



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO DE LA ESCALABILIDAD DEL CORE IP/MPLS DE UN ISP HACIA
TECNOLOGÍAS IoT Y CONVERGENTES

AUTOR

SANTIAGO FLORESMILO DAMIAN RODRÍGUEZ

AÑO

2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO DE LA ESCALABILIDAD DEL CORE IP/MPLS DE UN ISP HACIA
TECNOLOGÍAS IoT Y CONVERGENTES.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Redes y
Telecomunicaciones

Profesor guía

MSc. Milton Neptalí Román Cañizares

Autor

Santiago Floresmilo Damian Rodríguez

Año

2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

Declaro haber dirigido el trabajo, Diseño de la Escalabilidad Del Core IP/MPLS de un ISP hacia tecnologías IoT y Convergentes, a través de reuniones periódicas con el estudiante Santiago Floresmilo Damian Rodríguez, en el semestre 201920, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación

Milton Neptalí Román Cañizares
Magister en Gerencia de Redes y Telecomunicaciones
C.I.050216344-7

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

Declaro haber revisado este trabajo, Diseño de la Escalabilidad Del Core IP/MPLS de un ISP hacia tecnologías IoT y Convergentes, del estudiante Santiago Floresmilo Damian Rodríguez, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Edwin Guillermo Quel Hermosa
Magister en Gerencia de Redes y Telecomunicaciones
C.I.171872689-4

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Santiago Floresmilo Damian Rodríguez

CI: 1721654836

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por su bendición. Después a mi familia que estuvo en las buenas y malas brindándome su apoyo incondicional para salir triunfante de mi proceso de formación profesional.

A los ingenieros; A. Almeida, J Freire y M. Román, quienes contribuyeron de una forma u otra para el desarrollo y ejecución de este proyecto.

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre querida, quien fue mi modelo a seguir.

A mi esposa quien estuvo a mi lado llenándome de fuerzas para seguir adelante cuando sentía que no lo lograría y a mi hija amada quien fue mi gran motivación, gracias por su paciencia y apoyo.

RESUMEN

El presente trabajo tiene la finalidad de realizar una propuesta de mejora en la red MPLS de un proveedor de internet, con la finalidad que permita la convergencia de todos los servicios y aplicaciones que actualmente dispone y ofrece la empresa. La solución propuesta es una red escalable y de alta disponibilidad. Para alcanzar este objetivo se empezará por realizar un análisis de la situación actual en la infraestructura de red y posteriormente se propondrá la solución diseñada.

Para identificar y plantear las sugerencias que ayudaran a mejorar el escenario actual de la red MPLS, se realizará un análisis de las opciones que existen actualmente en el mercado y se establecerán las opciones con las mejores características, para la actualización de los recursos que ameriten un cambio.

Por otra parte, es de vital importancia conocer para que tiempo se proyecta el funcionamiento de la nueva red. Para conocer sobre este tema es importante definir el número de recursos que se requiere de forma adicional para que la red sea escalable. Esto se conseguirá mediante el análisis de crecimiento que ha presentado la red actual en los últimos años versus la disponibilidad de recursos de la red. Cada uno de los temas que se realizarán, estarán alineadas a las políticas y necesidades definidas por el proveedor de servicios de internet.

ABSTRACT

This document has the purpose execute an improvement into MPLS network of an Internet Service Provider so that, the change allows the convergence of all the services and applications that are currently available and offered by the company. The proposed solution is a scalable and highly available network. To achieve this objective, it will start by analyzing the current state of the network infrastructure and then the designed solution will be proposed.

To identify and raise the suggestions that will help you to improve the current situation of the MPLS network, you must carry out an analysis of the technological options that currently exist in the market and propose the best option found and make the necessary changes.

On the other hand, it is important to know the projected time to operation of the new network. About this topic it is important to define the number of resources that are required in an additional way so that the network is scalable. This is achieved by analyzing the growth that has maintained the network in recent years versus the availability of network resources.

ÍNDICE

1. CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	17
1.1. Red MPLS.....	17
1.1.1. Características.....	19
1.1.1.1. Ingeniería de Tráfico (TE).....	19
1.1.1.2. Calidad de servicio (QoS).....	20
1.1.1.3. Redes privadas virtuales (VPN).....	20
1.1.1.4. Enrutamiento interno de Internet BGP.....	20
1.1.1.5. Ancho de banda.....	21
1.1.1.6. Escalabilidad.....	21
1.1.2. Arquitectura MPLS.....	22
1.1.2.1. Label Edge Router (LER).....	22
1.1.2.2. Label Switching Router (LSR).....	24
1.1.2.3. Label Distribution Protocol (LDP).....	25
1.1.3. Jerarquía de la red MPLS.....	26
1.1.3.1. La capa núcleo.....	27
1.1.3.2. Capa de distribución.....	28
1.1.3.3. Capa acceso.....	28
1.2. Proveedor de servicios de internet (ISP).....	29
1.2.1. ISP.....	29
1.2.2. Características del ISP.....	30
1.2.3. Evolución de los ISP.....	32
1.2.4. Ejemplos de ISP.....	35
1.2.4.1. ISP en el territorio nacional.....	35
1.2.4.2. ISP fuera del territorio nacional.....	39

1.2.5.	Servicios Ofertados por los ISP	45
1.2.5.1.	El servicio home.....	46
1.2.5.2.	Servicios corporativos	46
1.2.6.	Niveles de las redes ISP.....	47
1.2.6.1.	Red nivel TIER 1	48
1.2.6.2.	Red nivel TIER 2	48
1.2.6.3.	Red nivel TIER 3	49
1.2.7.	Estructura del ISP	49
1.3.	Internet de las cosas.....	51
1.3.1.	Áreas de explotación	52
1.3.2.	Crecimiento de numero de dispositivos IoT	52
1.3.3.	Impacto del ancho de banda	52
1.4.	Redes convergentes	53
1.5.	DWDM.....	54
1.5.1.	Definición.....	54
1.5.2.	Funcionamiento	54
1.5.3.	Los elementos básicos de sistema DWDM.	55
2.	CAPITULO II: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.	55
2.1.	Introducción	56
2.2.	Estado de la capa núcleo IP/MPLS.....	57
2.2.1.	Enlaces de redundancia	59
2.2.2.	Capacidad de los enlaces.....	61
2.2.3.	Tolerancia a fallos.....	67
2.3.	Equipos	71
2.3.1.	Características de equipos actuales.....	71

2.3.1.1.	CISCO CRS-8	71
2.3.1.2.	CISCO CRS-4	77
2.3.2.	Vida útil de los equipos (EOL)	81
2.3.3.	Detalle de EOL de los equipos que conforman la red MPLS	83
3.	CAPITULO III: PROPUESTA DEL DISEÑO DE RED	84
3.1.	CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA RED MPLS	85
3.1.1.	Ingeniería de Tráfico	85
3.1.2.	Clase de Servicios (CoS).....	87
3.1.3.	Redes Privadas Virtuales (VPN).....	87
3.2.	Aspectos adicionales para la red IP/MPLS	88
3.3.	Consideraciones de configuración	89
3.3.1.	Control de distribución de etiquetas.....	89
3.3.2.	Fragmentación de paquetes MPLS	90
3.3.3.	Prevención y detección de bucles en MPLS.....	90
3.3.4.	Resumen de rutas en una red MPLS.....	91
3.4.	Especificaciones para enlaces de la red IP/MPLS	91
3.5.	Sugerencia para arquitectura de la red IP/MPLS	92
3.5.1.	Cambios realizados en la red núcleo.....	95
3.5.1.1.	Diseño tolerancia a fallos	95
3.5.1.2.	Comparación de capacidad en enlaces	101
3.5.1.3.	Proyección de la red	101
3.6.	Actualización de equipos	103
3.6.1.	Requerimientos técnicos.	104
3.6.2.	Alternativas de equipos	105
3.6.2.1.	Opción uno: Provider Router ASR-9910	105

3.6.2.2. Opción dos: CRS-16/S.....	110
3.6.2.3. Selección de Equipos.....	113
3.6.3. Componentes para la operatividad del equipo sugerido.....	115
4. CAPÍTULO IV: INVERSIÓN EN ADQUISICIÓN DE EQUIPOS	120
4.1. Costo de equipos.....	120
4.1.1. Precio de adquisición ASR9910	121
4.1.2. Precio adquisición equipo CRS-16	122
4.1.3. Comparación de precios.....	123
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
5.1. Conclusiones	123
5.2. Recomendaciones.....	125
REFERENCIAS	126

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Figura 1.</i> Elementos que conforman una red MPLS.....	22
<i>Figura 2.</i> Funcionamiento de LER.....	23
<i>Figura 3.</i> Funcionamiento de LSR.....	24
<i>Figura 4.</i> Jerarquía de la red de un ISP	27
<i>Figura 5.</i> Logo CNT EP	35
<i>Figura 6.</i> Logo Grupo TVCable	37
<i>Figura 7.</i> Participación de mercado de proveedores de internet.	39
<i>Figura 8.</i> Logo AT&T	40
<i>Figura 9.</i> Logo Telefónica.....	43
<i>Figura 10.</i> Representación de niveles TIER.....	48
<i>Figura 11.</i> Estructura del ISP	50
<i>Figura 12.</i> Ventanas y/o bandas de fibra óptica.	54
<i>Figura 13.</i> Funcionamiento del sistema DWDM.	55
<i>Figura 14.</i> Representación jerárquica de una red ISP.....	56
<i>Figura 15.</i> Situación actual red capa núcleo MPLS.....	59
<i>Figura 16.</i> Representación de enlaces con topología en anillo.	60
<i>Figura 17.</i> Modulo Cisco de interfaces con 14 puertos de 10GE	61
<i>Figura 18.</i> Indicador de los porcentajes del ancho de banda en uso y disponible.	66
<i>Figura 19.</i> Indicador con porcentaje de los equipos que cuentan con fallos y porcentaje de los equipos en los que se debe tomar medidas correctivas.	68
<i>Figura 20.</i> Cisco CRS-8/S	71
<i>Figura 21.</i> Enumeración de ranuras del CRS-8/S	73
<i>Figura 22.</i> Modular Services Card del Cisco CRS-8	74
<i>Figura 23.</i> Módulo de interfaz Cisco de 14-Port 10GE	74
<i>Figura 24.</i> Modulo del Procesador de Ruta Cisco CRS-8	75
<i>Figura 25.</i> Sistema de ventilación del Cisco CRS-8	75
<i>Figura 26.</i> Ventilador del Cisco CRS-8/S	76
<i>Figura 27.</i> Fuente de energía Cisco-8/S	76

<i>Figura 28.</i> Chasis CRS-4 /S	77
<i>Figura 29.</i> Características del Chassis CRS-4 /S.....	78
<i>Figura 30.</i> Cisco CRS-X Modular Services Card.....	79
<i>Figura 31.</i> Modulo Cisco de interfaces con 14 puertos de 10GE	79
<i>Figura 32.</i> Cisco CRS 8-Slot Line-Card Chassis Route Processor	80
<i>Figura 33.</i> Airflow Through the Cisco CRS 4-Slot Line Card Chassis	80
<i>Figura 34.</i> Ventilador del Cisco CRS-4/S	81
<i>Figura 35.</i> Indica el EOL por año de los equipos de la red MPLS.....	83
<i>Figura 36.</i> Diferencia de métricas aplicando ingeniería de tráfico.....	86
<i>Figura 37.</i> Diferencia de túneles IP y túneles MPLS	88
<i>Figura 38.</i> Propuesta de la Red capa núcleo IP/MPLS del ISP.....	94
<i>Figura 39.</i> Chasis ASR-9910.....	105
<i>Figura 40.</i> Parte frontal del Cisco ASR 9910.....	108
<i>Figura 41.</i> Parte posterior del Cisco ASR 9910.....	109
<i>Figura 42.</i> Cisco CRS-16/S-B.....	110
<i>Figura 43.</i> Parte frontal del Cisco CRS-16/S-B	111
<i>Figura 44.</i> Parte posterior del Cisco CRS-16/S-B	112
<i>Figura 45.</i> Familia de sistema cisco ASR 9000	115
<i>Figura 46.</i> ASR 9910 8 Line Card Slot Chassis.....	116
<i>Figura 47.</i> A99-RSP-TRASR 9910 and ASR 9906 Route Switch Processor for Packet Transport 16 Gb	116
<i>Figura 48.</i> ASR 9910 Fan Tray.....	117
<i>Figura 49.</i> 400G Modular Linecard, Packet Transport Optimized.....	117
<i>Figura 50.</i> ASR 9000 20-port 10GE Modular Port Adapter	117
<i>Figura 51.</i> Cisco 10GBASE-LR Module supports a link length of 10 kilometers on standard Single-Mode Fiber (SMF)	118
<i>Figura 52.</i> CFP2 to CPAK adapter for 4x25G interface.....	118
<i>Figura 53.</i> CPAK-100G-LR4 Transceiver module, 10km SMF	118
<i>Figura 54.</i> ASR 9000 2-port 100GE Modular Port Adapter	119
<i>Figura 55.</i> ASR9K DC Power Enclosure Module Version 3	119

<i>Figura 56.</i> 4.4KW DC Power Module Version 3	119
<i>Figura 57.</i> ASR 9910 Switch Fabric Card.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz con la capacidad total, en uso y disponibilidad de enlaces.....	62
Tabla 2 Lista los equipos sin tolerancia a fallas	68
Tabla 3 Lista los equipos sin tolerancia a fallas por falta de redundancia.....	69
Tabla 4 Lista los equipos con tolerancia a fallas	69
Tabla 5 Capacidad de CRS-8/S	76
Tabla 6 Capacidad de CRS-4/S	81
Tabla 7 Equipos marca CISCO	83
Tabla 8 Equipos marca HUAWEI	84
Tabla 9 Adecuación de capacidad en enlaces	96
Tabla 10 Comparación capacidades de red núcleo	101
Tabla 11 Número de usuarios por servicios, ultimo cuatro años.....	102
Tabla 12 Promedio anual del crecimiento de usuarios.....	102
Tabla 13 Capacidad de la red para los siguientes cinco años	103
Tabla 14 Capacidad del sistema del Cisco ASR 9910	109
Tabla 15 Capacidad del Cisco CRS-16/S-B.....	113
Tabla 16 Elementos para operar CiscoASR9910.....	115
Tabla 17 Cuadro de componentes del ASR 9910 con precios.....	121
Tabla 18 Costo de componentes del Cisco CRS-16/S-B	122
<i>Tabla 19.</i> Comparación de precios de equipos.	123

1. CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realizará la descripción conceptual de cada uno de los temas que se abordan en el desarrollo de esta tesis. Las definiciones recopiladas y puntualizadas en este capítulo son de diferentes autores, posiblemente una más acertada que la otra, pero todas con un mismo propósito, proporcionar los conceptos necesarios. De este modo se puede tener un conocimiento más claro de cómo las tecnologías, metodologías y componentes se fusionan para permitir la operatividad de una red MPLS.

1.1. Red MPLS

La Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (MPLS: Multiprotocol Label Switching) es un tipo de técnica de transporte de datos, para redes de telecomunicaciones con alto tráfico de información. MPLS trabaja sin problema alguno con tecnologías previas a esta. Su funcionamiento está basado en la asignación de etiquetas a cada paquete que ingresa a la red.

Las etiquetas se encargan de identificar rutas (enlaces virtuales) entre nodos distantes en lugar de puntos finales. MPLS tiene la capacidad de encapsular paquetes de varios protocolos de red, de ahí su nombre "multiprotocolo". MPLS es compatible con una gama de tecnologías de acceso, por ejemplo: DSL, T1/E1, ATM y Frame Relay. (Netplanet, 2019)

Para Valencia (2013):

El MPLS proporciona una forma de realizar ingeniería de tráfico, garantizar ancho de banda, seleccionar camino a destinos y configurar VPN's. Además, añade una etiqueta a cada paquete IP, y que se corresponde con caminos establecidos previamente en la red, permitiendo a los administradores establecer varias políticas de Calidad de Servicio. Esta etiqueta se pone en la frontera de entrada a la red y se elimina cuando el paquete abandona la red MPLS (Valencia, 2013).

Cabe mencionar que actualmente la tecnología MPLS es implementada en instituciones grandes, de tipo pública y privada, además los proveedores de servicios de internet (ISP) quienes también utilizan este estándar de comunicación para ofertar los servicios de internet a los suscriptores.

MPLS es una técnica de transporte de datos informáticos que se relaciona sin problema con otros protocolos. El mecanismo de funcionamiento esta basa en la asignación de etiquetas a cada paquete que ingresa a la red MPLS, la información que contiene cada etiqueta determina la ruta y el trato que debe recibir el paquete sin la necesidad de que se examine su contenido (Valencia, 2013). Este mecanismo permite crear circuitos de extremo a extremo, viajar por cualquier medio de transporte (Valencia, 2013).

MPLS opera en una capa intermediaria que generalmente se encuentra entre la capa enlace y capa red (Capa 2 y 3 del modelo OSI), por eso se le denomina como protocolo de capa 2.5. Esta capa intermedia fue creada para el servicio de transporte de datos, de modo que pueda unificar sistemas basados en circuitos y conmutados (Díaz & Castro, 2014).

En el pasado se implementaron varias tecnologías con objetivos esencialmente idénticos, como Frame Relay y ATM, las mismas que usaban etiquetas para mover marcos o celdas a través de una red. El encabezado de la trama Frame Relay y la celda ATM se refieren al circuito virtual en el que reside la trama o celda. La similitud entre Frame Relay, ATM y MPLS es que, en cada salto a través de la red, se cambia el valor de etiqueta en el encabezado. Esto es diferente del reenvío de paquetes IP.

La tecnología MPLS ha evolucionado teniendo en cuenta las fortalezas y debilidades de ATM, en particular, MPLS prescinde del equipaje de conmutación celular y protocolo de señalización, además reconoce que las células ATM pequeñas no son necesarias en el núcleo de las redes modernas, ya que las redes ópticas modernas son tan rápidas (a partir de 2015, a 100 Gbit) e incluso

los paquetes de 1500 bytes de longitud completa no incurren en datos reales significativos (Díaz & Castro, 2014).

MPLS por ser una tecnología que brinda mayor rendimiento a la red sin invertir elevados costos de implementación y por la facilidad de priorizar los paquetes de voz, mediante la implementación de Quality of Service (QoS) es ideal para el servicio de llamadas VoIP, esto ha permitido que hasta la actualidad se mantenga como una alternativa muy utilizada.

1.1.1. Características

La Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo es un estándar creado con la finalidad de permitir el transporte de datos en redes con alto tráfico mediante el uso de etiquetas, permitiendo mejorar las características que presentaba la tecnología que fue su predecesora Asynchronous Transfer Mode (ATM), además MPLS facilita la operatividad sobre cualquier tipo de tecnología respecto a la capa de enlace, permitiendo su implementación en la red sin la necesidad de requerir hardware nuevo.

Fue estandarizado a finales de los años noventa por IETF (Internet Engineering Task Force) y definido en la RFC 3031. Los principales beneficios que brinda MPLS son:

1.1.1.1. Ingeniería de Tráfico (TE)

Permite a los ISP especificar el tráfico de datos mediante los protocolos de enrutamiento de manera que el flujo de datos pueda seguir la mejor ruta por caminos que presenten menor congestión de tal manera que exista un balanceo de carga adecuado dentro de toda la red.

MPLS funciona mediante la imposición de etiquetas en cada paquete, cuando este sale de la red del cliente y entran en la red MPLS. En lugar de buscar información de encabezado IP para dirigir paquetes, los elementos de la red

simplemente leen la etiqueta MPLS y mueven el paquete al siguiente salto en una ruta predeterminada.

Otros beneficios de MPLS incluyen una mayor confiabilidad y previsibilidad del tráfico dentro de la red. Debido a que las rutas de conmutación de etiquetas (LSP) están predeterminadas, los paquetes solo viajan a lo largo de las rutas a las que se han dirigido. Esta es una marcada diferencia con el enrutamiento IP, donde la ruta de un paquete podría ser claramente diferente de la siguiente en función de las condiciones de la red en ese momento.

1.1.1.2. Calidad de servicio (QoS)

Permite a los ISP clasificar los tipos de tráfico para dar prioridad a un tipo respecto de los demás, también ayuda a que el uso del ancho de banda sea más óptimo para evitar congestión en la red. Gracias a la asignación de etiquetas que utiliza MPLS, el administrador puede asociar los niveles de priorización a cada una de las etiquetas. Esta es una característica bastante ventajosa que facilita MPLS relacionado a QoS.

Una de las características principales es la capacidad de administrar y controlar la QoS, dijo Bozich. Así que los clientes se suscriben a varios niveles de ancho de banda o tamaño de puertos, y luego tienen la capacidad de decir si hay congestión en este enlace de red, qué tipo de tráfico pasa o se retiene en el momento oportuno para la entrega (España, 2013).

1.1.1.3. Redes privadas virtuales (VPN)

Admite que se puede realizar una red privada utilizando la infraestructura de internet, esta implementación se la realiza mediante túneles virtuales que aíslan el tráfico que fluye por el interior de estos, cabe mencionar que es necesario que se realice un cifrado en la información que circula por medio de estos túneles virtuales ya que MPLS no tiene un mecanismo de protección.

1.1.1.4. Enrutamiento interno de Internet BGP

El Protocolo de Puerta de enlace de Frontera permite conexión a Internet en dos sitios diferentes (dispersos geográficamente) y enviar automáticamente el tráfico de Internet a ambas conexiones (por medio de la red MPLS) simultáneamente o de uno a otro (en una situación de falla). Esta es una gran característica si actualmente se ejecuta todo el tráfico de Internet a través de un sitio (debido a las preferencias de filtrado de firewall y contenido) permitiendo equilibrar la carga del aumento de tráfico entre dos o más conexiones y disminuye la posibilidad de tiempo de inactividad (Mora, 2017).

1.1.1.5. Ancho de banda

El ancho de banda es un factor que se lo debe considerar en redes que manejen mucho tráfico de datos, ya que esto permite la calidad del servicio que la red pueda prestar.

- **El Ancho de banda explotable.** - Esta función muy popular en las conexiones de Internet de fibra grande o DS3, pero una pequeña cantidad de proveedores de servicios también permiten un ancho de banda que se puede explotar en una conexión MPLS. Es ideal para una empresa con necesidades estacionales o periódicas de gran ancho de banda, especialmente para un sitio central, si se centraliza los recursos de la red.
- **Ajuste de ancho de banda en tiempo real.** - Lleva el concepto de acceso MPLS a un nivel superior y permiten a los clientes, a través de un portal en línea, realizar ajustes en el ancho de banda de MPLS en tiempo real. La advertencia es que solo puede ajustarlo tan rápido como lo permita el tipo de acceso (es decir, si se tiene un DS3, no se puede ajustarlo por encima de 45M) (Mora, 2017).

1.1.1.6. Escalabilidad

Cuando se trata de la escalabilidad de redes más grandes o más complejas, si tiene MPLS, permite realizar la configuración automática de la red y la

configuración de túneles o rutas de cambio de etiqueta. Físicamente, requiere menos recursos para configurar los circuitos.

Además, otra característica de MPLS es su naturaleza agnóstica al protocolo. Se pueden transportar muchos tipos diferentes de tráfico a través del enrutamiento MPLS sin importar qué tipo de tráfico es. "Es un gran transporte generalizado" (España, 2013).

1.1.2. Arquitectura MPLS

Para que se pueda implementar una red MPLS, se requiere dotarla de algunos elementos necesarios, los cuales cumplan una función específica, a continuación, se puntualizan las características de estos elementos.

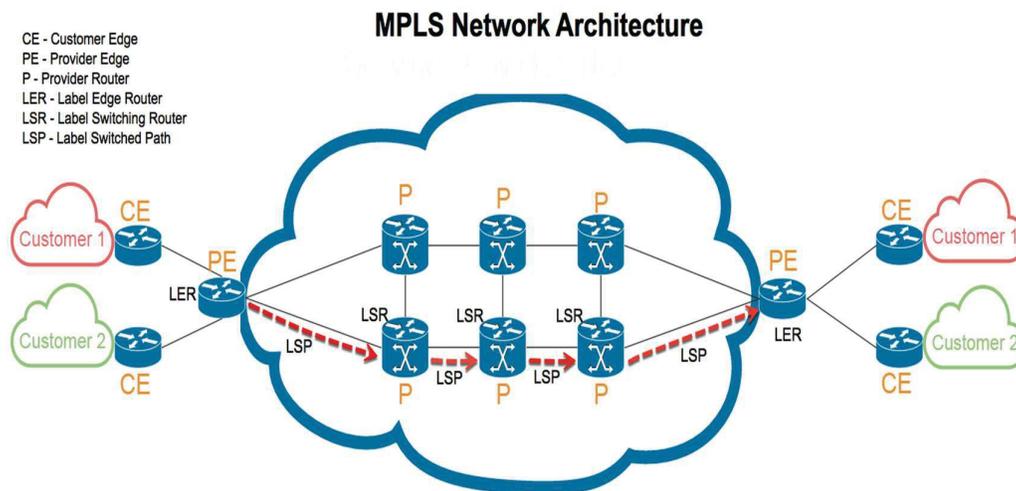


Figura 1. Elementos que conforman una red MPLS.

Tomado de (Jacob, 2017)

1.1.2.1. Label Edge Router (LER)

El Enrutador Frontera de Etiquetado es un enrutador de borde de etiqueta, se utiliza en los bordes de una red de conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS). Los enrutadores de borde de etiqueta se ubican en la periferia o en el borde de una red MPLS, actuando como una puerta de enlace entre la red local

y la red de área más amplia o la propia Internet. Manejan la entrada y salida de información a la red (Marquéz, 2012).

El LER de entrada es el enrutador que determina la ruta que debe seguir el paquete mediante la inserción de las etiquetas y de igual manera al salir el paquete, el LER de salida es quien elimina el etiquetado, previamente a la salida del paquete de la red MPLS.

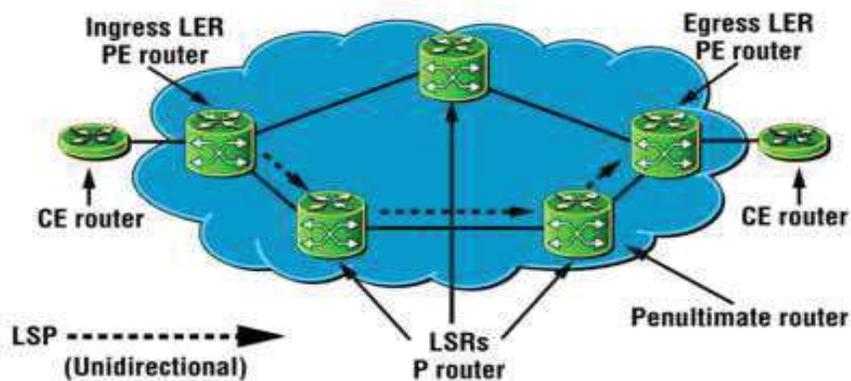


Figura 2. Funcionamiento de LER.

Tomado de (Marquéz, 2012)

Siempre que haya información o datos salientes, el enrutador de borde de etiqueta asigna etiquetas a los paquetes de datos en función de la información que lleva el paquete.

Luego adjunta la etiqueta y envía el paquete a la red. Por otro lado, cada vez que el enrutador recibe datos, elimina las etiquetas adjuntas en el paquete y las encamina al lugar adecuado según la información contenida en la etiqueta.

Este tipo de enrutador, junto con un MPLS, se utiliza principalmente en redes a gran escala, especialmente en las orientadas a la tecnología, ya que contribuyen a mejorar la velocidad de envío de información a través de los enrutadores (Marquéz, 2012).

1.1.2.2. Label Switching Router (LSR)

El Enrutador de Conmutación de Etiquetas constituye el centro de la red MPLS, debido a que permite enrutar los paquetes a través de rutas predeterminadas, a estas se las denomina Rutas de Conmutación de Etiquetas (LSP: Label Switched Path), que son el resultado del establecimiento de pares origen-destino. Además, los LSR pueden enrutar rápidamente a los paquetes de datos sin tener que revisar tablas o hacer cálculos de enrutamiento que se agregarían al tiempo de envío / recepción de datos. Debido a que las etiquetas ya tienen instrucciones con respecto a la ruta que toman los datos, el enrutador simplemente tiene que dirigir los datos según las instrucciones de las etiquetas (Ahsam, 2016).

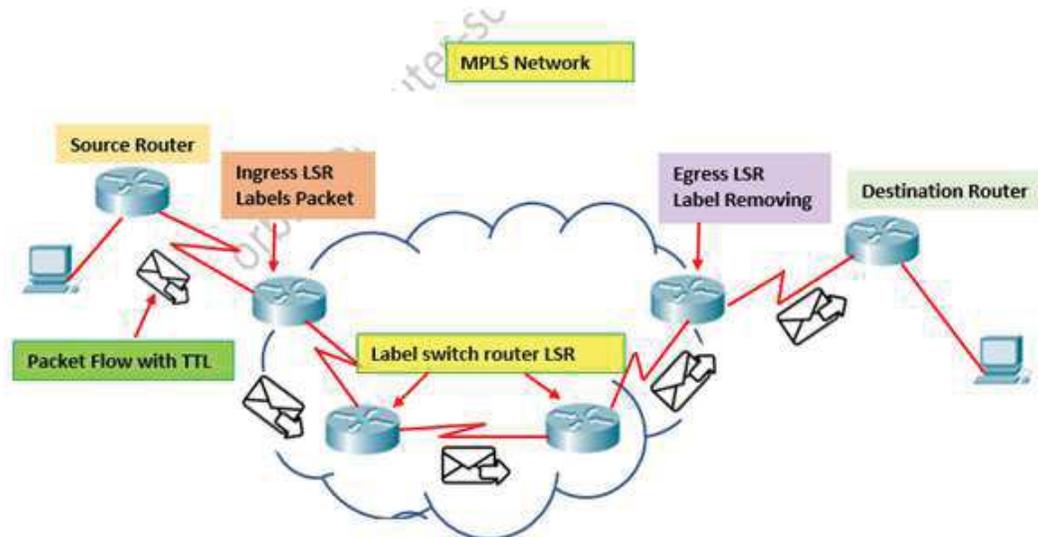


Figura 3. Funcionamiento de LSR.

Tomado de (Ahsam, 2016)

Cabe mencionar que existe cuatro tipos diferentes de LSR, diferenciados por ubicación y posición en los LSP y son:

1. Un enrutador de ingreso se basa al principio o punto de entrada de un LSP. Es el único enrutador donde el tráfico IP normal puede ingresar a una ruta MPLS. Los enrutadores de ingreso utilizan enrutadores de

entrada, que reciben información del tráfico IP que luego pasa por el LSP para llegar a su destino. El enrutador entrante hace uso de la encapsulación para el tráfico utilizando un encabezado MPLS.

2. Un enrutador de tránsito que se encuentra en medio de un LSP. A diferencia del enrutador de ingreso, que utiliza enrutadores de entrada, los enrutadores de tránsito cambian los paquetes MPLS a la siguiente ruta en el LSP, utilizando la interfaz de la que proviene el paquete y también el encabezado MPLS para su información de destino.
3. Un penúltimo enrutador se encuentra en la última parada en el LSP, el mismo que se utiliza para eliminar el encabezado MPLS antes de dar el último salto en el LSP. Los encabezados MPLS ya no son necesarios ya que el último salto en un LSP no tiene que cambiar los paquetes a otro enrutador de tránsito.
4. Un enrutador de salida se conoce como el punto de salida en el enrutador de conmutación de etiquetas. Recibe el tráfico IP que salió del penúltimo enrutador y realiza una búsqueda estándar de IP, luego envía el tráfico utilizando un enrutamiento IP normal (Ahsam, 2016).

1.1.2.3. Label Distribution Protocol (LDP)

El Protocolo de Distribución de Etiquetas permite a los nodos de la red MPLS redescubrirse y establecer la comunicación entre los enlaces contiguos de manera que al efectuarse el camino de comunicación se reserven los recursos necesarios para el servicio requerido.

Además, el Protocolo de Distribución de Etiquetas se utiliza para establecer los LSP para el transporte del tráfico MPLS cuando no se requiere ingeniería de tráfico. Establece LSP que siguen la tabla de enrutamiento IP existente, y es

particularmente adecuado para establecer una malla completa de LSP's entre todos los enrutadores de la red (Wait, 2012).

LDP puede operar en muchos modos para adaptarse a diferentes requerimientos; sin embargo, el uso más común es el modo no solicitado, que configura una malla completa de túneles entre enrutadores. A continuación, se describen el modo solicitado y el modo no solicitado:

- En el modo solicitado, el enrutador de ingreso envía una solicitud de etiqueta LDP al enrutador del siguiente salto, como se determina en la tabla de enrutamiento IP. Esta solicitud se reenvía a través de la red salto por salto por cada enrutador. Una vez que la solicitud llega al enrutador de salida, se genera un mensaje de retorno. Este mensaje confirma el LSP y le indica a cada enrutador la asignación de etiquetas que debe utilizar en cada enlace para ese LSP (Wait, 2012).
- En el modo no solicitado, los enrutadores de salida emiten asignaciones de etiquetas para cada enlace externo a todos los vecinos. Estas transmisiones se difunden en todos los enlaces a través de la red hasta que llegan a los enrutadores de ingreso. A través de cada salto, informan al enrutador ascendente de la asignación de etiquetas que se debe utilizar para cada enlace externo, y al inundar la red establecen LSP entre todos los enlaces externos.

La principal ventaja de LDP sobre RSVP es la facilidad de configurar una malla completa de túneles utilizando el modo no solicitado, por lo que se usa con mayor frecuencia en este modo para configurar la malla subyacente de túneles que necesitan las VPN de la capa enlace y capa red (Wait, 2012).

1.1.3. Jerarquía de la red MPLS

La jerarquía de la red que presenta un ISP está conformada por tres capas, estos son; capa núcleo IP/MPLS, capa distribución y por último la capa de acceso.

Para la conexión a internet, se realiza mediante la implementación de los routers con firewall, que prácticamente son los intermediarios entre la red del ISP y la red informática a nivel mundial.

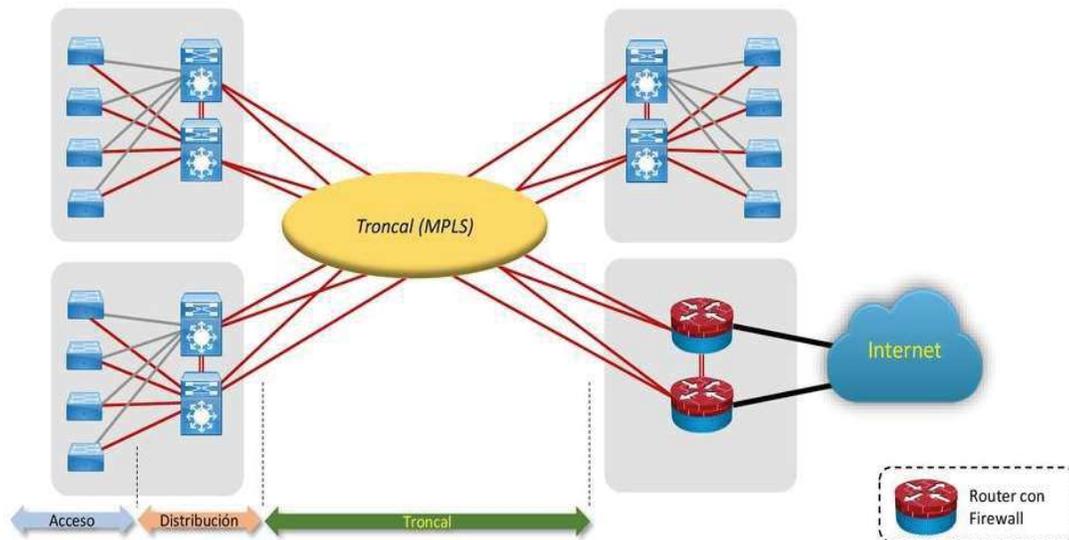


Figura 4. Jerarquía de la red de un ISP

Tomado de (Pereyra, 2018)

1.1.3.1. La capa núcleo

En esta capa se realiza la conmutación de todo el tráfico que ingresa y sale a través de la red del ISP, de las tres capas a esta se la puede considerar que tiene algo más de importancia que los dos restantes, ya que es en esta capa donde se gestiona una gran cantidad de información, la misma que debe ser manejada eficientemente y con la mayor brevedad posible, esto dependerá bastante de las características que posean los P's (Provider Router).

Un factor muy importante que debe ser manejado con el mayor cuidado en esta capa es la latencia, mientras el tiempo de latencia sea bastante bajo se puede decir que presenta una buena eficiencia dentro de la red, ya que esto permite que las respuestas a las peticiones de información sean más rápidas.

Por otra parte, la tolerancia a fallos es un sistema de garantía a la operatividad de la red, que necesariamente debe estar implementada en esta capa, de manera que, al presentarse una falla en cualquier parte de la red, el impacto de afección sea mínima y la red pueda mantenerse en funcionamiento y que en lo posible los usuarios no sean perjudicados por este tipo de eventos (Pereyra, 2018).

1.1.3.2. Capa de distribución

Esta capa prácticamente es la intermediaria entre la capa núcleo y la capa de acceso, permite que ambas tengan comunicación siempre y cuando estas respeten ciertos parámetros definidos por el administrador de la red. Dentro de las funciones que se realiza en esta capa es la de proporcionar enrutamiento y filtrado del tráfico de datos, puede ser saliente y/o entrante en dirección a la capa núcleo.

En esta capa también se establece la seguridad a través del uso de firewalls y las Listas de Control de Acceso (ACL). Se debe tener en cuenta la capacidad de los equipos que están en esta capa, ya que el tráfico que recibe desde la capa de acceso es bastante denso, por lo que es necesario que estos sean de alto rendimiento.

Los enlaces redundantes también son muy importantes en esta capa, ya que de esto dependerá la disponibilidad que tengan los usuarios finales hacia la capa núcleo (Pereyra, 2018).

1.1.3.3. Capa acceso

La capa acceso permite a cada uno de los usuarios conectarse a la red del ISP a través de los dispositivos proporcionados por el proveedor de internet. Además, es donde se genera el tráfico de entrada y salida por parte de los usuarios para acceder a los servicios o aplicaciones que han sido contratados.

Por otra parte, es en esta capa donde el tráfico de datos es clasificado y marcado para efectuar las preferencias que determina la calidad de servicio (QoS) aplicadas por un administrador, así como también debe cumplir con la seguridad de los puertos, disponibilidad, límites de confianza (Pereyra, 2018).

1.2. Proveedor de servicios de internet (ISP)

1.2.1. ISP

Un Proveedor de Servicios de Internet es un ente que puede ser público o privado que se dedica a vender acceso a internet y servicios que van de la mano con internet a cambio de un pago mensual por parte de los suscriptores (Pérez, 2014).

Para Pardo & Jiménez (2015):

Un ISP (proveedor de servicios de Internet) es una compañía que proporciona a individuos y otras compañías acceso a Internet y otros servicios relacionados, como la creación de sitios web y el alojamiento virtual. Un ISP tiene el equipo y el acceso a la línea de telecomunicación requerido para tener un punto de presencia en Internet para el área geográfica atendida. Los ISP más grandes tienen sus propias líneas arrendadas de alta velocidad, por lo que dependen menos de los proveedores de telecomunicaciones y pueden brindar un mejor servicio a sus clientes. Entre los ISPs más grandes se encuentran AT&T WorldNet, IBM Global Network, MCI, Netcom, UUNet y PSINet (p.93).

Los ISP más grandes se interconectan entre sí a través de las Área de Intercambio Metropolitana (MAE: Metro Area Exchange). Para que los ISP puedan acceder al intercambio de tráfico de datos mediante el MAE, realizan un acuerdo de Peering, este consiste en el intercambio del tráfico de datos entre dos o más ISP mediante acuerdo mutuo.

A un ISP también se lo puede denominar como IAP (Internet Access Provider), su traducción al español se entendería como Proveedor de Acceso a Internet,

pero es un término que no se lo utiliza con frecuencia. La abreviatura ISP en ocasiones se lo relaciona con Proveedor de Servicios Independiente para señalar a un proveedor de servicios que pertenece a una compañía independiente y separada de una compañía telefónica (Pérez, 2014).

1.2.2. Características del ISP

Los proveedores de servicios de Internet (ISP) tienen varios tipos de opciones de conectividad para Internet. Cada ISP es diferente en que la compañía proporciona un tipo diferente de protocolo y velocidad de conectividad (Serrano, 2017).

La mayoría de los ISP son por cable o DSL, pero hay otras opciones disponibles para áreas rurales pequeñas, con lo cual se puede indicar que existen diferentes tipos de ISP disponibles para todo tipo de usuario, los mismos que se detallan a continuación:

- **DSL:** comúnmente es ofrecido por compañías de telefonía fija locales. Es una tecnología que aprovecha las señales "extra" que las líneas telefónicas no utilizan. Estas señales "extra" hacen que el uso de DSL esté disponible incluso en momentos en que el teléfono suena o mientras la llamada está establecida. DSL usa enrutadores DSL, estos se conectan a través del cable telefónico hasta una toma telefónica.
- **Cable:** este es ofertado por compañías locales. Este utiliza el ancho de banda que sobra de la red de televisión. Acceder a Internet a través de este medio, requiere del modem proporcionado por el proveedor de internet. Los ISP de cable proporcionan de manera inmediata la implementación de su servicio, sobre todo en zonas donde no existe mucho uso. Las conexiones de cable son compartidas por los vecinos, lo que difiere de DSL, por lo que la velocidad de acceso del cable depende de la cantidad de tráfico de otros usuarios del vecindario (Serrano, 2017).

- **Satélite:** este servicio se ofrece a usuarios que se encuentran en zonas remotas, donde no se puede llegar con alternativas como cable o DSL. La velocidad de conexión para descarga es más rápida en comparación a la de subida. Esta alternativa requiere de un modem, antena y conexión a un satélite para funcionar, además es más costosa que las demás alternativas.
- **RDSI:** Otro método de transmisión de datos en línea que vale la pena considerar es RDSI o Red Digital de Servicios Integrados. RDSI representa una red de sistema telefónico, que integra una transmisión digital de voz y datos de alta calidad a través de la línea telefónica normal. Al garantizar una transmisión de datos mucho mejor a través de la línea telefónica que lo que podría permitir una línea analógica, la RDSI ofrece una velocidad de conexión a Internet de subida / bajada de 128 kbit / s. Este nivel de velocidad se puede considerar como una velocidad de banda ancha en comparación con la velocidad de banda estrecha de las líneas telefónicas analógicas estándar de 56k (Serrano, 2017).
- **Ethernet:** Otro tipo de acceso a Internet es Ethernet, la tecnología de LAN por cable (red de área local) más extendida, también utilizada en LAN inalámbricas. La tecnología Ethernet puede garantizar varios niveles de velocidad y, por lo tanto, puede dividirse en varios tipos: Ethernet regular, que proporciona velocidades de transmisión de hasta 10Mbps, Fast Ethernet, que ofrece hasta 100Mbps, Gigabit Ethernet, que admite 1Gbps y Ethernet de 10Gbps, que permite alcanzar hasta los 10 Gbps de transmisión (Serrano, 2017).
- **FTTH:** Fiber to the Home es el servicio de acceso a internet a través de la fibra óptica. Todos sus tramos, desde la central del ISP hasta el domicilio del suscriptor tienen como medio de transmisión a la fibra óptica. El servicio de acceso a internet por medio de la fibra óptica actualmente se ha masificado en todo el país, gracias a las ventajas que posee en

comparación a la conexión por cable de cobre. Dentro de las ventajas más relevantes proporcionadas por esta tecnología son; mayor ancho de banda, mayor velocidad de conexión y el bajo costo de implementación que tiene en la actualidad en relación a años anteriores (Velasco, 2019).

1.2.3. Evolución de los ISP

Pero la evolución de los ISP se dio por el éxito de 5 desarrollos importantes, los mismos que son:

- 1. TCP/IP:** el Protocolo Control de Transmisión / Protocolo de Internet es el conjunto estándar de protocolos de comunicaciones de datos que se utiliza en Internet. Fue desarrollado bajo la DARPA (DoD Advanced Research Projects Agency) por Robert Kahn y Vint Cerf. Ahora es un estándar de facto para Internet y es mantenido por el IETF. Estos protocolos son los que proporcionaron el correo electrónico de Internet, la transferencia de archivos, los grupos de noticias, las páginas web, la mensajería instantánea, la voz sobre IP, solo para nombrar algunos. Esto es como un lenguaje común que las computadoras usan para comunicarse entre sí en la red.
- 2. World Wide Web y HTML:** esto se atribuye a Tim Berners-Lee, quien desarrolló un sistema que permitiría vincular documentos a otros nodos. Este fue el comienzo del hipertexto, que son enlaces a información almacenada en otras computadoras en la red. Los usuarios ya no necesitarían saber la ubicación real o el nombre de la computadora para acceder a los recursos mediante el uso de hipervínculos HTML (Lenguaje de marcado de hipertexto). Por lo tanto, se pudo acceder a un recurso llamado sitio web que proporciona estos enlaces en los que se puede hacer clic con el mouse. Todo este sistema vinculado se llamó World Wide Web y para acceder a los recursos en él, debe escribir "www" seguido del nombre de dominio "servername.com".

- 3. Navegador:** la World Wide Web sería inútil si no fuera por un programa de software llamado navegador. El desarrollo temprano del mismo comenzó con Mosaic en 1993. Antes de los navegadores, existía un software llamado Gopher que proporcionaba acceso a sitios web, pero era tedioso y no fácil de usar. Eventualmente, las características más robustas evolucionaron con una nueva generación de navegadores como Mozilla y luego Netscape. En realidad, fue la introducción de Internet Explorer (IE) de Microsoft en 1995 lo que llevó a una adopción más amplia de la World Wide Web y al uso de Internet (Gonzalez, 2013).
- 4. Motores de búsqueda:** para obtener información y contenido de Internet, se necesitaba un software de motor de búsqueda. Los primeros días de búsqueda comenzaron con Gopher. Se hizo menos popular cuando surgieron los motores de búsqueda basados en el navegador. Otros sistemas basados en web evolucionaron como Lycos, Yahoo y Webcrawler. Luego, Google apareció a finales de los 90 y se convirtió en el motor de búsqueda más popular. Fue simple y rápido, ofreciendo la mejor manera para que los usuarios obtengan información en Internet. El término "Google" ahora se convirtió en sinónimo de búsqueda en Internet y es también el motor de búsqueda más conocido.
- 5. Proveedores de servicios de Internet:** los primeros días de Internet requerían un módem de acceso telefónico conectado a una línea telefónica con velocidades de datos de 14.4–28.8 kbps. Eso fue suficiente para satisfacer las demandas de datos durante finales de los 80 y principios de los 90, ya que la mayoría de Internet estaba basada en texto (Gonzalez, 2013).

A medida que Internet se hizo más popular y las empresas comenzaron a adoptarlo, más contenido requería velocidades de datos más rápidas. Esto condujo a que los ISP comenzaran con servicios similares a los de AOL (America

On-Line) enviando por correo software de CD gratuito para alentar a los usuarios a registrarse.

El problema fue obtener una dirección de correo electrónico y una hora gratuita de uso de Internet. El ISP continuó mejorando el servicio al ofrecer un servicio DSL y ADSL más rápido como alternativa al acceso telefónico.

El servicio DSL supera las velocidades de hasta 128 kbps. Las compañías de cable luego proporcionaron una velocidad de Internet aún más rápida utilizando módems de cable que se conocieron como servicio de banda ancha.

La infraestructura fue construida por compañías de telecomunicaciones y gigantes de televisión por cable para ofrecer velocidades aún más rápidas que permitirían a los usuarios transmitir video, chatear, navegar por contenido activo en la web, videoconferencia y descargas de datos más rápidas. Las velocidades de módem de cable, basadas en DOCSIS (Especificación de interfaz de servicio de datos por cable) ofrecen velocidades entre 20 y 100 Mbps e incluso mayores (depende de cuántos usuarios estén conectados en el circuito del suscriptor) (Gonzalez, 2013).

De tal manera que los clientes individuales y las empresas pagan a los ISP por el acceso a Internet. Los ISP están interconectados entre sí en los puntos de acceso a la red y a su vez, los ISP pagan a otros ISP más grandes por su acceso a Internet, y estos pagan a otros ISP.

Esto se conecta en cascada varias veces hasta que las transmisiones llegan a un operador de Nivel 1, que es un ISP capaz de llegar a todas las demás redes en Internet sin comprar tránsito de IP o pagar acuerdos. Sin embargo, es difícil determinar el estado de una red porque los acuerdos comerciales para pagar los acuerdos no se hacen públicos.

Sin embargo, la situación es más compleja que una simple conexión establecida con un ISP ascendente. Los ISP pueden tener más de un Punto de Presencia (PoP: Point of Presence), el cual permite acceder a Internet. Está compuesto por servidores de ubicación física, enrutadores, conmutadores de cajeros automáticos y agregadores de llamadas digitales / analógicos. Algunos ISPs tienen miles de PoPs. Varios PoPs pueden tener conexiones separadas a un ISP ascendente. Y cada ISP puede tener ISP ascendentes y conexiones a cada uno de ellos en uno o varios PoPs (Gonzalez, 2013).

1.2.4. Ejemplos de ISP

Alrededor del globo terrestre existen muchos Proveedores de Internet, cada uno con sus diferentes capacidades, tecnologías, servicios ofertados y precios, pero todos con el mismo propósito de proporcionar a cada uno de sus usuarios el mejor servicio posible para el acceso a la red más grande de datos que conocemos, Internet y a los servicios que se pueden acceder a través de esta.

1.2.4.1. ISP en el territorio nacional

- **CNT Empresa Publica**



Figura 5. Logo CNT EP

Tomado de (CNT, 2018)

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública es la empresa estatal ecuatoriana que presta servicios de telecomunicaciones a nivel nacional. Proporciona servicios a nivel corporativos y servicios home. Oferta servicios de acceso a internet con conexión estándar y de alta velocidad, telefonía fija, telefonía móvil, televisión satelital y prestar servicios en la nube.

Actualmente es líder con la mayor participación en el mercado con el servicio de internet fijo y con el servicio de telefonía fija (ARCOTEL, 2019).

Una empresa con su misión alineada en *“Brindamos a los ecuatorianos la mejor experiencia de servicios convergentes de telecomunicaciones y TICs (Tecnologías de la Información y Comunicación), para su desarrollo e integración al mundo, impulsando el crecimiento de nuestra gente y creando valor para la sociedad.”* Por otra parte, su visión se enfoca en *“Ser la empresa líder de servicios convergentes de telecomunicaciones y TICs del Ecuador, a través de la excelencia en su gestión, el valor agregado y la experiencia que ofrece a sus clientes; que sea orgullo de los ecuatorianos.”* (CNT, 2018)

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones nace inicialmente como una empresa de sociedad anónima el 30 de octubre del 2008 mediante escritura pública al fusionar las empresas ANDINATEL y PACIFITEL, también de sociedad anónima con capital estatal ambas. No pasa mucho tiempo después en iniciar el proceso para convertirse en una empresa pública, es así que el 14 de enero del 2010 la Corporación Nacional de Telecomunicaciones S.A pasa a convertirse en Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública mediante decreto ejecutivo 218, publicado en Registro Oficial 122 el 3 de febrero del 2010 con la finalidad de unificar los servicios de telecomunicaciones a nivel nacional y mejorar la calidad de servicio para toda la población ecuatoriana. (Corporación Nacional de Telecomunicaciones EP, 2014)

En 2010 CNT EP se hace cargo de TELECSA de la marca Alegro PCS para iniciar operaciones con el servicio de telefonía móvil en el territorio nacional. TELECSA fue una empresa pública que recibió la concesión para su operación por parte del estado el 3 de abril de 2003, de esta manera en diciembre del mismo año fue que inicio oficialmente a operar en con el servicio de telefonía móvil en el territorio nacional. Esta empresa fue creada por ANTINATEL Y PACIFITEL con la finalidad de competir con las empresas privadas, por una parte, estaba la empresa mexicana del grupo Slim Porta y por otra parte estaba

la empresa española del grupo telefónica Movistar. Lamentablemente desde su inicio tubo una mala administración la empresa TELECSA, esto no permitió que fuese competencia para las empresas privadas, asimismo esta no generara rentabilidad para el estado ecuatoriano. Esta fue una razón suficiente para que el 30 de julio de 2010 el estado ecuatoriano decidiera tomar la rienda de TELECSA, a través de la CNT EP y buscar posicionarlo en un mejor puesto en el mercado ecuatoriano. (Corporación Nacional de Telecomunicaciones EP, 2014)

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP es una de las empresas líderes en poseer dos Data Center de alto rendimiento en toda la región. Estos se encuentran ubicados estratégicamente en dos regiones del Ecuador la parte litoral y en la parte sierra. El tiempo que se necesitó para llevar a cabo su construcción fue más de dos años y poder ser inaugurados en febrero de 2016 el Data center de Quito y el 15 de abril del mismo año el de Guayaquil. Estos centros tecnológicos están operativos las 24 horas del día durante todo el año para prestar sus servicios a empresas públicas y privadas. Es una de las primeras empresas de telecomunicaciones que cuenta con una certificación internacional en diseño y construcción, certificación que fue otorgada por el Uptime Institute entidad que califica tecnologías y capacitación de personal técnico (citar primer link). Es así que, gracias a estos centros tecnológicos en noviembre del 2018, CNP EP en conjunto con su socio estratégico, VMWare líder mundial con soluciones de virtualización y servicios Cloud, realizó el lanzamiento de la nube Hiper-convergente que permite la eficiencia de datos, movilidad escalabilidad, protección de datos, alta disponibilidad, eficiencia de costos, centralización de máquinas virtuales (CNT, 2018).

- **GRUPO TVCable**



Figura 6. Logo Grupo TVCable

Tomado de (TVCable, 2012)

El Grupo TVCable es una empresa privada en el mercado ecuatoriano que brinda servicios de telecomunicaciones en las principales ciudades del país Quito, Cuenca, Ambato, Riobamba, Ibarra, Tulcán, Guayaquil, Manta, Portoviejo, Salinas, Machala, Loja y la Libertad. Presta servicios de internet residencial y corporativo, televisión por cable y satelital y telefonía fija. Dentro del Grupo la distribución del trabajo realizado es de la siguiente manera: TVCable alineado al servicio de televisión por cable y la transmisión datos de alta velocidad mediante sus redes de servicios portadores, CABLEMODEM está orientado a los servicios de internet de alta velocidad y finalmente SETEL que se encarga del servicio de telefonía fija.

Empresa con su misión encaminada a “Generar experiencias de servicio extraordinarias en entretenimiento, comunicación e información, con recursos humanos comprometidos y procesos eficaces que superen las expectativas de valor de nuestros clientes”. Así también su visión está alineada alcanzar “El mayor grupo privado del Ecuador en telecomunicaciones y entretenimiento que brinda servicios de excelencia con calidad, innovación, responsabilidad y contenido” (TVCable, 2012).

La empresa Grupo TVCable fue fundada en el año 1986, en este año da inicio a la implementación de su sistema de cableado para proporcionar de su servicio a las principales ciudades del país. En septiembre de 1987 empieza a operar y proveer de sus servicios a sus suscriptores con la más moderna tecnología del momento, convirtiéndose en una empresa líder y pionera en ofrecer televisión pagada en el territorio nacional.

En 2003 TVCable adquiere una concesión que le permite brindar el servicio de acceso a internet, transmisión de datos, y servicios de voz en la ciudad de Quito y Guayaquil a través del Cable Modem.

En el año 2005 se incorpora dentro del grupo TVCable a la empresa SETEL para encargarse de los servicios de telefonía fija inalámbrica a través de la tecnología WIMAX para llegar a zonas remotas en las ciudades de Quito y Guayaquil.

En 2010 inicia a ofrecer el servicio de televisión en alta definición. Por otra parte, permite a sus suscriptores tener acceso a sus canales mediante el uso de la aplicación TVCable Play, esta se puede acceder desde un navegador web o desde cualquier dispositivo móvil Android, iOS o Smart TV (TVCable, 2012).

- **Otros proveedores en Ecuador**

De manera resumida se señalan a otros proveedores de internet que prestan sus servicios dentro del territorio nacional en cada una de sus provincias. A estos se los puede visualizar en la *Figura 7* donde además se puede ver el porcentaje de participación de mercado que estos mantienen actualmente. Las tres empresas con mayor número de usuarios son; en primer puesto CNT EP, en segundo puesto el grupo TVCable (SETEL) y en tercer puesto la empresa MEGADATOS S.A.



Figura 7. Participación de mercado de proveedores de internet.

Tomado de (ARCOTEL, 2019)

1.2.4.2. ISP fuera del territorio nacional

- **AT&T**



Figura 8. Logo AT&T

Tomado de (AT&T, 2017)

AT&T Inc., inicio sus actividades el 5 de octubre de 1983, es una compañía holding, la misma que brinda servicios de comunicaciones y entretenimiento digital en los Estados Unidos y el mundo. La compañía opera a través de cuatro segmentos: Entertainment Group, Business Solutions, International y Consumer Mobility. La compañía ofrece sus servicios y productos a los consumidores en los Estados Unidos, México y América Latina y a las empresas y otros proveedores de servicios de telecomunicaciones en todo el mundo (AT&T, 2017).

La compañía también posee y opera tres redes regionales de deportes de televisión, y retiene intereses no dominantes en otra red regional de deportes y una red dedicada a la programación relacionada con juegos, así como a juegos interactivos por Internet. Los servicios y productos ofrecidos por la Compañía varían según el mercado, e incluyen comunicaciones inalámbricas, servicios de datos / banda ancha e Internet, servicios de video digital, servicios de telefonía local y de larga distancia, equipos de telecomunicaciones, redes administradas y servicios mayoristas. Sus filiales incluyen AT&T Mobility y SKY Brasil Servicios Ltda (AT&T, 2017).

El segmento de Soluciones de Negocios brinda servicios a clientes comerciales, incluidas compañías multinacionales; clientes gubernamentales y mayoristas; y

suscriptores individuales que compran servicios inalámbricos a través de planes patrocinados por el empleador.

Proporciona servicios basados en IP, incluidas las redes privadas virtuales (VPN); Productos relacionados con Ethernet y banda ancha, denominados servicios estratégicos fijos; así como los datos tradicionales y productos de voz. Proporciona soluciones empresariales a través de varias categorías, que incluyen servicios inalámbricos, servicios estratégicos fijos, servicios de voz y datos heredados, otros servicios y equipos inalámbricos. Proporciona una gama de servicios inalámbricos de comunicaciones de voz y datos en una variedad de planes de precios. Clasifica a sus suscriptores como pospago, dispositivo conectado o revendedor (AT&T, 2017).

Ofrece planes de Mobile Share y una oferta integrada que combina datos inalámbricos ilimitados con sus servicios de video. Estos planes permiten compartir voz, texto y datos en múltiples dispositivos.

También ofrece programas de instalación de equipos, como AT&T NextSM (AT&T Next), un programa que permite a los suscriptores actualizar los teléfonos utilizando un plan de pago a plazos; y los planes Rollover Data on Mobile Share, que permiten que los datos de planes compartidos no utilizados se puedan transferir y utilizar en el próximo mes.

Los servicios inalámbricos incluyen servicios de datos y voz, incluidos servicios de larga distancia y servicios de itinerancia. Los servicios de roaming permiten a los suscriptores utilizar las redes de otros operadores cuando están en itinerancia fuera de su huella de red. La oferta de servicios estratégicos fijos utiliza circuitos digitales y permite a los clientes crear redes de datos internas y acceder a redes de datos externas (AT&T, 2017).

Los servicios de transporte conmutado transmiten datos utilizando equipos de conmutación para transferir los datos entre varias líneas antes de llegar a su

destino. Los servicios de transporte dedicados utilizan una sola línea directa para transmitir datos entre destinos.

Proporciona aplicaciones de voz para empresas a través de redes basadas en IP (es decir, redes privadas virtuales mejoradas (EVPN)). Ha construido una nueva red IP/MPLS, para complementar su conjunto de productos basados en IP y reemplazar sus antiguas redes y servicios basados en circuitos. Estos productos le permiten proporcionar redes de datos globales complejas. Los servicios adicionales basados en IP incluyen acceso a Internet e integración de red, seguridad de red, servicios dedicados de Internet y redes empresariales.

Los servicios de paquetes consisten en redes de datos que utilizan tecnologías de transmisión y conmutación de paquetes, incluidos los servicios de conectividad IP y basados en circuitos. Los servicios de paquetes permiten a los clientes transmitir volúmenes de datos de manera económica y se utilizan para la conexión de Redes de Área Local (LAN) y las comunicaciones entre oficinas. Los servicios de redes empresariales brindan soporte desde el diseño, la implementación y la instalación de la red hasta las operaciones y la administración continuas de la red para redes de diferentes escalas, incluidas las LAN y las redes privadas virtuales (AT&T, 2017).

Estos servicios incluyen aplicaciones como correo electrónico, sistemas de entrada de pedidos, directorios de empleados, transacciones de recursos humanos y otras aplicaciones de bases de datos. También ofrece servicio de wifi.

Sus servicios de voz incluyen el servicio local tradicional y de larga distancia proporcionado a clientes comerciales y gubernamentales, o mediante acuerdos mayoristas con otros proveedores de servicios. Sus productos de datos basados en circuitos incluyen servicios de transporte conmutado y dedicado que permiten a los clientes transmitir datos a velocidades, así como acceder a Internet mediante una conexión de línea de abonado digital (DSL).

La compañía proporciona capacidad de redes mayoristas dentro del estado, interestatales e internacionales a otros proveedores de servicios. Ofrece una combinación de capacidad de transmisión de alto volumen y servicios de línea dedicados convencionales a nivel regional, nacional e internacional para los clientes mayoristas, que son operadores inalámbricos (AT&T, 2017).

- **TELEFONICA**



Figura 9. Logo Telefónica

Tomado de (Telefonica, 2018)

Telefónica es una compañía multinacional que brinda servicios de telecomunicaciones y actualmente es considerada una de las empresas más importantes en el mundo por sus servicios y presencia en varios países. Cuenta con un registro de clientes superior a los 300 millones. Por otra parte, el número de empleados con los que cuenta es de 120.000 empleados. Su sede central está situada en la ciudad de Madrid.

Telefónica fue constituida el 19 de abril de 1924, y tan solo después de un par de meses, esta compañía fue contratada por el rey de España Alfonso XIII para que se encargara de realizar el sistema telefónico para todo el país. El gran éxito que consigue esta compañía da paso para que entre el año 1954 se realice la conexión de cable coaxial entre las ciudades de Madrid, Zaragoza y Barcelona. Además de ser la primera compañía de su clase en tender cable submarino entre Santa Cruz de Tenerife y San Fernando de Cádiz con la mayor capacidad que se podía tener en la época.

Para los años noventa esta compañía de telecomunicaciones decide extender su negocio a países de Latinoamérica así pues los países donde empieza a operar dentro de esta región son Chile y Argentina.

En 1995 Telefonica arrancaría con el servicio de telefonía móvil y también se inicia a ofrecer Servicio de Acceso a Internet, a través de su marca InfoVia.

En el año 1998 telefonica realiza las primeras pruebas con tecnología ADSL para desplegar lo que sería su primera red IP, esto permite que también inicie con el negocio audiovisual.

A partir del 2000 Telefonica fortaleció su posición en el mercado mundial con sus servicios de telecomunicaciones con gran éxito y continúa en el proceso de desarrollar nuevos servicios que permitan a cada uno de sus usuarios tener mejores experiencias respecto a las nuevas tendencias tecnológicas.

Marcas que maneja telefonica alrededor del mundo

Las principales marcas comerciales con las que cuenta actualmente Telefonica son: Vivo, O2 y Movistar. Mediante estas marcas se proporcionan los servicios de telefonía móvil, fija, banda ancha y televisión a más de 340 millones de usuarios en distintos países (Telefonica, 2018).

Lugares donde opera las marcas

Telefonica es una compañía de telecomunicaciones que opera en varios países mediante cada una de sus marcas comerciales, a continuación se detalla donde opera cada una de estas:

- **Movistar**, esta presente en España, Argentina, Chile, Uruguay, Perú, Ecuador, Venezuela, Colombia, México, Guatemala, Panamá, El Salvador, Costa Rica y Nicaragua (Telefonica, 2018).
- **O2**, esta presente en Alemania y Reino Unido
- **Vivo**, opera en Brasil.

De manera adicional Telefonica cuenta con otras marcas dedicadas a actividades concretas, como por ejemplo:

- **Wayra**, un acelerador mundial de start-up, que en tan pocos años se a convertido en una red de innovacion a escala mundial.
- **Tuenti**, es una marca dedicada a la telefonía móvil, esta opera en Peru, España, Argentina y Ecuador. Por otra parte, Fonic en Alemania y Giffgaff para Reino Unido.
- **Terra**, esta marca se dedica al servicio de internet en zonas de habla Hispana y portuguesa.
- **Media Network**, esta marca se enfoca a prestar servicios de televisión pagada y de internet satelital, venta de publicidad. Esta opera en México, Brasil, Chile, Argentina, Colombia, Paraguay, Ecuador, Bolivia, Venezuela, USA, Perú y toda Centroamérica.

La intención de Telefonica al trabajar con varias marcas en varios países es la de vincularlas a estas como una sola marca institucional. Pues cada una de estas marcas tienen un gran aporte significativo, por la buena reputación de cada una en el mercado y la confianza de cada uno de sus clientes (Telefonica, 2018).

1.2.5. Servicios Ofertados por los ISP

Los servicios ofertados por lo ISP, en sus inicios con una velocidad de conexión a internet y un ancho de banda muy bajas prácticamente era una limitante para poder ofrecer servicios variados a sus suscriptores.

Pero actualmente gracias al avance de la tecnología respecto a los medios de transmisión, es posible contar con anchos de banda y velocidades de conexión suficientemente aptos para ofrecer varios servicios a los suscriptores de cualquier ISP. Los servicios ofrecidos comúnmente por los Proveedores de Servicios de Internet se clasifican en dos tipos.

1.2.5.1. El servicio home

Dentro de este se clasifican servicios básicos y cotidianos que permitan a los suscriptores desarrollar sus actividades más como de entretenimiento que de trabajo. Estos servicios son los siguientes:

- **Internet:** este servicio puede de dos tipos, internet fijo o móvil, el costo de cada uno variaría en función de la capacidad que requiera contratar el suscriptor.
- **Telefonía:** este servicio es de tipo fijo y el costo estará principalmente en función del tipo de llamadas ya sea del tipo local o internacional y de las características del plan que desea contratar el suscriptor.
- **Televisión:** este servicio puede variar en función de cada proveedor y las alternativas que puede ofertar son televisión por cable o satelital, el costo va en función del número de canales que desee contratar el suscriptor.
- **Móvil:** este servicio es de telefonía móvil y los costos van principalmente en función de los minutos y datos que desee contratar en su plan el suscriptor.

1.2.5.2. Servicios corporativos

Dentro de este grupo las exigencias requeridas por los suscriptores son mayores tanto en capacidades como en servicio, ya que estas van enfocadas para el desarrollo de sus industrias o negocios, de manera que es muy importante que estos servicios estén en lo posible siempre disponibles. A continuación, se enlistan algunos de los servicios pertenecientes a este grupo:

- **Móvil empresarial,** dentro de estos a parte del servicio normal, puede ser incluidos servicios adicionales como el roaming, internet móvil, telemetría entre otros. El costo de estos planes variara en función de los servicios adicionales contratados por los suscriptores.

- **Internet**, los servicios que se caracterizan dentro de este grupo son: el internet corporativo este a su vez se pueden definir por las capacidades de ancho de banda, tecnología o velocidades de conexión que requiera contratar el suscriptor.
- **Servicios fijos**, dentro de este grupo se incluye el servicio de telefonía fija, troncales, telefonía pública, los servicios de valor agregado, entre otros. Estos servicios serán contratados según el tipo de negocio o necesidades que maneje el suscriptor que requiera de estos servicios.
- **Infraestructura**, este servicio permite ofrecer a cada uno de los suscriptores data center virtual, máquinas virtuales, entre otros más. Para desarrollar el tipo de negocio que maneje cada suscriptor.
- **Seguridad**, este tipo de servicio va enfocado para salvaguardar la información que manejen dentro de la red los suscriptores. Los servicios ofrecidos en este grupo pueden ser seguridad perimetral, seguridad contra ataques, seguridad contra malware, antispam, etc.
- **Otros**, en este grupo se menciona servicios comunes, pero no por eso menos importantes. Estos servicios son los de hosting, housing, correo, etc. (CNT, 2018).

1.2.6. Niveles de las redes ISP

Existen tres niveles de estructura jerárquica que identifica el tipo de ISP, a estos niveles se los conoce como; TIER 1, TIER 2 Y TIER 3 y básicamente es la capacidad de conectividad internacional que posee un operador.

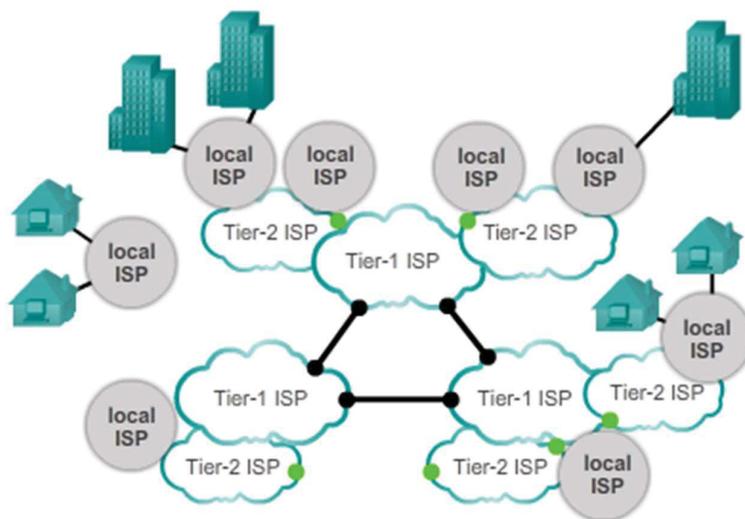


Figura 10. Representación de niveles TIER

Tomado de (pageIMPACT, 2018)

En la *Figura 10* se puede evidenciar la interconexión de las redes TIER y comprender de mejor manera su funcionamiento.

1.2.6.1. Red nivel TIER 1

Este tipo de redes manejan las operadoras que poseen conexiones a nivel global por medio de tendidos de fibra óptica y cable submarino con gran capacidad para la transmisión de datos. Este nivel permite el acceso a cualquier punto de Internet, ya que necesario que las redes de tipo TIER 1 se encuentren interconectadas entre sí. Este tipo de redes prácticamente son el backbone de lo que conocemos como la red de internet. Como ejemplo de operadoras con este nivel de red tenemos a:

- AT&T
- Telefónica
- Verizon
- AOL a través de ATDN (AOL Transit Data Network), etc.

1.2.6.2. Red nivel TIER 2

Este tipo de redes manejan las operadoras que poseen conexiones a nivel regional, esto no les permite tener acceso a todos los puntos de internet por lo que requieren de un TIER 1 para alcanzar el acceso a cualquier punto de internet. A través de los servicios de estas operadoras, las operadoras de nivel más bajo TIER 3 pueden tener acceso a las redes de nivel 1. Como ejemplo de ISPs de este nivel de red tenemos a:

- Corporación Nacional de Telecomunicaciones EP
- Cable&Wireless
- British Telecom
- SingTel (Singapore Telecommunications Limited)

1.2.6.3. Red nivel TIER 3

Este tipo de redes manejan las operadoras que poseen conexiones a nivel local, quienes se dedican a prestar servicios de conexión a internet. Estos necesitan de un TIER 2 para poder acceder a cualquier punto de Internet. Algunos ejemplos de estos son:

- Movistar
- Claro
- Telmex, etc.

1.2.7. Estructura del ISP

El esquema y servicios básicos que debe tener un Proveedor de Servicios de Internet, se determina en la siguiente figura.

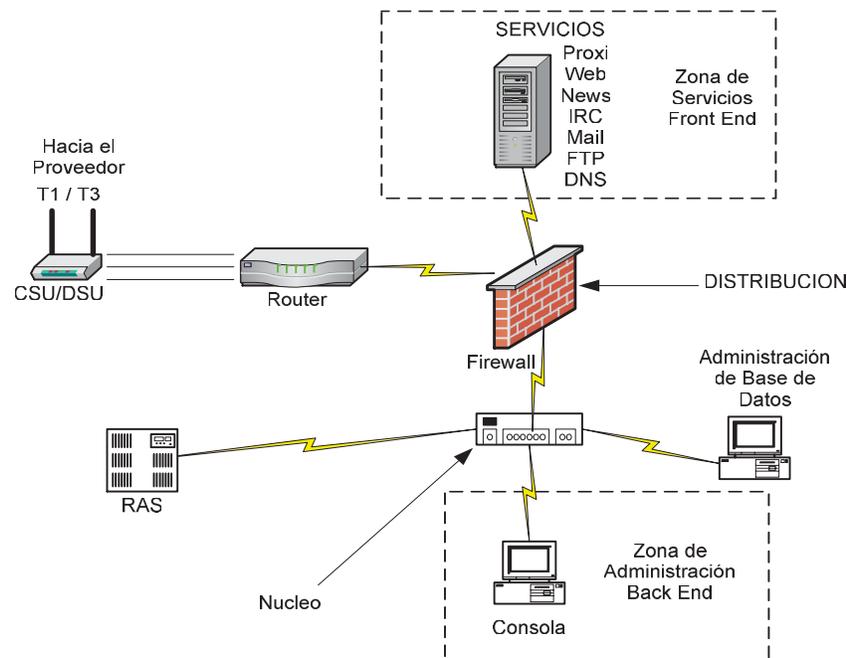


Figura 11. Estructura del ISP
Tomado de (Peire & Pérez, 2013)

Cabe mencionar que la estructura de un ISP está conformada por dos zonas importantes las mismas que son:

- Administración
- Servicios.

Según Peire & Pérez (2013):

La zona dedicada a los servicios es la más frágil desde el punto de vista de la seguridad, puesto que está expuesta a todos los usuarios de la Internet que quieran acceder o utilizar un servicio determinado, comúnmente esta área se conoce como la zona desmilitarizada (DMZ). En cambio, la zona de administración debe ser la más protegida, de modo que se evite recibir ataques de hackers (p.34).

“En efecto, las estaciones que están en la zona de administración están facultadas a ingresar al resto de la plataforma ISP, de modo que, si alguien

puede tomar el control de las máquinas de administración, puede controlar el ISP completo (Peire & Pérez, 2013)”.

1.3. Internet de las cosas

El internet de las cosas es un término que se puede escuchar de forma constante en la actualidad, el Internet de las Cosas (IoT: Internet of Things) se encuentra definido como un término abstracto el cual ha ido tomando bastante popularidad en los últimos años, si bien es cierto la idea que esta busca proyectar se desenvuelve en un contexto bastante ilustrado por aspectos cotidianos que se relacionan con el uso internet, pero en realidad se trata de mucho más que eso (Lozada, 2014).

En las últimas décadas se ha venido trabajando con el propósito de realizar los objetivos más interactivos para los usuarios, mismos que en la actualidad han llegado a ser de uso cotidiano por muchos, desarrollándose de tal forma aspectos conocidos como viviendas inteligentes, teléfonos móviles inteligentes, entre otros, los cuales emplean el internet para mantenerse operativos y funcionales, manteniendo en constancia las acciones para las cuales el usuario los emplee (Lojano, 2016).

“El Internet de las cosas potencia objetos que antiguamente se conectaban mediante circuito cerrado, como comunicadores, cámaras, sensores, y demás, y les permite comunicarse globalmente mediante el uso de la red de redes” (Tejada, 2015). En torno a ello se menciona que el internet de las cosas se define como una red que se encarga de interconectar a los objetos físicos fundamentándose en el internet. Dichos objetos emplean por su parte sistemas y hardware especializados los cuales les permiten no solo acceder a una red de internet sino también a la programación de actividades y tareas relaciones de manera directa y que se empleen de forma remota (Rouse, 2017).

En dicho contexto, el contexto el internet de las cosas se encuentra en el principio de una operación anterior, es así como cada uno de los objetos que se encuentra

conectado a internet cuenta con una IP específica a través de la cual puede acceder a un sitio para recibir instrucciones por parte del usuario, además de que puede contratar a un servidor externo a fin de que este recopile información importante para el usuario.

1.3.1. Áreas de explotación

El internet de las cosas impulsa la integración del mundo físico con el digital, no solo relacionado a servicios para el hogar sino también para la industria, agricultura, vehículos, medicina, entretenimiento, educación, etc. Es por esto que empresas tecnológicas de renombre están apostando por esta tecnología y se preparan para ser competitivas en el mercado. Muestra de esto es la empresa Siemens con su plataforma MindSphere, IBM con su plataforma IBM Watson IoT, Amazon con su plataforma AWS IoT, entre otros más.

1.3.2. Crecimiento de numero de dispositivos IoT

El estudio de varios expertos en el tema tecnológico, predicen que en los próximos años la cifra de dispositivos conectados se duplicara, esto relacionado solo a dispositivos que están dentro del entorno de hogar. A manera de ejemplo se puntualiza la predicción realizada por empresa de análisis Gartner, la cual predice que para el 2020 habrá 20.400 millones de dispositivos conectados. Mientras que la marca Cisco en el año 2011 dijo que para el 2020 habrá 50.000 millones de dispositivos conectados. De estas cifras estimadas se dice que tan solo un pequeño porcentaje será de teléfonos inteligentes y tables.

1.3.3. Impacto del ancho de banda

Los dispositivos de IoT en su mayoría no consumen mucho ancho de banda, ya que estos envían información bastante puntual, pero por la razón de estar en línea y por la cantidad de dispositivos que se estima que aumentaran en el transcurso de los siguientes, es necesario que las redes de los proveedores de servicios de internet tengan la capacidad necesaria para soportar la demanda requerida por esta tecnología.

1.4. Redes convergentes

Las redes convergentes admiten la unificación del tráfico de datos, voz y video dentro de una sola red. Esto permite que los usuarios de una determinada red puedan acceder a sus servicios y aplicaciones a través de una misma infraestructura de red. En dicho contexto, la red convergente se encuentra conformada por media Gateway, el controlador de media Gateway, el Gateway de señalización y el gatekeeper de una manera básica y dentro de un contexto general (Mejía, 2014).

Es así como el desarrollo de la tecnología y actualmente el uso de internet como medio para la ejecución de varias tareas, ha permitido el establecimiento de la convergencia de redes, es decir la convergencia de datos, voz y videos que se transfieran por una misma red. Esto facilita que los dispositivos inteligentes tales como los teléfonos inteligentes, ordenadores los cuales requieren mantener una red para llevar a cabo operaciones mayormente funcionales.

“La comunicación en redes se realiza normalmente a través de Ethernet con tráfico de almacenamiento mediante un entorno de canal de fibra SAN. Es común tener una red dedicada o enlace de serie para administración de sistemas y quizás aún heartbeat. Como resultado, un servidor único suele estar en múltiples redes” (Saavedra D. , 2012).

En aporte de ello, se menciona que las redes convergentes contribuyen a la generación de soluciones en comunicaciones unificadas, las cuales permiten la relación entre los usuarios de una manera más dinámica y efectiva, aspecto que también mantener costos bajos debido a que las compañías de internet permiten tener accesibilidad eficiente al mismo. De esta manera se considera que los adelantos tecnológicos han permitido consolidar redes dispersas en una única plataforma, la cual se encuentra definida como una red convergente, puesto que a través de esta se logra que el flujo de voz, vídeo y datos que viajan a través de dicha red supriman la necesidad de crear y mantener redes separadas (Aldana & Vallejo, 2013).

1.5. DWDM

1.5.1. Definición

Dense Wavelength Division Multiplexing traducido al español Multiplexación por división en longitudes de onda densas. Es una técnica de transmisión que hace posible el envío de varios cientos de longitudes de onda, es decir señales ópticas, por una misma fibra óptica. Las distintas separaciones son: 200GHz (1,6nm de longitud de onda, 25 canales), 100GHz (0,8nm de longitud de onda, 50 canales) y 50 GHz (0,4nm de longitud de onda, 100 canales). Funciona en la banda C, en la tercera ventana de 1550 (Cables-Solutions, 2019), como se puede ver en la *Figura 12*.

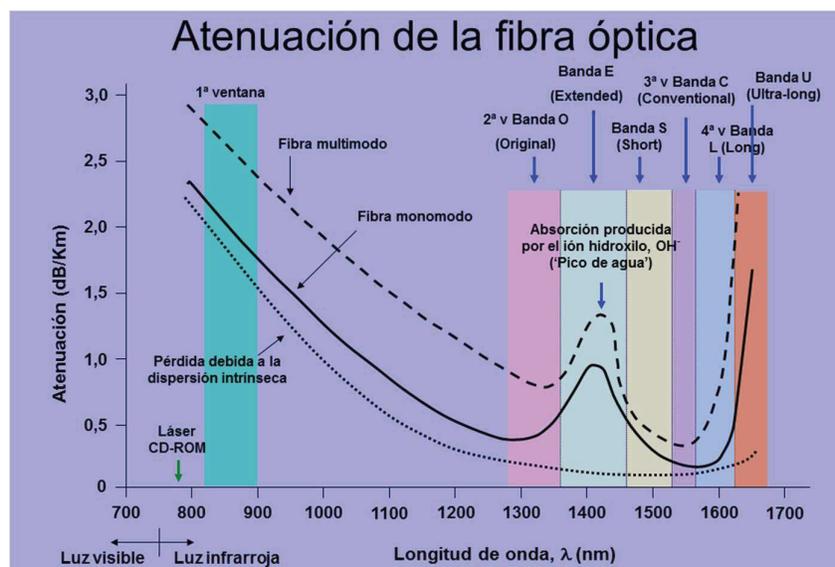


Figura 12. Ventanas y/o bandas de fibra óptica.

Tomado de (Turmero, 2019)

1.5.2. Funcionamiento

El funcionamiento del DWDM tiene el mismo principio de trabajo que el de FDM. Por lo tanto, puede acoplar varias señales, cada una de estas a diferentes longitudes de onda para ser enviadas por un mismo medio de transmisión, en este caso la fibra óptica. El multiplexor es un dispositivo que se encarga de inyectar las diferentes señales a la fibra óptica mientras que el demultiplexor se

encarga separar las señales recibidas (Millan, 2008), como se puede ver en la *Figura 13*.

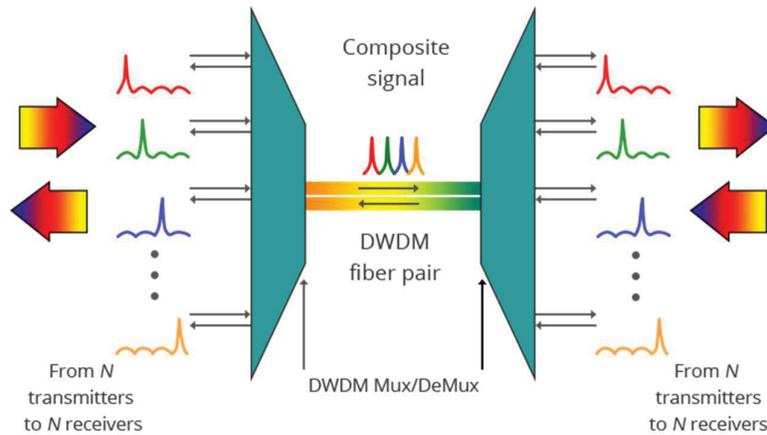


Figura 13. Funcionamiento del sistema DWDM.

Tomado de (Cables-Solutions, 2019)

Cada canal óptico es formado y tratado de manera independiente de los demás canales, aunque compartan el mismo medio de transmisión de este modo cada canal puede transportar cualquier tipo de datos y no se verán afectados. Este mecanismo permite que se puede ampliar el ancho de banda al máximo de su capacidad de la fibra óptica. La transmisión puede ser unidireccional o bidireccional.

1.5.3. Los elementos básicos de sistema DWDM.

Un sistema DWDM necesita de los siguientes componentes para su funcionamiento:

- Transmisor y receptor óptico
- Fibra óptica
- Multiplexor y demultiplexor
- Transpondedor/Modulador
- Amplificadores ópticos
- Filtro

2. CAPITULO II: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

2.1. Introducción

Como consideración inicial, es importante aclarar que toda la información utilizada y detallada en este capítulo son datos reales, ya que se contó con la información de un proveedor de servicios de internet que se encuentra operativo en el mercado ecuatoriano. Gracias a esto se logró obtener la información necesaria para el desarrollo de este proyecto, pero al no poder exponer directamente la información de la red, se utilizará nombres diferentes para los equipos, direcciones IP's y ubicaciones si así lo amerita el caso.

En primera instancia es necesario conocer el estado actual de la red, saber cómo está compuesta la parte física, la parte lógica, el número de dispositivos que conforman la red, los modelos y capacidades de los equipos, características de los enlaces y servicios prestados, de manera que se pueda conocer el rendimiento que tiene la red IP/MPLS. En la *Figura 14* se puede observar la representación de la jerarquía de una red ISP, la capa de acceso es la red que permite acceder a los servicios del ISP a cada uno de los usuarios. Por otra parte, la capa de distribución es la red que interconecta a la capa de acceso con la capa núcleo aplicando funcionalidades de switching, routing, disponibilidad, políticas de acceso, entre otros. Finalmente, la capa núcleo es la red backbone del ISP que se encarga de centralizar y transportar la información de todas las redes del ISP.

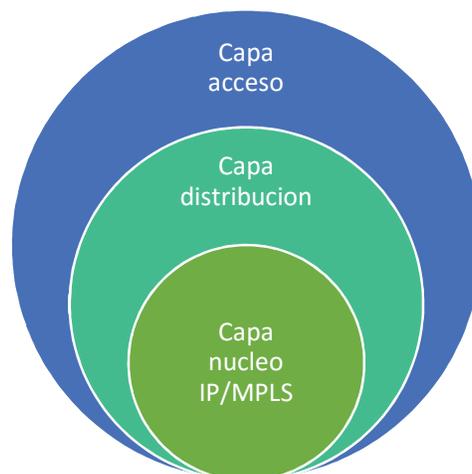


Figura 14. Representación jerárquica de una red ISP

Según (Albuja & Gutiérrez, 2014): El diseño jerárquico que sostiene una red ISP, es por capas, las cuales se dividen en tres; núcleo, distribución y acceso. La operatividad autónoma que pueda tener cada una de las capas de la red, hacen que sea un diseño modular. La jerarquía de red del proveedor de servicios de internet se compone de tres niveles o capas, estas son: la capa de acceso, la capa de distribución y por último la capa núcleo. Debido a la necesidad de gestionar el tráfico de datos que ingresa a la red del ISP de manera rápida y oportuna, MPLS es la tecnología más idónea en la actualidad ya que permite cumplir con el objetivo planteado. La elaboración de este proyecto está únicamente centrada en la capa núcleo, la cual se aplica dentro de esta tecnología y se la denomina como capa de núcleo IP/MPLS, por tal razón no se ahondará en las capas de distribución y acceso en el desarrollo de este proyecto.

Las redes de los ISP transportan una gran cantidad de tráfico, el mismo que se debe de gestionar tan rápido como sea posible, IP/MPLS es la mejor opción que tienen a disposición los ISP para soportar el tráfico generado por cada uno de sus servicios prestados, a cada uno de sus clientes: residenciales, educativos y empresariales. Actualmente los proveedores de internet atienden a gran variedad de servicios y aplicaciones convergentes, estos generalmente requieren de infraestructuras de red que tenga conexión a internet, de tal forma que sus usuarios puedan acceder a sus aplicaciones y servicios desde cualquier lugar del mundo en cualquier momento.

2.2. Estado de la capa núcleo IP/MPLS

Actualmente el segmento de red, capa núcleo IP/MPLS está compuesta por veinte equipos de tipo Provider Router (Ps), estos equipos son los que realizan la gestión del tráfico de datos que es generado por cada uno de los servicios ofertados por el proveedor. Los equipos que componen la red de capa núcleo IP/MPLS están distribuidos en estas tres regiones del territorio ecuatoriano: costa, sierra y oriente. No necesariamente cada provincia debe contar con un Ps, debido a que son equipos que concentran la información de las redes

inferiores, esto quiere decir que están ubicados en las provincias con un número alto de suscriptores que generan mayor cantidad de datos. Por ejemplo, la ciudad de Quito y Guayaquil son las ciudades que disponen más de dos Ps cada una, debido a que son en estas ciudades donde se genera mayor tráfico de datos por el acceso a internet y por los servicios adicionales a los que se pueden acceder por medio de este. El tráfico generado se les atribuye tanto a los servicios residenciales como a los corporativos ya que son en estas dos ciudades donde el comercio y desarrollo empresarial es mayor.

En la *Figura 15* se puede observar cómo están conectados actualmente cada uno de los Ps de las diferentes ciudades dentro del territorio nacional. Como se había hecho hincapié, se puede constatar que en Quito y Guayaquil son las ciudades con más cantidad de Ps. También se puede notar cada uno de los enlaces con sus respectivas capacidades que cada uno de los equipos poseen entre sí. Por otra parte, también se puede apreciar los enlaces de redundancia que existen en cada uno de los equipos. Respecto a la situación actual de los equipos, enlaces, y capacidades en datos numéricos se especifican durante el desarrollo de todo este capítulo.

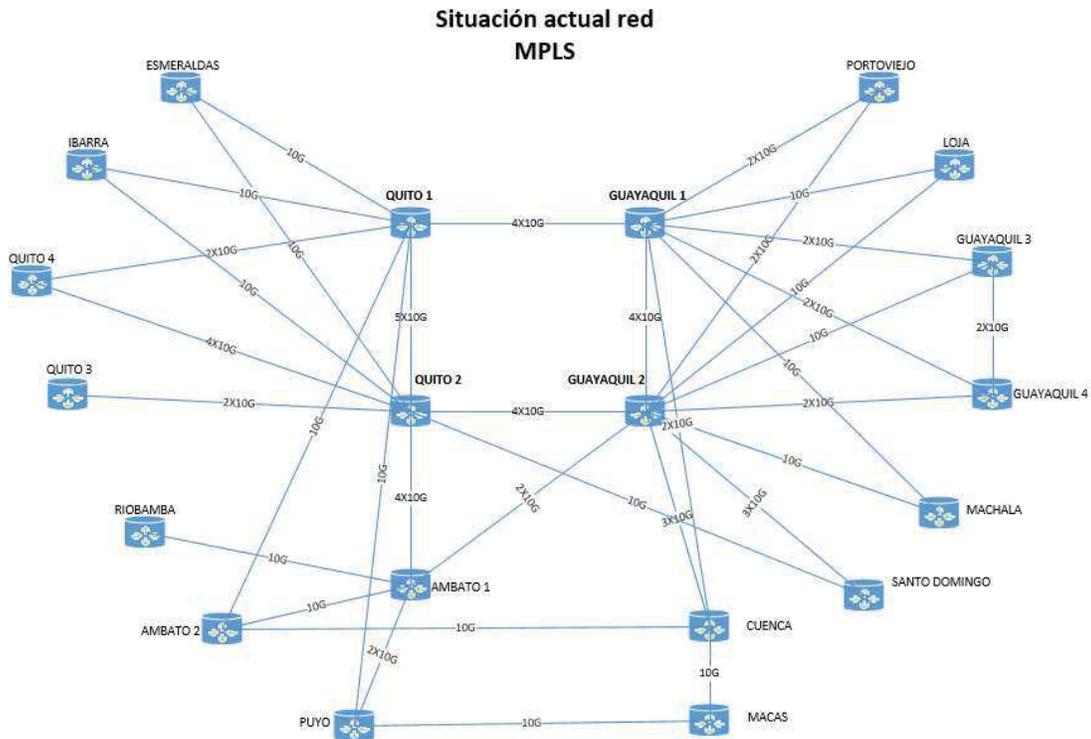


Figura 15. Situación actual red capa núcleo MPLS.

2.2.1. Enlaces de redundancia

El medio de transmisión que se usa en cada uno de los enlaces existentes en la red núcleo es fibra óptica, y por la cantidad de tráfico que gestiona esta, es la más óptima para la interconexión de los Provider Router (P). Cada nodo se enlaza mediante la tecnología de fibra óptica, utilizando el Multiplexado denso en longitud de onda (DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing), cada uno de estos enlaces cuenta con la arquitectura en anillo, que permite DWDM. La arquitectura en anillo se compone por dos líneas de cable de fibra óptica, a estas se las denomina como principal y de protección, de manera que, si la línea del cable principal queda indisponible por cualquier eventualidad, entra en funcionamiento la línea del cable de protección, de manera que el enlace estará disponible y en funcionamiento sin afectar a los servicios ofertados.



Figura 16. Representación de enlaces con topología en anillo.

La redundancia es un factor bastante crucial en las redes de datos, sobre todo si es una red de gran tamaño que proporciona aplicaciones y servicios a sus usuarios. El estado actual de los enlaces de redundancia de los equipos que conforman la red MPLS no son los más idóneos debido a que presentan los siguientes desperfectos:

- Como se observa en la *Figura 15*, dentro de la red hay dos equipos que no cuentan con redundancia de enlace, específicamente el router de la ciudad de Riobamba y el router 3 de la ciudad de Quito. El problema que esto puede acarrear es que los sectores que están cubiertos por estos equipos, queden sin acceso a la red, al presentarse algún desperfecto en el único enlace disponible.
- Por otra parte, la capacidad de transmisión de varios enlaces en la red MPLS llegan a ocupar toda su capacidad en horas pico, determinadas en el horario de 16:00 a 21:00 horas. Esto se puede evidenciar en la *Tabla 1*, en la cual se detalla la capacidad total, en uso y disponible de cada enlace. Esto quiere decir que, si existe una caída del enlace, las alternativas de redundancia se saturarían debido a la falta de capacidad disponible.
- Respecto a la conexión que sostiene el equipo de Riobamba y Macas no es el ideal debido a que no tienen una conexión directa a los equipos

centrales de la red; Quito1, Quito2, Guayaquil1 y Guayaquil2. Estos dos equipos se verían afectados si presentaran fallas los routers intermediarios (Ambato1 y Cuenca). Este escenario hace que la interrupción de servicios sea de mayor proporción.

2.2.2. Capacidad de los enlaces

Dentro de una red la capacidad de los enlaces respecto al ancho de banda es un elemento que determina la calidad de servicio hacia los suscriptores por parte del ISP, es por esto la importancia que el ancho de banda en horas pico no debe superar el 50% de su capacidad total.



Figura 17. Modulo Cisco de interfaces con 14 puertos de 10GE
Tomado de (Cisco, 2015)

Los módulos de interfaz de capa física que contiene los Ps tienen la capacidad de 10GE cada interfaz, el número de interfaces varían según la cantidad de tráfico que opera cada router. En la *Figura 17*, se muestra un módulo de interfaz de 14 puertos y cada puerto de 10GE. Mediante la revisión realizada de cada una de las interfaces en los Ps, se pudo conocer que casi en todos los equipos el tráfico de bajada que fluyen por estos en las horas pico es superior al 50% de la capacidad total en cada uno de los equipos y en algunos equipos el tráfico supera el 80% de la su capacidad (ver *Tabla 1*), esto quiere decir que, si en algún momento falla algún enlace en cualquiera de estos equipos, fácilmente puede presentar una saturación en la red.

En la *Tabla 1* se observar la capacidad total que dispone cada enlace, la cantidad que se encuentra en uso y la cantidad que tiene disponible. Además, muestra el origen y destino de cada enlace que tiene cada P.

CAPACIDAD (Gbps)	40	10	40	10	50	40	20	10	220											
EN USO (Gbps)	39	8	22	9	40	39	8	5	170											
DISPONIBLE (Gbps)	1	2	18	1	10	1	12	5	50											
QUITO 3																				
CAPACIDAD (Gbps)					20	40			60											
EN USO (Gbps)					16	39			55											
DISPONIBLE (Gbps)					4	1			5											
QUITO 4																				
CAPACIDAD (Gbps)						20			20											
EN USO (Gbps)						8			8											
DISPONIBLE (Gbps)						12			12											
RIOBAMBA																				
CAPACIDAD (Gbps)	10								10											
EN USO (Gbps)	9								9											
DISPONIBLE (Gbps)	1								1											
SANTO DOMINGO																				
CAPACIDAD (Gbps)			30			10			40											
EN USO (Gbps)			24			5			28											
DISPONIBLE (Gbps)			6			5			12											
Total, CAPACIDAD	90	30	180	50	60	20	20	40	30	150	220	60	20	10	40	1380				
Total, EN USO	73	15	151	150	35	40	15	15	6	18	18	20	111	170	55	8	9	28	997	
Total, DISPONIBLE	17	15	27	3	29	80	15	20	5	14	2	22	10	39	50	5	12	1	12	383

En la *Tabla 1* tenemos los valores del total general de la capacidad en uso y disponible de la red, donde se puede ver que el 72% se encuentra en uso durante las horas pico, mientras que tan solo el 28% estaría disponible. Se debe aclarar que en su mayor parte el porcentaje disponible es de los enlaces de las provincias que no tienen mucho tráfico, esto quiere decir que los enlaces de las ciudades con más tráfico son las que están mayormente saturados. Con este resultado se puede notar que los enlaces de redundancia no están en capacidad de soportar el tráfico de los enlaces caídos ya que la capacidad en uso es mayor al 50%, este inconveniente se presenta en la mayoría de los enlaces.

Para conocer de manera más detallada cuales son los enlaces que requieren mayor atención, la *Figura 18* muestra detalladamente los porcentajes en uso y disponibles de cada uno de los Ps.

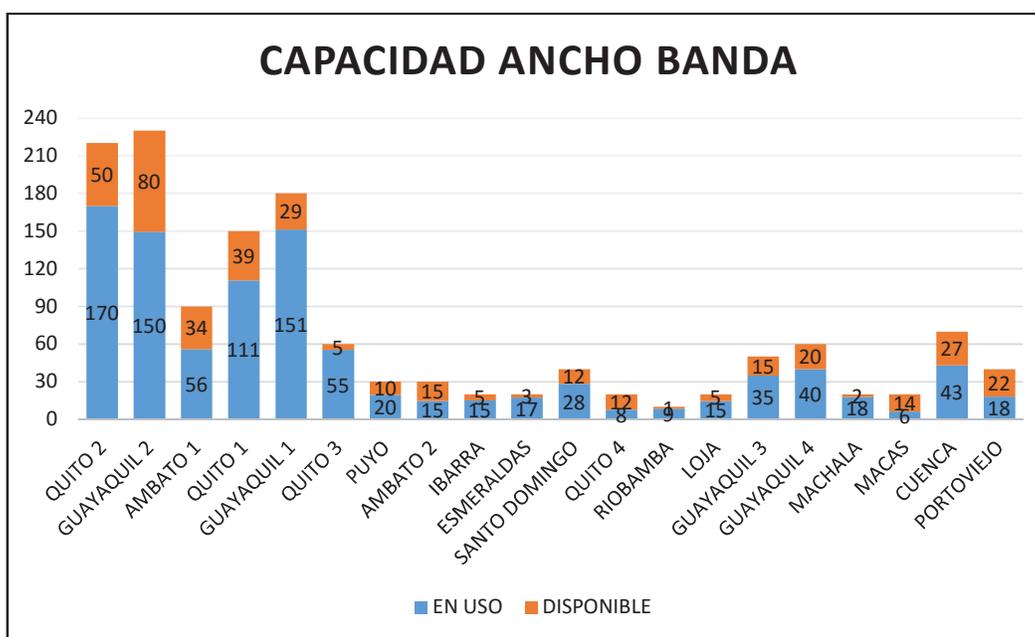


Figura 18. Indicador de los porcentajes del ancho de banda en uso y disponible.

El etiquetado y descripción de todas las interfaces es muy importante tener debidamente rotuladas de modo que sea fácil de identificar, para cualquier persona, el origen, el destino y los puertos por los cuales se establecen la

conexión de los enlaces, de manera que se pueda dar una respuesta inmediata ante cualquier eventualidad. Durante el levantamiento de información se identificó que algunos interfaces no estaban correctamente descritos de donde partían y hacia donde llegaban los enlaces, motivo por el cual se tuvo algo de dificultad en el desarrollo del trabajo.

2.2.3. Tolerancia a fallos

Es importante que con una red de este tamaño el diseño este elaborado de la mejor manera respecto a los enlaces de redundancia y la tolerancia a fallos, de manera que, si algún componente de la red dejara de funcionar, este afecte de manera mínima el funcionamiento de la red. En los 20 Ps que conforman la red IP/MPLS, se revisó uno a uno, si los equipos tienen tolerancia a fallos, para lograr este objetivo se consideró los siguientes aspectos:

- Para realizar la comprobación, era necesario saber cuál es el tráfico total que maneja cada uno de los Ps, por lo que se realizó la suma del tráfico que fluye por cada una de las interfaces en cada equipo.
- Por otra parte, se debía considerar si los Ps contaban con enlaces de redundancia, por lo que se realizó la verificación del número de enlaces redundantes que disponían cada uno de los equipos.

Para resumir la información respecto a la tolerancia de fallos de la red, de manera global se puede señalar que un porcentaje bastante importante de la red no cuenta con el sistema de tolerancia a fallas, por lo que es necesario intervenir en ese porcentaje para realizar las correctivas necesarias.

En la *Figura 19* se puede observar de manera más clara cuál es el porcentaje de la red con tolerancia a fallos y cuál es el porcentaje en el que hay que trabajar.

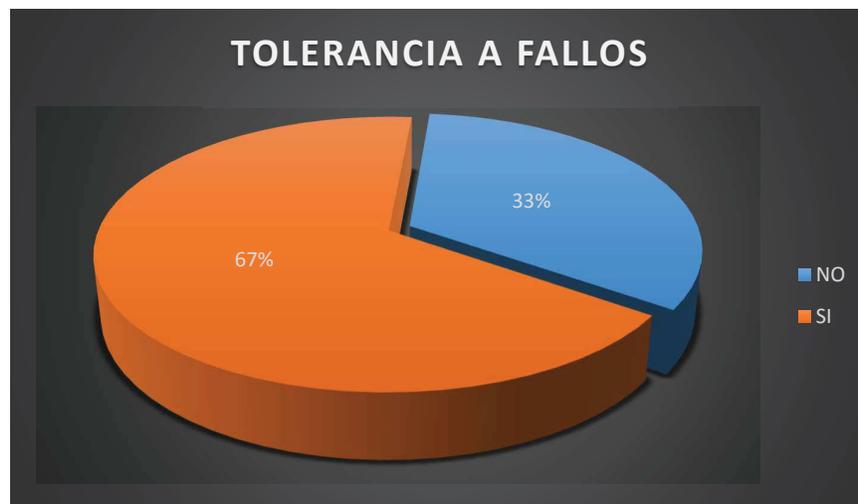


Figura 19. Indicador con porcentaje de los equipos que cuentan con fallos y porcentaje de los equipos en los que se debe tomar medidas correctivas.

Una vez que se terminó con la verificación de la tolerancia a fallos en los componentes que conforman la red IP/MPLS, se logró identificar los equipos que necesitan de enlaces redundantes, cuales necesitan más ancho de banda y cuales si cumplen con los requisitos para soportar la tolerancia a fallos, a continuación, se detallan estos equipos:

- Equipos que tienen enlaces de redundancia, pero cuyos enlaces no tienen la capacidad para soportan el tráfico del equipo indispuerto.

Tabla 2

Lista los equipos sin tolerancia a fallas

<u>NOMBRE EQUIPO</u>	<u>NEIGHBOR</u>
AMPUNO	RBBPUNO
GYEPCUATRO	GYEPDOS
	LOJPUNO
	MCHPUNO
	UIOPUNO
GYEPUNO	AMPUNO
	CCAPUNO
	GYEPCUATRO
	LOJPUNO

	MCHPUNO
	STDPUNO
GYEPTRES	GYPEDOS
UIOPDOS	AMPUNO
	ESMPUNO
	IBRPUNO
	UIOPTRES
	UIOPCUATRO
	UIOPUNO
UIOPUNO	ESMPUNO
	GYPECUATRO
	IBRPUNO
	UIOPCUATRO

- Equipos que tienen la capacidad para soportar el tráfico del equipo indispuerto, pero no tienen enlaces de redundancia.

Tabla 3

Lista los equipos sin tolerancia a fallas por falta de redundancia

<u>NOMBRE EQUIPO</u>	<u>NEIGHBOR</u>
RBBPUNO	AMPUNO
UIOPTRES	UIOPDOS

- Por último, se enlista los equipos considerados con tolerantes a fallos, ante una eventualidad que deje a los equipos indispuertos.

Tabla 4

Lista los equipos con tolerancia a fallas

<u>NOMBRE EQUIPO</u>	<u>NEIGHBOR</u>
AMPDOS	AMPUNO
	CCAPUNO
	UIOPUNO
AMPUNO	AMPDOS
	GYPEUNO
	PUYUNO
	UIOPDOS
CCAPUNO	AMPDOS

	GYEPCUATRO
	GYEPUNO
	MCSPUNO
ESMPUNO	UIOPDOS
	UIOPUNO
GYEPCUATRO	CCAPUNO
	GYEPUNO
	GYEPTRES
	PVJPUNO
GYEPUNO	GYEPDOS
	GYEPTRES
	PVJPUNO
	UIOPDOS
GYEPDOS	GYEPCUATRO
	GYEPUNO
	GYEPTRES
GYEPTRES	GYEPCUATRO
	GYEPUNO
IBRPUNO	UIOPDOS
	UIOPUNO
LOJPUNO	GYEPCUATRO
	GYEPUNO
MCHPUNO	GYEPCUATRO
	GYEPUNO
MCSPUNO	CCAPUNO
	PUYPUNO
PUYPUNO	AMBPUNO
	MCSPUNO
	UIOPUNO
PVJPUNO	GYEPCUATRO
	GYEPUNO
STDPUNO	GYEPUNO
	UIOPDOS
UIOPCUATRO	UIOPDOS
	UIOPUNO
UIOPDOS	GYEPUNO
	STDPUNO
UIOPUNO	AMBPDOS
	PUYPUNO
	UIOPDOS

2.3. Equipos

2.3.1. Características de equipos actuales

Los routers de la red MPLS que están en pleno funcionamiento, en un 95% son de la marca cisco mientras que el 5% es de la marca Huawei. Esta información se puede verificar en el contenido de la *Tabla 7* y *Tabla 8*. Los Provider Routers de la marca cisco que conforman la red MPLS actual, casi en su totalidad son de los siguientes modelos; CRS-4 /S y CRS-8/S mientras que de la marca Huawei se utiliza el modelo HUAWEI NE5000E. A continuación, se describen los equipos Cisco:

2.3.1.1. CISCO CRS-8



Figura 20. Cisco CRS-8/S

Tomado de (Cisco, 2016)

El CRS-8 de Cisco, es un sistema compatible con versiones anteriores y posteriores. Equipo diseñado para redes de núcleo con alto tráfico de datos. Las principales características de este equipo se mencionan a continuación:

- Principalmente se caracteriza por tener un sistema de estantes con 4 ranuras para los Módulos de interfaces de capa física (PLIM Physical Layer Interface Module).
- La arquitectura de este sistema está basada en el diseño de chipset, basado en una ingeniería multidimensional que permite el trabajo en conjunto con toda la plataforma.
- El sistema que permite la operatividad de este equipo es un software Cisco IOS XR. Se caracteriza por ser un sistema operativo totalmente modular y distribuido.
- Tiene compatibilidad con todas las tarjetas de línea de la familia Cisco CRS.
- Permite el enrutamiento de comunicación de etiquetas IP y MPLS. Además, su tecnología permite IP sobre DWDM (IPoDWDM). (Cisco, 2016)

En la *Figura 21* se puede observar cómo están conformados cada uno de los módulos del chasis del CRS-8.

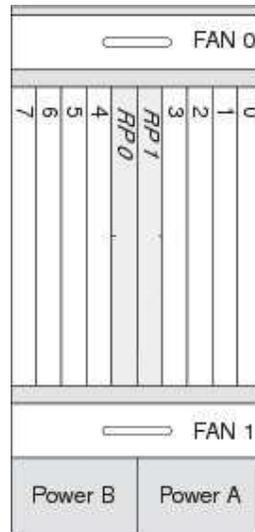


Figura 21. Enumeración de ranuras del CRS-8/S
Tomado de (Cisco, 2016)

El equipo se conforma de los siguientes componentes:

- Ocho ranuras para PLIM (0,1,2,3,4,5,6,7)
- Dos ranuras para RP (RP0 y RP1)
- Dos fuentes de alimentación (Power A y B)
- Dos bandejas para los ventiladores (superior e inferior)

A continuación, se describe cada uno de los módulos que permiten el funcionamiento del equipo:

- **Las tarjetas de servicio modular** o Modular Service Cards (MSC) se encargan del envío de paquetes. Cada MCS funciona de manera individual, su hardware está compuesto por Circuitos Integrados de Aplicaciones Específicas (ASIC: Application-Specific Integrated Circuits), una arquitectura de chipset y software Cisco IOS-XR (Cisco, 2014).



Figura 22. Modular Services Card del Cisco CRS-8

Tomado de (Cisco, 2014)

- **Módulo de interfaz de capa física** o Physical Layer Interface Module (PLIM) son las interfaces que para los enlaces. Hay varios módulos con diferentes capacidades y diferentes tipos de interfaces.



Figura 23. Módulo de interfaz Cisco de 14-Port 10GE

Tomado de (Cisco, 2015)

- **El Procesador de Ruta** o Route Processor (RP), se puede decir que este módulo trabaja en conjunto con el MCS ya que se encarga de procesar y distribuir las tablas de reenvío a cada uno de los MCS. También realiza labores de supervisión y almacena en su memoria un registro de errores cuando estos se presentan. Cada chasis siempre contiene dos RP, de los cuales uno siempre se encuentra operativo y el otro está en espera para asumir el control, en caso de que el primero deja de funcionar (Cisco, 2015).



Figura 24. Modulo del Procesador de Ruta Cisco CRS-8
(Tekmentum, 2018)

- **El Air Intake** es el sistema de ventilación que tiene cada equipo por el cual fluye el aire necesario para mantener la temperatura ideal del router mientras trabaja.

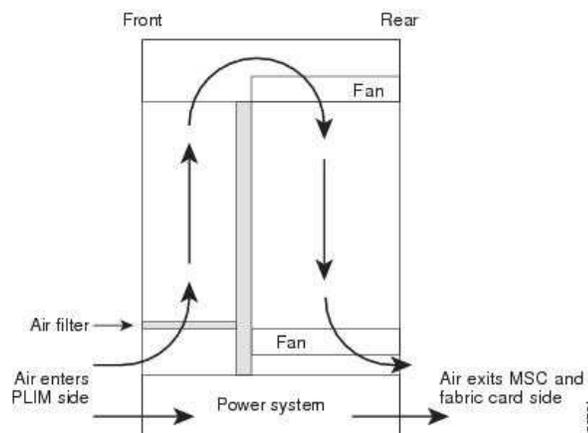


Figura 25. Sistema de ventilación del Cisco CRS-8
Tomado de (Cisco Systems, 2016)

- **El ventilador** es el encargado de producir la temperatura adecuada para el equipo y a la misma vez hace que circule el aire por todo el sistema de ventilación. En el caso de este tipo de equipo los ventiladores se los ubican en la parte superior y en la inferior.



Figura 26. Ventilador del Cisco CRS-8/S

Tomado de (PicClick, 2019)

- **Power shelf** es el espacio que ocupa las fuentes de energía para energizar cada parte del equipo. El modelo de este equipo cuenta con dos ranuras.



Figura 27. Fuente de energía Cisco-8/S

Tomado de (Cisco Systems, 2014)

Este tipo de equipo con el chasis completamente lleno puede brindar una capacidad total de 6.4 Tbps, como se puede observar en la *Tabla 5*.

Tabla 5

Capacidad de CRS-8/S

Chasis	Número de ranuras de interfaz	Capacidad máxima por ranura	Capacidad total
CRS-8/S	8	Entrada de 400 Gbps por ranura + salida de 400 Gbps por ranura	6.4 Tbps por sistema de un solo estante

2.3.1.2. CISCO CRS-4



Figura 28. Chasis CRS-4 /S

Tomado de (Cisco, 2013)

Este equipo se caracteriza por tener un sistema de estantes simple con 4 ranuras para los Módulo de interfaz de capa física (PLIM Physical Layer Interface Module). El sistema operativo que da existencia al funcionamiento de este equipo es el Cisco IOS XR diseñada para trabajar de manera ininterrumpida durante toda su vida útil, además es modular y maneja una arquitectura basada en microkernel que garantiza el funcionamiento del equipo ya que al presentarse una falla en alguna parte del equipo este no sufriría el colapso total (Cisco, 2013).

En la *Figura 29* se puede observar de mejor manera las características de los módulos del chasis del CRS-4 /S.

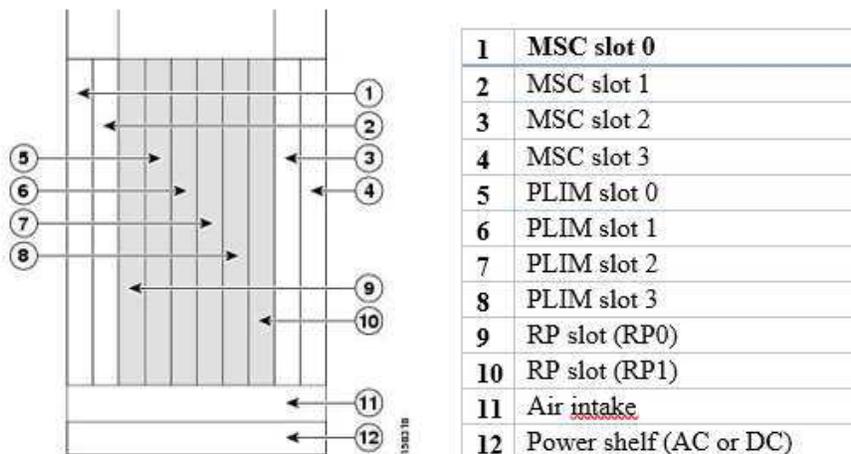


Figura 29. Características del Chassis CRS-4 /S.

Tomado de (Cisco, 2013)

El equipo se conforma de los siguientes componentes:

- Cuatro ranuras para MSC (1,2,3,4)
- Cuatro ranuras para PLIM (5,6,7,8)
- Dos ranuras para RP (9 y 10)
- Una bandeja para ventilador (11)
- Una fuente de alimentación (12)

A continuación, se describe cada uno de los puntos que se ve en la *Figura 29* para un mejor entendimiento de estos:

- **Las tarjetas de servicio modular** o Modular Service Cards (MSC), se encargan del envío de paquetes. Cada MCS funciona de manera individual, su hardware está compuesto de Circuitos Integrados de Aplicaciones Específicas (ASIC: Application-Specific Integrated Circuits), una arquitectura de chipset y software Cisco IOS-XR (Cisco, 2014).



Figura 30. Cisco CRS-X Modular Services Card

Tomado de (Cisco, 2014)

- **Módulo de interfaz de capa física** o Physical Layer Interface Module (PLIM) son las interfaces que para los enlaces. Hay varios módulos con diferentes capacidades y diferentes tipos de interfaces.



Figura 31. Modulo Cisco de interfaces con 14 puertos de 10GE

Tomado de (Cisco, 2015)

- **El Procesador de Ruta** o Route Processor (RP) este módulo trabaja en conjunto con el MCS ya que se encarga de procesar y distribuir las tablas de reenvío a cada uno de los MCS. También realiza labores de supervisión y almacena en su memoria un registro de errores cuando estos se presentan. Cada chasis siempre contiene dos RP, de los cuales uno siempre está operativo uno y el otro está en espera para asumir el control en caso de que el primero deja de funcionar (Cisco, 2015).



Figura 32. Cisco CRS 8-Slot Line-Card Chassis Route Processor
Tomado de (Cisco, 2015)

- **El Air Intake** es el sistema de ventilación que tiene cada equipo por el cual fluye el aire necesario para mantener la temperatura ideal del router mientras este trabaja.

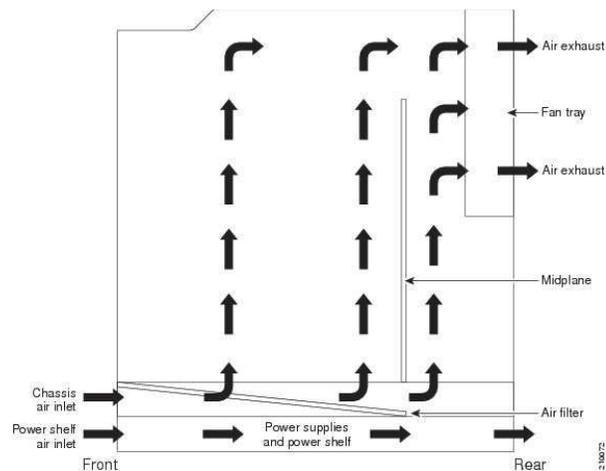


Figura 33. Airflow Through the Cisco CRS 4-Slot Line Card Chassis
Tomado de (Cisco, 2013)

- **El ventilador** es el encargado de producir la temperatura adecuada para el equipo y a la misma vez hace que circule el aire por todo el sistema de ventilación. En el caso de este tipo de equipo el ventilador está ubicado en la parte inferior.



Figura 34. Ventilador del Cisco CRS-4/S

Tomado de (Dedicatednetworksinc, 2019)

- **Power shelf** es el espacio que ocupa las fuentes de energía para energizar cada parte del equipo. Este equipo cuenta con un módulo.

Este tipo de equipo con los módulos necesarios en el chasis, puede brindar una capacidad total de 1.12Tbps, como se puede ver en la *Tabla 6*.

Tabla 6

Capacidad de CRS-4/S

Chasis	Número de ranuras de interfaz	Capacidad máxima por ranura	Capacidad total
CRS-4/S	4	Entrada de 140Gbps por ranura + salida de 140Gbps por ranura	1.12Tbps por sistema de un solo estante

2.3.2. Vida útil de los equipos (EOL)

Como se conoce los fabricantes de los equipos, en este caso de los Provider router, dan a conocer a sus clientes las fechas de End of Life (EOL) de cada uno de sus equipos. Esta fecha es muy importante que la conozca la persona responsable de la red, ya que a partir del EOL se determina el tiempo que se

tiene para realizar las actualizaciones o cambios necesarios en cada elemento de la red.

Actualmente dentro de la red IP/MPLS, los routers que conforman la red, casi en su totalidad han llegado a la fecha de EOL determinado por el fabricante, razón por la cual es importante poner en marcha el plan de renovación o actualización de los equipos, en la *Figura 35* se puede observar que de los veinte equipos que operan en la red MPLS diecinueve tienen la fecha de vida útil culminada y tan solo un equipo aún está en vigencia. No todos los equipos tienen la misma fecha de vida útil, esto facilita a que la renovación puede ser gradualmente, iniciando con los equipos que tiene más tiempo vencido, antes de que los equipos lleguen a la última fecha de soporte proporcionada por los fabricantes ya que una vez llegada a esa fecha los equipos son declarados como inservibles.

En la *Figura 35* se puede conocer el porcentaje por año de los equipos con la End of Life culminada. Esta información muestra que el 95% de los equipos están con el EOL caducados y de no ser por el contrato que mantiene el ISP con su proveedor de equipos de continuar dando soporte y mantenimiento a los equipos más antiguos, estos deberían ser renovados de inmediato. Por otra parte, se muestra a un 5% de los equipos de la red que son nuevos.

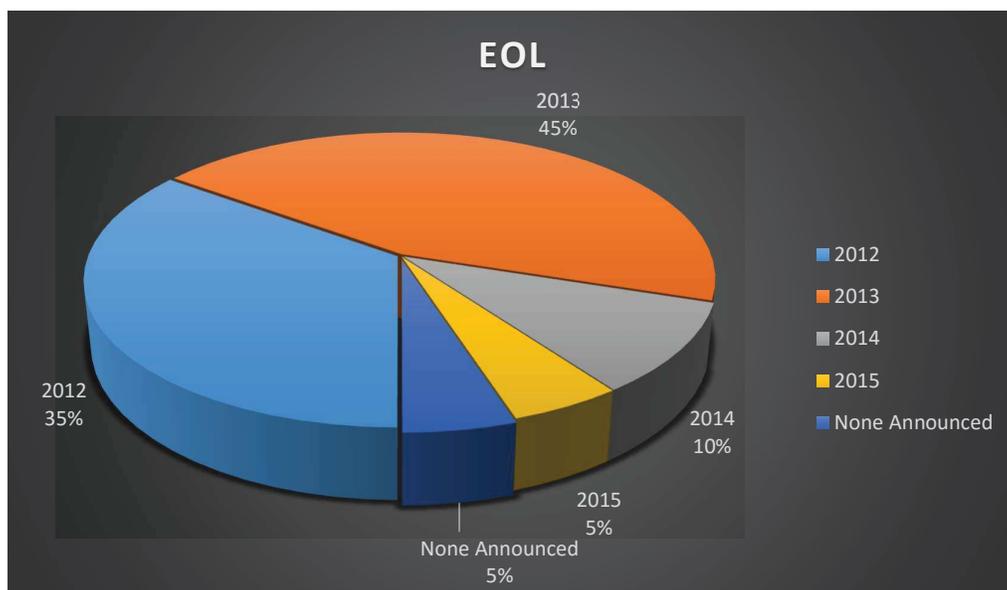


Figura 35. Indica el EOL por año de los equipos de la red MPLS

2.3.3. Detalle de EOL de los equipos que conforman la red MPLS

En la *Tabla 7* y *Tabla 8* se incluye información acerca de la cantidad, marcas, sistemas operativos, modelos y fin de vida útil de cada uno de los equipos que conforman la red IP/MPLS.

Tabla 7

Equipos marca CISCO

#	NOMBRE EQUIPO	IOS	MODELO		EoL	
1	UIOPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 5.3.3	cisco CRS-8/S (7457)	Cisco CRS Series 8 Slots Line Card Chassis	July 2012	31,
2	UIOPDOS	Cisco IOS XR Software, Version 4.1.1	cisco CRS-8/S (7457)	Cisco CRS Series 8 Slots Line Card Chassis	July 2012	31,
3	AMBPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 4.1.1	cisco CRS-8/S (7457)	Cisco CRS Series 8 Slots Line Card Chassis	July 2012	31,
4	GYEPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 5.3.3	cisco CRS-8/S (7457)	Cisco CRS Series 8 Slots Line Card Chassis	July 2012	31,
5	AMBPDOS	Cisco IOS XR Software, Version 4.1.1	cisco CRS-8/S (7457)	Cisco CRS Series 8 Slots Line Card Chassis	July 2012	31,
6	GYEPDOS	Cisco IOS XR Software, Version 4.1.1	cisco CRS-8/S (7457)	Cisco CRS Series 8 Slots Line Card Chassis	July 2012	31,
7	GYEPTRES	Cisco IOS XR Software, Version 4.2.4	cisco CRS-8/S (7457)	Cisco CRS Series 8 Slots Line Card Chassis	July 2012	31,
8	PUYPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 4.2.4	cisco CRS-4/S (7457)	Cisco CRS Series 4 Slots Line Card Chassis	August 2013	15,
9	MCSPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 4.1.2	cisco CRS-4/S (7457)	Cisco CRS Series 4 Slots Line Card Chassis	August 2013	15,

10	STDPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 4.1.1	cisco CRS-4/S (7457)	Cisco CRS Series 4 Slots Line Card Chassis	August 15, 2013
11	ESMPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 4.2.4	cisco CRS-4/S (7457)	Cisco CRS Series 4 Slots Line Card Chassis	August 15, 2013
12	IBRPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 4.2.4	cisco CRS-4/S (7457)	Cisco CRS Series 4 Slots Line Card Chassis	August 15, 2013
13	UIOPTRES	Cisco IOS XR Software, Version 4.2.4	cisco CRS-4/S (7457)	Cisco CRS Series 4 Slots Line Card Chassis	August 15, 2013
14	RBBPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 4.2.4	cisco CRS-4/S (7457)	Cisco CRS Series 4 Slots Line Card Chassis	August 15, 2013
15	LOJPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 4.2.4	cisco CRS-4/S (7457)	Cisco CRS Series 4 Slots Line Card Chassis	August 15, 2013
16	MCHPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 4.1.2	cisco CRS-4/S (7457)	Cisco CRS Series 4 Slots Line Card Chassis	August 15, 2013
17	CCAPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 5.3.3	cisco CRS-8/S (7457)	Cisco CRS Series 8 Slots Line Card Chassis	May 15, 2014
18	PVJPUNO	Cisco IOS XR Software, Version 5.3.3	cisco CRS-8/S (7457)	Cisco CRS Series 8 Slots Line Card Chassis	May 15, 2014
19	GYEPCUATRO	Cisco IOS XR Software, Version 6.1.4	cisco ASR9K Series	ASR 9010 8 Line Card Slot Chassis	None Announced

Tabla 8

Equipos marca HUAWEI

#	NOMBRE EQUIPO	IOS	MODELO		EoL
1	UIOPCUATRO	VRP (R) software, Version 8.90 (NE5000E-BTB V800R006C00SPC600)	HUAWEI NE5000E	Chassis ID: clc1	December 31, 2015

3. CAPITULO III: PROPUESTA DEL DISEÑO DE RED

Una vez explicada la situación actual e identificado los puntos más relevantes dentro de la red MPLS, se debe realizar el mejoramiento de estos. Para lograr este cometido la propuesta de mejora se la trabajara sobre la infraestructura existente. Para realizar las mejoras requeridas se debe considerar la adecuación de enlaces, configuraciones y topología de ser necesario además la renovación de equipos. Estos deben poseer mejores características tecnológicas y mayor capacidad de los dispositivos que ya se encuentran operando.

La marca de equipos que predomina dentro de la red con un 95% es compatible con otras marcas que tiene las mismas funciones, pero resulta conveniente utilizar dispositivos del mismo fabricante en toda la red de manera que se cree un solo entorno para la coexistencia de estos y para facilitar su administración.

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA RED MPLS

Las sugerencias de mejora se las debe formar en virtud de la evaluación del estado actual de la red MPLS. El propósito de esto es encontrar sugerencias netamente necesarias que ayuden a robustecer la infraestructura y la operatividad de la red actual en función de la demanda existente por parte de los suscriptores. Por otra parte, una vez encontradas las mejoras que ayuden al propósito mencionado, el ISP será el encargado de ejecutarlas si lo considera conveniente.

Por consiguiente, se debe tener en consideración los siguientes factores para que la operatividad en la red sea aceptable: Ingeniería de tráfico, Clase de Servicios (CoS) y Redes Privadas Virtuales (VPN).

3.1.1. Ingeniería de Tráfico

Adaptación en el flujo de tráfico sobre los componentes físicos de la red. La principal idea es que no existan recursos que estén en cuellos de botellas y otros que están muy utilizados. El flujo de tráfico siempre mantendrá la ruta más corta que determine el algoritmo del protocolo IGP (Interior Gateway Protocol). Dado el caso de tener una congestión en los enlaces se solventará poniendo más capacidades en los enlaces.

En definición la ingeniería de tráfico se traslada de algunos flujos del algoritmo IGP (Interior Gateway Protocol) a otros enlaces, los cuales están menos transitados, aunque se encuentran la ruta más larga. En la siguiente figura se observan dos rutas para los mismos nodos de origen - destino.

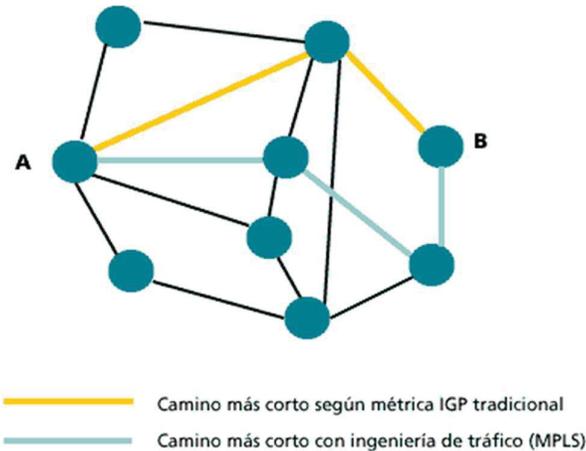


Figura 36. Diferencia de métricas aplicando ingeniería de tráfico.

Tomado de (Barberá, José, 2017)

Según la métrica IGP, el recorrido más corto contiene dos saltos. El acceso de tráfico en los enlaces o routes pueden que lleven caminos alternativos indicado un salto adicional. MPLS es una solución efectiva para las aplicaciones de backbones debido a que:

- El trazo de las rutas explícitas determina el camino físico exacto para el LSP (Label Switched Path – Etiqueta de Ruta Conmutada).
- Mediante las estadísticas actuales de uso LSP, se utilizará para la planificación de la red y para la existencia de los cuellos de botella y la carga de los enlaces (Barberá, José, 2017).
- El administrador de la red puede realizar encaminamientos restringidos de tal forma que puede escoger rutas para servicios especiales, tales como: Pérdidas de paquetes, ancho de banda, fluctuación, entre otros.

Una de las mayores ventajas de implementar ingeniería de tráfico en una red MPLS es la ejecución directa que se realiza sobre la red IP, en la cual se posea o no una infraestructura ATM (Asynchronous Transfer Mode) por debajo. Tratando de tener una mayor QoS y reducir costes de planificación y gestión.

3.1.2. Clase de Servicios (CoS)

El modelo DiffServ o DS de IETF se encuentra diseñado para definir una variedad de mecanismos para catalogarlos en un tráfico reducido mediante un número de clases del servicio. El DS ayuda a diferenciar www, correo electrónico, entre otros. En estos no se tiene un retardo crítico, en comparación con otras aplicaciones donde el retardo se vuelve mucho más importante como las de voz y video. Internamente cada etiqueta MPLS contiene un campo denominado EXP, este permite que la propagación de la Clase de Servicio (CoS) se realice en el LSP correspondiente. Este método permite que la red MPLS consiga transportar diversidad de tipos de tráfico de datos. El tráfico que va mediante LSP se le fijan distintas colas de salida con diferentes prestaciones, garantías y ancho de banda que pueden aprovisionar múltiples LSP a través de un par de LSR exteriores (Barberá, José, 2017).

3.1.3. Redes Privadas Virtuales (VPN)

Las redes privadas virtuales se basan en compartición de infraestructura, mediante conexiones con funciones de red y seguridad. El principal objetivo de las redes virtuales es el brindar soporte para aplicaciones ya sean estas de intranet o extranet, las cuales se puedan integrar mediante aplicaciones de voz, datos y video. La seguridad supone el aislamiento y privacidad que posean los enlaces. Las VPN están basadas en el protocolo de red IP de Internet.

Las VPN más antiguas se han levantado sobre infraestructuras de transmisión compartida, con las características de respuesta predeterminadas y de seguridad. La seguridad y la garantía da la separación de tráfico de PVC (Circuito Virtual Permanente) es parecido a ATM. Los posibles problemas se dan mediante las rutas que se hacen de forma artesanal al tener que establecer cada

PVC, si se quisiera conectar todos con todos de forma mallada, se tendría que retocar los CPE del cliente y restablecer los PVC. El uso de las aplicaciones TCP/IP y redes NSP han llegado a utilizar infraestructuras IP para dar soportes de Redes Virtuales Privadas, para generar mayores flexibilidades en la implementación y reducción del precio de gestión y provisión del servicio. La manera de utilizar infraestructura IP para el servicio VPN ha sido mediante la construcción de túneles IP. Un túnel IP es asociado entre dos extremos, mostrando que se encuentran conectados. Utilizando una estructura no conectiva como IP para la simulación de estas conexiones. Un conducto privado, no permite que entre nadie que no sea IP VPN (Barberá, José, 2017).

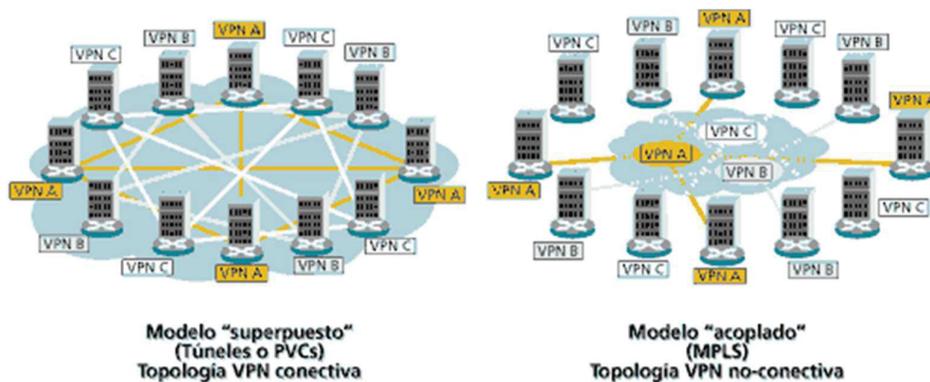


Figura 37. Diferencia de túneles IP y túneles MPLS

Tomado de (Barberá, José, 2017)

3.2. Aspectos adicionales para la red IP/MPLS

Existen varios aspectos que se deben tomar en consideración para la implementación de la red MPLS. Considerar estos factores nos permitirá que la implementación sea más eficaz. A continuación, se enumeran los factores a tener en consideración:

- El Centro de Procesamiento de Datos (Data Center) debe estar diferenciado geográficamente con la finalidad que la empresa no paralice su actividad, en el caso de darse posibles catástrofes en dicha instalación.

- La topología lógica del diseño de red deberá ser en malla, de manera que la comunicación sea lo más directa posible entre todos los nodos de la red MPLS.
- La importancia que tiene un diseño de red flexible, es facilitar la incorporación de nuevos enlaces o darles de baja, según lo amerite el caso.
- El acceso a internet se lo debe manejar a través de un solo punto, el mismo que debe estar en el centro de datos, debido que es ahí donde se encuentran los dispositivos de seguridad.
- Los enlaces de las sedes a nivel nacional deben contar con los respectivos sistemas de redundancia, de modo que se garantice la disponibilidad de los servicios en caso de presentarse problemas con la comunicación.

3.3. Consideraciones de configuración

Para que el perjuicio sea el mínimo posible ante potenciales eventualidades el diseño y la configuración de la red MPLS debe ser muy bien elaborada. En consecuencia, se deben considerar en su implementación los siguientes aspectos.

3.3.1. Control de distribución de etiquetas

Para evitar la asignación de etiquetas de Clase de Equivalencia de Reenvío (FEC: Forwarding Equivalence Class) que no se requieren, no se debe utilizar la configuración de Control Independiente como configuración estándar de MPLS, ya que este tiende a asignar etiquetas a todos los FEC que transitan por la red, aunque no precise un requerimiento. Lo bueno es que permite una adaptabilidad rápida cuando hay cambios de encaminamiento de los paquetes, pero existe un mayor consumo de recursos, por lo tanto, lo ideal sería aplicar el filtrado de etiquetas.

3.3.2. Fragmentación de paquetes MPLS

Los paquetes MPLS maneja etiquetas más grandes que las de Ethernet, es decir la unidad máxima de transferencia (MTU) de Ethernet es de 1500 bits mientras que MPLS maneja MTU de mayor tamaño. Por lo que entran en conflicto al enviar paquetes de la red MPLS a Ethernet, es posible que los paquetes no pasen si no existe la debida configuración. Por esta razón se requiere dentro de la configuración de MPLS la fragmentación de paquetes.

3.3.3. Prevención y detección de bucles en MPLS

Existe la posibilidad de que se queden paquetes circulando dentro de la red por periodos indefinidos de tiempo, debido a que estos no lograron alcanzar su destino. Por esta razón es necesario contar con mecanismos de prevención y de detección que se encarguen solucionar este inconveniente dentro de la red MPLS, y así mantener su estabilidad (Reyes, 2008). Existen dos mecanismos de detección y prevención:

- **Modo Paquetes:** en este modo existen dos alternativas. La primera se encarga de eliminar los paquetes en función de su tiempo de vida (TTL: Time to Live), es decir si después de cumplirse el TTL definido en el paquete este no alcanza su destino, este es eliminado. La segunda alternativa se define como plano de control y se encuentra en la capa tres donde los protocolos de enrutamiento se encargan de realizar la prevención y detección.
- **Modo de Celdas:** en este caso se utiliza el parámetro Tipo-Longitud-Valor (TLV: Tipo-Longitud-Valor) que trabaja de forma similar a TTL, con la diferencia que este en lugar de utilizar la decreciente del tiempo, se maneja mediante el incremento de valores. Es decir, el paquete IP en cada salto que da, este va acumulando valores y al llegar al máximo definido este es eliminado.

3.3.4. Resumen de rutas en una red MPLS

En la configuración de una red MPLS no se debe resumir las rutas de los Protocolos de Distribución de Paquetes (LDP: Label Distribution Protocol) porque al hacer esto el Router realiza la búsqueda de manera forzada, dentro de su tabla de rutas para poder realizar el envío de paquetes además de generar una etiqueta nula implícita. Esto provoca que el recorrido de etiquetas conmutadas se rompa, y obviamente afecte a los servicios de la red MPLS.

3.4. Especificaciones para enlaces de la red IP/MPLS

Respecto a los enlaces, estos se realizarán mediante el mismo medio de transmisión actual, la fibra óptica. Para mejorar la capacidad y el rendimiento de la red se plantea aplicar dos soluciones en conjunto:

- La primera opción es implementar enlaces con mayor capacidad a los actuales, es decir en lugar de los interfaces de 10GB se propone implementar interfaces con capacidad de 100GB. Enlaces con esta capacidad requerida pueden ser accesibles mediante la adquisición de equipos nuevos como los ASR 9910, estos son equipos modernos con capacidad de suministrar el tipo de interfaces que se sugiere. Esta opción se sugiere implementar en los equipos centrales (Quito1 & Quito2 y Guayaquil1 & Guayaquil2) además de otras ciudades con mayor tráfico de datos como Ambato, Santo Domingo y Cuenca.
- La segunda opción respecto a los enlaces es incrementar enlaces de redundancia en los equipos que aún no han sido considerados con esta opción, de manera que exista un enlace alternativo en todos los equipos y así garantizar el servicio, y en caso de presentarse fallas en los enlaces siempre se tenga una vía alterna. Esta opción se plantea aplicar específicamente en los equipos de Quito4 y en el equipo de la ciudad de Riobamba.

Cabe mencionar que el ISP cuenta con uno de los tendidos de fibra óptica más grandes a nivel nacional por lo que si se requiere de nuevos enlaces,

el departamento técnico de fibra óptica, simplemente realizarían las conexiones necesarias a las interfaces para levantar nuevos enlaces sin la necesidad de realizar nuevos tendidos de cable. Esto también facilita la realización de anillos, los cuales permitirían brindar determinados niveles de redundancia dentro del enlace a nivel nacional, transformando el actual dorsal en un sistema resistente a posibles fallas en cualquiera de sus tramos. La inversión para llevar a cabo este trabajo es de muy bajo costo por lo mencionado.

El tema sobre la adecuada interconexión de los enlaces también es un factor importante que se lo debe considerar en realizar. Todos los equipos deben estar conectados a cualquiera de los equipos centrales de la red IP/MPLS con su respectivo enlace de redundancia de tal manera que el tráfico de datos de los equipos que están en lugares más remotos de los centrales no se pierda, al quedar inoperativos los equipos que actualmente están haciendo de intermediarios entre los equipos centrales y equipos en lugares más remotos. Como se puede ver en la Figura 15 es el caso de Macas, Puyo y Ambato².

3.5. Sugerencia para arquitectura de la red IP/MPLS

A continuación, se dan las siguientes sugerencias para mejorar el tráfico de datos en la capa núcleo del ISP:

- Inicialmente se realizaría el cambio de equipos. El cambio sería de los equipos actuales por los planteados en el subcapítulo 3.6.2.3. Por otra parte, los equipos nuevos se los debe colocar en la parte central de la red, ya que al ser equipos nuevos y con capacidades mejoradas estos agilizaran el tráfico de datos.
- Se propone agregar la redundancia de enlaces en los equipos que no cuentan con este sistema. Este caso específico se aplicaría a los equipos de Riobamba y Quito⁴. En la *Figura 38* se muestran la alternativa existente para esta deficiencia existente.

- Por otra parte, se desea mejorar la capacidad de los enlaces a través de los equipos nuevos, ya que estos permitan levantar enlaces con capacidades de 100Gbps. Este tipo de enlaces se debe priorizar en los equipos centrales, que es por donde concurre la mayor cantidad de datos. Además, se deben intervenir los enlaces saturados dependiendo de cada caso, por ejemplo, si miramos Esmeraldas, sus enlaces están saturados, en horas picos ocupan el 90% de su capacidad total (información de *Tabla 1*) cuando este debería solo llegar al 50%, por lo que se debería doblar la capacidad, es decir en lugar de un enlace de 1Gb debería tener un enlace de 2Gb.
- Como se había mencionado en el capítulo dos, los equipos deben estar enlazados directamente a los Ps centrales, en este caso a Quito1&2 y Guayaquil1&2. Este caso específico aplica para los enlaces de Macas y Riobamba.
- Además, cada equipo enlazado a los centrales debe contar con dos enlaces; uno hace de principal y otro de redundancia como el caso de Esmeraldas que se encuentra conectado a Quito1 & Quito2 como muestra la *Figura 38*. Este caso específico se lo debe aplicar para Macas y Riobamba que son los equipos que no cuentan con enlaces directos a los Ps centrales. En el caso de Puyo y Ambato el cambio sería de manera parcial.
- Todos los enlaces deben ser de fibra óptica por la cantidad de datos que se transportarían por medio de esta. Para realizar un nuevo enlace simplemente se realizará la debida conexión hacia los equipos y las configuraciones necesarias ya que esta empresa por medio de su departamento de fibra óptica tiene el tendido más grande de fibra óptica

por todo el Ecuador, así que levantar un nuevo enlace para esta compañía no genera un gasto adicional por lo antes mencionado.

- Finalmente es importante que exista balanceo de carga en cada uno de los enlaces.

Para llevar a cabo todas estas modificaciones se debe considerar el tiempo, dinero y todo el personal técnico, que se necesita en cada uno de las áreas relacionadas a MPLS para lograr el cometido.

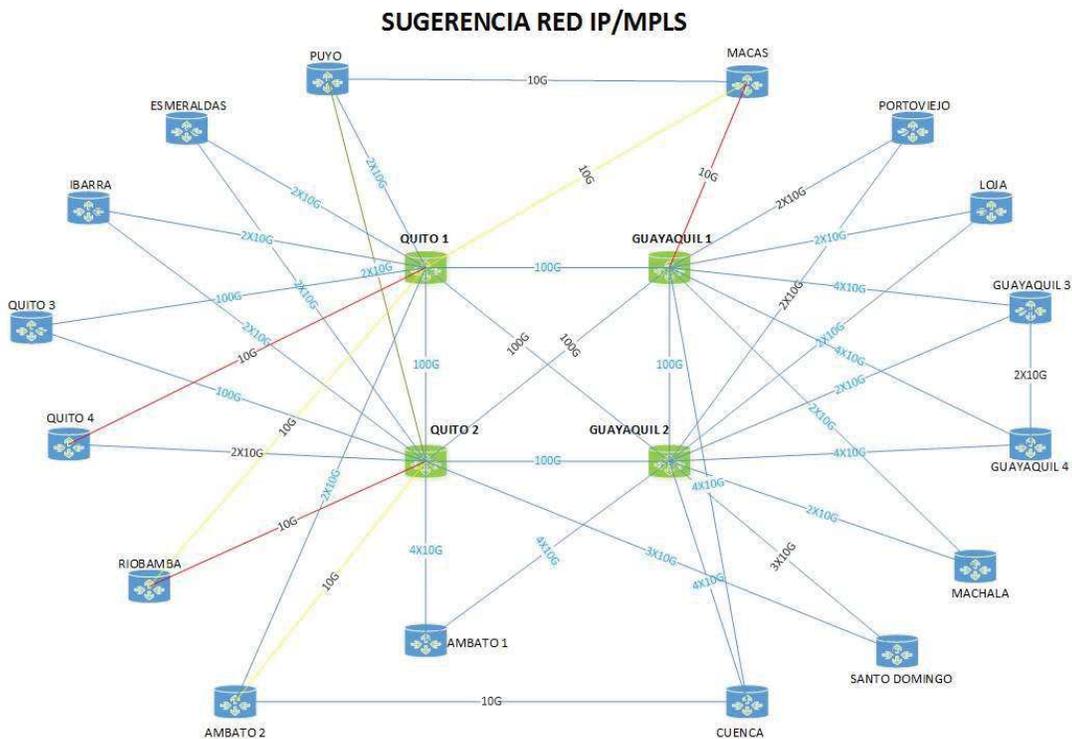


Figura 38. Propuesta de la Red capa núcleo IP/MPLS del ISP

La *Figura 38* presenta la sugerencia de mejora que se debería aprovechar para mejorar el rendimiento de la red IP/MPLS. Los routers de color verde representan a los equipos nuevos que se plantea en el subcapítulo 3.6.2.3, mientras que los azules son los existentes. Por otra parte, los enlaces de color rojo hacen referencia a los enlaces de redundancia añadidos, los amarillos son los que

fueron reubicados y los de color azul son enlaces existentes. Respecto a la capacidad de estos, el aumento de su capacidad se ve representados por el color azul, mientras que los de color negro son los que mantienen su capacidad actual.

3.5.1. Cambios realizados en la red núcleo.

Se puede ver en la *Figura 38* que son algunos cambios efectuados en los equipos, enlaces y capacidades de la red IP/MPLS teniendo en consideración la infraestructura de red actual (*Figura 15. Situación actual red capa núcleo MPLS.*). Debido a que los enlaces están más expuestos a recibir daños por una manipulación incorrecta o el desgaste, se le debe prestar algo más de cuidado, en relación a los equipos. Es así que la mayor parte de trabajo se enfoca a la interconexión de los equipos.

A continuación, se describe el trabajo realizado como parte de la solución a las deficiencias presentes en la red IP/MPLS.

3.5.1.1. Diseño tolerancia a fallos

Como una política de calidad del ISP, el diseño de la red núcleo debe ser tolerante a fallos, para que el daño sea mínimo en caso de darse una avería. Como medida a esta política se requiere que en cada uno de los enlaces pertenecientes a la red núcleo, la capacidad de transporte de datos no sea mayor al 50%, de manera que el 50% restante pueda ser utilizado como una vía alterna para el tráfico de datos de los enlaces vecinos que pudieran dejar de funcionar. Es muy importante que el flujo de datos no se vea interrumpido en este tipo de red, ya que en este punto es donde se convergen los servicios proporcionados a cada uno de los suscriptores.

Esta medida se puede lograr añadiendo enlaces en los puntos requeridos y así conseguir el aumento del ancho de banda. La ejecución de esta alternativa se la llevo a cabo, para constatar e identificar los enlaces intervenidos en la red IP/MPLS se procedió a señalar con membrete azul, como se observa en la *Figura*

38. Por otra parte, se puede visualizar en la *Tabla 9* las cifras numéricas el resultado alcanzado con la ejecución de este proceso.

Tabla 9

Adecuación de la capacidad en los enlaces

CAPACIDAD (Gbps)	40	10	20	100						20								100	20	10	30	460		
EN USO (Gbps)	29	9	8	22						9								9	40	0	5	178		
DISPONIBLE (Gbps)	11	1	12	78						11								1	60	10	25	282		
QUITO 3																								
CAPACIDAD (Gbps)																		100	100			200		
EN USO (Gbps)																		16	39			55		
DISPONIBLE (Gbps)																		84	61			145		
QUITO 4																								
CAPACIDAD (Gbps)																		10	20			30		
EN USO (Gbps)																		0	8			8		
DISPONIBLE (Gbps)																		10	12			22		
RIOBAMBA																								
CAPACIDAD (Gbps)																			10			10	20	
EN USO (Gbps)																			9			0	9	
DISPONIBLE (Gbps)																			1			10	11	
SANTO DOMINGO																								
CAPACIDAD (Gbps)									30													60		
EN USO (Gbps)									24													28		
DISPONIBLE (Gbps)									6													32		
Total, CAPACIDAD	80	40	90	390	430	80	100	40	30	40	40	40	40	40	40	40	40	460	200	30	20	60	10	2660
Total, EN USO	36	15	38	151	150	35	40	15	15	6	18	18	18	18	18	18	18	178	55	8	9	28	0	977
Total, DISPONIBLE	44	25	52	239	280	45	60	25	25	24	22	22	22	22	22	22	22	282	145	22	11	32	10	1683

En la *Tabla 9* se muestra la información de cada una de los enlaces que conforman la red IP/MPLS, con las capacidades requeridas por el ISP. Se muestra la capacidad total, en uso y disponible de cada uno de los enlaces y también de manera general.

3.5.1.2. Comparación de capacidad en enlaces

De manera general se realiza una comparación de la capacidad de los enlaces de la red núcleo. Situación actual versus el planteamiento de la propuesta de mejora.

Tabla 10

Comparación capacidades de red núcleo

CAPACIDAD	SITUACION ACTUAL		PROPUESTA	
	Gbps	Porcentaje	Gbps	Porcentaje
TOTAL	1380	100%	2660	100%
EN USO	997	72%	977	37%
DISPONIBLE	383	28%	1683	63%

Se puede observar que las capacidades actuales en la red IP/MPLS no son las más idóneas para su correcto funcionamiento, debido a que tan solo el 28% de su capacidad total está disponible. Cuando la política del ISP requiere que el 50% este disponible. Con los cambios realizados a la misma red se logra conseguir un 63% de disponibilidad de la capacidad total a través del aumento de enlaces y balanceo de cargo adecuado.

3.5.1.3. Proyección de la red

Con los cambios efectuados, la red núcleo puede desarrollarse sin mayor dificultad durante los siguientes cinco años. Para la elaboración de este segmento, solo se tuvo acceso a la información de servicios primordiales ya que, por temas de seguridad de la información, no fue posible acceder a la información de servicios corporativos. Pero con la información facilitada es suficiente para poder realizar una estimación de crecimiento bastante pegada a la realidad.

Tabla 11

Número de usuarios por servicios, último cuatro años

		NUMERO DE USUARIOS POR SERVICIOS			
SERVICIO \ AÑO		2015	2016	2017	2018
INTERNET FIJO		845000	903000	949900	960000
INTERNET MÓVIL		706260	985420	1158430	1320610
TELEVISIÓN SUSCRIPCIÓN		351000	365000	377700	396460
TELEFONÍA MOVIL		1073100	1349720	2051880	2745000
TELEFONÍA FIJA		2160000	2090000	2060000	2015000
				TOTAL	7437070

En la *Tabla 12* se muestra el crecimiento anual de usuarios que ha mantenido el ISP. Consolidando a la fecha una cifra de 7,4 millones de usuarios. Se puede observar que, de todos los servicios, el de telefonía fija es el único que ha mantenido un decrecimiento mientras los demás se encuentran en un constante crecimiento.

Tabla 12

Promedio anual del crecimiento de usuarios

		PROMEDIO CRECIMIENTO ANUAL			
SERVICIO \ AÑO		2016	2017	2018	PROMEDIO
INTERNET FIJO		58000	46900	10100	38333
INTERNET MÓVIL		279160	173010	162180	204783
TELEVISIÓN SUSCRIPCIÓN		14000	12700	18760	15153
SMA		276620	702160	693120	557300
TELEFONÍA FIJA		-70000	-30000	-45000	-48333
				Total	767237

Se puede apreciar la cifra de usuarios que existieron al final de periodo de los tres últimos años. Con estos datos obtenemos, el promedio anual de crecimiento

de suscriptores para relacionar a la capacidad de red, requerida para los siguientes cinco años.

Tabla 13

Capacidad de la red para los siguientes cinco años

INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE RED

AÑO	USUARIOS	GBPS	GBPS TOTAL	CAPACIDAD RED
1	767237	0,000131	101	4%
2	1534473	0,000263	202	8%
3	2301710	0,000394	302	11%
4	3068947	0,000526	403	15%
5	3836183	0,000657	504	19%

La información para realizar el promedio de crecimiento anual de usuarios, fue facilitada por el proveedor de internet que auspicia el desarrollo de este proyecto. Y por temas de confidencialidad no se puede exponer las cifras reales y tampoco la fuente exacta.

Si el promedio de crecimiento anual de usuarios nuevos es de 767,237 se estima que, en el transcurso de los siguientes cinco años, la cifra sea de aproximadamente 3,836,183. Por otra parte, la capacidad de la red núcleo, en el transcurso de los cinco años tendría un crecimiento del 19% de su capacidad total. En la *Tabla 10* se puede apreciar que la capacidad total es de 2660 Gbps de los cuales el 37% estaría en uso y el 63% para soportar nuevos suscriptores. En el transcurso del tiempo proyectado para nuevos usuarios la capacidad en uso se elevaría al 56%.

3.6. Actualización de equipos

Al ser una empresa moderna con una elevada prestación de servicios, debe realizar una inversión en la actualización de sus equipos y en el mejoramiento del diseño de su red. El valor de la inversión es ligeramente alto, pero esto permitirá conseguir una infraestructura moderna con la capacidad suficiente para

atender los requerimientos de sus suscriptores actuales, así como también a nuevos usuarios. Esto permitirá una recuperación a corto plazo de la inversión total. Los equipos sugeridos para el cambio se describen a continuación:

3.6.1. Requerimientos técnicos.

Teniendo en consideración que la capacidad requerida en cada P central de la red núcleo, es de 500Gbps, también que el tráfico multimedia en la actualidad es mayor respecto a años anteriores por otra parte esta necesidad de una tecnología que permita la convergencia de los servicios y aplicaciones de la actualidad, finalmente el crecimiento de usuarios que va en aumento rápidamente. Se requiere equipos con las siguientes características:

- **MPLS:** principalmente los equipos nuevos deben permitir la implementación del mecanismo de conmutación de etiquetas multiprotocolo, además deben contar con tecnología nueva que se adapten a las necesidades tecnológicas requeridas de la actualidad.
- **Capacidad:** debe permitir procesar altas cantidades de datos, tanto en capa dos como en capa tres, en el menor tiempo posible. Primordialmente con capacidad de 100Gbps en interfaces.
- **Convergencia:** considerando que es una red que maneja diferentes tecnologías y diferente tráfico de datos, los equipos nuevos deben permitir la convergencia de todos estos.
- **Escalabilidad:** al ser una red que está en constante crecimiento la estabilidad es un factor que debe estar siempre disponible.
- **Diseño:** El diseño de los equipos requeridos debe ser mejores respecto a los que se encuentran funcionando. Mejores en el sentido de consumo de energía, procesamiento, dimensiones, escalabilidad, capacidad seguridad y disponibilidad.

3.6.2. Alternativas de equipos

Mediante la búsqueda de alternativas que mejor se adapten a las necesidades del ISP se decidió que los siguientes equipos descritos a continuación son las opciones que se acercan más a las características que deben cumplir para la red núcleo.

3.6.2.1. Opción uno: Provider Router ASR-9910



Figura 39. Chasis ASR-9910

Tomado de (Bitsinc, 2019)

Los equipos Cisco de la serie ASR 9000 están diseñados para servicios de agregación. Actualmente son considerados como enrutadores muy versátiles con una calidad inquebrantable en su operación, ha sido diseñado para ser amigable con el medio ambiente, muy adaptable y sobre la relación costo beneficio sin duda es bastante buena. Ideal para redes convergentes con alto tráfico de multimedia, inteligencia de nivel de servicio y aplicación centrada en la entrega de video que mejora considerablemente la calidad de prestación de servicio y posee la característica de agregación móvil. Adema su diseño simplifica y mejora los aspectos operativos y de implementación de las redes de prestación de servicios (Cisco Systems, 2018).

Características:

- Proporciona mayor potencia y simplicidad de acceso a la convergente de entornos virtualizados a través de nV (Network Virtualization) de cisco.
- Maneja el mismo sistema operativo que la conocida y exitosa plataforma CRS (Carrier Routing System), Cisco IOS XR. Utiliza la arquitectura de microkernel que le permite beneficiarse de modularidad. Al ser una arquitectura modular facilita la actualización de software, cambio o agregación de módulos sin detener y afectar la operación del equipo.
- La redundancia que maneja el equipo en los procesadores de conmutación de ruta (RSP), los procesadores de ruta (RP), la estructura de conmutación, los ventiladores y las fuentes de alimentación es otro factor que garantiza la operatividad constante del equipo. Respecto al consumo de energía, la plataforma está diseñada para dosificar la energía en relación a la necesidad de los componentes del equipo, esto permite que exista un ahorro significativo de energía.
- Su diseño está pensado en reducir el impacto ambiental a través del menor consumo de energía y reducir los requisitos de enfriamiento. Incluso el embalaje del equipo para su traslado está pensado para reducir desechos de embalaje innecesarios.

La plataforma está pensada en permitir una operatividad simple y óptima para la administración de hardware y software en redes de próxima generación (NGN), a continuación, se enlistan los aspectos más relevantes (Cisco Systems, 2018):

- Mantienen el compromiso de aportar con la construcción de redes de próxima generación de IPv6.

- Implementaciones energéticamente eficientes gracias a su baja relación Gbps / vatio. Esto se convierte en un ahorro significativo de energía y menor huella de carbono.
- Administración de servicios de manera eficiente tales como redes, dispositivos y servicios de vanguardia. A través de Cisco Prime se consigue redes programables, la garantía y la gestión de la activación del servicio. Una vez que se combina estas con la capacidad de Operaciones, Administración y Mantenimiento (OAM) y Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (MPLS), se consigue un entorno amigable para el administrador.
- Convergencia de redes un objetivo en común entre los proveedores de servicios para la migración de sus redes para conseguir una infraestructura única que permita todos los servicios.
- Son altamente escalable y con densidad insuperables de 10 Gigabit Ethernet y 100 Gigabit Ethernet. Este tipo de equipo facilita una hoja de ruta de actualización en el lugar a una densidad más alta de 10 puertos Gigabit Ethernet y 100 puertos Gigabit Ethernet sin la necesidad de un reemplazo completo del chasis.
- Incluye afinidad para lo que es servicios empresariales tales como; Layer 2 VPN (L2VPN), L3VPN, Televisión por protocolo de Internet (IPTV), Redes de entrega de contenidos (CDN) y redes de transporte de Backhaul móvil.

Especificaciones del Cisco ASR9910

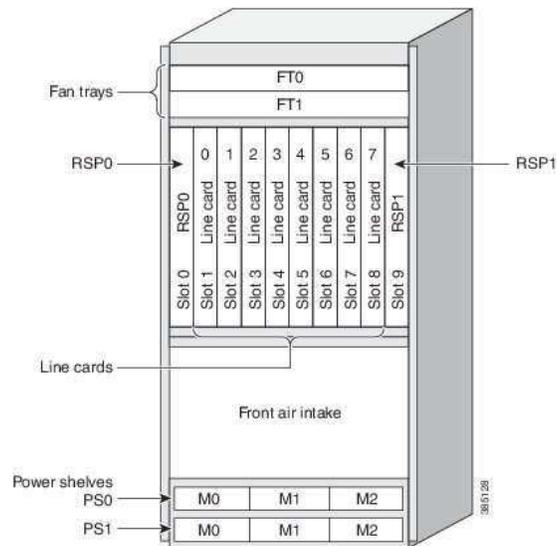


Figura 40. Parte frontal del Cisco ASR 9910
Tomado de (Cisco Systems, 2019)

En la *Figura 40* se observar que, en la parte frontal del Cisco ASR 9910 se dispone de las siguientes partes:

- **Route Switch Processor.** - permite adaptar dos procesadores de conmutador de rutas (RSP0 y RSP1), estos están ubicados en los slot0 y slot 9, ranura para módulos de tarjetas.
- **Line Cards.** - el chasis permite adaptar ocho tarjetas de line (Line cards), desde el slot1 hasta el slot 8, en medio de los RSP.
- **Air Intake.** - es el sistema de ventilación que tiene cada equipo y por el cual fluye el aire necesario para mantener la temperatura ideal del router mientras trabaja. Este se ubica en la parte inferior de las tarjetas de línea.
- **Power Shelves.** - es el espacio que ocupa las fuentes de energía para energizar cada parte del equipo. Este sistema se encuentra en la parte inferior del chasis (PS0 y PS1)

En la *Figura 41* se observar que, en la parte trasera del Cisco ASR 9910 se dispone de las siguientes partes:

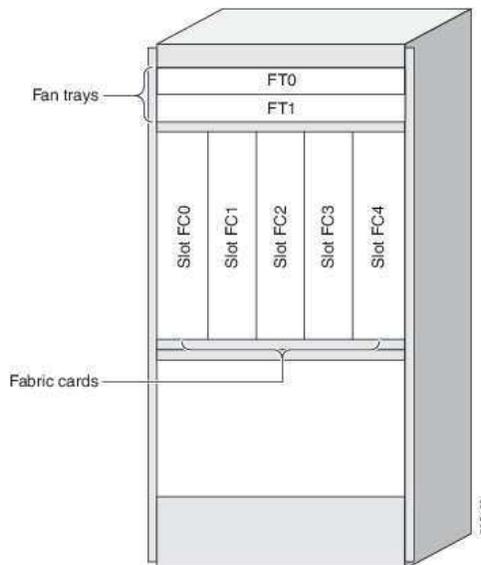


Figura 41. Parte posterior del Cisco ASR 9910

Tomado de (Cisco Systems, 2019)

- **Fan Trays.** – tiene capacidad para dos bandejas de ventiladores (FT0 y FT1), estos se encuentran situados en la parte superior del chasis.
- **Fabric Cards.** - contiene capacidad para cinco tarjetas de estructura (FC), estas están ubicadas debajo de las bandejas de ventiladores.

Capacidad del Cisco ASR9910:

Este equipo puede brindar una capacidad total de 64Tbps, como se puede ver en la *Tabla 14*.

Tabla 14

Capacidad del sistema del Cisco ASR 9910

Número de ranuras de interfaz	Capacidad máxima por ranura	Capacidad total
-------------------------------	-----------------------------	-----------------

8	4Tbps de entrada y 4Tbps de salida por ranura	64Tbps
---	---	--------

3.6.2.2. Opción dos: CRS-16/S



Figura 42. Cisco CRS-16/S-B

Tomado de (Cisco Systems, 2016)

Este modelo tiene dos versiones; la CRS-16/S que es la versión normal y la CRS-16/S-B la versión mejorada de la primera. Por ser una versión más actual el CRS-16-B, se lo considera como una alternativa para la renovación de equipos de la red núcleo.

Este equipo es específicamente para redes de capa núcleo y su capacidad es mayor a las versiones CRS-4 y CRS-8. Se caracteriza por permitir levantar redes de próxima generación (NGN) ideal para alto tráfico de multimedia, compatible con versiones anteriores de la familia CRS. Su diseño permite que sea eficiente respecto a la escalabilidad, uso de energía y refrigeración (Cisco Systems, 2016).

Entre las ventajas más relevantes se enuncian las siguientes:

- El diseño de su arquitectura está basado en chipset, que permite un mayor ancho de banda manteniendo el rendimiento de su servicio en comparación a otras marcas.
- Utiliza software IOS XR, que se caracteriza por permitir el funcionamiento continuo del equipo y por otra parte es un sistema modular basado en microkernel que permite el crecimiento de la capacidad del equipo.
- La tecnología que maneja este equipo permite el enrutamiento de conmutación de etiquetas IP, Conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS), multiplexación por longitud de onda (DWDM), Calidad de Servicio (QoS), etc.
- Gracias a su sistema Back to Back se puede formar un solo sistema lógico entre dos chasis Cisco CRS-16 convirtiéndolo en un sistema escalable.

Especificaciones del Cisco CRS-16/S

El número de ranuras para las tarjetas y módulos están distribuidos en la parte frontal y trasera del chasis. Cada una de estas ranuras tiene establecido el tipo de módulo que puede ser alojado.

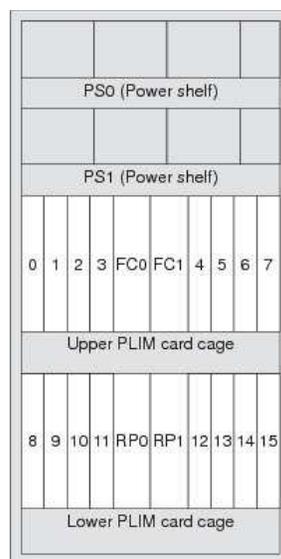


Figura 43. Parte frontal del Cisco CRS-16/S-B

Tomado de (Cisco Systems, 2018)

Respecto a la parte frontal del equipo, las ranuras son las siguientes:

- Estante superior de potencia (PS0)
- Estante inferior de potencia (PS1)
- Estante para tarjetas PLIM superior, de izquierda a derecha, ocho ranuras PLIM (0, 1, 2, 3 y 4, 5, 6, 7) y dos ranuras para tarjetas de controlador de ventilador de doble ancho (FC0, FC1) en la parte central.
- Estante para tarjetas PLIM inferior, de izquierda a derecha, ocho ranuras PLIM (8, 9, 10, 11 y 12, 13, 14, 15) y dos ranuras de tarjeta de procesador de ruta de doble ancho (RP0, RP1) en la parte central.

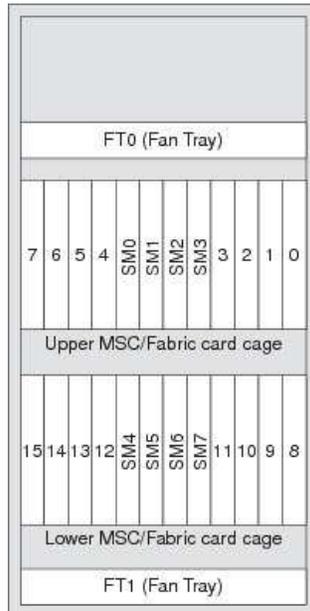


Figura 44. Parte posterior del Cisco CRS-16/S-B

Tomado de (Cisco Systems, 2018)

Respecto a la parte trasera del equipo, las ranuras son las siguientes:

- Bandeja superior del ventilador (FT0)
- Estante superior con tarjetas de servicio modular (MSC), ocho ranuras para las tarjetas de línea (7, 6, 5, 4 y 3, 2, 1, 0) y cuatro tarjetas de estructura (SM0, SM1, SM2 y SM3)

- Estante inferior con tarjetas de servicio modular (MSC), ocho ranuras para las tarjetas de línea (15, 14, 13, 12 y 11, 10, 9, 8) y cuatro tarjetas de estructura (SM4, SM5, SM6 y SM7)
- Bandeja inferior del ventilador (FT1)

Capacidad:

Este equipo puede brindar una capacidad total de 12.8Tbps, como se puede ver en la Tabla 15.

Tabla 15

Capacidad del Cisco CRS-16/S-B

Número de ranuras de interfaz	Capacidad máxima por ranura	Capacidad total
16	400Gbps de entrada y 400Gbps de salida por ranura	12.8 Tbps

3.6.2.3. Selección de Equipos

La elección de los equipos que se revisaron previamente en el subcapítulo anterior, se los considero en base a los requerimientos del tipo de red, es decir al ser una red de capa núcleo obviamente los equipos tienen que tener características específicas de este tipo. Por otra parte, al estar la red actual conformada casi en su totalidad por equipos cisco, se plantea opciones de la misma marca.

Respecto a las características de los dos equipos presentados como propuesta, las principales características que posee el ASR9910 frente al CRS:

- Un equipo potenciado para la convergencia de redes, permitiendo la integración de todas las redes del ISP en una sola infraestructura convergente que acepte todos los servicios.

- Proporciona mayor ancho de banda, esta es una característica muy importante cuando existe un constante crecimiento de usuarios.
- Permite la agregación de dispositivos móviles de última generación, dando espacio a lo que es IoT.
- Al proporcionar capacidades superiores de transmisión y al contar con un sistema modular, esta presta para ir escalando su capacidad en función del crecimiento de la red.
- El diseño del equipo cuenta con mejores características como; la arquitectura del chasis que requiere de menos componentes para su operatividad. Por otra parte, las dimensiones del equipo son menores frente al CRS-16/S, y considerando que el cisco ASR9910 triplica su capacidad, este requiere de un sistema de enfriamiento más pequeño. En conclusión, el equipo representa un ahorro significativo frente al consumo de energía.

Considerando las características mencionadas y los requerimientos del ISP de migrar su red a una infraestructura convergente con la capacidad suficiente de transmisión en los enlaces, se concluye que el equipo que cumple con estas especificaciones para la red núcleo es el Cisco ASR9910.

Cabe recalcar que, como se puede ver en la *Figura 45* es un equipo borde pero que también puede ser implementado en redes de capa núcleo por las características que este presenta.

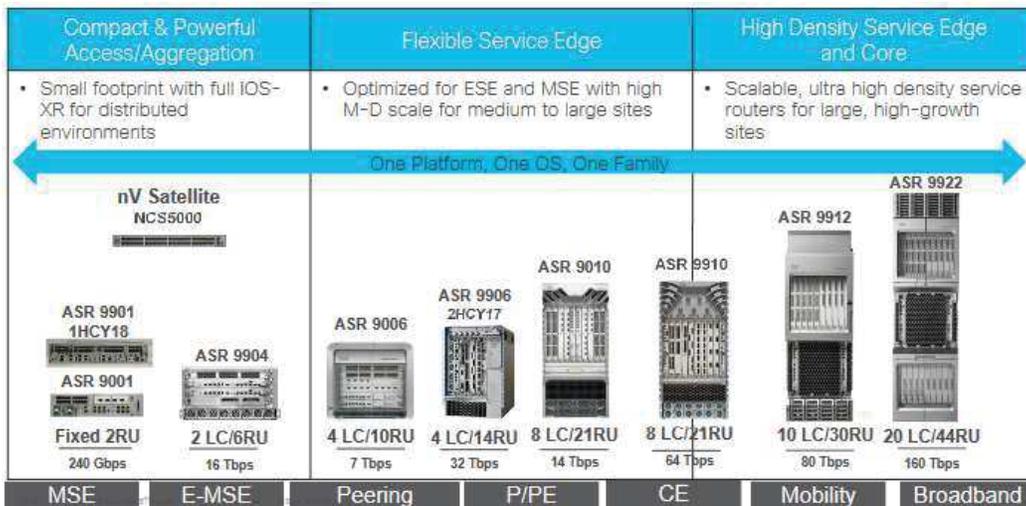


Figura 45. Familia de sistema cisco ASR 9000

Tomado de (Cisco Systems , 2018)

3.6.3. Componentes para la operatividad del equipo sugerido

Al haber verificado el diseño de la red actual y ya con el equipo más idónea seleccionado, a continuación, se enlistan los componentes necesarios para conseguir que el equipo entre en funcionamiento:

Tabla 16

Elementos para operar CiscoASR9910

NUMERO ITEM	CODIGO	DESCRIPCION
1	ASR-9910	ASR 9910 8 Line Card Slot Chassis
2	XR-A9K-PXK9-06.01	Cisco IOS XR IP/MPLS Core Software 3DES
3	A99-RSP-TR	ASR 9910 Route Processor for Packet Transport
4	ASR-9910-FAN	ASR 9910 Fan Tray
5	A9K-MOD400-TR	400G Modular Linecard, Packet Transport Optimized
6	A9K-MPA-20X10GE	ASR 9000 20-port 10GE Modular Port Adapter
7	SFP-10G-LR	10GBASE-LR SFP Module
8	SFP-10G-LR-S	Cisco 10GBASE-LR Ethernet SFP+ transceiver module for SMF, 1310 nm, S-class
9	CVR-CFP2-CPAK4	CFP2 to CPAK adapter for 4x25G interface

10	CPAK-100G-LR4	CPAK-100G-LR4 Transceiver module, 10km SMF
11	A9K-MPA-2X100GE	ASR 9000 2-port 100GE Modular Port Adapter
12	A9K-DC-PEM-V3	ASR9K DC Power Enclosure Module Version 3
13	PWR-4.4KW-DC-V3	4.4KW DC Power Module Version 3
14	A99-SFC-S	ASR 9910 Switch Fabric Card

Se incluyen imágenes de cada uno de los componentes en listados en la *Tabla 16* para una mejor apreciación de los mismos.

Código: ASR-9910



Figura 46. ASR 9910 8 Line Card Slot Chassis

Tomado de (Bitsinc, 2019)

Código: A99-RSP-TR



Figura 47. A99-RSP-TR ASR 9910 and ASR 9906 Route Switch Processor for Packet Transport 16 Gb

Tomado de (Itprice, 2019)

Código: ASR-9910-FAN



Figura 48. ASR 9910 Fan Tray

Tomado de (Amazon, 2017)

Código: A9K-MOD400-TR



Figura 49. 400G Modular Linecard, Packet Transport Optimized

Tomado de (Itprice, 2019)

Código: A9K-MPA-20X10GE



Figura 50. ASR 9000 20-port 10GE Modular Port Adapter

Tomado de (Amazon, 2018)

Código: SFP-10G-LR



Figura 51. Cisco 10GBASE-LR Module supports a link length of 10 kilometers on standard Single-Mode Fiber (SMF)
Tomado de (PLCHARDWARE, 2019)

Código: CVR-CFP2-CPAK4

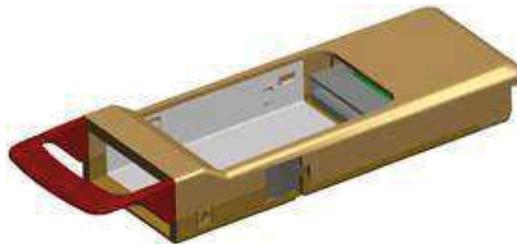


Figura 52. CFP2 to CPAK adapter for 4x25G interface
Tomado de (Cisco Systems, 2015)

Código: CPAK-100G-LR4



Figura 53. CPAK-100G-LR4 Transceiver module, 10km SMF
Tomado de (Twain, 2017)

Código: A9K-MPA-2X100GE



Figura 54. ASR 9000 2-port 100GE Modular Port Adapter
Tomado de (Netmode, 2019)

Código: A9K-DC-PEM-V3



Figura 55. ASR9K DC Power Enclosure Module Version 3
Tomado de (Lambda-tek, 2017)

Código: PWR-4.4KW-DC-V3



Figura 56. 4.4KW DC Power Module Version 3
Tomado de (Ebay, 2019)

Código: A99-SFC-S



Figura 57. ASR 9910 Switch Fabric Card

Tomado de (Cisco Systems, 2017)

4. CAPÍTULO IV: INVERSIÓN EN ADQUISICIÓN DE EQUIPOS

En este capítulo se revisará el costo que representaría la ejecución de esta propuesta de rediseño para el mejoramiento de la red MPLS. El costo más significativo se ve representado por la adquisición de los equipos con cada uno de sus componentes, por esta razón la elaboración del presupuesto se centra en estos.

Respecto a la instalación y configuración de cada uno de los equipos, se debe mencionar que el ISP cuenta con espacios físicos adecuados que cumplen los requerimientos técnicos que se necesita para el correcto funcionamiento de estos, y también dispone de todo el personal necesario especializado en el tema, en consecuencia, estos no representarían un gasto extra ya que además su ejecución debe ser de manera progresiva. Por otra parte, para nuevos enlaces con capacidad de 10GB prácticamente solo se debe realizar la configuración necesaria para levantar el servicio de estos, ya que como se especificó en el capítulo anterior, el ISP cuenta con tendido de fibra óptica a nivel nacional.

4.1. Costo de equipos

Sin duda la adquisición de equipos para mejorar la infraestructura de la red MPLS es la parte más costosa, pero al final es una inversión necesaria que dejara grandes beneficios.

4.1.1. Precio de adquisición ASR9910

Según lo detallado en el capítulo anterior, para que el Provider Router pueda operar, se necesita de varios componentes con características que vayan acorde a las necesidades que se desea corregir dentro de la red MPLS.

Tabla 17

Cuadro de componentes del ASR 9910 con precios

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	UNID	P. UNTARIO	SUBTOTAL
1	ASR-9910	ASR 9910 8 Line Card Slot Chassis	1	\$ 39,068.20	\$ 39,068.20
2	XR-A9K-PXK9-06.01	Cisco IOS XR IP/MPLS Core Software 3DES	1	\$ 9,015.74	\$ 9,015.74
3	A99-RSP-TR	ASR 9910 Route Processor for Packet Transport	2	\$ 42,073.44	\$ 84,146.88
4	ASR-9910-FAN	ASR 9910 Fan Tray	2	\$ 3,005.25	\$ 6,010.50
5	A9K-MOD400-TR	400G Modular Linecard, Packet Transport Optimized	3	\$ 90,157.38	\$ 270,472.13
6	A9K-MPA-20X10GE	ASR 9000 20-port 10GE Modular Port Adapter	3	\$ 97,670.49	\$ 293,011.46
7	SFP-10G-LR	10GBASE-LR SFP Module (X20)	2	\$ 2,401.19	\$ 4,802.38
8	SFP-10G-LR-S	Cisco 10GBASE-LR Ethernet SFP+ transceiver module for SMF, 1310 nm, S-class (X20)	1	\$ 1,142.00	\$ 1,142.00
9	CVR-CFP2-CPAK4	CFP2 to CPAK adapter for 4x25G interface	4	\$ 901.58	\$ 3,606.31
10	CPAK-100G-LR4	CPAK-100G-LR4 Transceiver module, 10km SMF	4	\$ 24,041.96	\$ 96,167.85
11	A9K-MPA-2X100GE	ASR 9000 2-port 100GE Modular Port Adapter	2	\$ 97,670.49	\$ 195,340.98
12	A9K-DC-PEM-V3	ASR9K DC Power Enclosure Module Version 3	1	\$ 1,021.78	\$ 1,021.78
13	PWR-4.4KW-DC-V3	4.4KW DC Power Module Version 3	4	\$ 3,365.88	\$ 13,463.51

14	A99-SFC-S	ASR 9910 Switch Fabric Card	4	\$ 30,052.46	\$ 120,209.85
				TOTAL	\$ 1,137,479.56

La *Tabla 17* presenta el número de ítems con su respectivo código, descripción, cantidad requerida por ítem, su precio y el valor total del equipo. Por lo tanto, se estima que para la implementación de un solo equipo se requiera la suma de \$1,137,479.56 (**UN MILLÓN CIENTO TREINTA Y SIETE MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y NUEVE, 56/100**) dólares americanos. Considerando que se requiere renovar con mayor prioridad los equipos centrales de la red núcleo (equipos de color verde de la *Figura 38*), se entiende que es necesario la adquisición de cuatro Provider Routers con las mismas características, para la renovación de los actuales. Por lo tanto, se estima una inversión total de unos \$4,500,000.00 (**CUATRO MILLONES QUINIENTOS MIL 00/100**) dólares americanos.

4.1.2. Precio adquisición equipo CRS-16

En el caso de necesitar adquirir el Cisco CRS-16/S-B el costo de cada una de sus partes y el valor total se describen a continuación en la *Tabla 18*.

Tabla 18

Costo de componentes del Cisco CRS-16/S-B

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	UNID	P. UNTARIO	SUBTOTAL
1	CRS-16-LCC-B=	Cisco CRS 16 Slots Line Card Chassis for CRS 16 S B	1	\$ 75.142,01	\$ 75.142,01
2	CRS-16-FANTRAY=	CRS 16 Slot Fan Tray for CRS 16 S B	2	\$ 9.629,97	\$ 19.259,94
3	CRS-16-LCC-FILTER=	Cisco CRS 16 slot Line Card Chassis Filter 5 Pack	2	\$ 566,30	\$ 1.132,60
4	CRS-16-PWRSH-DC=	Cisco CRS 16 slots DC Power Shelf for CRS 16 S B	4	\$ 9.395,16	\$ 37.580,65
5	CRS-PM-DC(=)	Cisco CRS Modular DC Power Module	4	\$ 1.788,08	\$ 7.152,32
6	CRS-16-PRP-6G=	CRS 16 6 G Performance RP	2	\$ 16.439,47	\$ 32.878,94

7	CRS-MS-C-140G	Cisco CRS Layer 3 modular service card	4	\$ 200.869,57	\$ 803.478,27
8	14X10GBE-WL-XFP	Cisco 14X10GBE-WL-XFP network switch module	4	\$ 49.103,41	\$ 196.413,64
9	XR-NCS1K-600K9	Cisco NCS 4000 IOS XR Software Release 5.2.3	1	\$ 7.050,91	\$ 7.050,91
				TOTAL	\$ 1.180.089,28

Se puede notar en la *Tabla 18* el precio total de la adquisición del CRS-16 con características similares a la ASR9910 para su operación representaría una inversión de 1.180.089,28 (**UN MILLON CIENTO OCHENTA MIL OCHENTA Y NUEVE 28/100**). Teniendo en cuenta que se requiere de cuatro de estos equipos la suma de estos sería aproximadamente de 4,7 millones.

4.1.3. Comparación de precios

Como podemos se puede ver en las tablas (comparación de equipos) el costo del Cisco ASR9910 es inferior al CRS-16/S con 4%. Si consideramos los beneficios del primero respecto al segundo, estos son mayores. Es decir, se adquiere un equipo de mejores características a un precio más accesible.

Tabla 19.

Comparación de precios de equipos

Modelo	Inversión
ASR9910	4,5 millones
CRS-16/S-B	4,7 millones

El gasto en la adquisición de los ASR9910 es una inversión necesaria que debe realizar el ISP para lograr el objetivo del ISP, de migrar su actual red a una de mayor capacidad, y por otra parte satisfacer la demanda de usuarios nuevos que mantiene anualmente.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Con la información recopilada sobre los servicios y aplicaciones que actualmente brinda el proveedor de servicios de internet y la necesidad presente en los usuarios, para poder acceder a dichos servicios, se pudo determinar los requerimientos de una infraestructura de red que satisfaga esta necesidad.

Los equipos actuales no permiten el crecimiento de la red ISP. Con la sugerencia de mejora que incluye la actualización de equipos con mayor capacidad, la red del ISP tendrá capacidad para ofrecer nuevos servicios a más usuarios.

Del estudio realizado se da a conocer los componentes de cada equipo con los requerimientos mínimos que deben tener cada uno de estos para su operatividad, con los que se logrará establecer y garantizar un servicio de óptima calidad.

La propuesta está enfocada en la capa núcleo de la red, pero también se debe considerar que, si esta capa está bien estructurada, las capas de agregación y acceso, dentro de las cuales también existen varias aplicaciones y servicios, tendrán el mismo beneficio positivo.

Si una red no cuenta con un sistema de tolerancia a fallos, se expone a que el daño sea de mayor magnitud frente a una eventualidad a comparación a una red con un sistema de tolerancia a fallos bien estructurada.

La inversión en actualización de los equipos debe ser un tema prioritario, de manera que se garantice la disponibilidad de los servicios y aplicaciones que el ISP ofrece a sus suscriptores.

Si se considera las propuestas planteadas para la adquisición de equipos nuevos, adecuación de enlaces, readecuación del diseño y sistemas de tolerancia a fallos, la capacidad de la red sería autosuficiente para brindar servicios convergentes, así como brindar IoT al número de usuarios existentes y con escalabilidad a futuro para cinco años.

5.2. Recomendaciones

Es recomendable tener enlaces redundantes entre cada Ps de la red IP/MPLS, con la finalidad de que no se pierda la comunicación entre estos por otra parte para que no se sature la red.

Se recomienda que, cada enlace tenga el suficiente ancho de banda de manera que el tráfico de datos en horas pico no supere el 50%, con la finalidad de que el 50% restante pueda ser un medio de transmisión alternativo para enlaces que pudieran presentar inconvenientes. De esta manera se garantiza que el tráfico de datos no se vea afectado por este tipo de eventualidades.

Es necesario hacer una evaluación de los costos de los equipos que se va a adquirir, con la finalidad de evaluar un costo beneficio, al momento del aprovisionamiento de servicios.

Luego de la conexión de los equipos y por la implementación de nueva tecnología la institución deberá emprender una etapa de capacitación al personal que administra la red, esto permitirá una administración eficiente y facilitará los procesos de gestión.

Para un eficaz funcionamiento se deberá realizar un seguimiento riguroso y permanente, a más del mantenimiento continuo de los equipos existentes, con un registro cronológico, permanente y actualizado.

Las personas que administran y dan mantenimiento, para su acceso a los equipos instalados deberán ser conocedores y especializados en el tema, lo cual se puede establecer como una política administrativa.

REFERENCIAS

- Albuja, R., & Gutiérrez, L. (2014). Análisis, propuesta, simulación de una metodología para la migración de la red MPLS zona Pichincha de la CNT EP de IPv4 a IPv6 y de la aplicación de calidad de servicio (QoS), y comprobación en un prototipo de laboratorio. Repositorio EPN. Recuperado el 20 de enero de 2019, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7323>
- Aldana, A., & Vallejo, A. (2013). Telecomunicaciones, convergencia y regulación. *Revista de Economía Institucional*, (165-197). Recuperado el 11 de febrero de 2019, de <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/ecoins/article/view/2504>
- Amazon. (2017). *Cisco Systems ASR-9910-FAN Asr 9910 Fan Tray*. Recuperado el 13 de marzo de 2019, de <https://www.amazon.ca/Cisco-Systems-ASR-9910-FAN-9910-Tray/dp/B01M4OCUDZ>
- Amazon. (2018). *Cisco A9K-MPA-20X10GE - Módulo de 20 puertos (10 GbE, 5000)*. Recuperado el 26 de junio de 2019, de <https://www.amazon.com/Cisco-A9K-MPA-20X10GE-20-Port-GbE-Module/dp/B07FXXF56R>
- ARCOTEL. (2019). Boletín estadístico. Recuperado el 9 de marzo de 2019, de <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-FEBRERO-2019-Cierre-2018.pdf>
- ARCOTEL. (2019). *Servicio de acceso a internet*. Recuperado el 10 de julio de 2019, de <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-de-acceso-a-internet-sai2/>
- AT&T. (2017). *Descripción de la empresa*. Recuperado el 18 de 11 de 2018, de www.att.com: <https://www.att.com/>
- Barberá, J. (2017). MPLS: Una arquitectura de backbone para la Internet del siglo XXI. *Rediris*. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, de <http://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/53/enfoque1.html>
- Bitsinc. (2019). *ASR-9910. Products*. Recuperado el 27 de enero 2019, de <https://www.bitsinc.com/ASR-9910>

- Cables-Solutions. (2019). Fiber Optic Cabling Solutions. Recuperado el 22 de abril de 2019, de <http://www.cables-solutions.com/capacity-expansion-and-flexibility-dwdm-network.html>
- Cisco. (2013). *Cisco CRS Carrier Routing System 4- Slot Line Card. Cisco Systems*. Recuperado el 27 de enero de 2019, de https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/crs/crs1/4_slot/install/installation/guide/install/10971ovr.html
- Cisco. (2013). *Cisco CRS 4-Slot Single- shelf System Data Sheet. Cisco Systems*. Recuperado el 28 de enero de 2019, de https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/carrier-routing-system/CRS-3_4-Slot_DS.html
- Cisco. (2014). *Cisco CRS Modular Services Cards Data Sheet. Cisco Systems*. Recuperado el 13 de enero de 2019, de <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/carrier-routing-system/datasheet-c78-730791.html>
- Cisco. (2015). *Cisco CRS-3 14-Port 10GE LAN/WAN-PHY Interface Module. Cisco Systems*. Recuperado el 18 de enero de 2019, de https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/carrier-routing-system/CRS14x10GE_DS.html
- Cisco. (2015). *Cisco CRS 8-Slot Line Card Chassis Route Processor. Cisco Systems*. Recuperado el 25 de enero de 2019 de https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/crs-1-8-slot-single-shelf-system/product_data_sheet0900aec801d53aa.html
- Cisco. (2016). *Cisco CRS 8-Slot Single-Shelf System Data Sheet. Cisco Systems*. Recuperado el 15 de febrero de 2019, de https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/carrier-routing-system/CRS-3_8-Slot_DS.html
- Cisco. (2016). *Cisco CRS Carrier Routing System 8-Slot Line Card Chassis Enhanced Router Installation Guide.RS 8-Slot Single-Shelf System Data Sheet. Cisco Systems*. Recuperado el 5 de marzo de 2019, de https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/crs/ec/8_slot/installation/guide/crs8enhig/crs8enhigovrvw.html

- Cisco. (2018). *Cisco ASR 9000 reloaded*. Cisco Systems. Recuperado el 21 de marzo de 2019, de https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/network-intelligence/service-provider/digital-transformation/knowledge-network-webinars/pdfs/0919-msn-ckn.pdf
- Cisco. (2014). *Cisco CRS Modular Power System*. Cisco Systems. Recuperado el 14 de marzo de 2019, de https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/carrier-routing-system/CRS_Modular_Power_DS.html
- Cisco. (2015). *Cisco CFP2-to-CPAK Port Adapter Data Sheet*. Cisco Systems. Recuperado el 29 de marzo de 2019, de <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/transceiver-modules/datasheet-c78-734969.html>
- Cisco. (2016). *Cisco CRS 16-Slot Single-Shelf System Data Sheet*. Cisco Systems. Recuperado el 10 de marzo de 2019, de https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/carrier-routing-system/CRS-3_16-Slot_DS.html
- Cisco. (2016). *Router Installation Guide*. Cisco Systems. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/crs/ec/8_slot/installation/guide/crs8enhig/crs8enhigaircirc.html
- Cisco. (2017). *Cisco ASR 9900 Second Generation Switch Fabric Card 2, Switch Fabric Cards S and T Data Sheet*. Cisco Systems. Recuperado el 20 de marzo de 2019, de <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/asr-9000-series-aggregation-services-routers/datasheet-c78-733762.html>
- Cisco. (2018). *Cisco ASR 9000 Series Aggregation Services Routers*. Cisco Systems. Recuperado el 24 de marzo de 2019, de https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/asr-9000-series-aggregation-services-routers/data_sheet_c78-501767.html
- Cisco. (2018). *Cisco CRS Carrier Routing System 16-Slot Line Card Chassis System Description*. Cisco Systems. Recuperado el 27 de febrero de 2019, de <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/iosxr/crs/hardware->

install/crs-1/16-slot/system-description/b-crs-crs1-16-slot-line-card-chassis-system-description/b-crs-crs1-16-slot-line-card-chassis-system-description_chapter_01.html

- Cisco. (2019). *Cisco ASR 9000 Series Aggregation Services Router Hardware Installation Guide*. Cisco Systems. Recuperado el 30 de marzo de 2019, de https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/iosxr/asr9000/hardware-install/hig/b-asr9k-hardware-installation-guide/b-asr9k-hardware-installation-guide_chapter_010.html#con_1568480
- CNT. (2018). Soluciones Tecnológicas. *CNT EP*. Recuperado el 26 de diciembre de 2018, de <http://cntempresas.com/nuevocnt/>
- Corporación Nacional de Telecomunicaciones EP. (2014). *Historia de las telecomunicaciones en el Ecuador*. CNT EP. Recuperado el 3 de mayo de 2019, de <https://corporativo.cnt.gob.ec/wp-content/uploads/2014/07/LIBRO-CNT-WEB.pdf>.
- Dedicatednetworksinc. (2019). *Products*. *Dedicatednetworksinc*. Recuperado el 28 de abril de 2019, de <https://www.dedicatednetworksinc.com/product/cisco-crs-4-fan-tr-crs-1-series-fan-tray-for-crs-4-ippqahrjab-800-27931-kmj/>
- Díaz, G., & Castro, M. (2014). *Procesos y herramientas para seguridad de redes*. Madrid-España: Universidad Nacional de Educación. Recuperado el 10 de marzo de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=566933>
- Ebay. (2019). *Cisco PWR-4.4KW-DC-V3*. Recuperado el 20 de abril de 2019, de <https://www.ebay.com/itm/Cisco-PWR-4-4KW-DC-V3-Power-supply-for-Cisco-ASR-9000-Series-Free-warranty-/143255819102?oid=142413376190&autorefresh=true>
- España, M. (2013). *Servicios avanzados de telecomunicaciones*. Ebookbit. Recuperado el 15 de abril de 2019, de <https://sites.google.com/site/cialefisan/servicios-avanzados-de-telecomunicacion-82085385>

- Gonzalez, M. (2013). *Historia de Internet – nacimiento y evolución*. Recuperado el 18 de diciembre de 2018, de <http://redestelematicas.com/historia-de-internet-nacimiento-y-evolucion/>
- Gutiérrez, S. (2015). *Integración Social Digital*. Books Google. Recuperado el 7 de abril de 2019, de https://books.google.com.ec/books/about/Integraci%C3%B3n_Social_Digital_Social_Media.html?hl=es&id=jC__-OAZU-kC&redir_esc=y
- Huidobro J, M. R. (2002). *Que es MPLS?*. Ramon Millan. Recuperado el 20 de diciembre de 2018, de <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/mps.php>
- Itprice. (2019). *A99-RSP-TR*. Recuperado el 22 de abril de 2019, de <https://itprice.com/es/cisco/a99-rsp-tr.html>
- Itprice. (2019). *A9K-MOD400-TR*. Recuperado el 22 de abril de 2019, de <https://itprice.com/es/cisco/a9k-mod400-tr.html>
- Jacob, D. (2017). *MPLS Fundamentals*. Packet Design. Recuperado el 28 de diciembre de 2018, de <https://www.packetdesign.com/blog/quick-start-mppls-fundamentals/?cn-reloaded=1>
- La Salle. (2016). *Evolución de la tecnología de acceso a internet*. Recuperado el 18 de noviembre de 2018, de <https://www.tesisred.net/bitstream/handle/10803/9156/Tavb09de23.pdf?sequence=10&isAllowed=y>
- Lambda-tek. (2017). *Cisco A9K-DC-PEM-V3 network switch module*. Recuperado el 18 de abril de 2019, de <https://www.lambda-tek.com/Cisco-A9K-DC-PEM-V3~sh/B42367815>
- Lojano, C. (2016). *¿Qué es el Internet de las cosas?* Red deCentros de Acompañamiento Tecnológico e Innovación para el Desarrollo Económico de Asturias. Recuperado el 21 de diciembre de 2018, de <https://www.fundacionctic.org/sat/articulo-que-es-el-internet-de-las-cosas>
- Lozada, J. (2014). *Definición de Internet de las Cosas*. SAP. Recuperado el 14 de julio de 2019, de <https://www.sap.com/latinamerica/trends/internet-of-things.html>
- Marquéz, M. (2012). *Multimedia Communications and Networking*. CRC Press. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de

<https://www.crcpress.com/Multimedia-Communications-and-Networking/da-Silva/p/book/9781439874844>

MCI. (2016). *Historia del correo electrónico*. Recuperado el 18 de noviembre de 2018, de www.timetoast.com:

<https://www.timetoast.com/timelines/historia-del-correo-electronico-b6b2abca-6ca1-4fae-a329-4836cf762749>

Mejía, A. (2014). Redes convergentes. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Recuperado el 15 de diciembre de 2018, de <https://doi.org/10.18359/rcin.1269>.

Millan, R. (2008). Dense Wavelength Division Multiplexing. *Ramonmillan*. Recuperado el 27 de enero de 2019, de <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/dwdm.php>

Mora, P. (2017). *Instalación y configuración de los nodos de interconexión de redes privadas con públicas*. Iberlibro. Recuperado el 6 de enero de 2019, de <https://www.iberlibro.com/9788416360833/Instalaci%C3%B3n-configuraci%C3%B3n-nodos-interconexi%C3%B3n-redes-8416360839/plp>

Netmode. (2019). *Cisco A9K-MPA-2X100GE Module 2-port 100-Gigabit Port Adapter ASR 9000*. Recuperado el 20 de abril de 2019, de <https://www.netmode.com/product/cisco-a9k-mpa-2x100ge-module-2-port-100-gigabit-port-adapter/>

Netplanet. (2019). Red MPLS. Recuperado el 20 de enero de 2019, de <https://www.netplanet.cl/red-mpls/>

PagelImpact. (2018). ¿Qué son los proveedores de TIER-1, TIER-2 y TIER-3. Recuperado el 8 de febrero de 2019, de <https://www.pageimpact.com/blog/2018/04/que-son-los-proveedores-de-nivel-1-tier-1-y-nivel-2-tier-2>

Pardo, C., & Jiménez, I. (2015). *Operaciones auxiliares con tecnologías de la información y comunicación*. Madrid-España: Paraninfo. Recuperado el 3 de febrero de 2019, de <https://www.paraninfo.es/catalogo/9788497327787/operaciones-auxiliares-con-tecnologias-de-la-informacion-y-la-comunicacion>

- Peire, J., & Pérez, C. (2013). *Estructura y tecnología de computadores*. Google books. Recuperado el 30 de enero de 2019, de https://books.google.com.ec/books/about/Estructura_y_tecnolog%C3%A1Da_de_computadores.html?id=uo_WAAAACAAJ&redir_esc=y
- Pereyra, D. M. (2018). Redes avanzadas y servicios. *Slideplayer*. Recuperado el 11 de enero de 2019, de <https://slideplayer.es/slide/13822574/>
- PicClick. (31 de Enero de 2019). Cisco CRS Fan Tray For Carrier Routing. Recuperado el 30 de abril de 2019, de <https://picclick.com/NEW-Cisco-CRS-Fan-Tray-For-Carrier-Routing-202048657351.html>
- PLCHARDWARE. (2019). *SFP-10G-LR. PLCHARDWARE*. Recuperado el 5 de mayo de 2019, de <https://www.plchardware.com/Products/CS-SFP-10G-LR.aspx>
- Press, C., & Oppenheimer, P. (2004). Diseño de redes corporativas. *SlidePlayer*. Recuperado el 4 de abril de 2019, de <https://slideplayer.es/slide/3262830/>
- Restrepo, J. (2015). CCNA4. *WordPress*. Recuperado el 3 de marzo de 2019, de https://julioestrepo.files.wordpress.com/2015/03/pdf_ccna4_v5.pdf
- Reyes, S. (2008). Diseño de redes privadas en equipo cisco utilizando multiprotocolo para comunicacion de etiquetas (MPLS). *Biblioteca digital Universidad de San Carlos de Guatemala*. Recuperado el 26 de enero de 2019, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0219_EO.pdf
- Rouse, M. (2017). *Internet de las cosas (IoT)*. Searchdatecenter. Recuperado el 28 de mayo de 2019, de <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Internet-de-las-cosas-IoT>
- Saavedra, A. (2013). Ancho de banda y banda ancha. *Tecnologiaatufavor*. Recuperado el 30 de marzo de 2019, de http://tecnologiaatufavor.blogspot.com/2013/10/ancho-de-banda-y-banda-ancha_25.html
- Saavedra, D. (2012). Arquitectura de Aplicaciones para redes convergentes. *Univerdidad de Chile*. Recuperado el 3 de diciembre de 2019, de

repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103164/saavedra_dr.pdf?sequence=3&isAllowed=y

- Serrano, L. (2017). *Manual de diseño practico para Internet*. Books google. Recuperado el 23 de noviembre de 2018, de <https://books.google.com.ec/books?id=TE3lay6pZagC&pg=PP2&dq=Manual+de+dise%C3%B1o+practico+para+Internet.&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwicht6A647kAhUkWN8KHUTSD-MQ6wEIKTAA#v=onepage&q=Manual%20de%20dise%C3%B1o%20practico%20para%20Internet.&f=false>
- Speight, J. (2015). *Características de ISP*. *Articlesphere*. Recuperado el 18 de noviembre de 2018, de <http://www.articlesphere.com/es/Article/ISP-Features/464>
- Tejada, J. A. (2015). Internet of Things. *blogs.deusto*. Recuperado el 23 de noviembre de 2018, de <https://blogs.deusto.es/master-informatica/internet-of-things/>
- Tekmentum. (2018). Cisco CRS-1 8-slot Line Card Chassis Route Processor. Recuperado el 30 de mayo de 2019, de <https://tekmentum.com/information-technology/network-communication/routing-switching-devices/modules/cisco-systems-inc-crs-8-rp-rf-cisco-crs-1-8-slot-line-card-chassis-route-processor-1-x-10-100-1000base-t-2-x-sfp>
- Telefonica. (2018). Historia y servicios. Recuperado el 1 de marzo de 2019, de <https://www.telefonica.com/es/home>
- Turmero, P. (2019). Transmision por fibra optica. *Monografias*. Recuperado el 26 de abril de 2019, de <https://www.monografias.com/trabajos108/transmision-fibra-optica/transmision-fibra-optica2.shtml>
- TVCable, G. (2012). Historia y servicios. Recuperado el 9 de abril de 2019, de <https://www.grupotvcable.com/>
- Twain, E. (2017). Will Cpak 100G Transceiver Module Thrive. Recuperado el 12 de mayo de 2019, de <http://opticalfiberalsa.over-blog.com/2017/04/will-cpak-100g-transceiver-module-thrive-in-2017.html>

- Valencia, F. (2013). *Manual básico de configuración de redes Cisco*. México: Panamericana. Docplayer. Recuperado el 22 de abril de 2019, de <https://docplayer.es/1531231-Manual-basico-de-configuracion-de-redes-cisco-francisco-valencia-arribas.html>
- Velasco, R. (6 de Abril de 2019). Gpon. *Redeszone*. Recuperado el 30 de noviembre de 2019, de <https://www.redeszone.net/2019/04/06/gpon-que-es/>
- Wait, J. (2012). *Advanced MPLS Design and Implementation*. Cisco Press. Recuperado el 19 de marzo de 2019, de <https://es.slideshare.net/MohamedMBARKI/ccie-advanced-mpls-design>

