



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TÍTULO:

**“DISEÑO DE LA RED LÓGICA IP MPLS SOBRE EL ANILLO
DE FIBRA ÓPTICA PERTENECIENTE A EERSSA EN LA
CIUDAD DE LOJA, PARA EL FLUJO DE TRÁFICO DE LA
RED SCADA, VOZ Y VIDEO.”**

TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR
POR EL TÍTULO DE INGENIERA EN
ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

AUTORA:

TATIANA IVANNOVA TRUJILLO TORRES

DIRECTOR:

ING. DIEGO VINICIO ORELLANA VILLAVICENCIO MG. SC

LOJA-ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

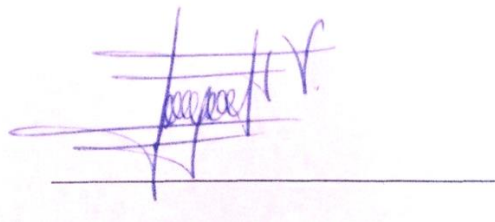
Ing. Diego Vinicio Orellana Villavicencio Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“DISEÑO DE LA RED LÓGICA IP MPLS SOBRE EL ANILLO DE FIBRA ÓPTICA PERTENECIENTE A EERSSA EN LA CIUDAD DE LOJA, PARA EL FLUJO DE TRÁFICO DE LA RED SCADA, VOZ Y VIDEO”**, previa a la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones, realizado por la señorita egresada: **Tatiana Ivannova Trujillo Torres**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, Diciembre del 2015



Ing. Diego Vinicio Orellana Villavicencio Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

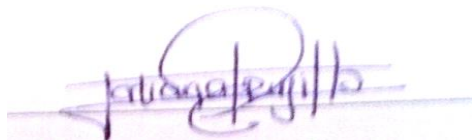
AUTORÍA

Yo, **TATIANA IVANNOVA TRUJILLO TORRES** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Autor: Tatiana Ivannova Trujillo Torres

Firma:



Cédula: 1105162471

Fecha: 18 /12/2015

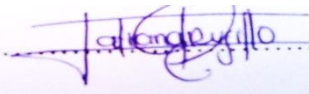
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **TATIANA IVANNOVA TRUJILLO TORRES** declaro ser autora de la tesis titulada: **“DISEÑO DE LA RED LÓGICA IP MPLS SOBRE EL ANILLO DE FIBRA ÓPTICA PERTENECIENTE A EERSSA EN LA CIUDAD DE LOJA, PARA EL FLUJO DE TRÁFICO DE LA RED SCADA, VOZ Y VIDEO”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, dieciocho días del mes de diciembre del dos mil quince.

Firma: 

Autor: Tatiana Ivannova Trujillo Torres. **Cédula:** 1105162471

Dirección: Loja, (Av. Eugenio Espejo 06-27 y Adolfo Valarezo)

Correo Electrónico: tatistrujillo26@hotmail.com

Teléfono: 072574712 **Celular:** 0997449923

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Diego Vinicio Orellana Villavicencio Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Andy Fabricio Vega León. Mg. Sc.

Ing. Juan Manuel Galindo Vera Mg. Sc.

Ing. Diego Fernando Carrera Moreno Mg. Sc

DEDICATORIA

A mis dos ángeles Bolívar y Teodosio, ellos desde el cielo guían mis pasos y me protegen.

A mis padres Rafael y Mercedes, por su ejemplo, amor y apoyo incondicional, son el pilar fundamental de toda mi vida.

A mis hermanas Daniela y María José, por estar siempre a mi lado y ser mi más grande compañía.

A mis abuelitas Gladys y Rosa, con su fortaleza y cariño que me enseñaron a jamás rendirme.

A toda mi familia por estar siempre presentes con sus palabras de apoyo para alcanzar una meta más en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sentimiento de gratitud a la Universidad Nacional de Loja, al Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, a los docentes y autoridades de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, en especial al Ing. Diego Orellana y al Ing. Juan Pablo Cabrera, por su apoyo y orientación en el desarrollo del presente trabajo investigativo y por toda la ayuda brindada a lo largo de mi carrera universitaria.

Agradezco también al personal que labora en la Empresa Eléctrica Regional del Sur, a los ingenieros de la Superintendencia de Subestaciones y Comunicaciones, en especial al Ing. Pablo Medina, por la apertura y respaldo, sin cuya colaboración no hubiera sido posible la culminación del presente trabajo.

A mis amigos y compañeros que han sido un gran apoyo en este largo camino, y que juntos estamos alcanzando nuestra meta.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
SIMBOLOGÍA	XIII
1.-TÍTULO	1
2. RESUMEN	2
3.- INTRODUCCIÓN	4
4.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
4.1 CAPÍTULO I: MPLS (CONMUTACIÓN MULTIPROTOCOLO MEDIANTE ETIQUETAS)	7
4.1.1 Antecedentes históricos de MPLS	7
4.1.2 Características de la red MPLS	7
4.1.3 Arquitectura de una red MPLS	8
4.1.3.1 Componentes de una red MPLS	8
4.1.3.2 Funcionamiento de una red MPLS	11
4.1.4 Aplicaciones de la tecnología MPLS.....	14
4.1.4.1 Ingeniería de Tráfico	14
4.1.4.2 Clases de Servicio (CoS).....	15
4.1.4.3 Redes Privadas Virtuales (VPN).....	16
5.- MATERIALES Y MÉTODOS	17
5.1. ANÁLISIS Y LEVANTAMIENTO DE LA RED ACTUAL DE DATOS DE EERSSA.....	17
5.1.1 Sistema SCADA.....	17
5.1.1.1 Centro de Control	18
5.1.1.2 Software Power Link Advantage (PLA)	19
5.1.2 Sistema de Comunicaciones	20
5.1.3 Sistema de Vigilancia	22

5.1.4 Anillo de Fibra.....	24
5.1.5 Información sobre Subestaciones conectadas por el anillo de fibra.	26
5.1.5.1 Subestación Norte	26
5.1.5.2 Subestación Sur.....	28
5.1.5.3 Subestación San Cayetano	29
5.1.5.4 Subestación Otrapía.....	30
5.1.5.5 Centro de Control.....	31
5.2 DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED MPLS.....	32
5.2.1 Análisis de ancho de banda requerido	32
5.2.2. Diseño de la Red MPLS según los requerimientos.	38
5.2.2.1 Requerimientos.	38
5.2.2.2 Elección de Equipos.	39
5.2.2.3 Enrutamiento.	43
5.2.2.4 Propuesta adicional	46
5.2.2.5 Propuesta de Direcciones IP.....	48
5.2.2.5 Diseño Final.	52
5.2.3. Simulación.....	54
5.2.2.1 Paquetes de Software Utilizados	54
5.2.2.2 Desarrollo de las Simulaciones	55
6.- RESULTADOS	72
6.1 RESULTADOS EN SIMULACIÓN	72
7.- DISCUSIÓN	77
8.- CONCLUSIONES	79
9.- RECOMENDACIONES.....	81
10.- BIBLIOGRAFÍA	82
11. ANEXOS	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Topología de una red MPLS	9
Figura 2: Etiqueta MPLS	11
Figura 3: Tabla Label Information Base (LIB)	12
Figura 4: Equipos del rack de servidores	19
Figura 5: Esquema del sistema de comunicaciones.	20
Figura 6: Red EERSSA	21
Figura 7: Equipos de video vigilancia	22
Figura 8: Panel LENEL	23
Figura 9: Software de Vigilancia	23
Figura 10: Anillo de Fibra EERSSA	25
Figura 11: Diseño Propuesto de la Red MPLS.....	38
Figura 12: Routers Cisco Serie 2900.....	39
Figura 13: Conector de fibra optica SC/APC de 3,0 mm	41
Figura 14: Diseño de red MPLS para EERSSA	49
Figura 15: Diseño final red MPLS	53
Figura 16: Topología de red levantada en GNS3	56
Figura 17: Configuración Router Obrapia en GNS3	58
Figura 18: Configuración de OSPF router obrapia.....	59
Figura 19: Configuración OSPF en GNS3	60
Figura 20: Configuración OSPF router Norte en GNS3	60
Figura 21: Activación de MPLS en GNS3	61
Figura 22: Red dentro de cada subestación	62
Figura 23: Configuración de VLAN mediante CLI en packet tracer	63
Figura 24: configuración de vlan mediante interfaz config en packet tracer	64
Figura 25: Enrutamiento intervlan.....	64
Figura 26: Enrutamiento intervlan en packet tracer	66
Figura 27: Configuración puertos dentro del switch	66
Figura 28: Configuración puertos dentro del switch	67
Figura 29: Configuración de hosts	68
Figura 30: Red incluyendo VLANS	69

Figura 31: Direccionamiento en cada router	70
Figura 32: Enrutamiento OSPF en packet tracer	71
Figura 33: Enrutamiento OSPF en packet tracer	71
Figura 34: Topología de red MPLS levantada en GNS3	72
Figura 35: Comando show ip route en GNS3	73
Figura 36: Comando show ip route (dirección ip).....	73
Figura 37: Comando show ip cef en GNS3	74
Figura 38: Comando Show mpls interfaces.....	74
Figura 39: Comando Show mpls ldp discovery.....	75
Figura 40: Comando show mpls ldp neighbor en packet tracer	75
Figura 41: Comando Show mpls ldp bindings en packet tracer	76
Figura 42: Comando show mpls forwarding-table en packet trace	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros Fibra Monomodo G.652D.	26
Tabla 2: Switch S/E Norte	27
Tabla 3: Switch S/E Sur	28
Tabla 4: Switch S/E San Cayetano	29
Tabla 5: Switch S/E Obrapía	30
Tabla 6: Switch Centro de Control.	31
Tabla 7: Datos en cada subestación	32
Tabla 8: Estado de datos digitales	33
Tabla 9: Estados datos de control	34
Tabla 10: Numero de bits requeridos por cada subestación	35
Tabla 11: Ancho de banda para datos digitales, analógicos y de control	35
Tabla 12: Estado de datos de intrusos	36
Tabla 13: Ancho de banda total de datos en cada subestación	36
Tabla 14: Ancho de banda necesario por cada subestación.....	37
Tabla 15: Ancho de banda final de cada subestación.....	38
Tabla 16: Especificaciones técnicas del router Cisco 2921	39
Tabla 17: Especificaciones físicas del router Cisco 2921	40
Tabla 18: Especificaciones técnicas: conector de fibra optica SC/APC de 3,0 mm	42
Tabla 19: Costos de equipos	42
Tabla 20: Costo de instalación	43
Tabla 21: Costos de mantenimiento	43
Tabla 22: Costo total	43
Tabla 23: Direcciones IP del Router S/E Sur	50
Tabla 24: Direcciones IP Router S/E Obrapía.....	50
Tabla 25: Direcciones IP Router S/E Norte.....	50
Tabla 26: Direcciones IP Router S/E San Cayetano.....	50
Tabla 27: Direcciones IP del Router Centro de Control.....	51
Tabla 28: Direcciones IP de la S/E Sur	51
Tabla 29: Direcciones IP de la S/E Obrapía	51
Tabla 30: Direcciones IP de la S/E Norte.....	51

Tabla 31: Direcciones IP de la S/E San Cayetano.....	52
Tabla 32: Direcciones IP del Centro de Control.....	52

SIMBOLOGÍA

ADSL	Línea de Abonado Digital Asimétrica.
ATM	Modo de Transferencia Asíncrona.
IETF	Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet.
MPLS	Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo.
IP	Protocolo de Internet.
CoS	Clase de Servicio.
QoS	Calidad de Servicio.
LDP	Protocolo de Distribución de Etiquetas
LER	Enrutador de Etiquetas de Borde.
LSR	Enrutadores Conmutadores de Etiquetas.
LSP	Caminos Conmutados Mediante Etiquetas.
TCP	Protocolo de Control de Transmisión.
FEC	Clase Equivalente de Envío.
IGP	Protocolo de Pasarela Interior.
EGP	Protocolo de Pasarela Exterior.
RIP	Protocolo de Información de Encaminamiento.
LIB	Base de Datos de Información de Etiquetas.
CBR	Razón de Bit Constante.
CR-LDP	LDP de Ruta Restringida.
OSPF	Ruta más Corta Primero.

VPN	Redes Privadas Virtuales.
VLAN	Área de Red Local Virtual.
UDP	Protocolo de Datagramas de Usuario.
RSVP-TE	Protocolo de Reserva de Recursos con Ingeniería de Trafico.
DiffServ	Modelo de Servicios Diferenciados.
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
EERSSA	Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.
RTU	Unidad Terminal Remota
NTP	Network Time Protocol
BGP	Border Gateway Protocol
CEF	Cisco Express Forwarding
RFC	Request for Comments

1.-TÍTULO

**“DISEÑO DE LA RED LÓGICA IP MPLS SOBRE EL
ANILLO DE FIBRA ÓPTICA PERTENECIENTE A
EERSSA EN LA CIUDAD DE LOJA, PARA EL FLUJO
DE TRÁFICO DE LA RED SCADA, VOZ Y VIDEO.”**

2. RESUMEN

El presente trabajo de tesis consiste en el diseño de una red con la tecnología IP/MPLS que se implementará en un futuro sobre el anillo de fibra óptica perteneciente a EERSSA, la misma que permitirá que las subestaciones de la ciudad de Loja realicen la transmisión de los datos del sistema eléctrico de una manera segura teniendo en cuenta la Calidad de Servicio, permitiendo separar los distintos tipos de tráfico que se transportan como Videovigilancia, Comunicaciones y los datos del sistema SCADA.

Para desarrollar el presente trabajo se lo ha dividido en los siguientes literales:

El literal **d** se realizara una revisión de la literatura, la misma que trata acerca de conceptos fundamentales de una red MPLS, además de su historia, ventajas y arquitectura, necesarias para conocer sobre el funcionamiento de la red.

Luego se presenta el literal **e** donde se establece los materiales y métodos que se siguió para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo, aquí se realiza un análisis y levantamiento de los datos de la red actual de EERSSA además se tiene la selección de los equipos, así como la explicación detallada de las simulaciones. En el literal **f** se muestra los resultados alcanzados a través de las simulaciones realizadas, en el literal **g** se desarrollan las conclusiones y recomendaciones pertinentes necesarias en un futuro en la fase de implementación. Para concluir en el literal **k**, se adjunta los anexos como especificaciones de equipos, topologías, manuales de configuración.

SUMMARY

The present study is based on network design with IP/MPLS technology, that will be implemented on fiber optic ring of EERSSA, this technology allows the substations of Loja city perform the transmission of the electrical system data was in a safe way, considering the Quality of Service, being enable to separate the different types of traffic that is transported like video surveillance, communications and the SCADA system data.

For develop of the present study it has divided in the following literals:

At first in the literal **d** will do a literatura review, about basic concepts of a MPLS network, also its history and architecture, it will be necessary to know about network performance.

Then literal **e** is presented material and methods, that will be follow to accomplish the objectives of this study, here will make an analysis and survey data for the current network of EERSSA, in the same way will make a detailed explanation of the simulations. In the literal **f** will show the achived results through the design of our network through the simulations, in the literal **g** will be explain the conclusions and recommendations necessaries for a future implementation. To finish, in the literal **k** will be include annexes like equipments datasheets, topologies, configuration manuals, etc.

3.- INTRODUCCIÓN

Con la rápida evolución de las redes, medios y tecnologías utilizadas para la transmisión de datos, lograr un desempeño eficiente de la red siempre ha sido un reto, esto ha provocado el continuo desarrollo de nuevos protocolos y tecnologías que cumplan los parámetros necesarios para lograr un rendimiento óptimo de la red. Pero muchas de estas tecnologías no han logrado ser aceptadas por los administradores de red, que buscan que se cumplan ciertos parámetros tales como costos, calidad de servicio (QoS), manejo de tráfico, escalabilidad, seguridad, etc.

Los medios de transmisión son un punto importante en cuanto a la transmisión de datos, su desarrollo ha ido creciendo conjuntamente con nuevas tecnologías, tal es el ejemplo de la fibra óptica, que es un medio de transmisión que brinda muchos beneficios y en la actualidad está siendo utilizado cada vez con más frecuencia, sobre este medio de transmisión han surgido nuevas tecnologías, con las cuales se está logrando conseguir redes más eficientes.

La tecnología de Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (MPLS, *Multipotocol Label Switching*), surgió del Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF, *International Engineering Task Force*) en los años noventa, es una tecnología relativamente nueva en nuestro medio, que permite transportar diferentes tipos de tráfico: voz y datos, además posee características que solamente se encontraban en redes costosas como Modo de Transferencia Asíncrona (ATM, *Asynchronous Transfer Mode*).

El objetivo principal de MPLS es integrar un enrutador IP y un conmutador ATM en un solo equipo de manera eficiente, esta tecnología permite el enrutamiento de datos de un nodo a otro con la ayuda de etiquetas, además proporciona características de las redes orientadas a la conexión.

En la actualidad EERSSA cuenta con el sistema SCADA, este sistema permite monitorear y controlar de manera remota los distintos equipos que se encuentran en las subestaciones ubicadas a lo largo de la red de concesión, adicionalmente a este sistema se integró los sistemas de vigilancia y la red de comunicaciones, dentro del sistema de vigilancia se cuenta con equipos como: controles de acceso, lectores de tarjetas de acceso, cámaras de video fijas

y PTZ, sensores de movimiento para detectar el ingreso de personal no autorizado, sensores de humo y actualmente se está implementando módulos de voz. En lo que respecta a la red de comunicaciones se cuentan con equipos como repetidoras, *switch* y UPS, para el monitoreo de estos equipos de telecomunicaciones se utiliza el software *WHAT'S UP* el cual permite controlarlos.

El sistema SCADA nace de la necesidad de brindar un mejor servicio a sus clientes, ya que permite minimizar el tiempo de desconexión, logrando una reposición casi inmediata del servicio, además los trabajos de mantenimiento programados o emergentes se los lograría realizar con mayor rapidez. Con lo que respecta a la comunicación entre el centro de control y las distintas subestaciones se lo ha venido realizando mediante enlaces de radio, los cuales trabajan con la tecnología OSPF para el transporte de los datos, y en la actualidad se logró interconectar las subestaciones de la ciudad de Loja mediante un anillo de fibra, también se está trabajando en un sistema microondas que trabajaría dentro de bandas licenciadas.

Considerando el mejoramiento de los medios de transmisión de datos se ha visto necesario proyectar la implementación de la tecnología IP/MPLS en las subestaciones Norte, Sur, Obrapia, San Cayetano y Centro de Control en la ciudad de Loja, como una solución que permita garantizar una alta calidad de servicio, además mediante esta tecnología se pretende obtener la escalabilidad, seguridad y confiabilidad. El anillo de fibra óptica fue implementado en el presente año en la ciudad de Loja, está conformado de 8 hilos de fibra oscura monomodo modelo G.652D.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Analizar el diseño lógico de la red IP/MPLS que será implementado sobre el anillo de fibra de EERSSA en la ciudad de Loja.

Objetivos específicos

- Determinar todos los servicios y sistemas que se van a implementar en la red IP/MPLS por parte de la EERSSA.
- Definir equipos y características en función de los requerimientos de la red tratando de limitar los costos de los equipos a las necesidades específicas.
- Simular la configuración que los equipos seleccionados deben tener para cumplir todas las características necesarias de la red IP/MPLS.

4.- REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 CAPÍTULO I: MPLS (Conmutación Multiprotocolo Mediante Etiquetas)

4.1.1 Antecedentes históricos de MPLS

Cuando nació Internet los *backbones*¹ IP de los proveedores, se basaban en una Arquitectura de enrutadores conectados entre sí lo que generaba saturación y congestión en las redes. Luego se dio a conocer lo que se denominaría conmutadores ATM², lo que permitió aumentar la velocidad de los enrutadores pero a su vez se generaron algunos problemas que tenían que ver el con rendimiento óptimo, se implementaron algunas soluciones conocidas como Conmutación IP pero no eran operativas entre distintas tecnologías de capa 2 y 3 [1].

A mediados de los años 90 se dio inicio a la evolución de las redes *backbones*, dando lugar a lo que se conocería como Internet del siglo XXI, lo que se buscaba era una tecnología que mezclara la velocidad de operación de ATM con el proceso de enrutamiento IP, además de lograr eliminar algunos parámetros que no se habían tomado en cuenta y que afectaban el desempeño de la red como lo son: la Calidad de Servicio, retardos, congestión de tráfico, entre otros.

De esta manera en el año 1997 IETF organizo formalmente el Grupo MPLS, algunos de los administradores de redes remplazaron tecnologías como *Frame Relay*³ y ATM por MPLS, debido a que ofrecía fiabilidad y un mejor rendimiento, además es una tecnología mucho más económica que las anteriores, en la actualidad se siguen haciendo mejoras de esta tecnología incorporando Redes Privadas Virtuales (VPN, *Virtual Private Network*) ingeniería de tráfico etc. [2].

4.1.2 Características de la red MPLS

Antes de mencionar la tecnología MPLS cabe mencionar lo que es la tecnología de direccionamiento tradicional de paquetes IP conocida como conmutación IP, a diferencia de la tecnología MPLS que utiliza etiquetas, IP analiza todos los parámetros que se encuentran

¹ *Backbones*: se refiere a la conexión troncal de Internet o a la conexión principal de una red.

² *ATM*: red de transporte basada en conmutación de celdas y circuitos.

³ *Frame Relay*: red de transporte que envía paquetes de tamaño variable mediante retransmisión de tramos.

en la cabecera cada vez que el paquete atraviesa un enrutador. La tecnología MPLS nace a partir de las necesidades de los administradores de red que utilizaban la conmutación IP, buscando tecnologías que permitan una entrega eficiente de los datos; en la actualidad lo que permite la tecnología MPLS, es el empleo de Redes Privadas Virtuales (VLANs, *Virtual Local Area Network*), la aplicación de calidad de servicio (QoS) y la Ingeniería de Trafico.

MPLS nace de un grupo de trabajo de la IETF y se menciona principalmente en el estándar RFC 3031 y en algunos otros, se inició como una tecnología propietaria y era conocida como *Tag Switching*⁴ (conmutación por marcas), en la actualidad se conoce como *Multi Protocol Label Switching*. La tecnología MPLS se encuentre ubicada entre las capas de enlace de datos y de red del modelo OSI, y combina las características y protocolos de conmutación y enrutamiento de estas dos capas para de esta manera lograr que el paquete de datos llegue a su destino [3].

La tecnología MPLS utiliza el método de etiquetado en el que añade información al paquete de datos, esta etiqueta se ubica en frente de cada paquete, esto permite a los enrutadores crear un mapeo de etiqueta a etiqueta, para realizar el respectivo reenvío de paquetes se basa únicamente en la etiqueta y no en la dirección IP de destino. Este método de etiquetado logra que el envío de paquetes se lo realice con rapidez ya que disminuye el tiempo de procesamiento permitiendo que los paquetes vayan a su destino por una ruta prefijada [1].

4.1.3 Arquitectura de una red MPLS

4.1.3.1 Componentes de una red MPLS

La topología de la red MPLS se muestra en la figura 1, donde de igual manera se puede apreciar muchos de la componentes de una red, en la figura observamos cómo se realiza el envío de paquetes dentro del dominio MPLS.

⁴ *Tag Switching: Tecnología de etiquetas propietaria de Cisco, que a diferencia de MPLS utiliza el termino Tag para denominar etiqueta.*

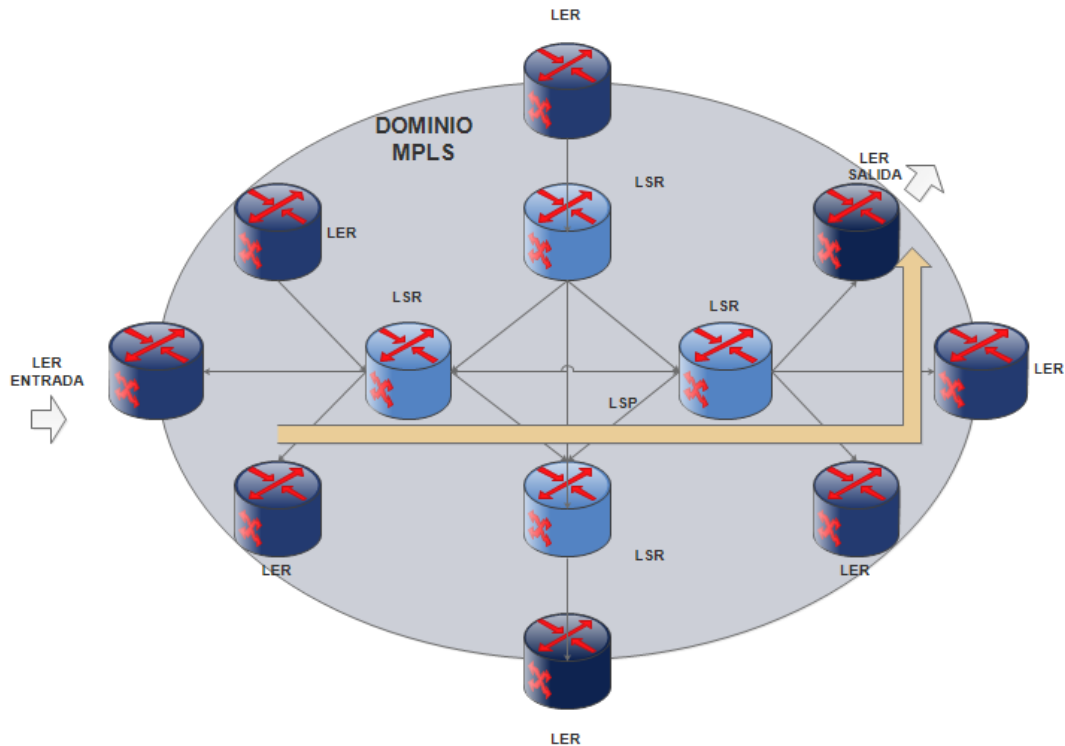


Figura 1: Topología de una red MPLS [6]

Una red MPLS cuenta con los siguientes componentes:

- ✓ LER (*Label Edge Router* – Enrutadores de Etiquetas de Borde)

Este elemento se encuentra ubicado en los enrutadores de entrada y salida, en los extremos de la red lo que permite que los LER puedan insertar las etiquetas con la información de enrutamiento, así como retirar las etiquetas y administrar el tráfico a las redes que se encuentren a la salida, los LER permiten conectarse a distintas redes como *Ethernet*, *ATM* y *Frame Relay*, permitiendo que el tráfico viaje a través de la red MPLS.

- ✓ LSR (*Label Switching Router* – Enrutadores de conmutación de Etiquetas)

Se encuentra ubicado en la parte central de la red MPLS, más conocidos como los enrutadores de conmutación, ya que el trabajo que realizan es la conmutación de etiquetas es decir establecen trayectorias intercambiando etiquetas mediante la utilización de un LDP Protocolo de Distribución de Etiquetas (*LDP, Label Distribution Protocol*). Además LSR

soporta protocolos de enrutamiento IP; estos enrutadores pueden ser de dos tipos ascendentes y descendentes [1].

✓ LSP (*Label Switched Path* – Caminos Conmutados Mediante Etiquetas)

Se da este nombre al camino establecido que siguen los paquetes de datos dentro de una red MPLS, es como un túnel entre los extremos y se lo puede establecer antes de la transmisión de paquetes de datos o cuando se detecte el inicio de la transmisión. Este camino puede ser punto a punto, punto a multipunto o multipunto a multipunto.

✓ LDP (*Label Distribution Protocol* – Protocolo de Distribución de Etiquetas)

Como su nombre lo define este es un protocolo de distribución de etiquetas que es manejado por los Enrutadores Conmutadores de Etiquetas (LSR, *Label Switching Router*), cada LSR crea una tabla de enrutamiento IP donde por cada prefijo del Protocolo de Pasarela Interno (IGP IP, *Interior Gateway Protocol*) crea un enlace local, luego comunica estas uniones a todos sus vecinos, estos almacenan una tabla que contiene información de la etiqueta y almacena los enlaces locales que se crearon. Para comunicar estas uniones a la red utiliza el Protocolo de Control de Transmisión (TCP⁵, *Transmission Control Protocol*) que permite dar fiabilidad a la red.

✓ FEC (*Forwarding Equivalence Class* – Clase Equivalente de Envío)

Estos son los paquetes de datos que se envían pero que comparten la misma etiqueta es decir que estos paquetes comparten las mismas características de envío, para reconocer estos paquetes las etiquetas se asignan según ciertos criterios: Calidad de servicio, Redes virtuales Privadas, Ingeniería de Trafico, si el destino es *Unicast* o *Multicast*, etc.

✓ Label (Etiqueta)

La trayectoria que debe tener un paquete es identificada mediante una etiqueta, y en el caso de MPLS estas poseen una longitud fija e identifican un FEC, como se muestra en la figura 2 las etiquetas se insertan antes de la cabecera IP, este campo es de 32 bits [4] .

⁵ TCP: protocolo orientado a la conexión, trabaja en la capa de transporte, garantiza la entrega mediante el uso de confirmaciones.

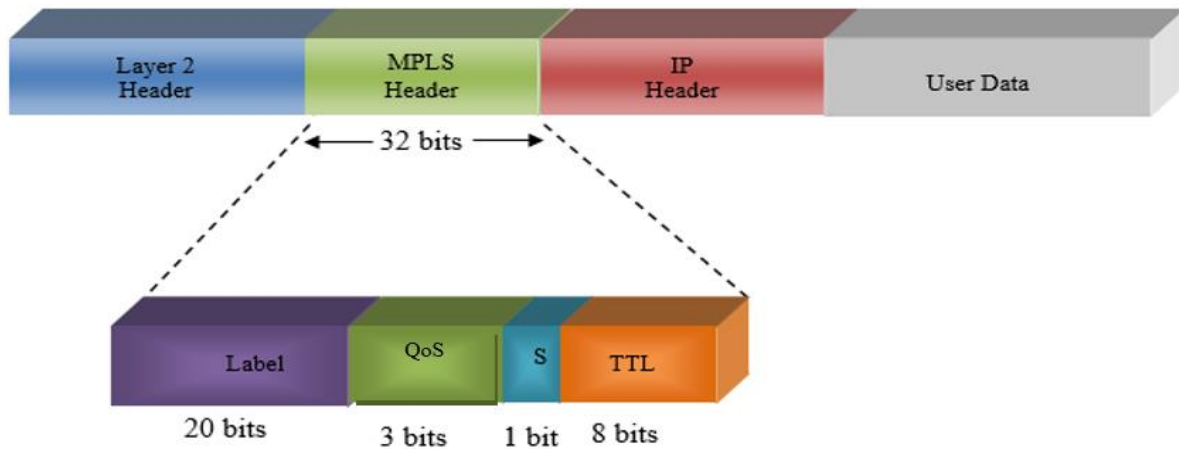


Figura 2: Etiqueta MPLS [2]

La cabecera MPLS se divide en 3 partes:

- ✓ *Label*: este campo consta de 20 bits, se le asigna al paquete cuando ingresa al dominio MPLS.
- ✓ *QoS*: Se utiliza para identificar la clase de servicio y consta de 3 bits.
- ✓ *S (Bottom of Stack)*: A un paquete se le pueden colocar varias etiquetas, con el objetivo de que se construyan túneles por los cuales los paquetes viajan, estas etiquetas se organizan en una pila de etiquetas (*Label Stack*). En el caso de que existan varias etiquetas en la pila se indicara con un valor 1, y si es la única etiqueta en la pila se indicara con el valor 0 [1].
- ✓ *TTL (Time to Live)*: Este campo indica el número de nodos que el paquete puede recorrer hasta llegar a su destino, evita los ciclos infinitos y consta de 8 bits [2].

4.1.3.2 Funcionamiento de una red MPLS

Cuando se utiliza el envío de datos convencional es decir el enrutamiento IP, en la capa de red los paquetes realizan saltos a través de la red, indicados por la dirección IP de destino que contiene cada paquete y según las tablas de enrutamiento que son administradas por cada router de la red, de esta manera el paquete llegará a su destino. En una red MPLS los paquetes también viajan a través de saltos por la red con la diferencia de que en esta tecnología lo que se utiliza es el etiquetado de longitud fija que es analizado en cada uno de los saltos que realiza el paquete de esta manera permite que la información llegue mucho más rápido a su destino además disminuye el tráfico al momento del envío.

✓ Creación y distribución de etiquetas

Con la tecnología MPLS a cada paquete se le asigna una etiqueta cuando se encuentra dentro de esta red. Para la asignación de etiquetas el *router* de ingreso (LER) une los paquetes que usaran la misma ruta, es decir los paquetes que cuentan con las mismas características de envío o conocidos como Clase Equivalente de Envío (FEC, *Forwarding Equivalence Class*), dependiendo del FEC al cual pertenece el paquete se le asignará una etiqueta de tamaño fijo y se construirá una tabla de etiquetas la misma que mediante el protocolo de distribución de etiquetas (LDP) se comunicara a los *routers* conmutadores de etiquetas. Este es uno de los pasos fundamentales que se realizan dentro de la red ya que una mala distribución de las etiquetas provocaría colisiones y pérdida de la información dentro de la red [2].

✓ Creación de la Tabla de Base de Datos Información de Etiquetas (LIB) en cada Enrutador Conmutador de Etiquetas (LSR)

Al entrar al dominio de la red MPLS los paquetes lo hacen a través de un LSR el mismo que administra las tablas de base de datos de información de etiquetas conocidas como (LIB, *Label Information Base*) que se muestran en la figura 3, en estas tablas se almacena las etiquetas que fueran asignadas por el LSR, así como también se guarda la ruta de entrada y de salida que cada etiqueta debe seguir a través de un interfaz, esta tabla se actualizara cada que se re asigne etiquetas a los paquetes que se envíen [1].



Figura 3: Tabla Label Information Base (LIB) [1]

✓ Creación de los Caminos Conmutados Mediante Etiquetas (LSP)

Luego de realizar la asignación de las etiquetas y la creación de las tablas de mapeo, se crean los caminos conmutados mediante etiquetas (LSP), estos caminos se crean desde el Nodo de Destino hacia el Nodo de Origen, es decir siguiendo una trayectoria contraria a la que tiene que seguir el paquete.

Como se conoce en las tablas LIB se almacena las rutas que los paquetes que cuentan con la misma FEC deben seguir, en el caso de que un paquete no se encuentre dentro de la tabla LIB, el Nodo de Origen envía un paquete de *request*, solicitando la ruta que necesita, hasta el Enrutador de Etiquetas de Borde (LER) de salida, que se encuentra ubicada fuera del dominio de la red MPLS; una vez que el paquete fue recibido el LER envía un paquete de *mapping* hacia el Nodo de Origen, de esta manera se completará la tabla con la ruta que se ha creado [5].

✓ Proceso de envío de paquetes en el dominio MPLS

Dentro del dominio de la red MPLS los paquetes se envían hacia su destino empezando por el *router* LER de ingreso, este se encuentra ubicado fuera del dominio de la red MPLS es decir que aquí los paquetes se encuentran sin etiquetar. El *router* LER asigna las etiquetas dependiendo de las características del paquete, de esta manera el paquete puede ser clasificado dentro de un FEC y puede conocer que etiqueta le corresponde.

Luego para conocer el siguiente salto que debe dar el paquete lo sabrá a través de la tabla LIB, esta tabla indicará el camino que debe tomar ya dentro del dominio MPLS, el paquete saltará de LSR a LSR según indique la tabla LIB que ya se encuentra en cada *router*. Cada *router* realiza un intercambio de las etiquetas, hasta que finalmente llega al LER de salida, este *router* quita la última etiqueta y ya una vez fuera del dominio de la red MPLS se envía el paquete hacia su destino, pero esta vez ya utilizando el enrutamiento IP ya que el paquete ya no cuenta con etiquetas y no se encuentra dentro del dominio MPLS [3] .

✓ Fast Reroute

La red MPLS está formada por varios routers los que puede provocar fallos en los enlaces o en los nodos, estos fallos generan la pérdida de paquetes. *Fast Reroute* es un mecanismo que

utiliza la tecnología MPLS para evitar la pérdida de paquetes dentro de la red, redirigiendo el tráfico por rutas no establecidas por el protocolo IGP [1].

El funcionamiento de este mecanismo se da de la siguiente manera, cuando se detecta un fallo ya sea en los enlaces o en los nodos, se señala en las cabeceras de los LSPs que utilizaran esos enlaces o nodos, es ahí cuando el protocolo IGP redirige el tráfico calculando una nueva ruta, en el tiempo que se produce este fallo se perderán los paquetes, en el caso de que la red se encuentre enviando datos en tiempo real la pérdida será mayor [1].

Una manera eficiente de utilizar este mecanismo es trazando previamente la ruta principal así como la ruta de *backup* o ruta secundaria, de esta manera cuando se detecta el fallo no se perderá el tiempo recalculando una nueva ruta sino que se utilizará la de redundancia, de esta manera la pérdida de paquetes será menor, este mecanismo no asegura que las pérdidas dejen de existir.

4.1.4 Aplicaciones de la tecnología MPLS.

MPLS permite la aplicación de mecanismo de Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) a las aplicaciones que lo requieran, otra aplicación es la Ingeniería de Tráfico que logra empaquetar más datos en el ancho de banda disponible, MPLS también permite aplicaciones en Redes Privadas Virtuales que brindan seguridad al envío de datos.

4.1.4.1 Ingeniería de Tráfico

El propósito principal de la ingeniería de tráfico es distribuir de forma eficiente el transporte de los datos aprovechando todos los recursos físicos de la red, para de esta manera evitar que en ciertos puntos ocurran colisiones y pérdida de paquetes, mientras que otros nodos de la red se encuentran sin ser utilizados, este problema se genera debido a que al momento de escoger la ruta que recorrerán los paquetes se seleccionará el camino más corto, lo que genera congestión en la red y la solución que se le en redes IP es aumentar el ancho de banda en los enlaces que se encuentran congestionados [2].

Con la utilización de la Ingeniería de tráfico se busca la optimización de los recursos, realizando el envío de datos, no por el camino más corto sino por el que se encuentre disponible en ese momento, generando que los datos lleguen más rápido sin depender de la

distancia en la que se encuentren, generando una distribución equitativa del flujo de tráfico en toda la red.

La tecnología MPLS, mediante la utilización de ingeniería de tráfico, permite que el administrador de la red pueda establecer rutas teniendo en cuenta el ancho de banda necesario así como el tamaño de los paquetes a enviarse, permitiendo así generar rutas claras, logrando descongestionar de manera efectiva la red en caso de fallos.

Los protocolos que ofrecen características utilizadas en Ingeniería de Tráfico, como CR-LDP Enrutamiento Basado en Restricciones LDP (*Constraint – Based Routing LDP*) y RSVP – TE Protocolo de Reserva de Recurso con Ingeniería de Tráfico (*Resource Reservetion Protocol – Trafic Extension*), se encargan de la señalización, además de establecer y mantener *tunneling*⁶ dentro del dominio MPLS [1].

4.1.4.2 Clases de Servicio (CoS)

Actualmente en las redes se generó la necesidad de no tan solo transmitir datos si no dé a su vez transmitir voz y video, como solución para generar una mejora en la transmisión de paquetes, la tecnología MPLS ofrece el Modelo de Servicios Diferenciados (*DiffServ*), el mismo que permite clasificar y diferenciar el trafico teniendo en cuenta sus características y prioridades según el usuario [2].

La tecnología MPLS permite la clasificación y la transmisión de las distintas clases de tráfico, en el momento que se realiza la distribución de las etiquetas. En cada paquete se asigna un campo EXP que permite diferenciar el tipo de servicio que se va a transmitir permitiendo así que la red brinde los recursos necesarios para que el paquete llegue a su destino de una manera eficaz con la utilización de enrutamiento restringido CBR (*Constant Bit Rate*) [3].

MPLS permite la transmisión de las distintas clases de servicio con la utilización de múltiples LSP, dependiendo de la prioridad esta puede ser máxima, media y la tercera que es *best-effort* es la utilizada en las redes IP, esta prioridad es asignada de acuerdo a las características y a las prestaciones de la red.

⁶ *Tunneling*: es una técnica de envío de datos que consiste en encapsular un protocolo de red sobre otro protocolo, es decir que se envía un paquete dentro de otro.

4.1.4.3 Redes Privadas Virtuales (VPN)

Las Redes Privadas Virtuales VPN (*Virtual Private Networks*) son redes eficientes y muy seguras, que nacieron de la necesidad de implementar redes de datos que se encuentren en una red pública como es el Internet pero que a su vez cuente con la seguridad que posee una red virtual permitiendo el transporte de voz, video y datos. De esta manera nace la definición de las redes VPN “que son redes superpuestas sobre redes públicas, pero con muchas propiedades de las redes privadas” [2]. Lo que permite crear enlaces que solamente son visibles para el usuario y no externamente.

5.- MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Análisis y levantamiento de la red actual de datos de EERSSA

5.1.1 Sistema SCADA

En el año 2007 se impulsó el proyecto de implementación del Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA, *Supervisory Control and Data Acquisition*), para esto se contrató a la compañía argentina AUTOTROL que se encargó del suministro, instalación y puesta en marcha de este proyecto. Mediante el sistema SCADA, EERSSA brinda un mejor servicio al minimizar los tiempos de interrupciones del servicio durante maniobras en las subestaciones, se dispone del control centralizado de todo el sistema eléctrico, se tiene un registro de todos los datos dentro de cada una de las subestaciones. Además se implementó un sistema de vigilancia sin necesidad de tener personal dentro de cada subestación se disminuyeron los costos operativos.

Para ejecutar el proyecto del sistema SCADA se decidió separarlo en tres etapas debido a su magnitud. La primera etapa estuvo conformada por el Centro de Control y 7 subestaciones, en la segunda etapa se integraron 9 subestaciones y en la tercera se tiene previsto integrar las 7 subestaciones restantes y las dos Centrales de Generación. En la actualidad a partir del 2015 EERSSA se encuentra realizando el proyecto de expansión en el cual se tiene un número de 9 subestaciones entre las cuales constan las Subestaciones El Estadio, Occidental y Dos Puentes dentro de la ciudad de Loja y otras como Yanacocha, Las Palmas, Zapotillo Yanzatza, Gualquiza y Amaluza [3] .

Durante la primera etapa de implantación del proyecto SCADA se instaló dentro del Centro del Control el Software del SCADA *Power Link Advantage*, y en las 7 subestaciones se colocaron siete Unidades Terminales Remotas (RTU's⁷, *Remote Terminal Units*) con el fin de adquirir datos y permitir el control de campo.

⁷ RTU (*Remote Terminal Unit*): dispositivo utilizado para adquirir datos o variables y enviarlos a sitios remotos para ser procesados.

5.1.1.1 Centro de Control

El Centro de Control se encuentra ubicado en el edificio matriz, en el centro de la ciudad de Loja donde se controla y monitorea todos los elementos y parámetros del sistema eléctrico de las subestaciones de manera remota dentro de toda el área de concesión de EERSSA, el centro de control se encuentra conformado por las siguientes áreas: Sala de Comando, Sala de Servidores. Para alimentar los equipos que se encuentran dentro de estas dos salas se cuenta con un respaldo de energía conformado por un UPS de 10KVA.

✓ Sala de Servidores

Esta Sala cuenta con dos servidores para el *software* PLA (*Power Link Advantage*), de la marca *Hewlett Packard* (HP) *Proliant* 580G5, y dos clientes (estación de operación y proyección) el servidor A (principal) o también denominado de Desarrollo y el servidor B (respaldo) este se encuentra trabajando en modo redundante. Se cuenta con dos servidores por dos motivos principales; en el caso de existir una falla y cuando se necesite hacer la modificación de la base de datos o creación de puntos para establecer comunicación desde las RTU's de las subestaciones.

También se encuentra un tercer servidor denominado servidor de históricos con las mismas características, este servidor de base de datos permite almacenar información. Además se cuenta con un servidor de vigilancia con su respectivo cliente, un servidor para la gestión de la red y dos servidores (principal y de respaldo) para controlar la comunicación por ICCP con el Centro de Control de CENACE.

Todos estos servidores se sincronizan a través de un GPS, a través del protocolo NTP⁸ (*Network Time Protocol*). Otro equipo que también forma parte de la sala de servidores es un firewall que se encuentra instalado para delimitar la red corporativa que permite tener acceso a los relés de protecciones. Algunos de los equipos se los muestra en la figura 4.

⁸ NTP (*Network Time Protocol*): es un protocolo utilizado para sincronizar el tiempo en una red entre el cliente y el servidor.



Figura 4: Equipos del rack de servidores [6]

✓ Sala de Comando

Dentro de la Sala de Comando en la actualidad se dispone de consolas para: operación, desarrollo, proyecciones, aplicaciones, consola de comunicación con el CENACE y vigilancia.

5.1.1.2 Software Power Link Advantage (PLA)

El sistema SCADA cuenta con el *Software Power Link Advantage (PLA)*, con sistema operativo *Windows Server 2003* y utiliza una base de datos *SQL Server 2005* de *Microsoft*. Para comunicarse con los RTU's de cada una de las subestaciones el sistema utiliza el protocolo DNP3.0, el cual permite tener un monitoreo de todos los valores y estados provenientes de las RTU's. En la Figura 5 se muestra la pantalla de red de comunicaciones que se encuentra dentro del software PLA.

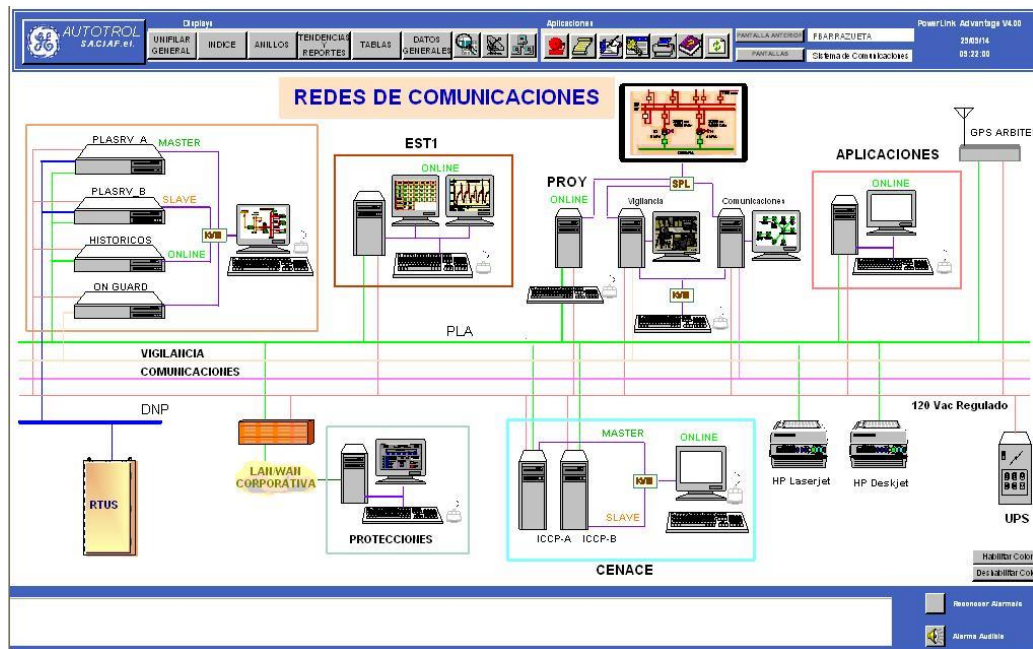


Figura 5: Esquema del sistema de comunicaciones. [8]

Las funciones principales del software dentro del sistema SCADA son: integrar nuevas RTU's, editar los puntos de la base de datos, editar pantallas, editar graficas de variables analógicas y crear nuevas líneas de comunicación.

5.1.2 Sistema de Comunicaciones

Para satisfacer las necesidades del Sistema SCADA se implementó un Sistema de Comunicaciones punto a punto para enlazar el centro de control con todas las subestaciones a lo largo del área de concesión, actualmente se cuenta con 50 enlaces radiales y 18 repetidoras, los equipos que se utilizaron para los enlaces son radios de la marca *Airspan* y *Redline*.

El sistema de comunicaciones radial maneja en la actualidad un ancho de banda de 105 Mbps en *backbone* y 12 Mbps en enlaces de última milla, por lo tanto es lo suficientemente robusto como para poder manejar desde el centro de control los sistemas de vigilancia, SCADA y de comunicaciones sin que interfieran en su funcionamiento entre ellos.

El sistema de comunicaciones al igual que el sistema SCADA y de vigilancia dispone de un software para que pueda ser monitoreado desde el Centro de Control, es *What's up Gold*, este

5.1.3 Sistema de Vigilancia

En la actualidad el sistema de vigilancia que se encuentra instalado en cada una de las subestaciones y en el Centro de Control, comprende cámaras de video, una fija y otra IP rotativa PTZ, con sus respectivo grabador de video como se muestra en la Figura 7, las cámaras PTZ están debidamente programadas para responder inmediatamente ante el funcionamiento de sensores de movimiento, controladores de acceso y lectores de tarjetas para evitar el ingreso de personal no autorizado de esta manera se puede obtener imágenes de los diferentes sitios que están siendo supervisados.



Figura 7: Equipos de video vigilancia [6]

Además de los equipos de video vigilancia, en cada una de las subestaciones se cuenta con sensores de movimiento ubicados estratégicamente, botones de pánico, sensores de humo, controladores de acceso a través de cerraduras magnéticas y lectores de tarjetas de acceso para permitir el acceso a personal autorizado. Todos los elementos del sistema de vigilancia se encuentran controlados por una tarjeta de comunicación de red de marca *LENEL OnGuard* como se muestra en la Figura 8, que permite enviar información al servidor principal ubicado en el Centro de Control.



Figura 8: Panel LENEL [6]

En el Centro de Control se tiene el servidor principal donde se encuentra instalado el software LENEL OnGuard, éste además dispone de una consola que permite interactuar con el Sistema de Vigilancia, a esta computadora se envían imágenes capturadas por las cámaras y que se guardan continuamente en cada una de las subestaciones siempre que lo solicite el Operador o cuando se detecta la presencia de intrusos; así como se muestra en la figura 9.



Figura 9: Software de Vigilancia [9]

Se realizó una visita a cada una de las subestaciones que se encuentran unidas por el anillo de fibra en la ciudad de Loja, para de esta manera poder obtener una información actualizada de los equipos que se encuentran conectados dentro de cada una de las subestaciones, para el funcionamiento del sistema SCADA, video vigilancia y comunicaciones. Todos estos equipos están conectados a un *switch* en cada subestación, que es controlado a través del *Software What's Up*. Más adelante, se detalla la situación actual de las subestaciones.

5.1.4 Anillo de Fibra

Años atrás la empresa proveedora de servicio de Internet *NetPlus*, EERSSA y *Transelectric*, suscribieron un convenio con la idea de contar con un anillo de fibra óptica dentro de la ciudad de Loja, los puntos específicos en el convenio son el uso de infraestructura con la que cuenta la empresa eléctrica con la condición de que EERSSA administraría 8 hilos de fibra oscura del anillo para comunicaciones entre subestaciones.

El plano correspondiente al anillo de fibra que se encuentra uniando las subestaciones de la ciudad de Loja se muestra en la figura 10, y para una mejor visualización se encuentra en el anexo 1 en formato A1.

El tipo de fibra que se utilizó para la construcción del anillo de fibra es la G.652D. Esta es una fibra monomodo para una longitud de onda de 1310 nm a 1550 nm. Este tipo de fibra es muy popular en la construcción de anillos de fibra y cableado estructurado. Algunas especificaciones de la fibra G.652D se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Parámetros Fibra Monomodo G.652D.

Parámetros	Valor
Atenuación a 1310 nm	$\leq 0,35 \text{ dB/Km}$
Atenuación a 1383 nm	$\leq 0,35 \text{ dB/Km}$
Atenuación a 1550 nm	$\leq 0,21 \text{ dB/Km}$
Atenuación a 1625 nm	$\leq 0,23 \text{ dB/Km}$
Atenuación a 1285-1625 nm	$\leq 0,40 \text{ dB/Km}$
Punto de discontinuidad máxima en 1310 y 1550 nm	$\leq 0,05 \text{ dB}$
Punto de dispersión cero	1300 – 1324 nm
Pendiente de dispersión cero	$\leq 0,090 \text{ ps/nm}^2.\text{Km}$
Dispersión cromática en 1285 – 1330 nm	$\leq 3,5 \text{ ps/nm.Km}$
Dispersión cromática en 1550 nm	$\leq 18,0 \text{ ps/nm.Km}$
Dispersión cromática en 1625 nm	$\leq 22,0 \text{ ps/nm.Km}$
PMD fibra individual	$\leq 0,15 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$
PMDq	$\leq 0,15 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$

5.1.5 Información sobre Subestaciones conectadas por el anillo de fibra.

5.1.5.1 Subestación Norte

La subestación Norte se encuentra ubicada en la ciudad de Loja, en el sector noroccidental, en el barrio Motupe Alto, a una latitud de 3°56'39''S, longitud 79°13'51'' aproximadamente. En cuanto al sistema de comunicaciones se cuenta con un *switch* de 16 puertos de la marca

*DYMEC GARRETT*COM ESS, al cual se conectan los equipos del sistema SCADA y del sistema de vigilancia, como se muestra en la tabla 2. Esta subestación cuenta con el espacio suficiente para la instalación de equipos ya sea de telecomunicaciones o de control.

Tabla 2: Switch S/E Norte

# De Puerto	Conexión	Equipo
P1	Alimentador Motupe	Relé F650
P2	Alimentador Carigan	Relé F650
P3	Alimentador Chuquiribamba	Relé F650
P4	RTU (b)	G.E. Advanced Remote Terminal Unir D20
P5	Alimentador Parque Industrial	Relé F650
P6	Alimentador Saraguro	Relé F650
P7		
P8	Conexión a la S/E Obrapía (Fibra)	Humanity Fiber Media Converter
P9	Conexión a la S/E San Cayetano (Fibra)	Humanity Fiber Media Converter
P10	RTU (a)	G.E. Advanced Remote Terminal Unir D20
P11	LNVR (Lenel Network Video Recorder)	Servidor Inter Core 2 DUO
P12	IDU- Radioenlace direcc. Villonaco	Radio AS3030
P13	Cámara PTZ	Lenel
P14	Cámara Fija	Lenel
P15	Panel de Seguridad	Lenel 2220
P16	Banco de Baterías	UPS Surta 1500XL

5.1.5.2 Subestación Sur

La subestación Sur se encuentra ubicada en la ciudad de Loja, en el sector suroccidental en el barrio Colina Lojanas, a una latitud de 4°01'13''S, longitud 79°01'13'' aproximadamente. En cuanto al sistema de comunicaciones se cuenta con un *switch* de 16 puertos de la marca *Magnum* 6K32TR, al cual se conectan los equipos del sistema SCADA y del sistema de vigilancia, como se muestran en la tabla 3. Esta subestación cuenta con el espacio suficiente para la instalación de equipos ya sea de telecomunicaciones o de control.

Tabla 3: Switch S/E Sur

# De Puerto	Conexión	Equipo
P1	Alimentador Pio Jaramillo	Relé F650
P2	Alimentador Yahuaruna	Relé F650
P3		
P4	IDU-Radioenlace direcc. Centro Control	Radio AS3030
P5	Alimentador Cajanuma	Relé F650
P6	RTU (a)	G.E. Advanced Remote Terminal Unir D20
P7	Alimentador Vilcabamba	Relé F650
P8	Switch RSZ32A	Switch RSZ32A
P9	Alimentador Reserva	Relé F650
P10	Panel de seguridad	Lenel 2220
P11	LNVR (Lenel Network Video Recorder)	Servidor Inter Core 2 DUO
P12	Cámara PTZ	Lenel
P13	Cámara Fija	Lenel
P14	Banco de Baterías	UPS Surta 1500XL
P15	RTU (b)	G.E. Advanced Remote Terminal Unir D20
P16	Switch Magnum 6K32TR	Switch Magnum 6K32TR

5.1.5.3 Subestación San Cayetano

La subestación San Cayetano se encuentra ubicada en la ciudad de Loja, en el barrio San Cayetano, en la intersección de las calles París y Bruselas, a una latitud de 3°59'44,8''S, longitud 79°11'38.6'' aproximadamente. En cuanto al sistema de comunicaciones se cuenta con un *switch* de 24 puertos de la marca *DYMEC GARRETTCOM ESS*, al cual se conectan los equipos del sistema SCADA y del sistema de vigilancia, como se muestran en la tabla 4. Esta subestación cuenta con el espacio suficiente para la instalación de equipos ya sea de telecomunicaciones o de control.

Tabla 4: Switch S/E San Cayetano

# De Puerto	Conexión	Equipo
P1	RTU (b)	G.E. Advanced Remote Terminal Unir D20
P2	Switch Autotrol	Switch RS2329
P3	Medidor Ion 8600	Medidor Ion 8600
P4	IDU-Radioenlace direcc. Centro Control	Radio AS3030
P5		
P6		
P7	Lantronix	Lantronix UDS 1100 INCOM
P8	Conexión S/E Norte (Fibra)	Humanity Fiber Media Converter
P9	Conexión Centro Control (Fibra)	Conexión S/E Norte (Fibra)
P10	Banco de Baterías	UPS Surta 1500XL
P11	Cámara Fija	Lenel
P12	Panel de Seguridad	Lenel 2220
P13	LNVR (Lenel Network Video Recorder)	Servidor Inter Core 2 DUO
P14	Cámara PTZ	Lenel
P15	Cámara Fija 1	Lenel

P16	RTU (a)	G.E. Advanced Remote Terminal Unir D20
P17	Desconectado Cámara PTZ	Lenel
P18-24	Libres	

5.1.5.4 Subestación Obrapía

La subestación Obrapía se encuentra ubicada en la ciudad de Loja, en el sector Obrapía a una latitud de 3°59'51''S, longitud 79°13'13'' aproximadamente. En cuanto al sistema de comunicaciones se cuenta con un *switch* de 16 puertos de la marca *DYMEC GARRETT* *COM ESS*, al cual se conectan los equipos del sistema SCADA y del sistema de vigilancia, como se muestran en la tabla 5. Esta subestación cuenta con el espacio suficiente para la instalación de equipos ya sea de telecomunicaciones o de control.

Tabla 5: Switch S/E Obrapía

# De Puerto	Conexión	Equipo
P1	RTU (a)	G.E. Advanced Remote Terminal Unir D20
P2	Alimentador Trafo 1	Relé 650
P3	Alimentador Trafo 2	Relé 650
P4		
P5	Switch 3com	Switch 3com
P6	Cámara PTZ 2	Lenel
P7	Conexión S/E Obrapía (Fibra)	Humanity Fiber Media Converter
P8	Radio direcc. Rep. Miraflores	Radio AS3030
P9	RTU (b)	G.E. Advanced Remote Terminal Unir D20
P10	Switch Autotrol	Switch RS232
P11	Conexión S/E Norte (Fibra)	Humanity Fiber Media Converter
P12	Banco de Baterías	UPS Surta 1500XL
P13	Panel seguridad	Lenel 2220

P14	LNVR (Lenel Network Video Recorder)	Servidor Inter Core 2 DUO
P15	Cámara PTZ 1	Lenel
P16	Cámara Fija	Lenel

5.1.5.5 Centro de Control

El Centro de Control se encuentra ubicado en el centro de la ciudad de Loja en las calles Olmedo e Imbabura, a una latitud de 3°59'26,5''S, longitud 79°11'53'' aproximadamente, aquí no se cuenta con un banco de baterías. En cuanto al sistema de comunicaciones se cuenta con un *switch* de 24 puertos de la marca *DYMEC GARRETT COM ESS*, al cual se conectan los equipos del sistema SCADA y del sistema de vigilancia, como se muestran en la tabla 6. Esta subestación cuenta con el espacio suficiente para la instalación de equipos ya sea de telecomunicaciones o de control.

Tabla 6: Switch Centro de Control.

# De Puerto	Conexión	Equipo
P1		
P2	Radio direcc. el Pangui	Radio AS3030
P3	Conexión S/E Sur (fibra)	Humanity Fiber Media Converter
P4	Radio direcc. S/E Sur	Radio AS3030
P5	Conexión S/E San Cayetano (fibra)	Humanity Fiber Media Converter
P6	Radio direcc. San Cayetano	Radio AS3030
P7	Conexión S/E Obrapía (fibra)	Humanity Fiber Media Converter
P8	Radio direcc. Miraflores	Radio AS80i
P9	Chahuarpamba EC Telconet	
P10	Zumba	
P11		
P12	Radio direcc. Villonaco	Radio AS3030
P13	Radio direcc. Villonaco	Radio AS3030

P14	Palanda	
P15	Red WorkStation	
P16		
P17	Firewall PTO	Firewall ASA5505
P18	Nuevo	
P19	Servidor LNL 01	
P20	Panel de Seguridad	Lenel 2220
P21	LNVR-01	
P22		
P23		
P24	D-COM	

5.2 Diseño y simulación de la red MPLS

5.2.1 Análisis de ancho de banda requerido

Para determinar el ancho de banda necesario en cada una de las subestaciones se deberán tener en cuenta datos de control, monitoreo y de alarmas, estos se los representara mediante datos análogos, datos digitales y datos de control, cada uno representa una medición diferente por lo tanto cada uno ocupa un ancho de banda diferente.

En la tabla 7 se muestra los datos que maneja cada una de las subestaciones.

Tabla 7: Datos en cada subestación

Subestación	Datos Análogos	Datos Digitales	Datos de control
Centro de Control	20	25	10
Norte	614	1216	634
Sur	614	1214	634
Obrapía	1796	2304	512
San Cayetano	1796	2304	512

- ✓ Datos Análogos: Estos datos involucran todas las señales en donde se realiza la medición de voltajes, corrientes, potencia activa y reactiva. El ancho de banda que requieren estos datos depende de la resolución que se desee obtener. Para conocer el número bits se utiliza la siguiente formula que se encuentra en función de la resolución y la cifra máxima a medir.

$$n = \frac{\log(Cifra\ max) - \log(resolución)}{\log(2)} \quad (1)$$

Siendo;

$$n = \text{número de bits}$$

En el caso del presente diseño se utiliza como cifra máxima a medir 1000000 y una resolución de 0.01.

$$n = \frac{\log(1000000) - \log(0.01)}{\log(2)} \quad (2)$$

$$n = 26.57 = 27\ bits$$

Por lo tanto para obtener el número de bits necesarios para representar los datos analógicos se utiliza la siguiente formula

$$Na = (\text{número de datos análogos}) * 27\ bits \quad (3)$$

- ✓ Datos Digitales: Estos datos son aquellas señales que se encargan del monitoreo de estado de reles, interruptores y seccionadores. Estas señales poseen 4 estados: Abierto, Cerrado Viaje y Mal funcionamiento y se pueden representar en 4 bits así como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8: Estado de datos digitales

BIT	BIT	ESTADO
0	0	Abierto

0	1	Cerrado
1	0	Viaje
1	1	Mal funcionamiento

Por lo tanto para obtener el número de bits necesarios para representar los datos digitales se utiliza la siguiente formula

$$Nd = (\text{número de datos análogos}) * 2 \text{ bits} \quad (4)$$

- ✓ Datos de Control: Son todas las señales que son enviadas desde la central hacia la subestación, estas se las utiliza para abrir o cerrar interruptores y seccionadores, por tener solamente dos estados se los puede representar con 1 bit, así como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9: Estados datos de control

BIT	ESTADO
0	Abierto
1	Cerrado

Por lo tanto para obtener el número de bits necesarios para representar los datos de control se utiliza la siguiente formula:

$$Nc = (\text{número de datos de control}) * 1 \text{ bits} \quad (5)$$

Con la utilización de la siguiente formula se obtiene el número total de bits (Ntd) requeridos en cada subestación así como se muestra en la tabla 10.

$$Ntd = Na + Nd + Nc \quad (6)$$

Tabla 10: Numero de bits requeridos por cada subestación

Subestación	Datos Análogos	Datos Digitales	Datos de control	Na (bits)	Nd (bits)	Nc (bits)	Ntd (bits)
Centro de Control	20	25	10	540	50	10	600
Norte	614	1216	634	16578	2432	634	19644
Sur	614	1214	634	16578	2428	634	19640
Obrapía	1796	2304	512	48492	4608	512	53612
San Cayetano	1796	2304	512	48492	4608	512	53612

Se ha dispuesto que las señales pueden ser monitoreadas con una frecuencia de 12 Hz por segundo, el ancho de banda necesario para los datos de control (ABdac) se lo puede encontrar mediante la siguiente formula y se mostrara en la tabla 11.

$$ABdac = Ntd * 12 (bps) \quad (7)$$

Tabla 11: Ancho de banda para datos digitales, analógicos y de control

Subestación	Datos Análogos	Datos Digitales	Datos de control	Ntd (bits)	ABdac bps	ABdac Kbps
Centro de Control	20	25	10	600	7200	7,03125
Norte	614	1216	634	19644	235728	230,203125
Sur	614	1214	634	19640	235680	230,15625
Obrapia	1796	2304	512	53612	643344	628,265625
San Cayetano	1796	2304	512	53612	643344	628,265625

- ✓ Datos de intrusos: El sistema de vigilancia incluye los sensores de humo, movimiento y de control acceso estos generan señales de alerta que se los considerara como datos

de intrusos, estas señales poseen 2 estados como se muestra en la tabla 12, por lo tanto se pueden representar con un bit.

Tabla 12: Estado de datos de intrusos

BIT	ESTADO	ESTADO
0	Normal	Normal
1	Intruso	Fuego

Como no se puede conocer el número de señales de alerta que generará todo el sistema de seguridad se ha destinado un ancho de banda específico (ABa) de 2 Kbps para todo este tipo de señales. Además para todas las señales adicionales que se generen se ha destinado un ancho de banda de guarda (ABg) de 6 Kbps. En la tabla 13 se puede mostrar todos estos valores además del ancho de banda total de datos (ABtd) que se lo encuentra mediante la siguiente formula.

$$ABtd = ABa + ABg + ABdac \quad (8)$$

Tabla 13: Ancho de banda total de datos en cada subestación

Subestación	Ntd (bits)	ABdac Kbps	ABg Kbps	Aba Kbps	ABt Kbps
Centro de Control	600	7,03125	2	6	15,03125
Norte	19644	230,203125	2	6	238,203125
Sur	19640	230,15625	2	6	238,15625
Obrapia	53612	628,265625	2	6	636,265625
San Cayetano	53612	628,265625	2	6	636,265625

- ✓ Ancho de banda para audio: Para determinar el ancho de banda necesario se utiliza el estándar G.711 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), el cual es utilizado principalmente en telefonía. Como se conoce el audio en un principio es analógico, para lograr digitalizarlo lo que se hace es muestrear y luego codificar la señal de audio. El ancho de banda que ocupa la voz es de 0 a 4 KHz, luego se emplea

el teorema que nos dice que para recuperar la información con la calidad original se debe tomar muestras de la señal al menos al doble de frecuencia máxima, es este caso al doble de 4KHz, es decir se debe tomar el valor de la señal a 8 KHz, o 8000 veces por segundo.

Ya que se obtuvo la muestra de la señal se puede codificar asignando un código al valor de la muestra, en este caso asignaremos el código de 8 bits. Esto implica que 8000 muestras/segundo x 8 bits/muestra sea igual a 64 Kbps. Por lo tanto el ancho de banda designado para el audio es de 64 Kbps y se denominará AB audio, como se muestra en la tabla 14.

- ✓ Ancho de banda para video: Para video se utiliza un ancho de banda de 256 Kbps, este permitirá enviar una señal de video de buena calidad para las aplicaciones de video vigilancia. Se ha destinado este ancho de banda debido a que en un sistema de video conferencia se utiliza un ancho de banda de 128 Kbps diferenciando que esta señal es en los dos sentidos, y en este caso solamente se tiene de subida de las subestaciones hacia el centro de control.

En la tabla número 14 se muestra el ancho de banda necesario para poder operar en cada una de las subestaciones (ABn).

Tabla 14: Ancho de banda necesario por cada subestación

Subestación	Ntd (bits)	ABt Kbps	ABaudio Kbps	ABvideo Kbps	ABn Kbps
Centro de Control	600	15,03125	64	256	335,03125
Norte	19644	238,203125	64	256	558,203125
Sur	19640	238,15625	64	256	558,15625
Obrapía	53612	636,265625	64	256	956,265625
San Cayetano	53612	636,265625	64	256	956,265625

Se sobredimensionara en un 20 % el ancho de banda necesario para de esta manera poder obtener mayor flexibilidad y calidad en la implementación de otras aplicaciones o servicios necesarios en cada subestación a este ancho de banda se lo denominara ancho de banda de

guarda (ABg). El ancho de banda final se obtendrá de la suma del ancho de banda necesario y de guarda así como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15: Ancho de banda final de cada subestación

Subestación	Ntd (bits)	ABn Kbps	20%ABn Kbps	ABf
Centro de Control	600	335,03125	67.00625	402.0375
Norte	19644	558,203125	111.640625	669.84375
Sur	19640	558,15625	111.63125	669.7875
Obrapia	53612	956,265625	191.253125	1147.51875
San Cayetano	53612	956,265625	191.253125	1147.51875

5.2.2. Diseño de la Red MPLS según los requerimientos.

5.2.2.1 Requerimientos.

En la figura 11 se presenta un bosquejo del diseño de la red MPLS que se implementará en un futuro sobre el anillo de fibra que une las subestaciones de la ciudad de Loja con el Centro de Control.

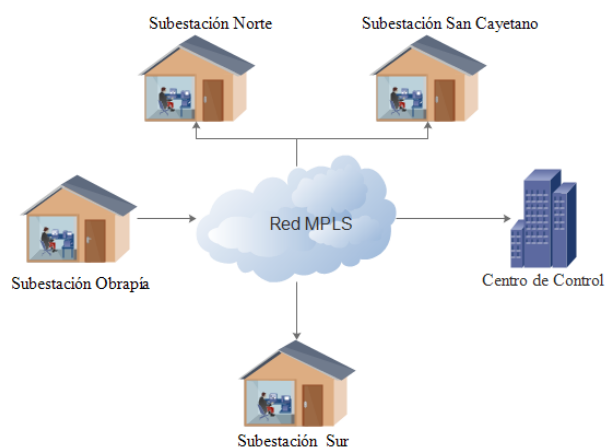


Figura 11: Diseño Propuesto de la Red MPLS

El diseño de red MPLS estará conformada por 5 *routers* que se colocaran en cada una de las subestaciones, cada uno deberá contar con las siguientes características físicas importantes:

- Manejar el protocolo MPLS
- Manejar protocolos de enrutamiento OSPF y BGP.
- 2 puertos *Gigabit Ethernet*.
- 2 puertos *Fast Ethernet*.

5.2.2.2 Elección de Equipos.

Para realizar la implementación de la tecnología MPLS dentro de la red de la EERSSA se necesita tener en consideración los equipos a utilizarse, los cuales deben ofrecer una alta calidad, capaz de soportar todas las características que esta tecnología posee, sin que se exceda en el costo y que permita tener una arquitectura escalable que adapte altos estándares de seguridad. Teniendo en cuenta todos estos parámetros y características físicas importantes, los equipos que se seleccionaron fueron los enrutadores *Cisco Integrated Services Routers* de la serie 2900, específicamente el *router 2921*, se muestran en la figura 12.

- ✓ Routers Cisco ISR 2921



Figura 12: Routers Cisco Serie 2900 [4]

Tabla 16: Especificaciones técnicas del router Cisco 2921

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Marca	Cisco
Serie	2921
Memoria RAM	512MB
Fuentes de Alimentación	100 - 240VCA, 3,4 – 1,4 A, 47 – 63Hz
Potencia eléctrica máxima	320 W

Beneficios	<p>Agilidad en la red</p> <p>Eficiencia energética</p> <p>Integración de los servicios</p> <p>Alto rendimiento</p>
Paquetes y licencias de software Cisco	<p>IP Base</p> <p>Data</p> <p>Unified Communications</p> <p>Security (SEC)</p>
Protocolos	<p>IPv4, IPv6, rutas estáticas, OSPF, EIGRP, BGP, BGP, IS-IS IGMPv3, PIM SM, PIM-SSM, DVMRP, IPsec, GRE, BVD, multidifusión IPv4 a IPv6, MPLS, L2TPv3, 802.1ag, 802.3ah, VPN de capas 2 y 3.</p>
Encapsulaciones	<p>Ethernet, VLAN 802.1q, PPP, MLPPP, Frame Relay, MLFR, HDLC, serie (RS-232, RS-449, X.21, V.35 y EIA-530), PPPoE y ATM.</p>
Administración del tráfico	<p>QoS, CBWFQ (mecanismo de cola de espera equitativo y ponderado basado en clases), WRED (detección temprana aleatoria y ponderada), QoS jerárquica, PBR (routing basado en políticas), PfR (routing de alto rendimiento) y NBAR (routing avanzado con base en la red).</p>

Tabla 17: Especificaciones físicas del router Cisco 2921

ESPECIFICACIONES FÍSICAS	
Dimensione	88,9 x 438,2 x 469,9 mm
Factor de forma	2 U
Rango de temperatura de funcionamiento	32 – 104 °F

Peso	13,2 kg
Potencia eléctrica máxima	320 W
Puertos WAN 10/100/1000 integrados	3
Puertos basados en RJ-45	3
Puertos basados en SFP	1
Ranuras para módulos de servicio	1
Ranuras para módulos de servicio de doble ancho	1
Ranuras para EHWIC	4
Ranuras para ISM	1
Ranuras para DSP	3
Fuentes de alimentación	CA, PoE y CC

- ✓ Conector de fibra óptica SC/APC monomodo de 3,0 mm

Un elemento que debe tenerse en cuenta son los conectores que se utilizan para la conexión de la fibra óptica, en este caso se ha decidido utilizar los conectores tipo SC, que suele utilizarse en conmutadores de tipo *Gigabit Ethernet*, por su forma ayudan a que existan menos posibilidades de desfases, además brindan beneficios como la fiabilidad y a un costo económico. Los conectores de fibra óptica tipo SC con pulido APC y monomodo de 3,0 mm se muestra en la figura 13:



Figura 13: Conector de fibra optica SC/APC de 3,0 mm [5]

Tabla 18: Especificaciones técnicas: conector de fibra optica SC/APC de 3,0 mm

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Material	Plástico según UL
Tipo de ferrule Monomodo	PC
Tipo de ferrule APC	Step or Conical
Diametro Interno Ferrule (um)	127
Diametro Interno Ferrule (um) APC	125
Diametro Interno Capuchón (um)	0,9 -2,0 -2,4 -3,0
Diametro Externo Ferrule (um)	2,5
Pérdida de inserción	<0,3dB
Pérdida de retorno pulido PC	54dB
Pérdida de retorno pulido APC	65dB
Repetibilidad	0,2dB
Diámetro de cable	0,9 – 1,6 -2,4 – 3,0
Temperatura	-40°C a +80°C

✓ Costos de instalación

Par tener un valor aproximado del costo que tendría la implementación de este diseño se lo ha calculado teniendo en cuenta: equipos, recursos humanos y mantenimiento.

Tabla 19: Costos de equipos

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
5	Routers Cisco ISR 2921	2500	12500
10	Conector de fibra óptica SC/APC monomodo de 3,0 mm	2,68	26,68
	Total		12526,68

Tabla 20: Costo de instalación

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
5	Instalación Routers Cisco ISR 2921	800	4000

Tabla 21: Costos de mantenimiento

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
5	Mantenimiento Routers Cisco ISR 2921	200	1000

Tabla 22: Costo total

Tipo de Costo	Precio Total
Costo de equipos	12526,68
Costo de instalación	4000
Costo de mantenimiento	1000
Total	\$17526,68

5.2.2.3 Enrutamiento.

- ✓ Implementación de una interfaz *loopback*.

Se configura una dirección *loopback* en cada uno de los *routers* debido a que brinda un método seguro y estable de manejar el enrutador ya que se trata de una interfaz fija, proporciona un mejor control del *router* porque ayuda a que todo el tráfico que es creado por el *router* sea leído por la misma IP, además asegura no perder las sesiones OSPF y BGP ya que las interfaces de *loopback* son interfaces lógicas, así que no generaran un problema físico. Para la implementación de una dirección *loopback* en un *router* Cisco se utilizan los siguientes comandos:

Router# configure terminal

Router(config)# interface loopback <tipo y número de la interfaz>

Router(config-if)# ip address <dirección IP> <máscara>

✓ Configuración básica de OSPF

Se utiliza el protocolo de enrutamiento dinámico OSPF sobre la red MPLS, este protocolo ayudará a determinar las rutas para el tráfico IP dentro de la red, los comandos utilizados para configurar OSPF dentro de *router* Cisco son:

Router# configure terminal

Router(config)# router ospf 1

Router(config)# network <dirección IP> <wildcard-mask> <área-id>

Para comprobar el estado de OSPF así como las adyacencias se utiliza los siguientes comandos:

Router# show ip ospf interface

Router# show ip ospf neighbors

✓ Configuración de BGP

La necesidad de configurar un protocolo del tipo BGP sobre MPLS es con el fin de que en un futuro se requiera crear servicios de redes privadas virtuales sobre MPLS, caso contrario simplemente se podría implementar una red MPLS directamente con el protocolo de enrutamiento OSPF. Para la configuración de BGP se utiliza los siguientes comandos.

Router# configure terminal

Router(config)# router bgp <número de proceso BGP>

En la línea de comando donde se requiere el número de proceso BGP se configura el sistema autónomo en el que se quiere que BGP converse, por lo general se utiliza 65000 para pruebas.

En cada pareja de routers vecinos se debe establecer las adyacencias, en uno de los *routers* se indica al *router* vecino y se le pide que actualice el ruteo mediante la interfaz de *loopback*, se utiliza los siguientes comandos:

```
Router(config-router)# neighbor <dirección IP de la interfaz del router vecino> remote-as  
<número de proceso BGP>
```

```
Router(config-router)# neighbor <dirección IP de la interfaz del router vecino> update-  
source loopback <número de la interfaz>
```

En el router vecino se le indicara que actualice el ruteo mediante la interfaz de *loopback*.

```
Router(config-router)# neighbor <dirección IP de la interfaz de loopback del router vecino>  
remote-as <número de proceso BGP>
```

Para verificar el estado y funcionamiento de BGP se utiliza los siguientes comandos:

```
Router# show ip bgp neighbors
```

```
Router# show ip bgp summary
```

Los comandos anteriores muestran los routers vecinos a diferencia que el primer comando muestra información sobre esta relación y el segundo muestra el estado en el que se encuentran.

Para resetear las sesiones BGP ya establecidas se utiliza:

```
Router# clear ip bgp
```

✓ Configuración de MPLS

Ya que se cuenta con los protocolos de enrutamiento configurados en cada uno de los *routers*, se puede habilitar las características MPLS en los *routers*, el primer paso es configurar el CEF (*Cisco Express Forwarding*) estas son un conjunto de funcionalidades que utilizan todos los equipos *Cisco* que requieren trabajar bajo la tecnología MPLS, utilizamos los siguientes comandos:

```
Router# configure terminal
```

Router(config)# ip cef

Router# show ip cef summary Para comprobar la activación de CEF

Luego lo que se hace es activar el protocolo MPLS en cada uno de los routers por donde se vayan a comunicar mediante esta tecnología.

Router(config)# interface <tipo y número de la interfaz>

Router(config-if)# mpls ip

Router(config-if)# mpls label protocol ldp

Para realizar la verificación del funcionamiento de MPLS se utiliza los siguientes comandos:

Para mostrar las interfaces en las que se encuentra funcionando MPLS:

Router# show mpls interfaces

Para mostrar los parámetros que utiliza el protocolo en *router*:

Router# show mpls ldp parameters

Para mostrar los *routers* vecinos:

Router# show mpls ldp neighbor

Para mostrar la tabla de etiquetas:

Router# show mpls ldp binding

Para mostrar la tabla de *forwarding*:

Router# show mpls forwarding-table

5.2.2.4 Propuesta adicional

- ✓ VLAN (Red de Área Local Virtual)

La implementación de vlans en cada subestación permitirá agrupar de manera lógica los distintos sistemas, dentro de un mismo lugar físico logrando de esta manera reducir los dominios de *broadcast*⁹, y facilitando la administración de los grupos lógicos.

En el caso del diseño presentado se ha propuesto dividir los Sistemas de Comunicación, SCADA y Vigilancia, en 3 redes virtuales, de esta manera se podría hacer una red aún más segura utilizando los equipos que ya se encuentran instalados. Se proponen agruparlas de la siguiente manera:

✓ VLAN 2

Conformado por los equipos del sistema SCADA.

✓ VLAN 3

Conformado por los quipos del sistema de Comunicaciones.

✓ VLAN 4

Conformada por los equipos del sistema de Vigilancia y Seguridad.

Para crear las vlans se utilizara esta configuración dentro de cada switch:

Switch #enable

Switch #vlan database

Switch #vlan <número de vlan> name <nombre de vlan>

Para asignar las vlans a las interfaces se utilizara la siguiente configuración:

Switch# configure terminal

Switch (config)# interface o interface range <tipo y número de la interfaz>

Switch (config-if)# no shutdown

⁹ Dominio de Broadcast: Agrupación de un grupo de usuarios en una red conmutada, sin importar su localización física.

Switch (config-if)# switchport access vlan <número de vlan>

Para lograr tener comunicación entre todas las vlans se habilitara interfaces de modo *trunk* para ello se utilizara la siguiente configuración en cada *switch*:

Switch# configure terminal

Switch (config)# interface o interface range <tipo y número de la interfaz>

Switch (config-if)# no shutdown

Switch (config-if)# switchport mode trunk

Switch (config-if)# switchport trunk allowed vlan <número de vlans>

La configuración que se utilizara en el *router* para lograr tener comunicación entre las vlans de toda la red, es la siguiente:

Router# config terminal

Router (config)# interface <tipo y número de la interfaz>.<número de vlan>

Router (config-if)# encapsulation dot1Q <número de vlan>

Router (config-if)# ip address <dirección IP> <máscara>

5.2.2.5 Propuesta de Direcciones IP.

A continuación se detallara una propuesta de direcciones IP con su respectiva mascara, que se podrán configurar en los distintos equipos que se muestran en la figura 14, donde se puede observar las interfaces donde se configura las distintas direcciones.

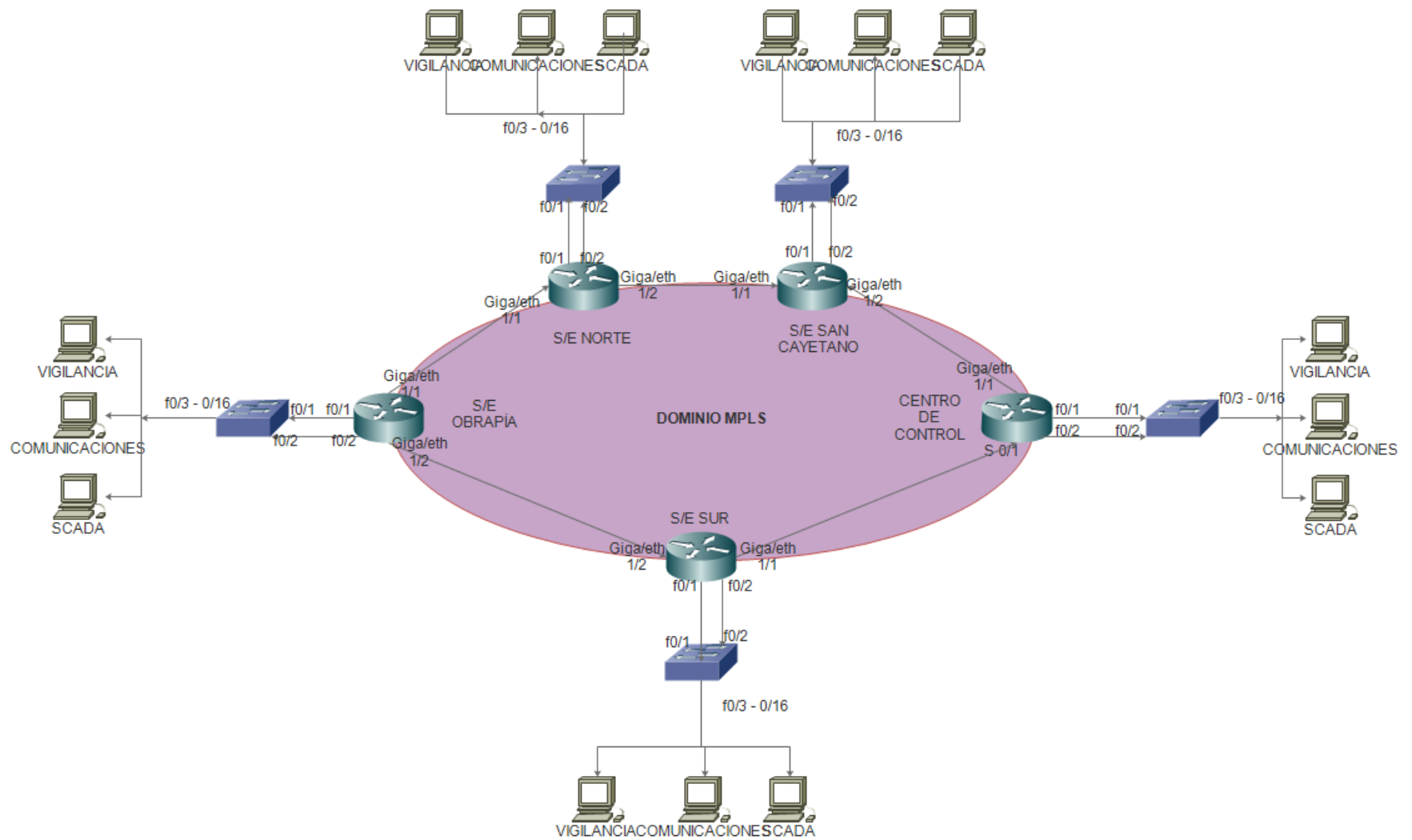


Figura 14: Diseño de red MPLS para EERSSA [6]

Tabla 23: Direcciones IP del Router S/E Sur

Interfaz	Dirección IP	Mascara
Giga Ethernet 1/2	10.0.0.1	255.255.255.252
Giga Ethernet 1/1	10.0.0.18	255.255.255.252
Loopback	5.5.5.5	255.255.255.0
Fast Ethernet 0/1	192.168.60.1	255.255.255.252
Fast Ethernet 0/2	192.168.60.5	255.255.255.252

Tabla 24: Direcciones IP Router S/E Obrapía

Interfaz	Dirección IP	Mascara
Giga Ethernet 1/2	10.0.0.2	255.255.255.252
Giga Ethernet 1/1	10.0.0.6	255.255.255.252
Loopback	1.1.1.1	255.255.255.0
Fast Ethernet 0/1	192.168.60.9	255.255.255.252
Fast Ethernet 0/2	192.168.60.13	255.255.255.252

Tabla 25: Direcciones IP Router S/E Norte

Interfaz	Dirección IP	Mascara
Giga Ethernet 1/2	10.0.0.10	255.255.255.252
Giga Ethernet 1/1	10.0.0.5	255.255.255.252
Loopback	2.2.2.2	255.255.255.0
Fast Ethernet 0/1	192.168.60.17	255.255.255.252
Fast Ethernet 0/2	192.168.60.21	255.255.255.252

Tabla 26: Direcciones IP Router S/E San Cayetano

Interfaz	Dirección IP	Mascara
Giga Ethernet 1/2	10.0.0.13	255.255.255.252
Giga Ethernet 1/1	10.0.0.9	255.255.255.252
Loopback	3.3.3.3	255.255.255.0

Fast Ethernet 0/1	192.168.60.25	255.255.255.252
Fast Ethernet 0/2	192.168.60.29	255.255.255.252

Tabla 27: Direcciones IP del Router Centro de Control

Interfaz	Dirección IP	Mascara
Giga Ethernet 1/2	10.0.0.17	255.255.255.252
Giga Ethernet 1/1	10.0.0.14	255.255.255.252
Loopback	4.4.4.4	255.255.255.0
Fast Ethernet 0/1	192.168.60.33	255.255.255.252
Fast Ethernet 0/2	192.168.60.37	255.255.255.252

Una propuesta adicional es la implantación de *Vlans* dentro de cada subestación para lo que también se plantea un direccionamiento IP.

Tabla 28: Direcciones IP de la S/E Sur

VLAN	Red	Mascara
Vigilancia	192.168.20.0	255.255.255.248
SCADA	192.168.101.0	255.255.255.248
Comunicaciones	192.168.30.0	255.255.255.248

Tabla 29: Direcciones IP de la S/E Obrapía

VLAN	Red	Mascara
Vigilancia	192.168.20.8	255.255.255.248
SCADA	192.168.101.8	255.255.255.248
Comunicaciones	192.168.30.8	255.255.255.248

Tabla 30: Direcciones IP de la S/E Norte

VLAN	Red	Mascara
Vigilancia	192.168.20.16	255.255.255.248
SCADA	192.168.101.16	255.255.255.248

Comunicaciones	192.168.30.16	255.255.255.248
-----------------------	---------------	-----------------

Tabla 31: Direcciones IP de la S/E San Cayetano

VLAN	Red	Mascara
Vigilancia	192.168.20.24	255.255.255.248
SCADA	192.168.101.24	255.255.255.248
Comunicaciones	192.168.30.24	255.255.255.248

Tabla 32: Direcciones IP del Centro de Control

VLAN	Red	Mascara
Vigilancia	192.168.20.32	255.255.255.248
SCADA	192.168.101.32	255.255.255.248
Comunicaciones	192.168.30.32	255.255.255.248

5.2.2.5 Diseño Final.

El diseño final de la red MPLS tiene configurado OSPF como protocolo de enrutamiento en los 5 *routers*, lo que permitirá que los routers conozcan la topología de la red MPLS, además en todos los *routers* se configuró una interfaz *loopback* que servirá como identificador de *router* .

En cada una de las subestaciones se configuró Vlan para facilitar la administración de la red y disminuir el tráfico. El diseño final de la MPLS que se implementará en un futuro sobre el anillo de fibra de EERSSA se lo puede observar en la figura 15.

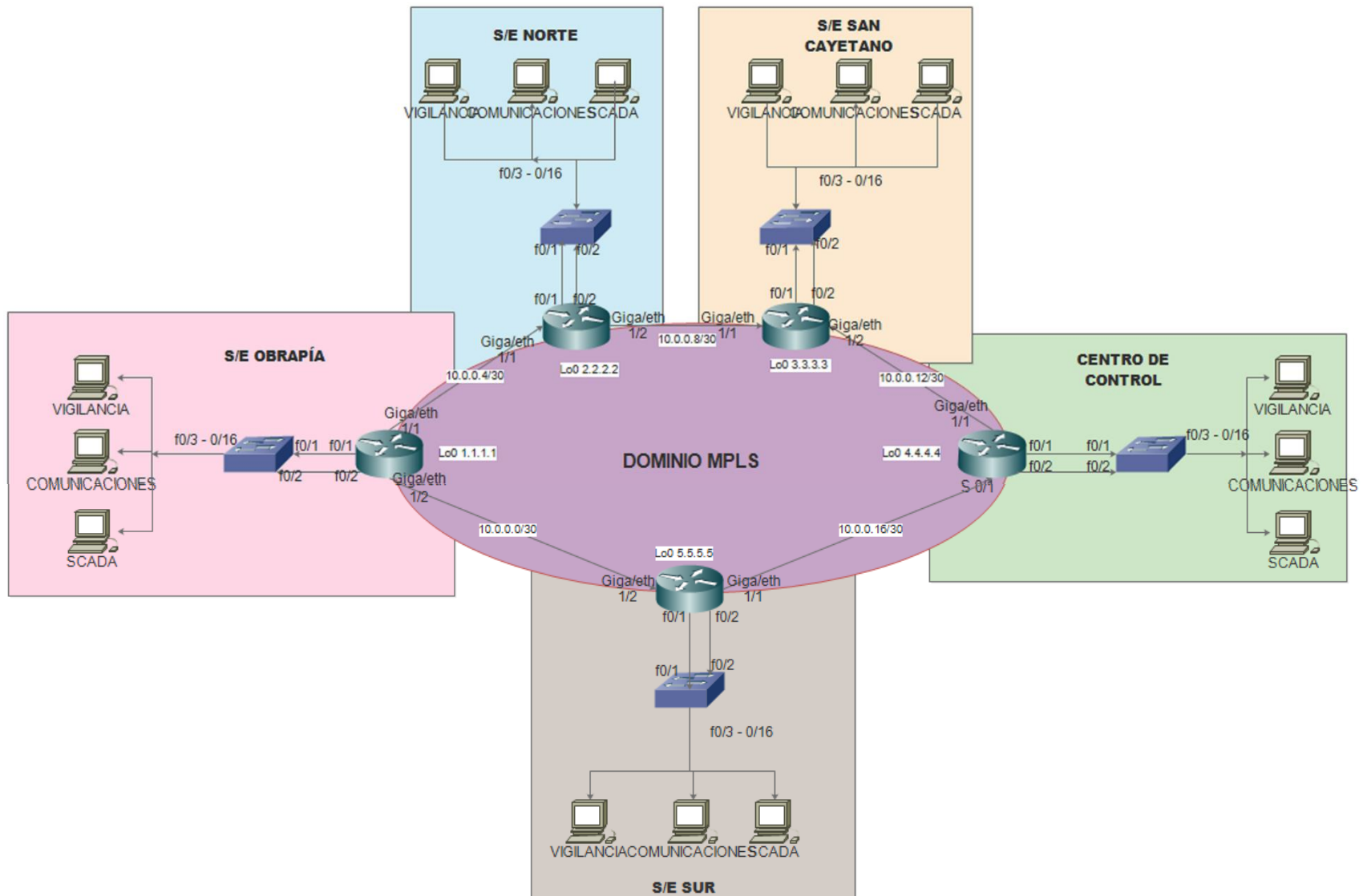


Figura 15: Diseño final red MPLS [6]

5.2.3. Simulación

5.2.2.1 Paquetes de Software Utilizados

✓ GNS3

El software que se utilizara para realizar la simulación de la red MPLS es GNS3 (Graphical Network Simulator o Simulador Grafico de Redes), el cual permite simular el diseño de una topología de red muy parecido a la realidad sin la necesidad de implementar hardware, es decir un diseño virtual realizando simulaciones.

Lo que básicamente hace GNS3 es permitir ver el funcionamiento de una red ya sea LAN o WAN, lo que logra mediante la configuración de unidades virtuales como routers, switches, hosts, máquinas virtuales, entre otras. Todos los dispositivos disponibles para simular cuenta con una característica especial y es que están vinculados con Dynamips que permite utilizar el software real de todos los dispositivos para ser simulados de manera virtual.

GNS3 es un software muy popular dentro del campo de las redes y de igual manera es utilizado por grandes corporaciones, y personas que desean adquirir las certificaciones de CCNA, CCNP y CCIE. Además es un software completamente gratuito que se encuentra constantemente actualizando, realizando mejoras y es multiplataforma.

✓ Packet Tracer.

En el caso de las simulaciones de la red LAN dentro de cada subestación se realizara mediante Packet Tracer de Cisco, este es un software de simulación de redes creado por la compañía Cisco System, Inc., que es muy utilizado para la simulación de prácticas en los cursos de formación Cisco.

Permite que los usuarios creen topologías de red, configuren equipos y simulen de una manera muy didáctica e interactiva ya que posee múltiples representaciones visuales, posee un gran número de dispositivos de la marca Cisco y permite enfocarse en todos los protocolos que se enseñan dentro de la certificación CCNA.

5.2.2.2 Desarrollo de las Simulaciones

✓ Dominio MPLS

El dominio MPLS corresponde a la red WAN que enlazará las 4 subestaciones de la Ciudad de Loja con el centro de control mediante el anillo de fibra óptica, esta red estará en la capacidad de soportar flujo de datos de monitoreo y control de equipos y alarmas de seguridad, en ambas direcciones que permita interactuar con el sistema de vigilancia, sistema SCADA y de comunicaciones ubicado en el centro de control desde las subestaciones, y algunos otros servicios o aplicaciones que se desee implementar a un futuro.

Para realizar la simulación de la Red MPLS se utilizan 5 routers del tipo c3725, estos cuentan con las características necesarias para soportar la tecnología MPLS aunque no cuentan con puertos *Giga Ethernet* por esta razón se utiliza los puertos *Fast Ethernet* que nos permiten realizar las mismas funciones, luego las se cableara y colocara un nombre a cada uno así como lo muestra la figura 16, además se ubicara las direcciones ip que se utilizara en cada uno de los puertos y para todos se establecerá una máscara de subred 255.255.255.252 la que permite tener 2 direcciones ip utilizables, de igual manera se utilizara direcciones *loopback* en cada router.

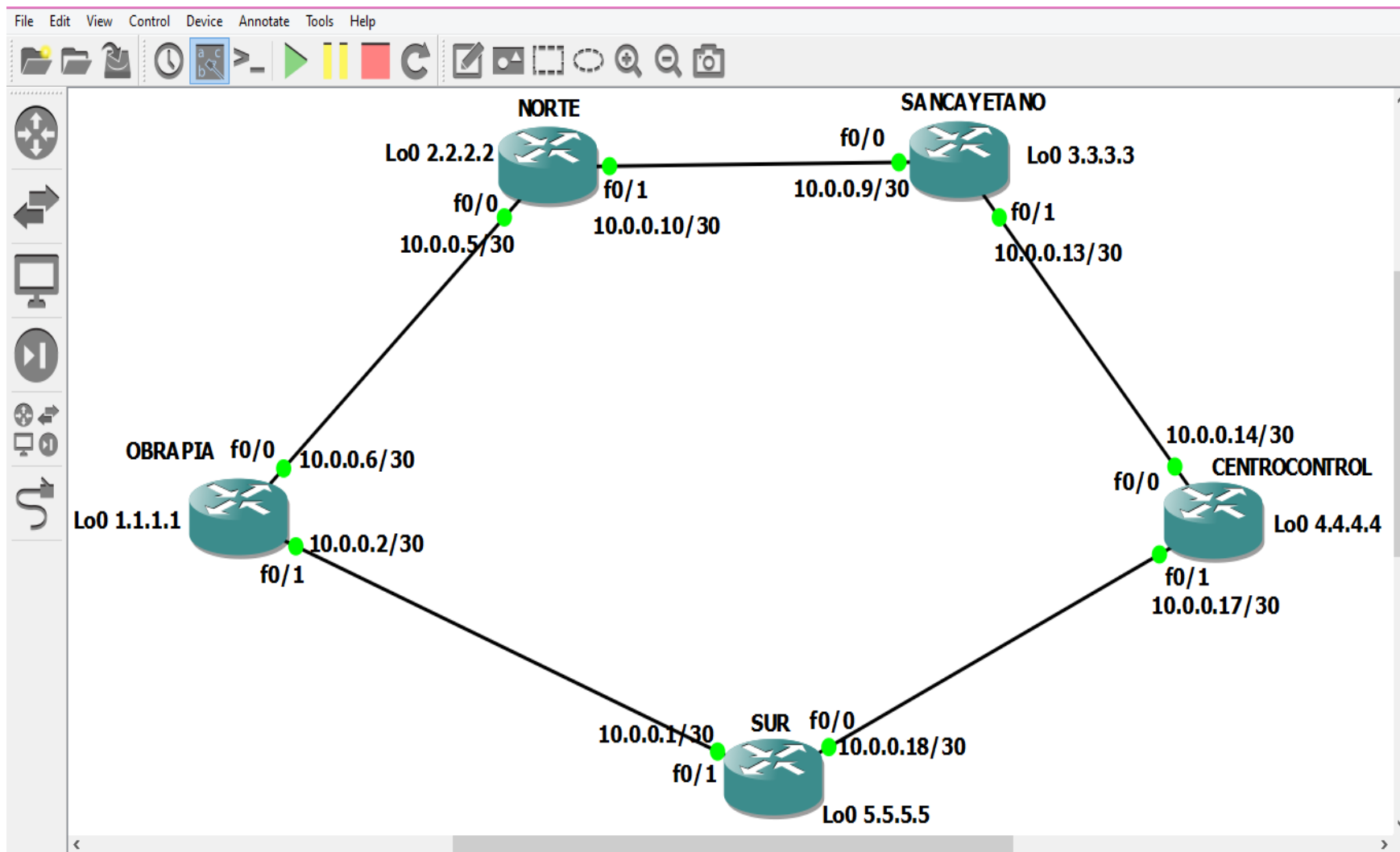


Figura 16: Topología de red levantada en GNS3

Luego de encender todos los equipos ya se habra levantado nuestra topología y se procedera a acceder a cada uno de los *routers* para realizar la respectiva configuración, en los 5 *routers* se realizara la misma configuración así que se tomara como ejemplo el *router* de la subestación Obrapia.

Lo primero que se realiza es el direccionamiento y para lograrlo se ingresa a cada interfaz y se coloca la dirección ip, máscara de subred y la dirección de *loopback* correspondientes así como se muestra en las figura 17; para lograrlo se utilizara la siguiente configuración.

```
OBRAPIA#conf t
```

```
OBRAPIA(config)#int f0/0
```

```
OBRAPIA(config-if)#ip address 10.0.0.6 255.255.255.252
```

```
OBRAPIA(config-if)#no shutdown
```

```
OBRAPIA(config-if)#int lo0
```

```
OBRAPIA(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
```

```
OBRAPIA(config-if)#int f0/1
```

```
OBRAPIA(config-if)#ip address 10.0.0.2 255.255.255.252
```

```
OBRAPIA(config-if)#no shutdown
```

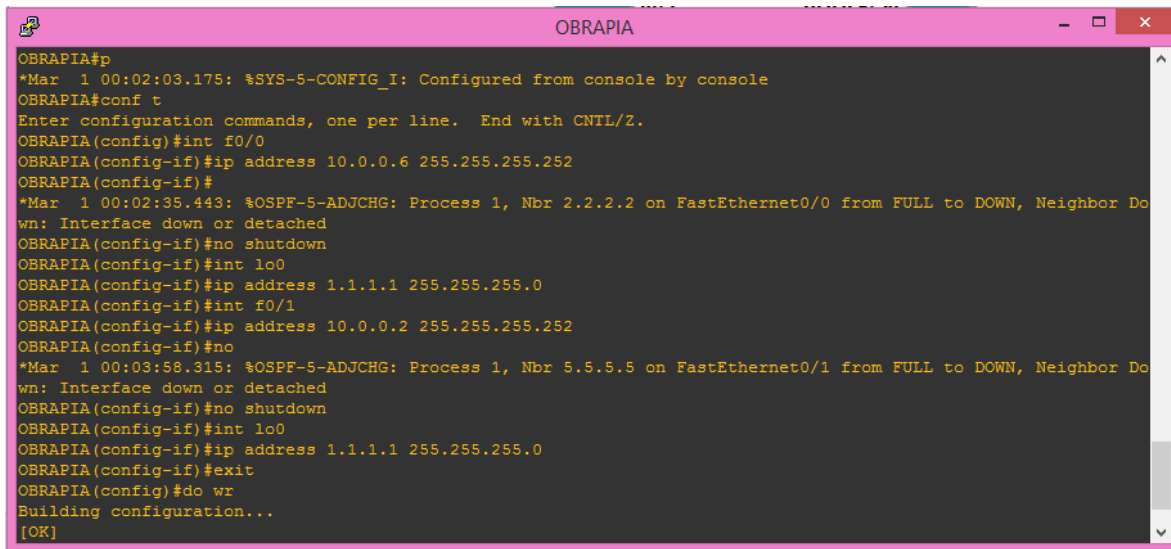
```
OBRAPIA(config-if)#int lo0
```

```
OBRAPIA(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
```

```
OBRAPIA(config-if)#exit
```

```
OBRAPIA(config)#do wr
```

```
OBRAPIA(config)#exit
```



```
OBRAPIA#p
*Mar 1 00:02:03.175: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
OBRAPIA#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
OBRAPIA(config)#int f0/0
OBRAPIA(config-if)#ip address 10.0.0.6 255.255.255.252
OBRAPIA(config-if)#
*Mar 1 00:02:35.443: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on FastEthernet0/0 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
OBRAPIA(config-if)#no shutdown
OBRAPIA(config-if)#int lo0
OBRAPIA(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
OBRAPIA(config-if)#int f0/1
OBRAPIA(config-if)#ip address 10.0.0.2 255.255.255.252
OBRAPIA(config-if)#no
*Mar 1 00:03:58.315: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 5.5.5.5 on FastEthernet0/1 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
OBRAPIA(config-if)#no shutdown
OBRAPIA(config-if)#int lo0
OBRAPIA(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
OBRAPIA(config-if)#exit
OBRAPIA(config)#do wr
Building configuration...
[OK]
```

Figura 17: Configuración Router Obrapia en GNS3

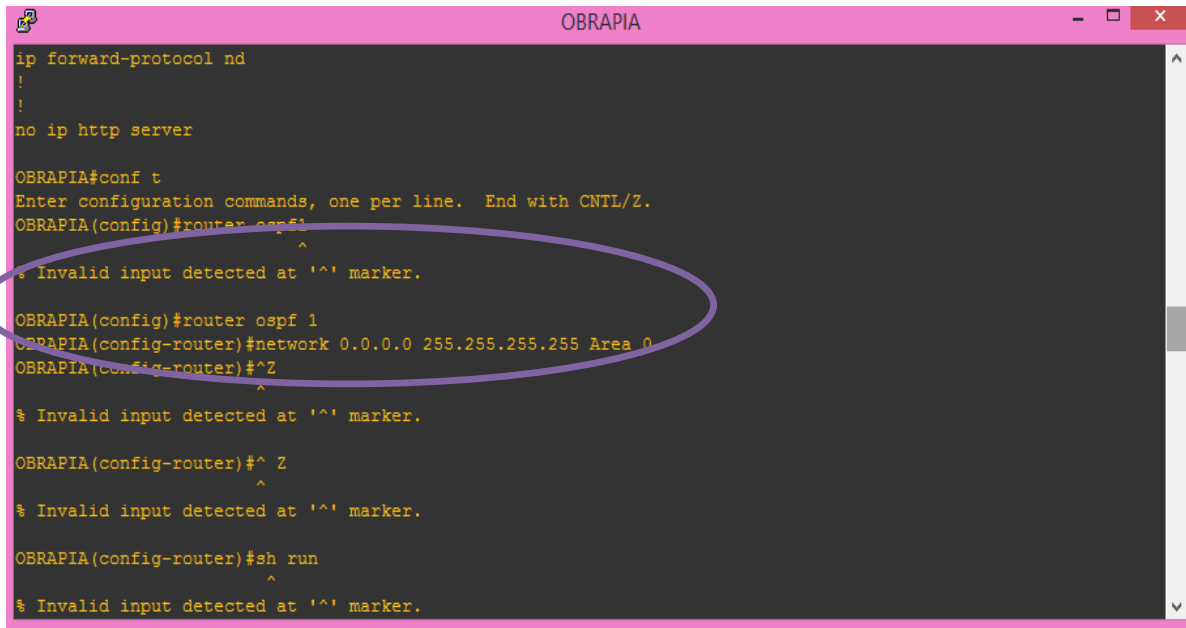
Luego se configurara un protocolo de encaminamiento en cada uno de los nodos MPLS, en este caso se utilizara enrutamiento OSPF1, la razón por la que se utilizan estos protocolos de encaminamiento es porque funciona como una componente de control dentro de la red, es decir que permite crear y mantener la información de etiquetas que se han asignado, y en el caso de que exista algún cambio en la topología de la red estos protocolos mantendrán actualizado el sistema.

Para lograr la configuración del protocolo de enrutamiento OSPF se hará como se muestra en la figura 18, o con la siguiente configuración.

```
OBRAPIA#conf t
```

```
OBRAPIA(config)#router ospf1
```

```
OBRAPIA(config-if)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 Area 0
```

```
OBRAPIA
ip forward-protocol nd
!
!
no ip http server
OBRAPIA#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
OBRAPIA(config)#router ospf 1
% Invalid input detected at '^' marker.
OBRAPIA(config)#router ospf 1
OBRAPIA(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 Area 0
OBRAPIA(config-router)#^Z
% Invalid input detected at '^' marker.
OBRAPIA(config-router)#^ Z
% Invalid input detected at '^' marker.
OBRAPIA(config-router)#sh run
% Invalid input detected at '^' marker.
```

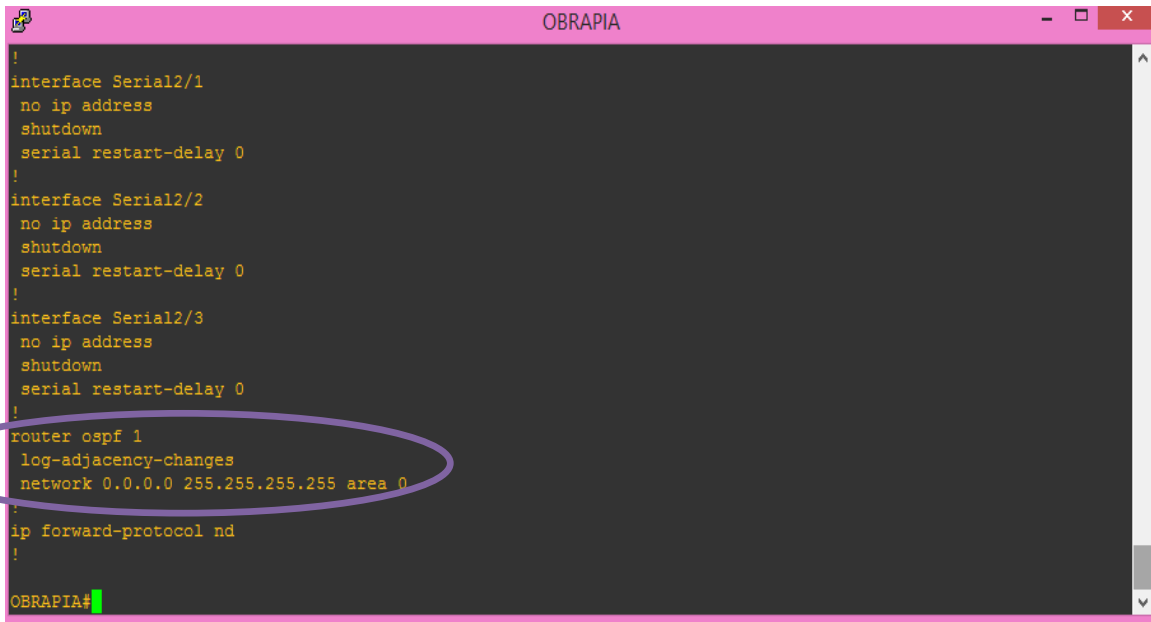
Figura 18: Configuración de OSPF router obrapia

Para configurar el protocolo de encaminamiento en los otros *routers* se utilizara el comando *show run* y se obtendra lo que se muestra en la figura 19, de lo cual se copiara las siguientes líneas de comando.

router ospf 1

log-adjacency-changes

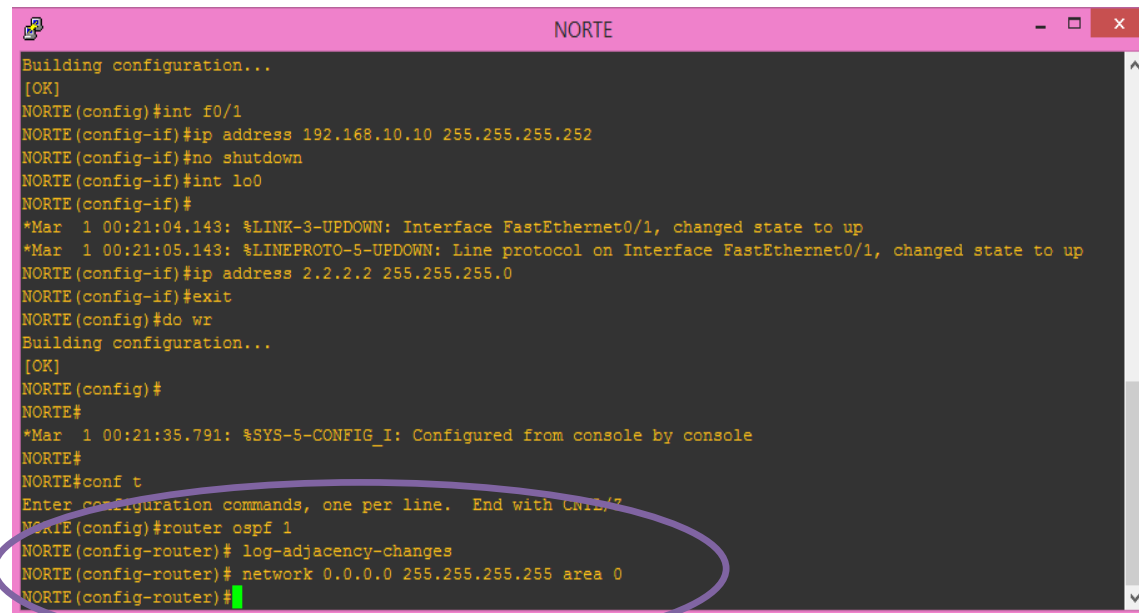
network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0



```
!
interface Serial2/1
no ip address
shutdown
serial restart-delay 0
!
interface Serial2/2
no ip address
shutdown
serial restart-delay 0
!
interface Serial2/3
no ip address
shutdown
serial restart-delay 0
!
router ospf 1
log-adjacency-changes
network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
!
OBRAPIA#
```

Figura 19: Configuración OSPF en GNS3

En cada uno de los *routers* restantes se copiara lo que obtuvimos del *router* Obrapía así como lo muestra en la figura 20, se tomara como ejemplo el *router* de la subestación Norte ya que en todos los restantes se seguirá los mismos pasos. De esta manera se podrá tener comunicación dentro de toda la red.



```
Building configuration...
[OK]
NORTE(config)#int f0/1
NORTE(config-if)#ip address 192.168.10.10 255.255.255.252
NORTE(config-if)#no shutdown
NORTE(config-if)#int lo0
NORTE(config-if)#
*Mar 1 00:21:04.143: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 00:21:05.143: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
NORTE(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.0
NORTE(config-if)#exit
NORTE(config)#do wr
Building configuration...
[OK]
NORTE(config)#
NORTE#
*Mar 1 00:21:35.791: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
NORTE#
NORTE#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with Ctrl/Z
NORTE(config)#router ospf 1
NORTE(config-router)# log-adjacency-changes
NORTE(config-router)# network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
NORTE(config-router)#
```

Figura 20: Configuración OSPF router Norte en GNS3

Por último se configurara la parte de MPLS dentro de cada *router*, lo que se hara será activar en cada interfaz MPLS IP e inmediatamente se realizará una adyacencia entre las interfaces que se encuentren activadas así como se muestra en la figura 21, para activar MPLS IP en cada interfaz se utilizara la siguiente configuración.

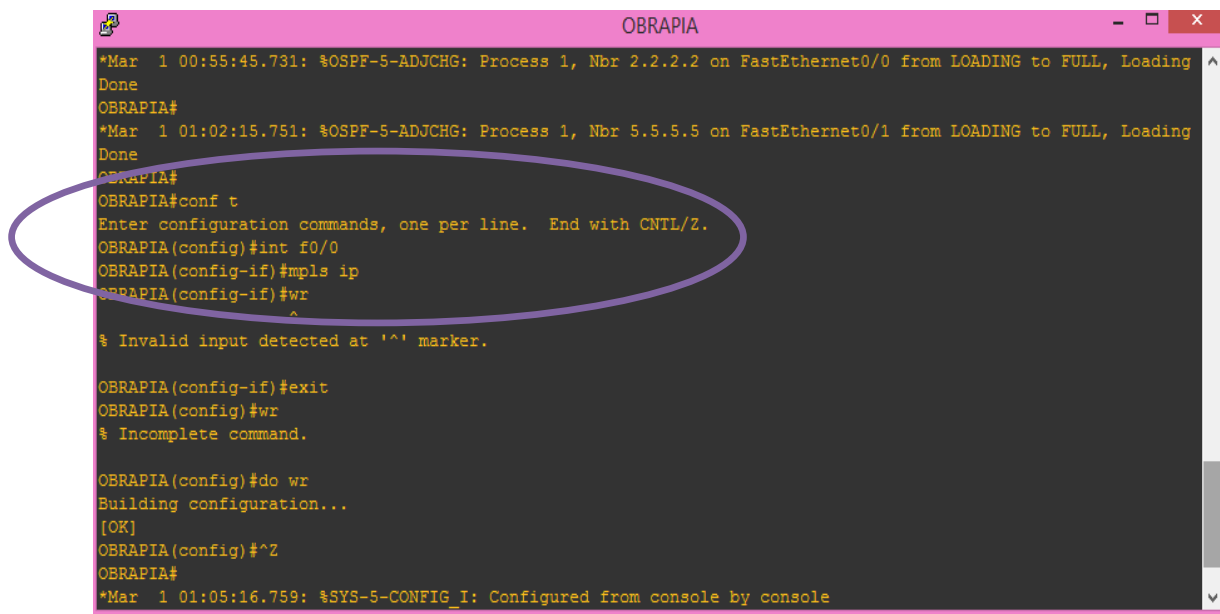
```
OBRAPIA#conf t
```

```
OBRAPIA(config)#ip cef
```

```
OBRAPIA(config)#int f0/0
```

```
OBRAPIA(config-if)#mpls ip
```

```
OBRAPIA(config-if)#mpls label protocol ldp
```



```
OBRAPIA
*Mar 1 00:55:45.731: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading
Done
OBRAPIA#
*Mar 1 01:02:15.751: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 5.5.5.5 on FastEthernet0/1 from LOADING to FULL, Loading
Done
OBRAPIA#
OBRAPIA#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
OBRAPIA(config)#int f0/0
OBRAPIA(config-if)#mpls ip
OBRAPIA(config-if)#wr
^
% Invalid input detected at '^' marker.

OBRAPIA(config-if)#exit
OBRAPIA(config)#wr
% Incomplete command.

OBRAPIA(config)#do wr
Building configuration...
[OK]
OBRAPIA(config)#^Z
OBRAPIA#
*Mar 1 01:05:16.759: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
```

Figura 21: Activación de MPLS en GNS3

✓ Red LAN

Para completar el diseño de la red también se implementara VLANs dentro de cada subestación, que permitirá tener una distribución lógica de la misma, además se podrá agrupar los equipos dentro de cada subestación dependiendo al sistema que pertenecen o servicio de ofrecen sin importar su localización física.

Al igual que en la red MPLS la configuración es la misma dentro de cada subestación así que se tomara como ejemplo la red LAN dentro de la subestación Obrapia. Dentro de cada Red LAN en cada subestación se creara las vlans en el *switch*, y desde ahí se podra configurar el direccionamiento de los puertos y lograr controlar la entrada y salida de datos.

En la figura 22 se puede observar que se cuenta con 3 vlans las cuales llevaran el nombre de vigilancia, SCADA y comunicaciones que son los 3 sistemas con los que se cuenta en cada subestación.

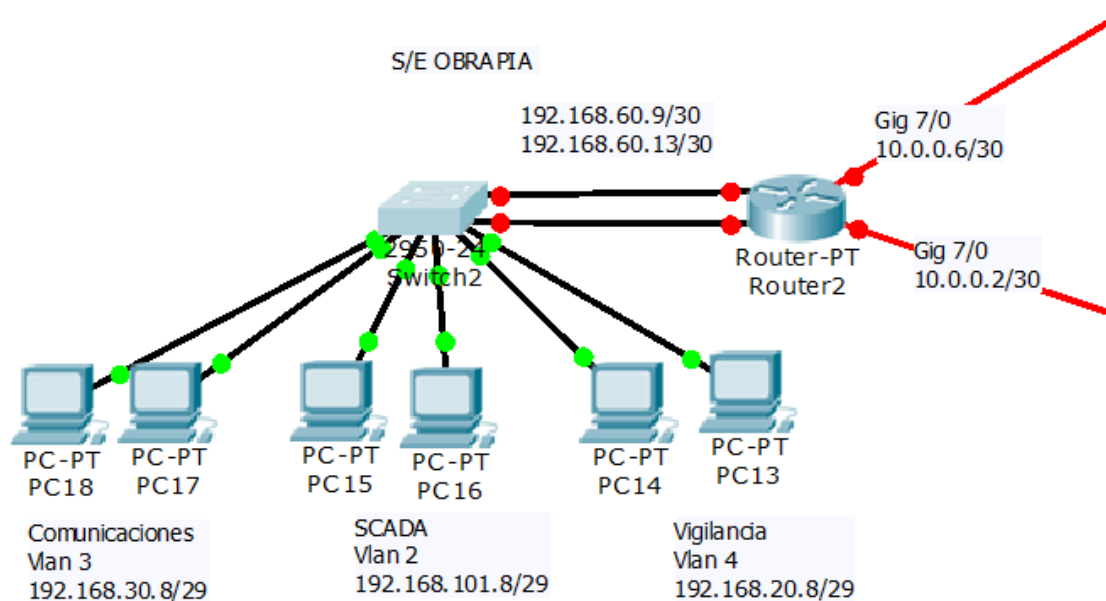


Figura 22: Red dentro de cada subestación

Lo primero que se hará es crear las vlans en cada *switch*, se podra realizar de dos maneras:

- Utilizando la interfaz de línea de comando (CLI), así como se muestra en la figura 23, lo que se hace es entrar en modo privilegio al *switch* (*enable*), utilizando la siguiente configuración.

Switch#enable

Switch#vlan database

Switch (vlan)#vlan 2 name SACADA

VLAN 2 added:

Name: SCADA

Switch (vlan)#vlan 3 name comunicaciones

VLAN 3 added:

Name: comunicaciones

Switch (vlan)#vlan 4 name vigilancia

VLAN 4 added:

Name: vigilancia

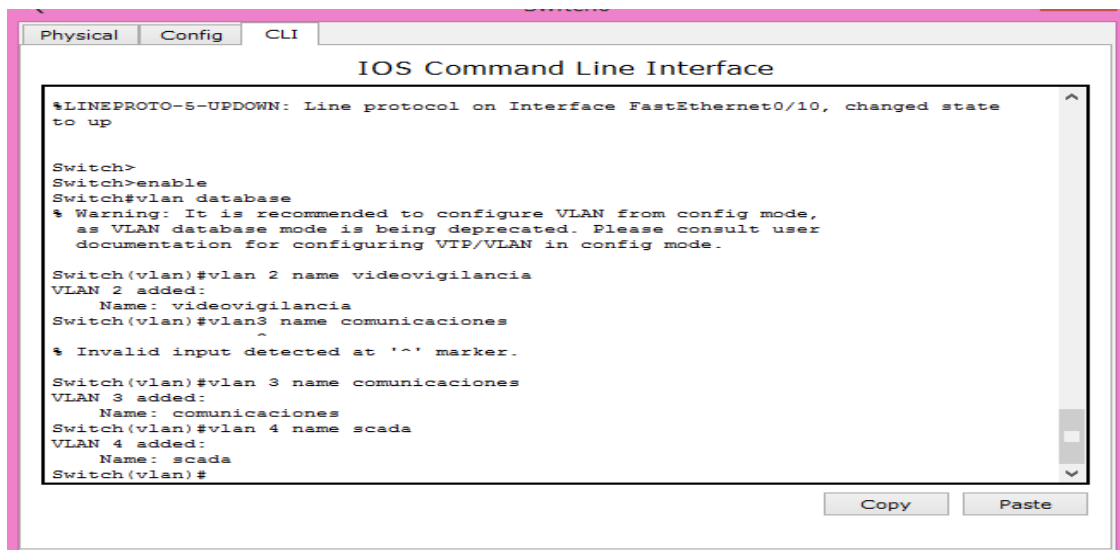


Figura 23: Configuración de VLAN mediante CLI en packet tracer

- Utilizando la Interfaz de configuración, es mucho más sencillo seleccionar la opción de *VLAN Database* y agregar el nombre y número de vlan, así como se muestra en la figura 24.

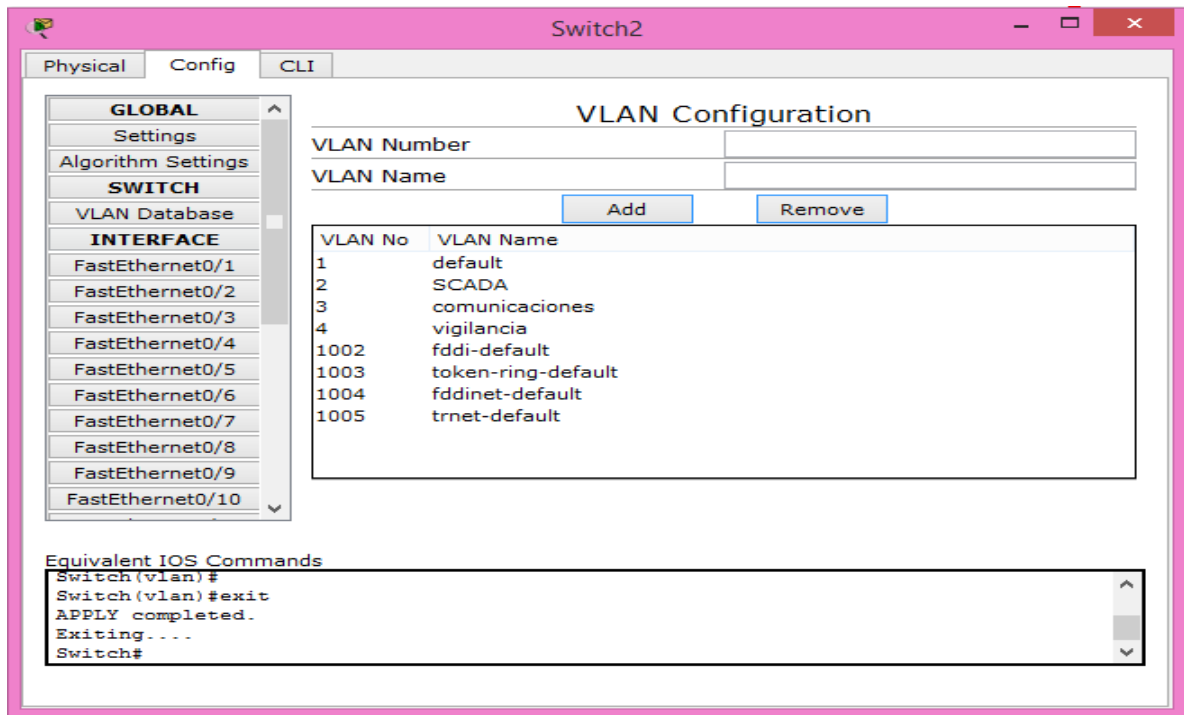


Figura 24: configuración de vlan mediante interfaz config en packet tracer

En cada router se realizara el enrutamiento *intervlan*, para esto se ingresa en cada *router* en la interfaz de configuración, en el puerto *Fast Ethernet 0/0* y en el puerto *Fast Ethernet 1/0* que son los que van del *router* al *switch* se agraga la direcciones ip, las máscaras de subred y se enciende los puertos, así como se muestra en la figura 25.

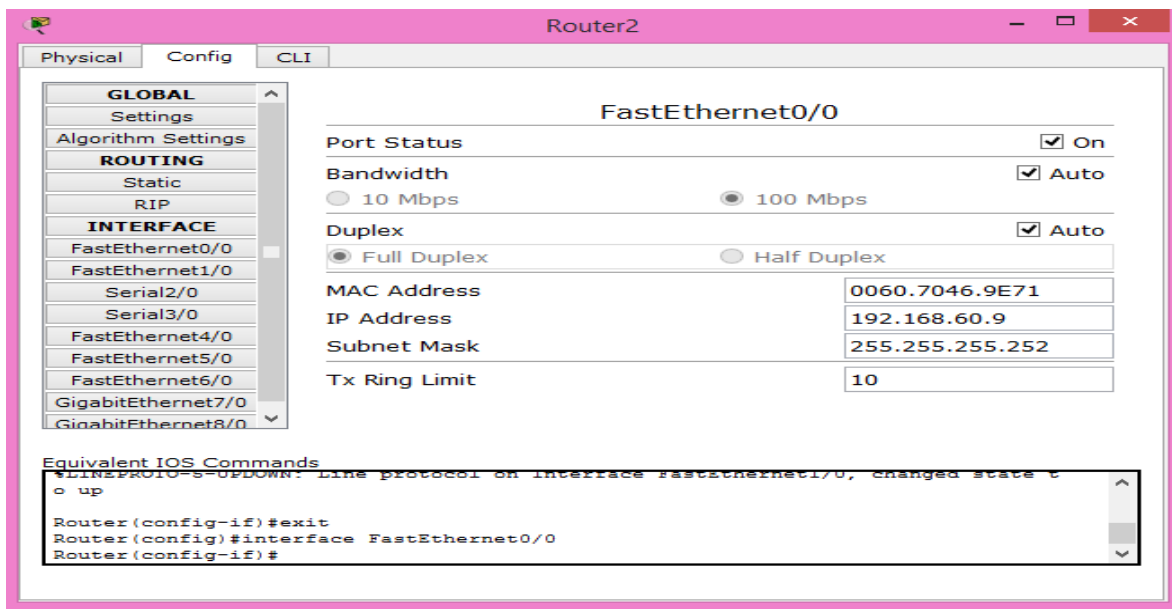


Figura 25: Enrutamiento intervlan

Luego se agrega las direcciones ip *Gateway* para cada vlan, aquí se utiliza el protocolo *encapsulation dot1Q* que permitirá que distintas redes compartan el mismo medio físico, para realizar la configuración el router debe estar en modo privilegio así como se muestra en la figura 26, y utilizar la siguiente configuración

```
Router#conf t
```

```
Router (config)# int fa0/0.2
```

```
Router (config-subif)#encapsulation dot1Q 2
```

```
Router (config-subif)#ip add 192.168.101.9 255.255.255.248
```

```
Router#
```

```
Router#conf t
```

```
Router (config)# int fa0/0.3
```

```
Router (config-subif)#encapsulation dot1Q 3
```

```
Router (config-subif)#ip add 192.168.30.9 255.255.255.248
```

```
Router#
```

```
Router#conf t
```

```
Router (config)# int fa0/0.4
```

```
Router (config-subif)#encapsulation dot1Q 4
```

```
Router (config-subif)#ip add 192.168.20.33 255.255.255.248
```

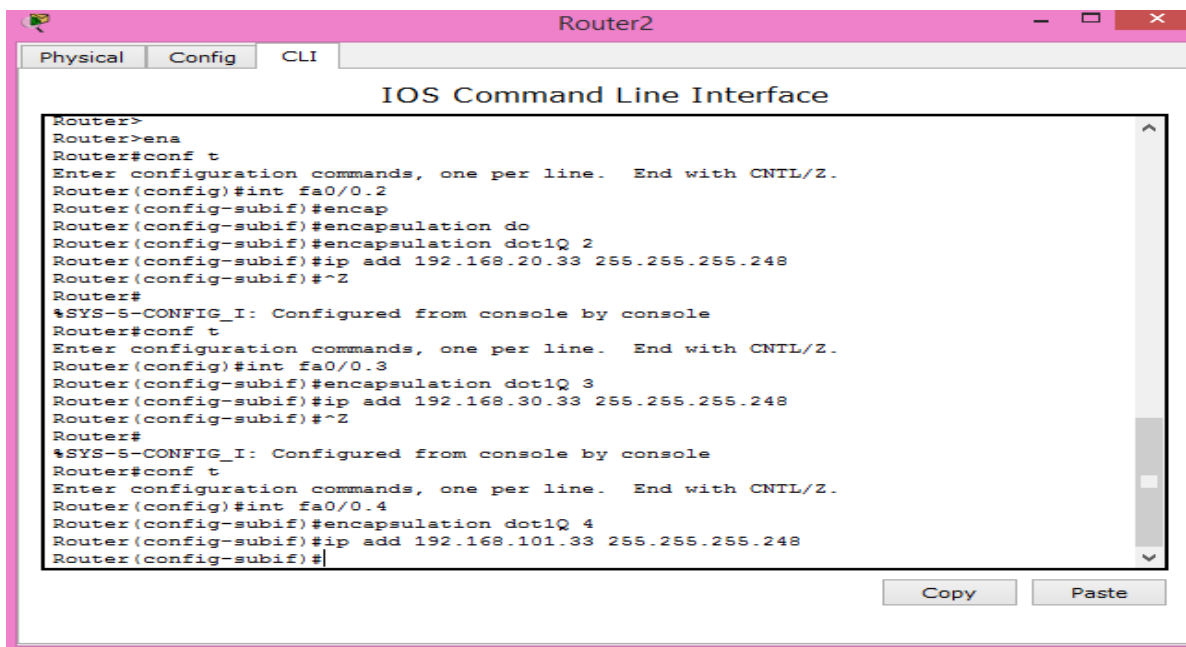


Figura 26: Enrutamiento intervlan en packet tracer

Luego se ingresa al *switch* para poder configurar los puertos, los puertos que se conectan del *switch* al *router* se colocaran en modo *trunk*, de esta manera los paquetes podrán viajar dentro de toda la red, así como se muestra en la figura 27.

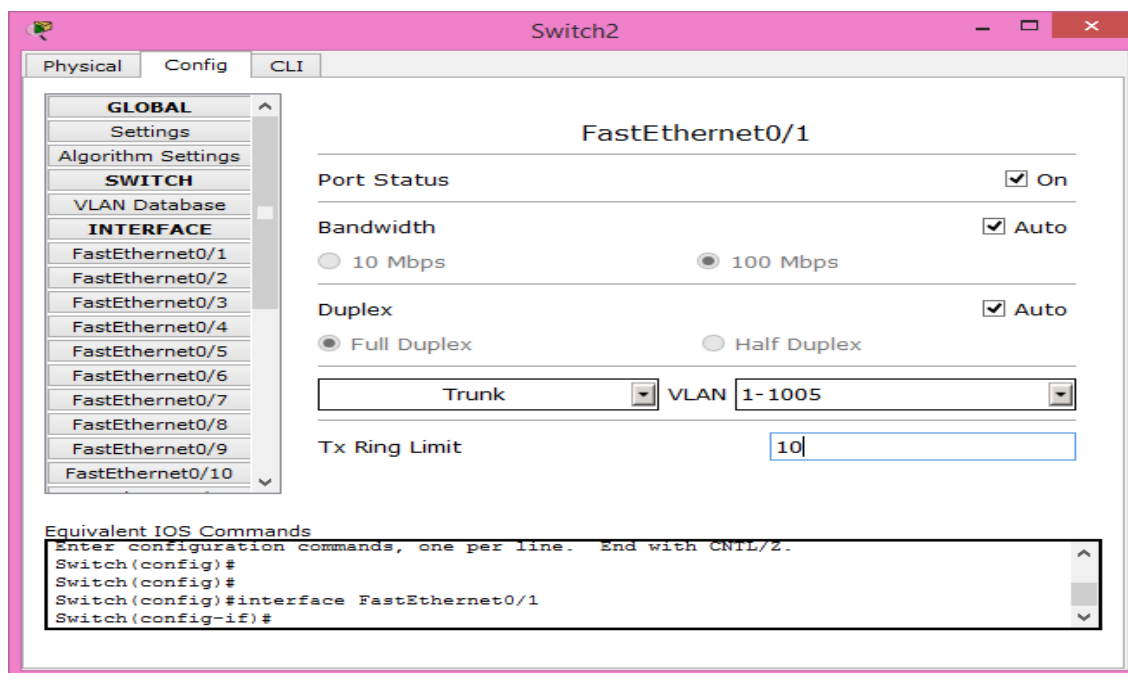


Figura 27: Configuración puertos dentro del switch

Los puertos restantes se configuraran en modo acceso vlan, según el número de vlan al que se lo quiera asignar, así como se muestra en la figura 28.

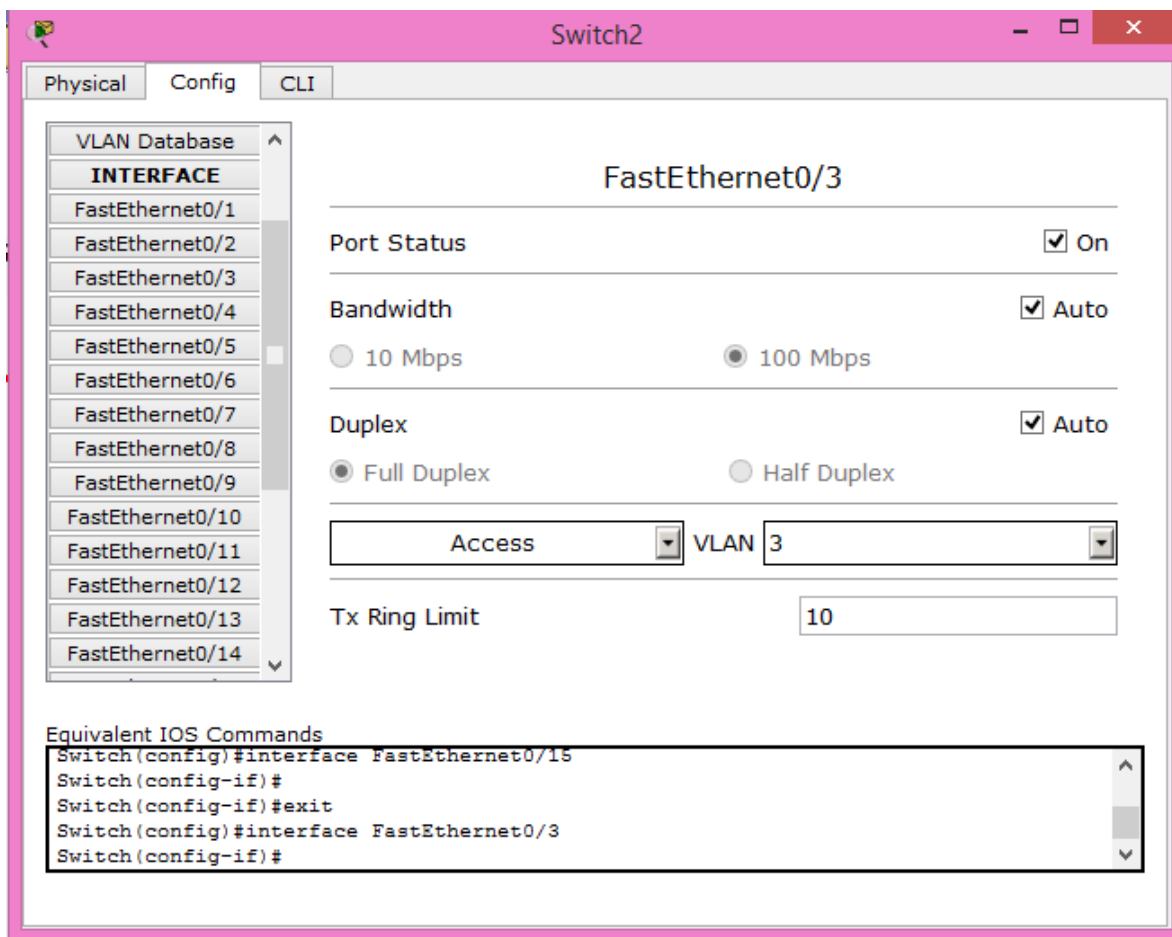


Figura 28: Configuración puertos dentro del switch

Por ultimo lo que se tiene que hacer es darle una dirección IP, un mascara de subred y una dirección de *gateway* a cada host y crearan vlans, así como se muestra en la figura 29.

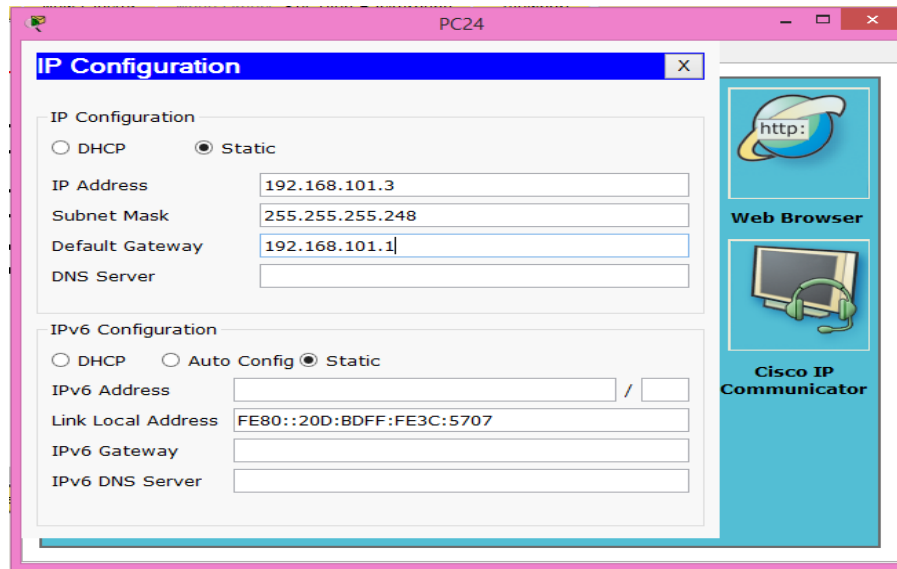


Figura 29: Configuración de hosts

Para lograr que las vlans de todas las subestaciones se comuniquen lo que se hace es unir las a todas con enlaces de fibra óptica mediante interfaces *Giga Ethernet* así como se muestra en la figura 30.

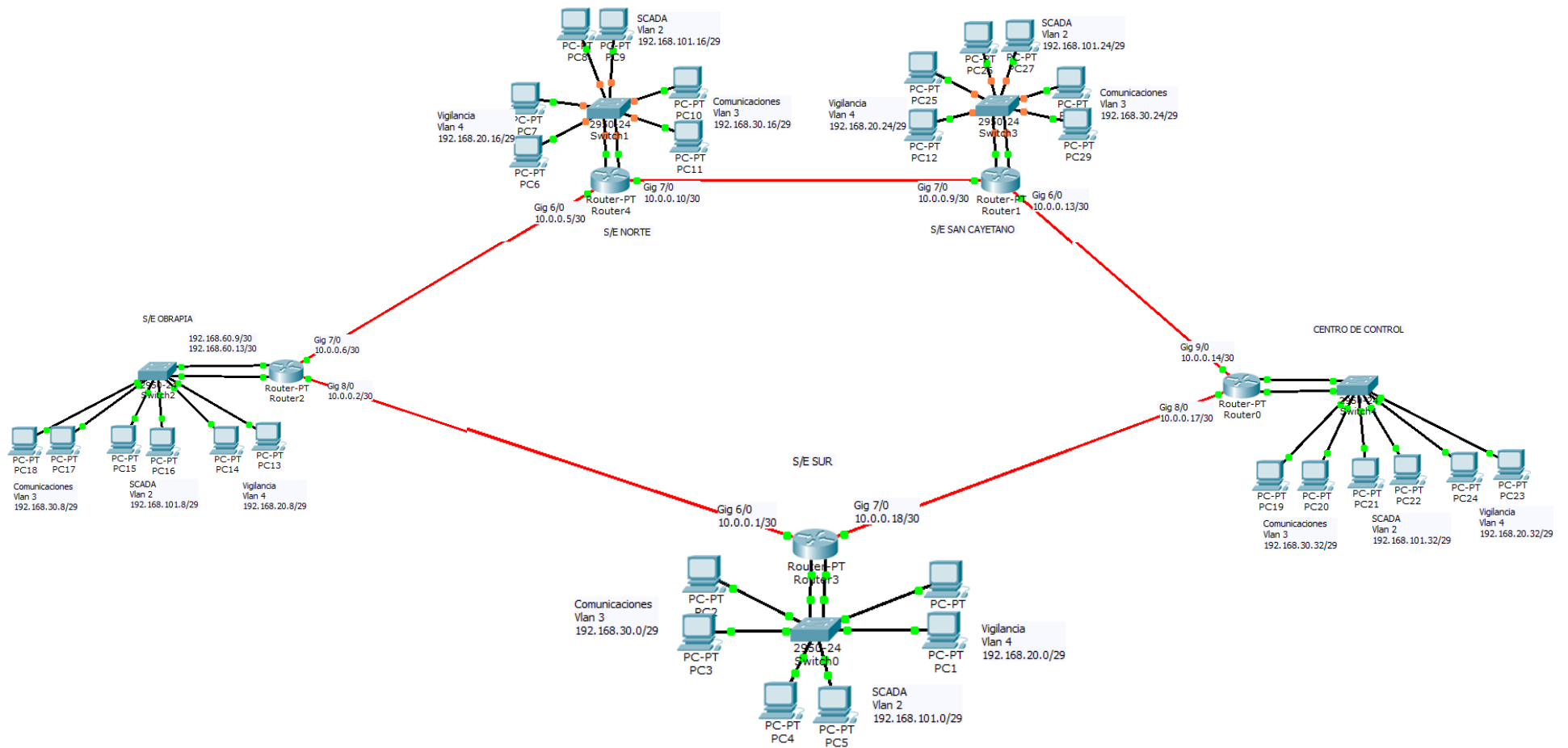


Figura 30: Red incluyendo VLANS

Lo que se hace es asignarle una dirección IP a cada puerto de enlace, encender el interfaz, así como se muestra en la figura 25, esto se lo realizara en cada interfaz que une el enlace serial.

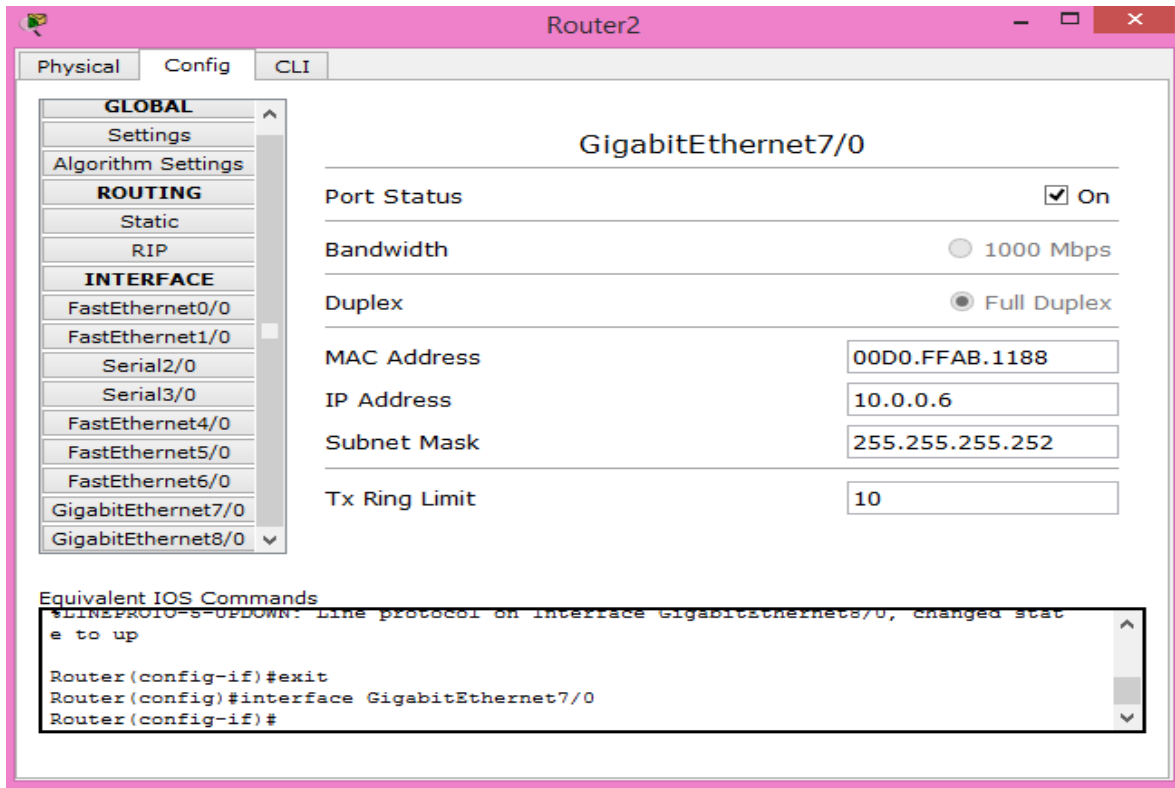


Figura 31: Direccionamiento en cada router

Luego de haber asignado las direcciones ip a cada interfaz en los routers, se pasa a enrutar, para esto se utilizara el protocolo de enrutamiento OSPF que es el que se empleara en la red MPLS la configuración es similar a como se la realizó en GNS3, así como se muestra en la figura 32, se utiliza la siguiente configuración.

Router(config)#router ospf 1

Router(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 Area 0

Router(config-router)#exit

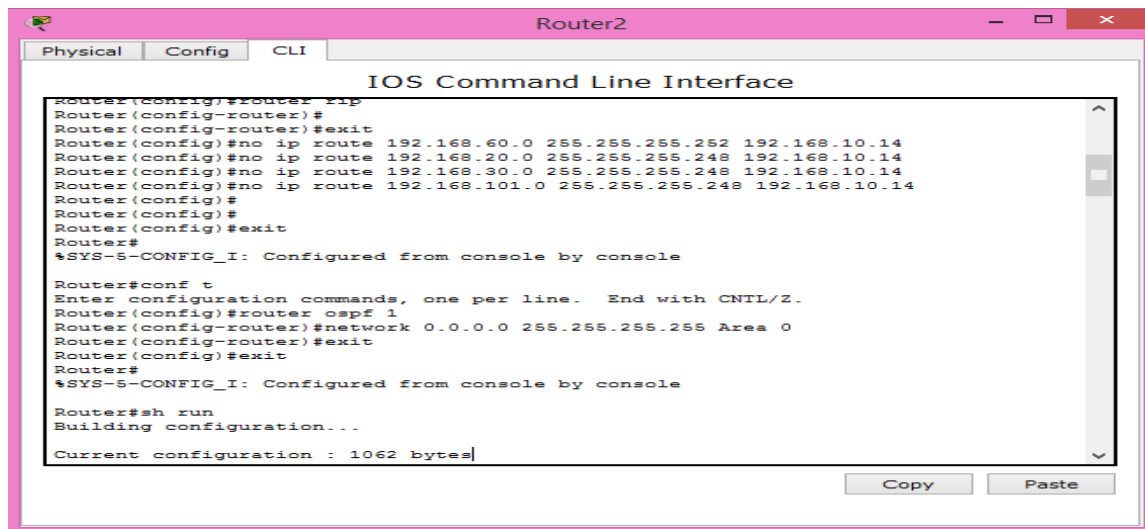


Figura 32: Enrutamiento OSPF en packet tracer

Para configurar el protocolo de encaminamiento en los otros routers se utilizara el comando *show run* de lo cual se copiara las siguientes líneas de comando y las copiars en cada uno de los routers restantes así como lo muestra la figura 33.

router ospf 1

log-adjacency-changes

network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0

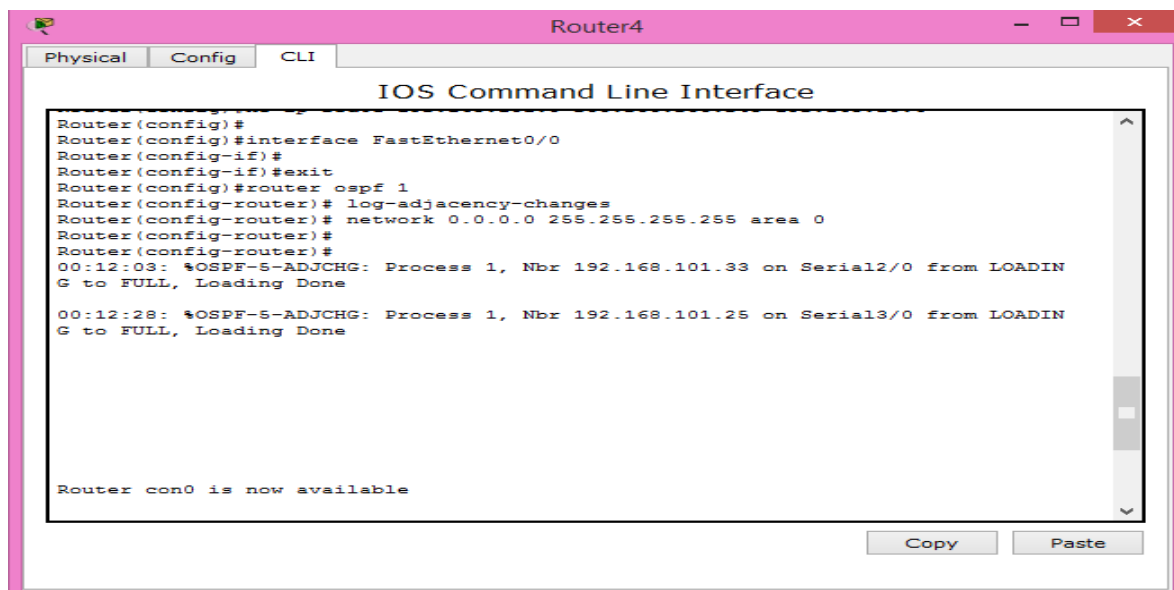


Figura 33: Enrutamiento OSPF en packet tracer

6.- RESULTADOS

6.1 Resultados en simulación

Aquí se mostrarán los resultados alcanzados a través de las simulaciones realizadas, lo que se realizara será la verificación de la configuración de la red MPLS dentro del simulador GNS3. En la figura 34 se muestra la topología de la red implementada en el simulador.

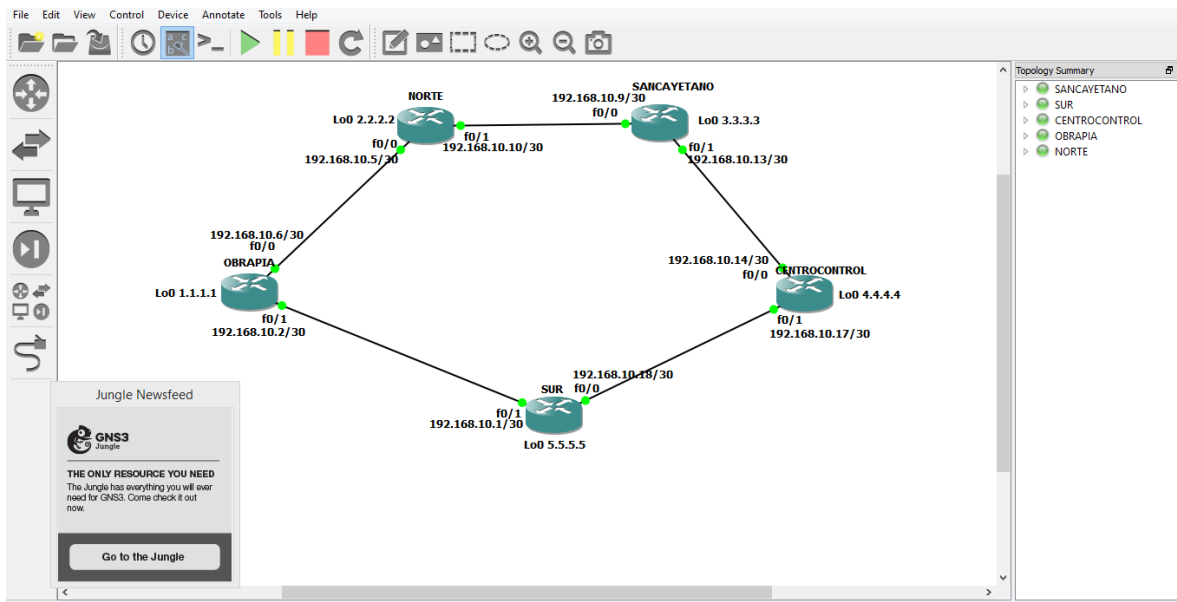
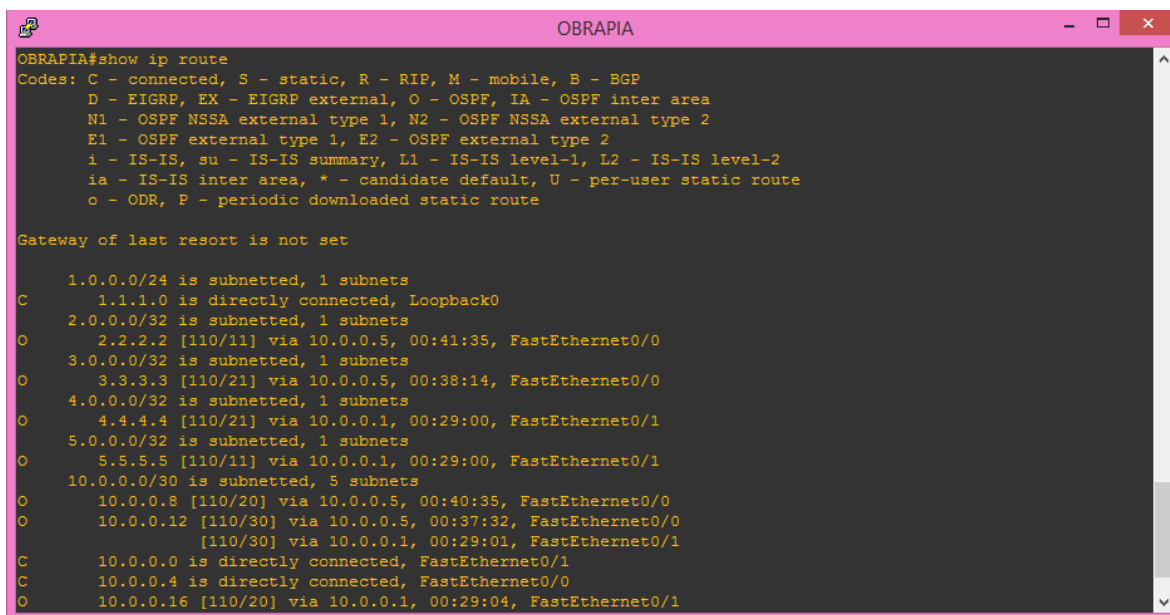


Figura 34: Topología de red MPLS levantada en GNS3

Lo que se hará será ubicar en cualquiera de los routers de la red y utilizar los comandos que permitan ver distintas características del envío de paquetes utilizando la tecnología MPLS.

✓ *Show ip route*

Este comando permitirá ver la tabla de encaminamiento del router, esta tabla muestra todas las redes que el *router* podrá alcanzar, detallando su forma de acceder a ellas, si la configuración de enrutamiento se realizó de la manera correcta se debe contar con al menos una ruta desde el router hacia el restos de routers, así como se muestra en la figura 35.



```
OBRAPIA#show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

  1.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C    1.1.1.0 is directly connected, Loopback0
  2.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    2.2.2.2 [110/11] via 10.0.0.5, 00:41:35, FastEthernet0/0
  3.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    3.3.3.3 [110/21] via 10.0.0.5, 00:38:14, FastEthernet0/0
  4.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    4.4.4.4 [110/21] via 10.0.0.1, 00:29:00, FastEthernet0/1
  5.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    5.5.5.5 [110/11] via 10.0.0.1, 00:29:00, FastEthernet0/1
 10.0.0.0/30 is subnetted, 5 subnets
O    10.0.0.8 [110/20] via 10.0.0.5, 00:40:35, FastEthernet0/0
O    10.0.0.12 [110/30] via 10.0.0.5, 00:37:32, FastEthernet0/0
        [110/30] via 10.0.0.1, 00:29:01, FastEthernet0/1
C    10.0.0.0 is directly connected, FastEthernet0/1
C    10.0.0.4 is directly connected, FastEthernet0/0
O    10.0.0.16 [110/20] via 10.0.0.1, 00:29:04, FastEthernet0/1
```

Figura 35: Comando show ip route en GNS3

✓ *Show ip route (dirección ip)*

Permite ver el camino hasta la dirección ip especificada, aquí también se podrá tener detalladamente la forma en la se accederá a esa dirección en específico, así como se muestra en la figura 36, donde se muestra como se encuentra el encaminamiento, las redes que se encuentran conectadas llevan “C” y las que utilizan el protocolo de encaminamiento OSPF llevan “O”, la información que se encuentra entre corchetes es la distancia administrativa y la métrica, además contará con la información del siguiente salto y la interfaz de salida.

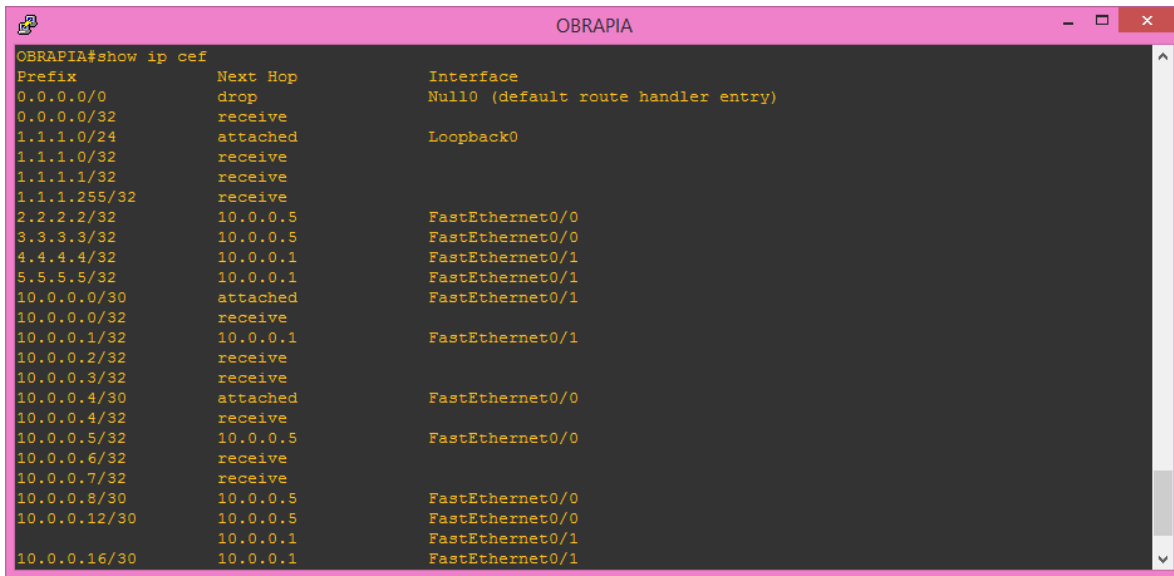


```
OBRAPIA#
OBRAPIA#
OBRAPIA#
OBRAPIA#show ip route 10.0.0.16
Routing entry for 10.0.0.16/30
  Known via "ospf 1", distance 110, metric 20, type intra area
  Last update from 10.0.0.1 on FastEthernet0/1, 00:31:41 ago
  Routing Descriptor Blocks:
    * 10.0.0.1, from 4.4.4.4, 00:31:41 ago, via FastEthernet0/1
      Route metric is 20, traffic share count is 1
OBRAPIA#
```

Figura 36: Comando show ip route (dirección ip)

✓ *Show ip cef*

Con este comando se podrá ver la tabla de *forwarding*, esta tabla se basa en la tabla de encaminamiento para seleccionar un puerto de salida basándose en la dirección de destino, en la figura 37 podemos observar la tabla *forwarding* de nuestra red, esta indica que para cada red de destino, la interfaz que ha de utilizarse y el router de siguiente salto, esta tabla permitirá acelerar el proceso de enrutamiento.



```
OBRAPIA#show ip cef
Prefix      Next Hop      Interface
0.0.0.0/0    drop          Null0 (default route handler entry)
0.0.0.0/32    receive
1.1.1.0/24    attached      Loopback0
1.1.1.0/32    receive
1.1.1.1/32    receive
1.1.1.255/32  receive
2.2.2.2/32    10.0.0.5      FastEthernet0/0
3.3.3.3/32    10.0.0.5      FastEthernet0/0
4.4.4.4/32    10.0.0.1      FastEthernet0/1
5.5.5.5/32    10.0.0.1      FastEthernet0/1
10.0.0.0/30    attached      FastEthernet0/1
10.0.0.0/32    receive
10.0.0.1/32    10.0.0.1      FastEthernet0/1
10.0.0.2/32    receive
10.0.0.3/32    receive
10.0.0.4/30    attached      FastEthernet0/0
10.0.0.4/32    receive
10.0.0.5/32    10.0.0.5      FastEthernet0/0
10.0.0.6/32    receive
10.0.0.7/32    receive
10.0.0.8/30    10.0.0.5      FastEthernet0/0
10.0.0.12/30   10.0.0.5      FastEthernet0/0
10.0.0.16/30   10.0.0.1      FastEthernet0/1
10.0.0.16/30   10.0.0.1      FastEthernet0/1
```

Figura 37: Comando show ip cef en GNS3

✓ *Show mpls interfaces*

Este comando mostrara que interfaces utilizan MPLS y su estado como se muestra en figura 38.



```
OBRAPIA#show mpls interfaces
Interface      IP      Tunnel  Operational
FastEthernet0/0  Yes (ldp)  No      Yes
FastEthernet0/1  Yes (ldp)  No      Yes
OBRAPIA#
```

Figura 38: Comando Show mpls interfaces

✓ *Show mpls ldp discovery*

Con este comando se podrá observar información acerca de ldp local del *router* y de los *routers* vecinos, así como se muestra en la figura 39.

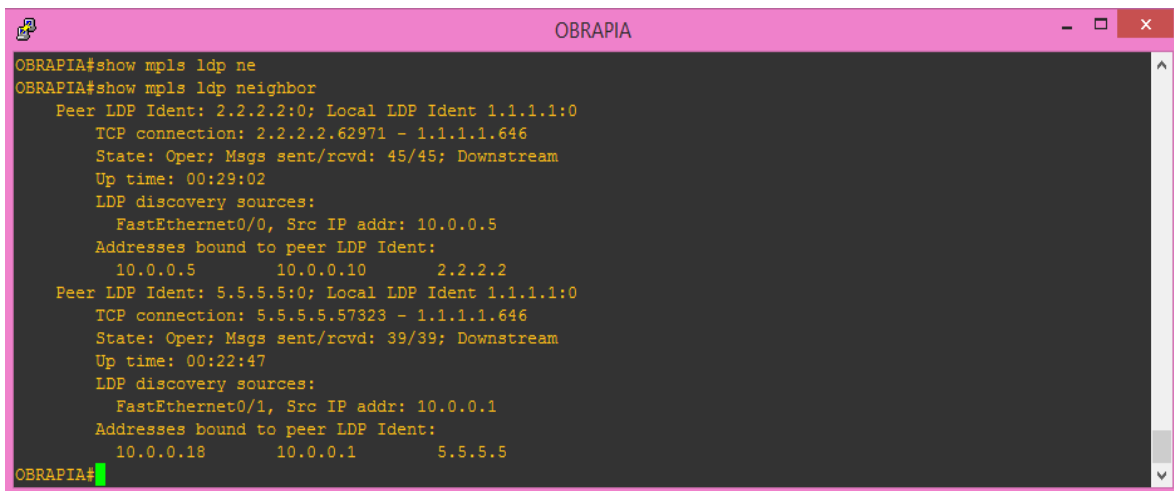


```
OBRAPIA#
OBRAPIA#show mpls interfaces
Interface      IP          Tunnel  Operational
FastEthernet0/0  Yes (ldp)   No      Yes
FastEthernet0/1  Yes (ldp)   No      Yes
OBRAPIA#show mpls ldp dis
OBRAPIA#show mpls ldp discovery
Local LDP Identifier:
1.1.1.1:0
Discovery Sources:
Interfaces:
  FastEthernet0/0 (ldp): xmit/rcv
    LDP Id: 2.2.2.2:0
  FastEthernet0/1 (ldp): xmit/rcv
    LDP Id: 5.5.5.5:0
OBRAPIA#
```

Figura 39: Comando Show mpls ldp discovery

✓ *Show mpls ldp neighbor*

Permite ver las adyacencias LDP que se detectaron y su estado, como se muestra en la figura 40, cada *router* muestra como identificador IP su interfaz más alta en este caso las interfaces *loopback* y si no contará con estas direcciones tomaría la dirección física más alta.

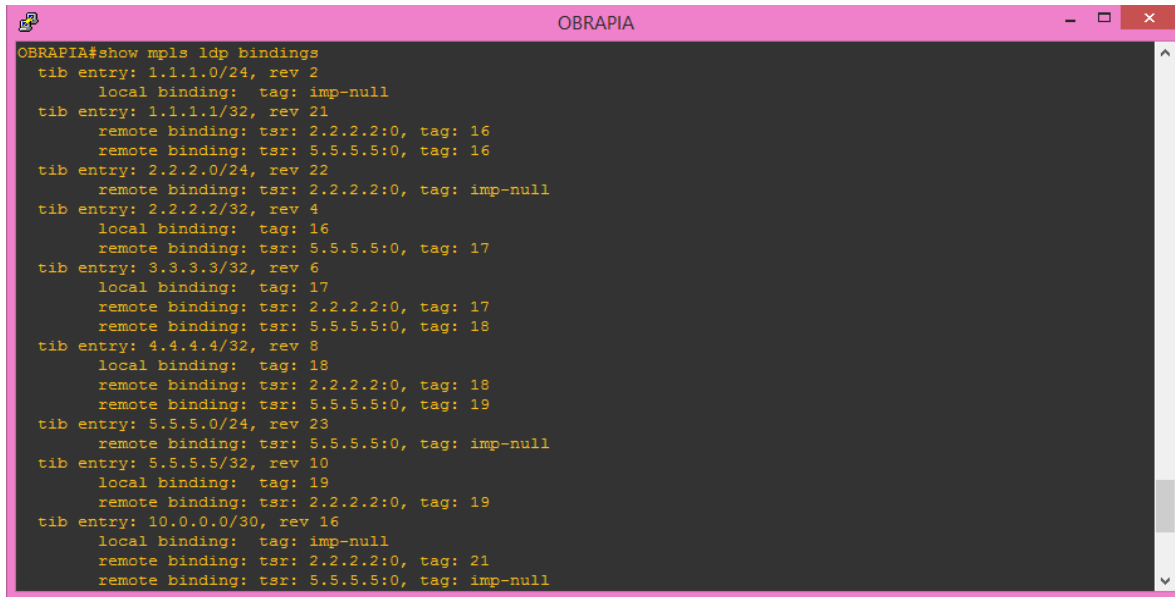


```
OBRAPIA#show mpls ldp ne
OBRAPIA#show mpls ldp neighbor
Peer LDP Ident: 2.2.2.2:0; Local LDP Ident 1.1.1.1:0
TCP connection: 2.2.2.2.62971 - 1.1.1.1.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 45/45; Downstream
Up time: 00:29:02
LDP discovery sources:
  FastEthernet0/0, Src IP addr: 10.0.0.5
Addresses bound to peer LDP Ident:
10.0.0.5      10.0.0.10      2.2.2.2
Peer LDP Ident: 5.5.5.5:0; Local LDP Ident 1.1.1.1:0
TCP connection: 5.5.5.5.57323 - 1.1.1.1.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 39/39; Downstream
Up time: 00:22:47
LDP discovery sources:
  FastEthernet0/1, Src IP addr: 10.0.0.1
Addresses bound to peer LDP Ident:
10.0.0.18     10.0.0.1      5.5.5.5
OBRAPIA#
```

Figura 40: Comando show mpls ldp neighbor en packet tracer

✓ *Show mpls ldp bindings*

Permite obtener la tabla LIB, esta información será diferente en cada *router*, ya que cada *router* asignará sus propias etiquetas. En la figura 41 se muestra la tabla LIB en uno de los routers, el término “rev” se utiliza para el control de la LDP.

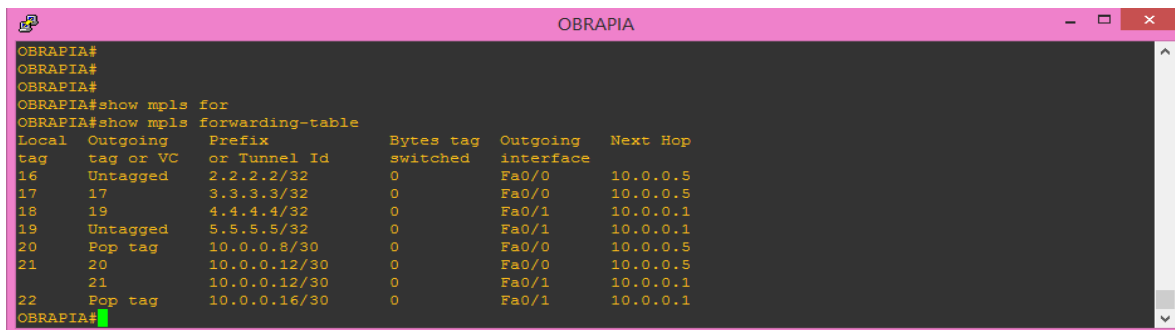


```
OBRAPIA#show mpls ldp bindings
tib entry: 1.1.1.0/24, rev 2
    local binding: tag: imp-null
tib entry: 1.1.1.1/32, rev 21
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 16
    remote binding: tsr: 5.5.5.5:0, tag: 16
tib entry: 2.2.2.0/24, rev 22
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: imp-null
tib entry: 2.2.2.2/32, rev 4
    local binding: tag: 16
    remote binding: tsr: 5.5.5.5:0, tag: 17
tib entry: 3.3.3.3/32, rev 6
    local binding: tag: 17
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 17
    remote binding: tsr: 5.5.5.5:0, tag: 18
tib entry: 4.4.4.4/32, rev 8
    local binding: tag: 18
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 18
    remote binding: tsr: 5.5.5.5:0, tag: 19
tib entry: 5.5.5.0/24, rev 23
    remote binding: tsr: 5.5.5.5:0, tag: imp-null
tib entry: 5.5.5.5/32, rev 10
    local binding: tag: 19
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 19
tib entry: 10.0.0.0/30, rev 16
    local binding: tag: imp-null
    remote binding: tsr: 2.2.2.2:0, tag: 21
    remote binding: tsr: 5.5.5.5:0, tag: imp-null
```

Figura 41: Comando Show mpls ldp bindings en packet tracer

✓ *Show mpls forwarding-table*

Se utiliza este comando para conocer la tabla LFIB, en esta tabla se podrá ver que las entradas en las que se ponen “Untagged” son los que se encuentran fuera de la red MPLS; y las que llevan “Pop tag” son en las que el *router* quitara la etiqueta y enviara el paquete, así como se muestra en la figura 42.



```
OBRAPIA#
OBRAPIA#
OBRAPIA#
OBRAPIA#show mpls for
OBRAPIA#show mpls forwarding-table
Local Outgoing Prefix Bytes tag Outgoing Next Hop
tag tag or VC or Tunnel Id switched interface
16 Untagged 2.2.2.2/32 0 Fa0/0 10.0.0.5
17 17 3.3.3.3/32 0 Fa0/0 10.0.0.5
18 19 4.4.4.4/32 0 Fa0/1 10.0.0.1
19 Untagged 5.5.5.5/32 0 Fa0/1 10.0.0.1
20 Pop tag 10.0.0.8/30 0 Fa0/0 10.0.0.5
21 20 10.0.0.12/30 0 Fa0/0 10.0.0.5
21 21 10.0.0.12/30 0 Fa0/1 10.0.0.1
22 Pop tag 10.0.0.16/30 0 Fa0/1 10.0.0.1
OBRAPIA#
```

Figura 42: Comando show mpls forwarding-table en packet trace

7.- DISCUSIÓN

Considerando que las redes de datos se encuentran en constante desarrollo, la EERSSA ha visto necesario proyectar la implementación de una tecnología de comunicaciones que permita mejorar tres aspectos en la red: capacidad de procesamiento, velocidad y confiabilidad de la red, y que esta tecnología pueda ser implementada sobre el anillo de fibra óptica que se encuentra actualmente uniendo las subestaciones de la ciudad de Loja. La tecnología que se ha tenido en cuenta para el estudio pertinente es la tecnología denominada IP- MPLS o también conocida como Conmutación Multiprotocolo mediante Etiquetas.

Una de las razones principales por las que se ha propuesto esta tecnología es que permite configurar una red de alto rendimiento, ya que el uso de etiquetas es un proceso de encaminamiento más rápido que el considerar decisiones bajo un criterio de salto a salto, por ser el encabezado de MPLS mucho más sencillo el procesamiento de los datos tendrá una velocidad más alta y por lo tanto será menos costoso.

Una de las características importantes dentro de esta tecnología es poder clasificar los datos según la calidad de servicio, para esto se puede asignar distintas etiquetas dependiendo de la clase de servicio y según el valor de la etiqueta se determinará el envío de paquetes dentro de la red. La utilización de etiquetas simplifica el proceso de enrutamiento dentro de la red, además se lograra manejar el tráfico de una manera eficaz, ofreciendo un rendimiento sólido del Ancho de Banda y garantizando el nivel de servicio.

MPLS logra la confiabilidad de la red, ya que tiene la capacidad de generar una ruta secundaria, y en el caso de que la ruta principal falle simplemente se reenruta el tráfico y no permite que se pierdan los paquetes, con el envío de tráfico en tiempo real, MPLS reduce las fluctuaciones que generan el retardo en este tipo de paquetes, transportándolos sobre un camino conmutado MPLS.

Para lograr que el diseño sea efectivo se vio necesario hacer un análisis de algunos puntos como son: Ancho de Banda en cada una de las subestaciones, dispositivos que se encontraran conectados a la red, aplicaciones que existen dentro de la red, además en el caso de existir planes futuros asegurarse que la red tenga la capacidad de ser escalable.

Finalmente se tuvo en cuenta muchos de los puntos importantes necesarios para saber si la migración hacia la red MPLS será efectiva:

- ✓ Escalabilidad

Teniendo en cuenta que se encuentra planificado la integración de nuevas subestaciones dentro del anillo de fibra en la ciudad de Loja, MPLS ahorra trabajo ya que no es necesario que se reconfiguren todos los equipos como se lo hace en ATM o Frame Relay.

- ✓ Eficiencia

La tecnología de comunicaciones de EERSSA actualmente es una infraestructura IP, MPLS es una tecnología compatible donde no es necesario productos de transporte como es el caso de ATM que el usuario necesita invertir un costo adicional por estos productos.

- ✓ Seguridad

MPLS permite mayor seguridad gracias a que cuentan con características como lo son encriptación y autenticación.

- ✓ Fácil Migración

Por ser una tecnología sencilla y compatible con otras tecnologías, el proceso de migración es mucho más sencillo y económico que tecnologías como ATM.

- ✓ Calidad de Servicio (QoS)

Una de las características de la tecnología MPLS es poder aplicar calidad de servicio (QoS), en el caso de la red de comunicaciones de EERSSA se realiza el envío de voz, video y datos en tiempo real, siendo esta característica de suma importancia ya que permite priorizar el tráfico.

8.- CONCLUSIONES

- El desarrollo del presente trabajo cumple con los objetivos planteados, los cuales consisten en el diseño de la red MPLS que será implementada sobre el anillo de fibra óptica perteneciente a EERSSA, para el transporte de datos de los sistemas SCADA, Comunicaciones y Vigilancia desde las subestaciones.
- Mediante un levantamiento de información, se logró conocer el estado actual de la red de comunicaciones de EERSSA, a través de este levantamiento del estado actual de la red se pudo conocer todos los servicios y sistemas que se encuentran actualmente implementados sobre la red de comunicaciones y que en una futura implementación trabajarán sobre la red IP/MPLS.
- De acuerdo al levantamiento y análisis del diseño de la red MPLS se optó por la utilización del *RUTER CISCO ISR 2921*, que cuenta con los parámetros y características físicas requeridas para funcionar en una red MPLS.
- Para conocer el funcionamiento de la red MPLS se logró realizar una simulación de la Red que cumpla con las características necesarias, además se podrá configurar de forma sencilla en una futura implementación de la red MPLS.
- MPLS es una tecnología que facilita la migración, ya que funciona sobre cualquier otro tipo tecnología de transporte y en comparación con tecnologías WAN convencionales como ATM o *Frame Relay*, ofrece mayores ventajas, tanto económicas, técnicas y de escalabilidad.
- MPLS nace de la necesidad de solucionar los problemas de compatibilidad con otras tecnologías, lo que la hace una tecnología totalmente flexible que permita el transporte de tráfico desde distintos tipos de red, e incluso se puede utilizar en algunos casos los mismos dispositivos de red y de esta manera disminuir costos.

- Una de las características más importantes es la aplicación de Calidad de Servicio (QoS) dentro de la red MPLS, para el transporte de voz, video y datos en una misma plataforma, se utiliza para optimizar la velocidad para flujos específicos de tráfico y de esta manera se aprovecha al máximo las transferencias de paquetes.
- Por ser MPLS una tecnología sencilla, la administración y el mantenimiento no requieren costos elevados, además si se requiere integrar otro nodo adicional solamente se requiere de la configuración de todos los equipos.
- La implementación de una red MPLS sobre el anillo de fibra óptica que interconecta las subestaciones de la ciudad de Loja servirá para mejorar la capacidad de procesamiento, velocidad y confiabilidad de la red, siendo este estudio de mucha ayuda para una futura implementación

9.- RECOMENDACIONES

- Con respecto a los equipos que pueden utilizarse para una futura implementación en el mercado se cuenta con distintos proveedores como los son Alcatel, Huawei, Cisco, 3COM, etc, sin embargo teniendo en cuenta las características necesarias para la implementación de la tecnología MPLS se recomienda la utilización de equipos Cisco, que permiten la utilización de protocolos adicionales que logran una mejora para este tipo de tecnología adema se adaptan a otros dispositivos de red que se encuentran actualmente implementados dentro de la red de comunicaciones.
- En cuanto a los protocolos de enrutamiento pueden ser usados los protocolos RIP, OSPF, EIGRP, IS-IS o inclusive se puede utilizar enrutamiento estático, pero se recomienda trabajar con el protocolo OSPF debido a las ventajas que tiene sobre los otros protocolos y la confiabilidad al trabajar conjuntamente con la tecnología MPLS.
- Para una futura implementación de la tecnología MPLS dentro de la red de comunicaciones de EERSSA se recomienda la implementación de Vlans dentro de cada subestación, ya que sería de gran ayuda dentro de la administración de la red y brindaría un nivel más alto de seguridad.
- El presente estudio también puede ser tomado en cuenta para la implantación de la tecnología MPLS sobre el anillo de fibra óptica perteneciente al Oriente, que cuenta con los mismos parámetros de implementación.

10.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. O. T. Garcia, *MPLS, EL PRESENTE DE LAS REDES IP*, Pereira - Colombia: Universidad Tecnologica de Pereira , 2008.
- [2] W. J. C. Cevallo, *DISEÑO DE REDES PRIVADAS VIRTUALES (VPN) BASADAS EN LA TECNOLOGÍA MPLS*, Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejercito , 2006.
- [3] J. L. P. Pasquel, *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA MIGRACIÓN DE REDES WAN CONVENCIONALES A LA TECNOLOGÍA MPLS*, Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejercito , 2010.
- [4] W. Tanenbaun, «Redes de Computadoras,» de *Redes de Computadoras*, Mexico, Pearson Educación, 2012, p. 706.
- [5] R. Gallaher, *MPLS Training Guide: Building Multi Protocol Label Switching*, Syngress Publishing, 2003.
- [6] Empresa Eléctrica Regional de Sur S.A., «Plan de expansión del sistema electrico 2015-2025,» Loja, 2013.
- [7] C. Systems, *Cisco Integrates Services Routers 2900 Series*, Estados Unidos : Cisco, 2009.
- [8] Cablematic, «Cablematic,» 02 10 2015. [En línea]. Available: http://www.cablematic.es/producto/Conector-de-fibra-optica-SC_slash_APC-monomodo-de-3_com. [Último acceso: 20 11 2015].
- [9] Elaborado por el autor.
- [10] C. Anibal, «Implementación del Sistema SCADA de la EERSSA,» Loja, 2007.
- [11] Software Power Link Advantage.

[12] Consola de Vigilancia.

[13] Software What's Up Gold .

11. ANEXOS

ANEXO 1: Anillo de Fibra EERSSA en formato A1.

ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA MONOMODO TIPO G.652 D.

- Esta especificación corresponde a fibras optimizadas para la transmisión en las longitudes de onda de 1310 nm a 1550 nm, incluida la región de 1383 nm y de acuerdo a la subcategoría G.652.D de la ITU-T.
- El núcleo está compuesto por dióxido de silicio dopado, rodeado por un recubrimiento de dióxido de silicio, el revestimiento está formado por dos capas de acrilato curado mediante UV.



Parámetros ópticos	Fibra no cableada	Fibra cableada
Atenuación a 1310 nm	$\leq 0,35$ dB/Km	$\leq 0,37$ dB/Km
Atenuación a 1383 nm	$\leq 0,35$ dB/Km	$\leq 0,37$ dB/Km
Atenuación a 1550 nm	$\leq 0,21$ dB/Km	$\leq 0,24$ dB/Km
Atenuación a 1625 nm	$\leq 0,23$ dB/Km	
Atenuación en 1285-1625 nm	$\leq 0,40$ dB/Km	
Punto de discontinuidad máxima en 1310 y 1550 nm	$\leq 0,05$ dB	
Longitud de onda de corte	1100 - 1320 nm	≤ 1260 nm
Punto de dispersión cero	1300-1324 nm	
Pendiente de dispersión cero	$\leq 0,090$ ps/nm ² .Km	
Dispersión cromática en 1285 –1330 nm	$\leq 3,5$ ps/nm.Km	
Dispersión cromática en 1550 nm	$\leq 18,0$ ps/nm.Km	
Dispersión cromática en 1625 nm	$\leq 22,0$ ps/nm.Km	
PMD fibra individual	$\leq 0,15$ ps/√Km	
PMDq (Q=0,01%, N=20)	$\leq 0,08$ ps/√Km	

Parámetros geométricos	
Diámetro de campo modal 1310 nm	$9,20 \pm 0,40$ μ m
Diámetro de campo modal 1550 nm	$10,40 \pm 0,50$ μ m
Error concentricidad núcleo/cladding	$\leq 0,4$ μ m
Diámetro cladding	$125,0 \pm 0,50$ μ m
Error concentricidad coating/cladding	≤ 12 μ m
No circularidad coating	≤ 10 %
Diámetro coating (coloreado)	250 ± 15 μ m


ANEXO 3: CARACTERÍSTICAS DEL RUTER CISCO ISR 2921




	Cisco 2901	Cisco 2911	Cisco 2921	Cisco 2951
Densidad de ranuras y servicios				
Aceleración de cifrado integrada en hardware (IPSec + SSL)	SI	SI	SI	SI
Sesiones de Cisco Unified SRST	35	50	100	250
Sesiones de Cisco Unified CCME	35	50	100	150
Total de puertos WAN 10/100/1000 Integrados	2	3	3	3
Puertos basados en RJ-45	2	3	3	3
Puertos basados en SFP (el uso del puerto SFP desactiva el puerto RJ-45 correspondiente)	0	0	1	1
Ranuras para módulos de servicio	0	1	1	2
Ranuras para módulos de servicio de doble ancho (el uso de una ranura de doble ancho ocupará todas las ranuras para módulos de servicio de ancho simple del router Cisco 2900)	0	0	1	1
Ranuras para EHWIC	4	4	4	4
Ranuras para EHWIC de doble ancho (el uso de una ranura para EHWIC de doble ancho ocupará dos ranuras para EHWIC)	2	2	2	2
Ranuras para ISM	1	1	1	1
Ranuras para DSP (PVDM) Integradas	2	2	3	3
Memoria DRAM ECC DDR2 - Predeterminada	512 MB	512 MB	512 MB	512 MB
Memoria (DRAM ECC DDR2) - Máxima	2 GB	2 GB	2 GB	2 GB
Memoria Compact Flash (externa) - Predeterminada	Ranura 0: 256 MB Ranura 1: nada	Ranura 0: 256 MB Ranura 1: nada	Ranura 0: 256 MB Ranura 1: nada	Ranura 0: 256 MB Ranura 1: nada
Memoria Compact Flash (externa) - Máxima	Ranura 0: 4 GB Ranura 1: 4 GB	Ranura 0: 4 GB Ranura 1: 4 GB	Ranura 0: 4 GB Ranura 1: 4 GB	Ranura 0: 4 GB Ranura 1: 4 GB
Ranuras para memoria flash USB 2.0 externa (tipo A)	2	2	2	2
Puerto de consola USB (tipo B; hasta 115,2 kbps)	1	1	1	1
Puerto serie de consola	1	1	1	1
Puerto serie auxiliar	1	1	1	1
Fuentes de alimentación	CA y PoE	CA, PoE y CC*	CA, PoE y CC*	CA, PoE y CC*
Compatibilidad con RPS (externo)	No	Cisco RPS 2300	Cisco RPS 2300	Cisco RPS 2300
Especificaciones de alimentación				
Voltaje de entrada de CA	Rango automático de 100 a 240 VCA	Rango automático de 100 a 240 VCA	Rango automático de 100 a 240 VCA	Rango automático de 100 a 240 VCA
Frecuencia de entrada de CA	47 a 63 Hz	47 a 63 Hz	47 a 63 Hz	47 a 63 Hz
Rango de CA de entrada de la fuente de alimentación de CA (máx.)	1,5 a 0,6 A	2,2 a 1,0 A	3,4 a 1,4 A	3,4 a 1,4 A
Impulso transitorio de corriente de entrada de CA	<50 A	<50 A	<50 A	<50 A
Consumo normal de energía (sin módulos)	40 W	50 W	60 W	70 W
Potencia máxima con fuente de alimentación de CA	150 W	210 W	320 W	340 W

	Cisco 2901	Cisco 2911	Cisco 2921	Cisco 2951
Potencia máxima con fuente de alimentación PoE (plataforma únicamente)	175 W	250 W	370 W	405 W
Potencia PoE máxima en terminales desde una fuente de alimentación PoE	130 W	200 W	280 W	370 W
Capacidad de potencia PoE máxima en terminales con PoE aumentada	N/D	750 W	750 W	750 W
Especificaciones físicas				
Dimensiones (Al x An x Pr)	44,5 x 438,2 x 439,4 mm (1,75 x 17,25 x 17,3 pulg.)	44,5 x 438,2 x 304,9 mm (3,5 x 17,25 x 12 pulg.)	88,9 x 438,2 x 469,9 mm (3,5 x 17,25 x 18,5 pulg.)	88,9 x 438,2 x 469,9 mm (3,5 x 17,25 x 18,5 pulg.)
Altura de bastidor	1 RU (unidad de bastidor)	2 RU	2 RU	2 RU
Montaje en bastidor EIA de 48,3 cm (19 pulg.)	Incluido	Incluido	Incluido	Incluido
Montaje en bastidor EIA de 58,4 cm (23 pulg.)	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Montaje en pared (consulte la guía de instalación para averiguar la orientación aprobada)	Si	Si	No	No
Peso con fuente de alimentación de CA (sin módulos)	6,1 kg (13,4 libras)	8,2 kg (18 libras)	13,2 kg (29 libras)	13,2 kg (29 libras)
Peso con fuente de alimentación PoE y CA (sin módulos)	6,5 kg (14,3 libras)	8,6 kg (19 libras)	13,6 kg (30 libras)	13,6 kg (30 libras)
Peso normal totalmente configurado	7,3 kg (16 libras)	9,5 kg (21 libras)	15,5 kg (34 libras)	15,5 kg (34 libras)
Flujo de aire	Desde el frente hacia el lateral	Desde un lateral hacia el otro lateral	Desde el frente hacia la parte posterior	Desde el frente hacia la parte posterior
Kit de flujo de aire opcional	N/D	Desde el frente hacia la parte posterior	N/D	N/D
Especificaciones ambientales				
Condiciones de funcionamiento				
Temperatura: altitud máxima de 1800 m (5906 pies)	0 a 40 °C (32 a 104 °F)	0 a 40 °C (32 a 104 °F)	0 a 40 °C (32 a 104 °F)	0 a 40 °C (32 a 104 °F)
Temperatura: altitud máxima de 3000 m (9843 pies)	0 a 25 °C (32 a 77 °F)	0 a 40 °C (32 a 104 °F)	0 a 40 °C (32 a 104 °F)	0 a 40 °C (32 a 104 °F)
Temperatura: altitud máxima de 4000 m (13.123 pies)	N/D	0 a 30 °C (32 a 86 °F)	0 a 30 °C (32 a 86 °F)	0 a 30 °C (32 a 86 °F)
Temperatura: altitud máxima de 1800 m (5906 pies) a corto plazo (según NEBS)	N/D	-5 a 50 °C (23 a 122 °F)	N/D	-5 a 50 °C (23 a 122 °F)
Altitud	3000 m (10.000 pies)	4000 m (13.000 pies)	3000 m (10.000 pies)	4000 m (13.000 pies)
Humedad relativa	10 a 85%	5 a 85%	10 a 85%	5 a 85%
Humedad a corto plazo (según NEBS)	N/D	5 a 90%, pero sin exceder 0,024 kg de agua por kg de aire seco	N/D	N/D
Acústica: presión sonora (normal/máxima)	41/53 dBA	51,8/62,9 dBA	54,4/67,4 dBA	54,4/67,4 dBA
Acústica: potencia sonora (normal/máxima)	49/61 dBA	58,5/70,3 dBA	62,6/74,5 dBA	62,6/74,5 dBA
Condiciones para el transporte y almacenamiento				
Temperatura	-40 a 70 °C (-40 a 158 °F)	-40 a 80 °C (-40 a 176 °F)	-40 a 70 °C (-40 a 158 °F)	-40 a 70 °C (-40 a 158 °F)
Humedad relativa	5 a 95%	5 a 95%	5 a 95%	5 a 95%
Altitud	4570 m (15.000 pies)	4570 m (15.000 pies)	4570 m (15.000 pies)	4570 m (15.000 pies)

ANEXO 4: CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR DE FIBRA ÓPTICA SC/APC DE 3,0 MM



SC

 SC	Monomodo		Multimodo		
	Tipo de Pulido	Pérdidas de Inserción	Pérdidas de Retorno	Pérdidas de Inserción	Pérdidas de Retorno
	Pulido PC	<0,4 dB (Típico 0,2 dB)	≥40 dB	<0,25 dB	≥22 dB
	Pulido SPC	<0,4 dB (Típico 0,2 dB)	≥45 dB	<0,25 dB	≥36 dB
	Pulido UPC	<0,4 dB (Típico 0,2 dB)	≥55 dB	–	–
	Pulido APC	<0,4 dB (Típico 0,2 dB)	≥65 dB	–	–

Aplicación: En equipos y sistemas de comunicación, redes LAN, tarjetas ópticas. Para todo tipo de fibras.
Disponible en formato simple y dúplex.

ANEXO 4: MANUAL DE PROGRAMADOR

Manual de Configuración de MPLS en un Router Cisco

El presente manual de configuración menciona los comandos principales de configuración utilizados por un router Cisco para que pueda funcionar en una red MPLS.

1. Configuración de una interfaz *loopback*

Una dirección *loopback*, brinda un método seguro y estable de manejar el enrutador ya que se trata de una interfaz fija, proporciona un mejor control del *router* porque ayuda a que todo el tráfico que es creado por el *router* sea leído por la misma IP. Una interfaz *loopback* se crea de la siguiente manera:

```
Router# configure terminal
```

```
Router(config)# interface loopback <tipo y número de la interfaz>
```

```
Router(config-if)# ip address <dirección IP> <máscara>
```

2. Configuración básica de OSPF

Se utiliza el protocolo de enrutamiento dinámico OSPF sobre la red MPLS, este protocolo ayudará a determinar las rutas para el tráfico IP dentro de la red, los comandos utilizados para configurar OSPF dentro de *router* Cisco son:

```
Router# configure terminal
```

```
Router(config)# router ospf 1
```

```
Router(config)# network <dirección IP> <wildcard-mask> <área-id>
```

Para comprobar el estado de OSPF así como las adyacencias se utiliza los siguientes comandos:

```
Router# show ip ospf interface
```

```
Router# show ip ospf neighbors
```

3. Configuración básica de BGP

La necesidad de configurar un protocolo del tipo BGP sobre MPLS es con el fin de que en un futuro se requiera crear servicios de redes privadas virtuales sobre MPLS, caso contrario simplemente se podría implementar una red MPLS directamente con el protocolo de enrutamiento OSPF. Para la configuración de BGP se utiliza los siguientes comandos.

Router# configure terminal

Router(config)# router bgp <número de proceso BGP>

En la línea de comando donde se requiere el número de proceso BGP se configura el sistema autónomo en el que se quiere que BGP converse, por lo general se utiliza 65000 para pruebas.

En cada pareja de routers vecinos se debe establecer las adyacencias, en uno de los *routers* se indica al *router* vecino y se le pide que actualice el ruteo mediante la interfaz de *loopback*, se utiliza los siguientes comandos:

Router(config-router)# neighbor <dirección IP de la interfaz del router vecino> remote-as <número de proceso BGP>

Router(config-router)# neighbor <dirección IP de la interfaz del router vecino> update-source loopback <número de la interfaz>

En el router vecino se le indicara que actualice el ruteo mediante la interfaz de *loopback*.

Router(config-router)# neighbor <dirección IP de la interfaz de loopback del router vecino> remote-as <número de proceso BGP>

Para verificar el estado y funcionamiento de BGP se utiliza los siguientes comandos:

Router# show ip bgp neighbors

Router# show ip bgp summary

Los comandos anteriores muestran los routers vecinos a diferencia que el primer comando muestra información sobre esta relación y el segundo muestra el estado en el que se encuentran.

Para resetear las sesiones BGP ya establecidas se utiliza el siguiente comando:

```
Router# clear ip bgp
```

4. Configuración básica de MPLS

Ya que se cuenta con los protocolos de enrutamiento configurados en cada uno de los *routers*, se puede habilitar las características MPLS en los *routers*, el primer paso es configurar el CEF (*Cisco Express Forwarding*) estas son un conjunto de funcionalidades que utilizan todos los equipos *Cisco* que requieren trabajar bajo la tecnología MPLS, utilizamos los siguientes comandos:

```
Router# configure terminal
```

```
Router(config)# ip cef
```

```
Router# show ip cef summary      Para comprobar la activación de CEF
```

Luego lo que se hace es activar el protocolo MPLS en cada uno de los routers por donde se vayan a comunicar mediante esta tecnología.

```
Router(config)# interface <tipo y número de la interfaz>
```

```
Router(config-if)# mpls ip
```

```
Router(config-if)# mpls label protocol ldp
```

Para realizar la verificación del funcionamiento de MPLS se utiliza los siguientes comandos:

Para mostrar las interfaces en las que se encuentra funcionando MPLS:

```
Router# show mpls interfaces
```

Para mostrar los parámetros que utiliza el protocolo en *router*:

```
Router# show mpls ldp parameters
```

Para mostrar los *routers* vecinos:

```
Router# show mpls ldp neighbor
```

Para mostrar la tabla de etiquetas:

Router# show mpls ldp binding

Para mostrar la tabla de *forwarding*:

Router# show mpls forwarding-table

CERTIFICADO

Tatiana Ivannova Trujillo Torres

Certificated Proeficiency in English by “Fine- Tuned English”

CERTIFICA:

Que la traducción del RESUMEN de la presente tesis, es una traducción fiel y completa al idioma inglés, de un documento redactado en el idioma español.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.



Tatiana Ivannova Trujillo Torres

Certificated Proeficiency in English by “Fine- Tuned English”