronograma de trabajo

Tabla10. Cronograma tentativo de trabajo en tiempos para implementación de la red Ethernet

Fases/Semanas	1	2	3	4	5
Llegada de Equipos y Técnicos					
Instalación					
Puesta a punto y Solución de dudas					

3.7 Calidad de Servicio

Con respecto al servicio eléctrico, la estación de cable submarino ubicada en la Guaira, donde serán llevados los equipos, cuenta con un banco de baterías de apoyo con 2 días de autonomía, los cuales son cargados mediante 2 motores diesel de 4500hp en caso de falla del servicio eléctrico, éstos son mantenidos bajo constante mantenimiento y supervisión para evitar fallas a la hora de un corto del servicio eléctrico, sin contar con la conexión a 2 acometidas eléctricas distintas; debido a la ubicación de la estación, se debe tener controlada la temperatura, por factores ambientales y por la emisión de calor de los equipos, el sistema de aire acondicionado es factor principal para evitar que al elevarse la temperatura, las propiedades de BER de los equipos varíen, ya que en los sistemas de DWDM y SDH al elevarse considerablemente la temperatura, presentan aumento de errores y eso disminuye la calidad del servicio, haciendo que ocurran pérdida de paquetes y errores en la transmisión, de allí la importancia del sistema de respaldo eléctrico.

Factores ajenos a la estación como, construcciones municipales y accidentes que puedan afectar de manera directa al medio de transmisión, como lo son los cables de fibra óptica, que se encuentran de forma de tendido aéreo, submarina y subterráneo, son solucionados por cuadras especializadas en el trabajo de soldar fibra, estos accidentes son poco comunes aunque posibles y tienen que ser tomados en cuenta para asegurar la calidad del servicio.

Para transmisiones de fibra óptica, se tienen valores diferentes de latencia de la señal, dependiendo del tramo de fibra que se use y de la compañía que surte el Internet (ISP), debido a como esté estructurada la red de esta compañía y la cantidad de nodos por la que tenga que pasar la señal antes de ser enviada por el cable de fibra óptica submarina. Por ejemplo, el tiempo que tarda la señal en llegar desde Boca Raton en Florida USA, hasta Maiquetía Vzla, es aproximadamente 28ms, asegurando calidad al

transmitir. En caso de que ocurriese algún problema con un cable submarino que interrumpiera el servicio entre Boca y Maiquetía, el anillo de fibra óptica submarino instantáneamente redirigiría el tráfico por el camino alternativo, que sería la ruta Fortaleza Brasil- St Davis Bermuda-Tuckerton NJ USA-Boca Raton Fl USA, pero al ser esta ruta mucho más larga, el tiempo que tarda una señal en llegar es de 123ms. Aunque sea más tiempo, se garantiza todavía la continuidad del servicio.

Factores como la dispersión cromática de los tributarios son solucionados por el equipo Alcatel 1620 SLTE, debido a que éste posee un módulo de dispersión cromática que garantiza que la información que llega en todos los tributarios, llegue sincronizada en cada longitud de onda, es decir todas al mismo tiempo.

La protección en los circuitos y redundancia de interfaces en caso de un malfuncionamiento de hardware, son sumamente importantes, ya que mediante la implementación correcta de los circuitos se garantiza la calidad del servicio, y dependiendo de la protección que requiera el cliente, se utilizará para VPN MPLS o redundancia en los circuitos, todo esto en los servicios Ethernet.

Por ser una empresa tipo *Carrier*, el tráfico que cursan los distintos clientes en circuitos de servicio, es totalmente transparente, es decir al no conocer el tipo de información a transportar, no se establece ninguna prioridad entre un cliente y otro ni entre un circuito y otro.

En términos de SLA, la disponibilidad del servicio es de 99.9999% con un 99.995% de confiabilidad tipo clase de *Carrier* en toda la red, con pérdidas de paquete menores a 1%, y en caso de problemas de disponibilidad de servicio se establece una disminución en nota de crédito al siguiente mes con los clientes.

3.8 Configuración del Equipo Seleccionado

El equipo seleccionado es la plataforma Ethernet HUAWEI Quidway CX600, el cual posee 8 *slots* para instalar interfaces de servicio para clientes.

Tomando en cuenta el tráfico que cursa la red en servicios Ethernet, se puede establecer la configuración del equipo; para el año 2008, se necesitan instalar 4 circuitos de 1Gb Ethernet óptico, y cumplir con la demanda en servicios Fast Ethernet.

Se instalarían 2 interfaces de tributario STM-64, una de ellas se conectaría a la interfaz STM-64 del equipo Alcatel 1620SLTE, hacia la estación de Boca Raton en Florida, y la otra de la misma manera se conectaría a la interfaz STM-64 al equipo Tera 10 hacia la estación de Fortaleza en Brasil. Como interfaces de servicio, se instalaría una interfaz de 10 puertos GB Ethernet y una interfaz de 24 puertos Fast Ethernet para cubrir la demanda de tráfico en servicios Ethernet.

Por lo mencionado anteriormente, se cumple con la demanda requerida por la empresa y restan 4 *slots* disponibles en la plataforma Ethernet, para aumentar la capacidad de servicios, ya sea para instalar interfaces de tributario o para instalar interfaces de servicio.

1	2	3	4	5	6	7	8
Tributario STM-64	Tributario STM-64	Tarjeta 10 Puertos 1Gb Ethernet Ópticos	Tarjeta 24 Puertos 10/100/1K Mb Eléctricos				

Fig44, Configuración de la Plataforma Ethernet (Elaboración propia)

CONCLUSIONES

Después de realizar los estudios pertinentes para establecer un diseño de red adecuado, se llegó a la siguiente propuesta para diseño de red:

Como arquitectura de red, se utilizará la opción de IP/Ethernet/SDH/DWDM, debido a que no se dispone de fibra oscura en la red, y los tributarios de los cuales se dispone son STM-64 para el equipo ALCATEL 1620 SLTE que gestiona todo el tráfico de la red.

La topología de red a nivel de acceso es punto a punto, conectando a los clientes mediante circuitos transparentes, a través de redes terrestres propias o por contratación de terceros (*outsourcing*). A nivel de transporte la topología de red es una malla, conectando las plataformas Ethernet en los distintos países, mediante la red submarina de transporte gestionada por la plataforma de cable submarina ALCATEL 1620 SLTE.

Selección de los equipos

De los equipos seleccionados para el diseño de red, que cumplan con las condiciones que requiere la Empresa, se seleccionó la plataforma QUIDWAY 600CX de HUAWEI, ya que es el que más se adapta a las necesidades de la Empresa, en cuanto a características técnicas, precio, y el personal está familiarizado con el funcionamiento de equipos y software de la compañía HUAWEI.

El sistema de gestión de red (*Network Management System*), consta de un sistema de monitoreo computarizado, integrado a la plataforma Ethernet, que maneja el software encargado de establecer la configuración de la plataforma Ethernet, y es responsable

de catalogar y mostrar todas las alarmas, y enviar alertas de cierta importancia a los encargados de la red, mediante el sistema automático de envío de correos electrónicos que poseen los equipos de la red, en nuestro caso la plataforma de servicio Ethernet Huawei Quidway CX600.

Al utilizar la arquitectura de red IP/ETH/SDH/DWDM, no se toman en cuenta los factores de calidad de servicio, ya que SDH no está diseñado para manejar eficientemente paquetes, y DWDM es solo tecnología de transporte, se debe tomar en cuenta la utilización de protocolos como VLAN *tagging* 802.1Q y MPLS que garanticen calidad de servicio. La plataforma QUIDWAY 600CX de HUAWEI utiliza los protocolos anteriormente nombrados, para el establecimiento de los servicios, y dependiendo de la calidad de servicio que requiera el cliente se configuran los circuitos.

Con la inclusión de tecnologías como MPLS se pueden ofrecer servicios como AToM, que permiten a los clientes conservar sus redes en capa 2 para transportar datos mediante circuitos virtuales a través de la empresa *Carrier*.

Se puede garantizar que este diseño de red posee gran vigencia y escalabilidad, debido a que la red maneja distintos protocolos tanto para calidad de servicio como para ofrecer diversos servicios. Esto es muy importante ya que el futuro en las redes apunta hacia tecnologías que sean tanto de acceso como de transporte, como es el caso de Ethernet, que mediante el pasar de los años ha mejorado la tasa de velocidad y ha pasado de ser solamente una tecnología de acceso, a ser una de las tecnologías de transporte más usadas hoy en día con la implementación de los circuitos de 10Gb Ethernet.

RECOMENDACIONES

Implementación de NG-SDH para un futuro, debido a sus ventajas al transportar paquetes, y como soporta más topologías de red, se obtiene un mayor grado de libertad al diseñar y conectar nuevos nodos en la red.

Construcción de otro camino o alquiler de fibra óptica hacia Caracas para asegurar la calidad de servicio de los servicios ofrecidos en caso de cualquier eventualidad de que la línea física sufra daños.

Optimizar la gestión en el plano de control de las plataformas DWDM submarinas, estableciendo equidad en todos los nodos de la red en los permisos para migrar y establecer circuitos en la red.

Mantenimiento preventivo de los equipos. Mediante inspecciones semanales se garantiza la prevención de posibles problemas con los equipos en la red, a causa de degradación de los componentes de los mismos (medición de potencia en las interfaces).

Analizar el establecimiento de servicios de VLAN y MPLS a los distintos clientes. Debido a la inclusión de equipos que poseen 802.1Q y MPLS, se pueden ofrecer servicios VPN capa 2, cuando los clientes los requieran.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] http://www.securitytechnet.com/resource/rsc-center/presentation/cisco/networkers02-Copenhagen/OPT-242_Thomas_Martin.pdf.
- [2] wikipedia <http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>.
- [3] http://www.osc.edunetworkingoartechpresents/cisco_systems_dwdm_primer_oct03.ppt.
- [4] Wikipedia MPLS <http://en.wikipedia.org/wiki/MPLS>.
- [5] STRATEGY WHITE PAPER Generalized MPLS ALCATEL 2007.
- [6] [http://www.trendcomms.com/trendweb/resource.nsf/vlFileURLLookup/ng.sdh.migration.e/\\$FILE/ng.sdh.slides.e.pdf](http://www.trendcomms.com/trendweb/resource.nsf/vlFileURLLookup/ng.sdh.migration.e/$FILE/ng.sdh.slides.e.pdf).
- [7] Wikipedia VLAN <http://en.wikipedia.org/wiki/VLAN>.
- [8] J. Witters, J. De Clercq, S. Khandekar TUTORIAL TÉCNICO DEL VPLS 2004 Alcatel.
- [9] [http://www.trendcomms.com/trendweb/resource.nsf/vlFileURLLookup/en%5E%5EContiguous+Concatenation/\\$FILE/Contiguous+Concatenation.pdf](http://www.trendcomms.com/trendweb/resource.nsf/vlFileURLLookup/en%5E%5EContiguous+Concatenation/$FILE/Contiguous+Concatenation.pdf).
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.1Q
- [11] <http://www.globenet.net/network.php>

BIBLIOGRAFÍA

(1) Alwayn, Vivek. Optical Network Design and Implementation. USA. Cisco Press. 2004.

(2) Kartalopoulos, Stamatios V. Next Generation Intelligent Optical Networks, From Access to Backbone. USA. Springer Science+Business Media, LLC. 2008.

(3) De Ghein, Luc. MPLS Fundamentals. USA. Cisco Press. 2007.

(4) Dutton, Harry J. R. Understanding Optical Communications. USA. IBM Red Book. 1998.

(5) Fuenmayor, Carlos. Guia de Sistemas de Telecom II

(6) Spurgeon, Charles E. Ethernet the Definitive Guide. USA. O'Reilly & Associates, Inc. 2000.