



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“Diseño de una red SDH entre Quito y Tulcán para dar servicios de un STM-1 por medio de una señal agregada STM-4, y proveer a un centro de llamadas en Cuenca de un E1 internacional hacia el NAP de las Américas con tecnologías Metro Ethernet y TDMoIP.”

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Presentada por:

PAVEL RAÚL CASTILLO CHANG

ROBERTO IGNACIO INTRIAGO NÚÑEZ

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2012

## AGRADECIMIENTOS

A la ESPOL y a los profesores que con sus enseñanzas han contribuido a mi formación académica, de manera particular al Ing. Héctor Fiallos. A mis amigos Benjamín y Nicola por su colaboración y soporte para continuar.

Pavel Castillo

Primero que todo a Dios por bendecirme con todas mis capacidades, a todos los profesores que a lo largo de mi carrera dedicaron su mayor esfuerzo a mi educación, a mis compañeros que siempre me apoyaron y a los ingenieros Héctor Fiallos e Ignacio Marín por guiarnos en el desarrollo de esta Tesina.

Roberto Intriago

# DEDICATORIAS

A mi familia por su constante e incondicional apoyo, en especial a mis padres Elena y Raúl.

Pavel Castillo

Dedico este trabajo a mis padres Xavier y Margot por su apoyo y confianza entregada en mi y a toda mi familia que siempre contó conmigo.

Roberto Intriago

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

Ing. Héctor Fiallos  
PROFESOR DEL SEMINARIO

---

Ing. Ignacio Marín García  
PROFESOR DELEGADO DEL  
DECANO FIEC

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Grado, nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Pavel Raúl Castillo Chang

---

Roberto Ignacio Intriago Núñez

## RESUMEN

En el primer capítulo concentramos nuestro esfuerzo en exponer los conceptos teóricos de los elementos principales de la forma más sintetizada posible que servirán para el posterior desarrollo del presente documento.

Iniciamos demostrando como el aumento en la demanda de los servicios de telecomunicaciones debido a las necesidades de comunicación entre los usuarios, disminución de los costos de los servicios a causa de la competitividad entre los diferentes proveedores y los avances tecnológicos han permitido satisfacer las necesidades de los clientes siempre y cuando se estudie, desarrolle y aplique diseños de redes altamente eficientes, veloces y confiables.

En el segundo capítulo nos enfocamos en el diseño del proyecto analizando cada detalle partiendo desde los requerimientos mínimos, criterios para la arquitectura, esquemas de protección y seguridades necesarias para la implementación de cada particular nodo y elementos de la red.

El tercer capítulo está dirigido a poner en práctica los conceptos teóricos posteriormente aplicados en el diseño para simular nuestro proyecto empleando para esto equipamiento Huawei del Laboratorio de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC) de la ESPOL.

El cuarto capítulo está orientado al análisis económico derivado de los costos de implementación basados en los precios de diversos proveedores y posibles ganancias, cuyos resultados fundamentalmente serán empleados como argumento en la toma de decisiones de los diferentes escenarios concebibles. Finalizamos con nuestras conclusiones y recomendaciones.

# ÍNDICE GENERAL

	<b>PÁGINA</b>
AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	III
DECLARACIÓN EXPRESA.....	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES.....	XVII
GLOSARIO.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXV

## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO TEÓRICO**

1.1. Demanda de ancho de banda.....	1
1.1.1. Ancho de banda en el Mundo.....	2
1.1.2. Ancho de banda en Latinoamérica y en el Ecuador.....	4
1.2. Fundamentos de fibra óptica.....	7
1.2.1. Aplicación en la industria.....	9
1.2.2. Enlaces de comunicación de fibra óptica y componentes.....	10
1.2.3. Ventajas de los cables de fibra óptica.....	11
1.3. La jerarquía digital sincrónica (SDH).....	12
1.3.1. Generalidades.....	12
1.3.1.1. Estructura de la trama SDH.....	13



1.3.1.2. Velocidades de transmisión.....	15
1.3.1.3. Elementos de una red SDH.....	17
1.3.2. Arquitectura y mecanismos de protección .....	18
1.3.2.1. Tipos de protección .....	20
1.3.2.2. Acuerdo contractual del nivel de servicio.....	21
1.3.3. Sincronismo .....	22
1.4. Metro ethernet .....	26
1.4.1. Estructura de redes .....	27
1.4.2. Calidad del servicio (QoS) .....	30
1.5. TDMoIP .....	32
1.5.1. Transporte de TDM estructurado .....	34
1.5.2. Desafíos del pseudo-cable .....	35

## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES**

2.1. Requerimientos.....	37
2.2. Arquitectura de la red óptica .....	39
2.2.1. Red de backbone.....	39
2.2.2. Red de acceso .....	43
2.3. Protección del sistema ante eventos de falla .....	46
2.4. Sincronización .....	48
2.4.1. Fuente de reloj primaria .....	49
2.4.2. Distribución del reloj jerárquico.....	51
2.5. Niveles de potencia y atenuación .....	53
2.5.1. Cálculo de la distancia máxima entre nodos.....	55
2.5.2. Distancia entre nodos .....	59
2.6. Tendido de fibra óptica .....	65
2.6.1. Técnicas de tendido .....	65
2.6.2. Empalmes .....	69
2.7. Implementación de los elementos de la red .....	71
2.7.1. Activos .....	71
2.7.2. Pasivos .....	74

2.7.3. Implementación de los nodos .....	77
--	----

## **CAPÍTULO 3**

### **SIMULACIÓN EN LABORATORIO**

3.1. Configuración y pruebas de la red simulada.....	84
3.2. Configuración de la red metro ethernet con la aplicación gns3 .....	87
3.3. Resolución de problemas (troubleshooting).....	90

## **CAPÍTULO 4**

### **INGENIERÍA ECONÓMICA DEL PROYECTO**

4.1. Costos totales del proyecto.....	92
4.2. Análisis económico .....	95

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

**ANEXO A.** LEY DE SNELL

**ANEXO B.** TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

**ANEXO C.** ELEMENTOS DE LOS ENLACES DE COMUNICACIÓN  
ÓPTICA

**ANEXO D.** BREVE RESEÑA SOBRE EL NAP DE LAS AMERICAS

**ANEXO E.** INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA TECNOLOGÍA SDH

**ANEXO F.** NIVELES JERÁRQUICOS DE UNA RED DE DATOS

**ANEXO G.** CRITERIOS DE DISEÑO

**ANEXO H.** MÉTODOS DE TENDIDO DE FIBRA

**ANEXO I.** CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO HUAWEI OPTIX 1500B

**ANEXO J.** PASOS PARA LA CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS SDH  
EN LABORATORIO

- ANEXO K.** PASOS PARA LA CONFIGURACIÓN DE TDMoIP EN LABORATORIO
- ANEXO L.** CONFIGURACIÓN DE LA RED METRO ETHERNET USANDO LA APLICACIÓN GNS3
- ANEXO M.** RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS
- ANEXO N.** COSTOS DETALLADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO
- ANEXO O.** TABLA DEL FACTOR DE INTERÉS COMPUESTO PARA EL VALOR PRESENTE P/A
- ANEXO P.** MULTIPLEXACIÓN POR DIVISION DE TIEMPO (TDM)
- ANEXO Q.** TIPOS DE RELOJES Y ESTÁNDARES DE SINCRONISMO
- ANEXO R.** PROTOCOLO DE SPANNING TREE RÁPIDO (RSTP)

BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Usuarios de internet distribuidos por regiones del mundo .....	3
Figura 1. 2. Usuarios de internet por países en Latinoamérica y el Caribe.....	5
Figura 1. 3. Datos estadísticos históricos de usuarios de internet en el Ecuador .....	6
Figura 1. 4. Estructura de la fibra óptica constituido por un núcleo central y material periférico transparente rodeado por un empaque protector .....	8
Figura 1. 5. Posición que ocupan las ventanas ópticas en el espectro electromagnético.....	10
Figura 1. 6. Estructura de un STM-1.....	15
Figura 1. 7. Red SDH genérica exhibiendo sus diversos componentes y tasas de transmisión.....	18
Figura 1. 8. MTTR y MTBF representados en el tiempo .....	22
Figura 1. 9. Distribución de la señal de reloj a través de diversos nodos en una red anillada genérica SDH .....	25
Figura 1. 10. Distribución de una señal TDM sobre una red GigaEthernet...	33
Figura 2. 1. Ubicación geográfica de las ciudades en el Ecuador .....	40
Figura 2. 2. Diseño genérico de la red backbone de nuestro proyecto .....	42
Figura 2. 3. Red de acceso o de última milla en las ciudades principales ....	45
Figura 2. 4. Esquema de PRC .....	51
Figura 2. 5. Distribución de la señal PRC en la red SDH.....	53
Figura 2. 6. Ruta 1 SDH (Quito – Tulcán) .....	61
Figura 2. 7. Ruta 2 SDH (Quito – Tulcán) .....	62
Figura 2. 8. Ruta 1 anillo Metro Ethernet (Quito-Cuenca).....	64
Figura 2. 9. Ruta 2 anillo Metro Ethernet (Quito-Cuenca).....	65
Figura 2. 10. Cable ADSS y detalle del montaje de los cables sobre los postes .....	67

Figura 2. 11. Conjunto de suspensión para cables ADSS y OPGW .....	68
Figura 2. 12. Caja de empalme óptico .....	71
Figura 2. 13. Modulo SFP Cisco 1000BASE-ZX monomodo 9µm 1550nm 70Km conector LC .....	73
Figura 2. 14. Distribución de hilos de fibra mediante un ODF y patch cord de fibra.....	76
Figura 3. 1. Topología de simulación SDH mas TDMoIP.....	83
Figura 3. 2. Topología de emulación de la red Metro ethernet .....	84
Figura 3. 3. Pantallas del equipo de medición E1 .....	86
Figura 3. 4. Pantalla del equipo de prueba de la señal STM-1 .....	87
Figura 3. 5. Ping desde el PC virtual hacia la interfaz virtual en SW1 .....	89
Figura 4. 1. Visualización gráfica para extrapolar y obtener el factor P/A.....	96
Figura 4. 2. Gráfico lineal del P/A para un interés del 5,5% a 5 años.....	97
Figura A1. Trayectoria del rayo de luz para algunos ángulos de incidencia	
Figura B1. Construcción y propiedades del índice de refracción para fibra (a) con índice escalonado y (b) con índice gradual	
Figura C1. Empalmes y conectores	
Figura C2. Conectores de fibra óptica	
Figura C3. Comparación entre la emisión de luz coherente y la no coherente	
Figura E1. Esquema de multiplexación SDH (ITU-T G.708)	
Figura E2. Topologías de redes SDH	
Figura F1. Diseño de red de datos jerárquico completamente redundante	
Figura F2. Red Metro Ethernet (MEN) genérica	
Figura G1. Flujograma del diseño de una red	
Figura H1. Procedimiento para el tendido con la técnica de microzanjado	

- Figura I1. Huawei Optix OSN 1500B
- Figura I2. Asignación de slots o ranuras del Optix OSN 1500B
- Figura I3. Equipos montados sobre bastidores metálicos
- Figura J1. Diagrama de flujo de la implementación de un anillo SDH
- Figura J2. Servicios del servidor T2000 en estado activo
- Figura J3. Parámetros de creación de nodo
- Figura J4. Ubicación de los nodos en el T200
- Figura J5. Requerimiento físico de las tarjetas
- Figura J6. Selección de la tarjeta y puerto para el enlace STM-4
- Figura J7. Parámetros de un enlace óptico
- Figura J8. Nodos con sus respectivos enlaces ópticos
- Figura J9. Opciones para una protección de anillo de ruta uniforme
- Figura J10. Opciones para creación de una protección de ruta uniforme
- Figura J11. Vista del cuadro de configuración al momento de crear el STM-1
- Figura J12. Vista de selección de fuente y destino de un servicio STM-1
- Figura J13. Creación de un VC-4 server trail
- Figura J14. Creación de un E1
- Figura J15. Distribución del reloj en simulación
- Figura J16. Selección de fuente del reloj dentro del explorado de NE
- Figura J17. Adición de fuentes de reloj en simulación
- Figura J18. Prioridades de las fuentes de reloj en un nodo SDH
- Figura J19. Vista de una configuración SDH con servicios activos sin errores
- Figura K1. Configuración IP del IPMUX 1
- Figura K2. Configuración Ethernet del IPMUX 1
- Figura K3. Configuración Ethernet del IPMUX 11

Figura K4. Configuración TDM del IPMUX 1

Figura K5. Configuración TDM del IPMUX 11

Figura L1. Inserción del módulo NM-16ESW en uno de los conmutadores

Figura L2. Elementos colocados según la topología en el tablero de GNS3

Figura L3. Configuración básica del hardware y versión e imagen del software del sistema

Figura L4. Configuración de las interfaces fastethernet

Figura L5. Estado de las interfaces en SW2

Figura L6. Configuración de las características VTP y creación de las VLANs

Figura L7. Verificación del estado VTP en SW4

Figura L8. Comprobación de la correcta propagación de las VLANs en el cliente SW4

Figura L9. Configuración de un SVI y ejecución de un ping de prueba

Figura L10. Estado inicial de STP para la VLAN 20 en el SW1

Figura L11. Verifica del estado actual de STP para la VLAN 20 en SW1

Figura L12. Configuración corriente de la interfaz de acceso para el PC virtual

Figura L13. Visualización del estado de los puertos durante el proceso de convergencia

Figura M1. Diagrama de flujo para resolución de problemas de redes ópticas

Figura P1. Mecanismo conceptual de funcionamiento TDM

Figura R1. Secuencia de eventos durante la convergencia de RSTP

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Jerarquía de Multiplexación TELCO .....	16
Tabla 1.2. Jerarquía de Multiplexación SONET/SDH .....	17
Tabla 2. 1. Tipos y parámetros de los módulos ópticos provistos por las tarjetas SDH.....	54
Tabla 2. 2. Factor de atenuación de elementos pasivos.....	54
Tabla 2. 3. Distancias de carreteras entre las ciudades principales Tulcán– Quito y Quito–Cuenca.....	59
Tabla 2. 4. Ruta 1 saliendo desde Quito por la Panamericana norte hacia Tulcán .....	60
Tabla 2. 5. Ruta 2 desde Quito hacia Tulcán saliendo por la carretera Quito-Pifo.....	61
Tabla 2. 6. Ruta 1 desde la ciudad de Quito a Cuenca.....	63
Tabla 2. 7. Ruta 2 desde la ciudad de Quito a Cuenca.....	64
Tabla 2. 8. Cantidad total de carretes de longitud de 4 km. por trayectos entre nodos .....	70
Tabla 2. 9. Elementos principales necesarios para implementar el proyecto	80
Tabla 3.1. Estado final de los puertos después de la convergencia STP .....	90
Tabla 4.1. Detalle de los costos anuales por servicios de terceros.....	93
Tabla 4.2. Costo del mantenimiento anual de la red.....	93
Tabla 4.3. Costo anual por el transporte de un STM-1 .....	94
Tabla 4.4. Costo total de la implementación de la red SDH más última milla de Tulcán .....	94
Tabla 4.5. Costo total de la implementación de la red Metro Ethernet.....	94
Tabla 4.6. Costo total de la implementación de la red completa.....	95



Tabla 4. 7. Tabla del valor presente P/A del factor de interés compuesto ....	96
Tabla 4. 8. Egresos anuales en el escenario 1 .....	99
Tabla 4. 9. Ingresos anuales en el escenario 1 .....	99
Tabla 4.10. Egresos anuales en el escenario 2 .....	100
Tabla 4.11. Ingresos anuales en el escenario 2.....	100
Tabla 4.12. Ingresos anuales en el escenario 3.....	101
Tabla I1. Detalle de diversas tarjetas con las ranuras disponibles	
Tabla K1. Parámetros Ethernet de los IPMUX	
Tabla L1. Estado de todos los puertos de nuestra red para la VLAN 20	
Tabla N1. Costos para la implementación de un nodo principal SDH	
Tabla N2. Costos para la implementación de un nodo secundario	
Tabla N3. Detalle de costos del servidor, aplicaciones y licencias	
Tabla N4. Costos de construcción e infraestructura de un nodo SDH	
Tabla N5. Costos del anillo SDH sin tendido de fibra	
Tabla N6. Costo del anillo Metro Ethernet sin tendido de fibra	
Tabla N7. Detalle del costo de la infraestructura de un nodo de la red Metro	
Tabla N8. Detalle de costos para la última milla de Tulcán hacia la salida internacional	
Tabla N9. Costo de tendido de fibra por vía aérea por tramo de 4 Km	
Tabla N10. Costos de fibra y respectivo despliegue para la red SDH	
Tabla N11. Costos de fibra y respectivo despliegue para la red Metro	
Tabla N12. Costo total del tendido aéreo de toda la red	
Tabla N13. Costo del tendido del microzanjado por 4 Km	
Tabla N14. Costo del tendido de toda la red por el método de microzanjado	
Tabla Q1. Tipos de Osciladores con su respectivo nivel de estrato	

# ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

<b>Siglas</b>	<b>Significado</b>
ADSS	Dieléctrico aéreo autoportado
ANSI	Instituto Nacional Americano de Estándares
APS	Protección automática por conmutación
BGP	Protocolo de puerta de enlace de borde
BPDU	Unidad de protocolos de datos
C	Contenedor
CCITT	Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telégrafos
CE	Equipo del cliente
CSMA/CD	Sensor de portadora de acceso multiple/detección de colisiones
DiffServ	Modelo de servicios diferenciados
DWDM	Multiplexación por división de la longitud de onda densa
EIA	Alianza de Industrias Electrónicas
EoMPLS	Ethernet sobre MPLS
EPS	Protección del equipo por conmutación
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FDM	Multiplexación por división de la frecuencia
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
FTTH	Fibra a casa

<b>Siglas</b>	<b>Significado</b>
GPS	Sistema Global de Posicionamiento
IEEE	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos
IntServ	Modelo de servicios integrados
IP	Protocolo de internet
IPMUX	Multiplexor IP
ISP	Proveedor de servicios de internet
ITU-T	Unión internacional del sector de telecomunicaciones
Km	Kilómetros
LAN	Red de área local
m	metros
MAC	Medios de control de acceso
MAN	Red de área metropolitana
MASER	Amplificación de microonda por emisión estimulada de radiación
MEN	Redes metropolitanas Ethernet
mm	milímetros
MPLS	Protocolo Múltiple de conmutación por etiquetas
MSTP	Plataforma de Transmisión de Múltiples Servicios
MTBF	Tiempo promedio entre fallas
MTIE	Máximo error en el intervalo de tiempo
MTTR	Tiempo promedio de reparación
NA	Apertura numérica

<b>Siglas</b>	<b>Significado</b>
NAP	Punto de acceso a la red
NE	Elemento de red
NM	Administración de red
nm	nanómetro
OC	Portador óptico
ODF	Trama de distribución óptica
OPGW	Cable terreno de fibra óptica
OSI	Interconexión de sistemas abierto
OTDR	Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo
PCM	Modulación por impulsos codificados
PDH	Jerarquía digital plesiócrona
POH	Cabecera de ruta
PRC	Reloj de referencia primaria
PTR	Puntero
QoS	Calidad de servicio
RSTP	Protocolo de Spanning Tree Rápido
SASE	Equipo de sincronización independiente
SDH	Jerarquía digital sincrónica
SEC	Sincronización del reloj del equipo
SFP	Módulo de pequeño factor de forma conectable
SLA	Acuerdo de nivel del servicio
SOH	Sección de cabecera

<b>Siglas</b>	<b>Significado</b>
SONET	Red óptica sincrónica
SSU	<i>Unidad proveedora de sincronismo</i>
STM	Módulo de transmisión sincrónica
STP	Protocolo Spanning Tree
SVI	Interface virtual conmutada
TDM	Multiplexación por división del tiempo
TDMoIP	TDM sobre IP
Telco	Compañía de telecomunicaciones
TIA	Asociación de industrias de las telecomunicaciones
TU	Unidad tributaria
UNI	Interface de red del usuario
UPS	Fuente proveedora de alimentación eléctrica
VC	Contenedor virtual
VLAN	Red de área local virtual
VTP	Protocolo troncal de VLAN
WAN	Red de área amplia

## GLOSARIO

<b>ADM</b>	(Add/Drop Multiplexer). Esencialmente posee todas las capacidades y funcionalidades descritas para los 3 elementos siguientes: Regeneradores, TM, y DXC.
<b>Convergencia de la red</b>	Cuando todos los elementos de una red tienen “conocimiento” de su topología, llegando a un común acuerdo de funcionamiento que causa un comportamiento estable de la misma.
<b>DXC</b>	(Digital Cross Connect). conecta las diferentes tasas y mapea las diferentes señales tributarias PDH o SDH dentro de los VCs.
<b>E1</b>	Señal de transmisión digital compuesta por 30 canales de voz y dos de señalización, sumando así una tasa de 2048 Kb.
<b>Ecualización</b>	Es el proceso electrónico de ajuste del balance entre los componentes de frecuencias de una señal, preparandola para su transmisión.
<b>Fibra oscura</b>	(Dark fiber). Llamadas así porque por ellas no circula la luz resultado del sobredimensionamiento de la capacidad inicial en previsión de necesidades futuras, si no entran en los planes de crecimiento de la empresa propietaria es ofrecida en alquiler.

<b>Gigaethernet.</b>	Variación del estándar Ethernet, el cual es capaz de transmitir datos a una velocidad de un gigabit por segundo.
<b>Jitter</b>	Es la variación de los diferentes retardos que produce un efecto de intermitencia en la recepción. El audio es particularmente susceptible a este problema.
<b>Latencia</b>	(Latency). Es la suma de todos los retardos desde que se origina la transmisión del primer bit hasta cuando el último bit es recibido en su destino.
<b>MADM</b>	(Multiple ADM). Múltiples ADMs en uno, usado como núcleo de redes muy complejas.
<b>MTBF</b>	(Mean Time Between Failures). Es el tiempo promedio entre fallas dada por la diferencia entre el momento en que el servicio está operativo hasta cuando ocurre una falla en el sistema.
<b>MTTR</b>	(Mean Time To Repair). Es el tiempo promedio de reparación durante el cual se verifica la pérdida del servicio.
<b>OSI</b>	Modelo puramente teórico creado para facilitar el estudio de los sistemas de comunicaciones, dividiendo en siete capas o niveles los diferentes procesos y mecanismos de funcionamiento.
<b>OSPF</b>	(Open Short Path First). Es un protocolo de enrutamiento dinámico que calcula el camino más corto a los diferentes destinos dentro de una red de datos.

<b>Pérdida de paquetes</b>	(Packet Loss). Es el extravío de los paquetes que no son entregados por diversos motivos, como por ejemplo el congestionamiento de tráfico que al no poder ser memorizado simplemente viene descartado. Normalmente estos paquetes son recuperados por protocolos de capas superiores siendo una solución válida para algunas aplicaciones como en la presentación de páginas web, pero completamente inútil para otras como en los sistemas de videoconferencias.
<b>Ping</b>	Solicitud de respuesta por medio de paquetes IP.
<b>Portador</b>	En telecomunicaciones que obtiene una concesión del permiso para lucrarse mediante el transporte masivo de datos a lo largo del país.
<b>Pseudo-cable</b>	(Pseudowire). Emulación de un enlace punto a punto sobre una red conmutado por paquetes.
<b>Puerta de enlace</b>	(Gateway). Dispositivo que interconecta dos o más redes.
<b>Regenerador</b>	Elemento en la red SDH que sirve para reconstruir y amplificar la señal óptica. Posee una etapa de pre-amplificación en la recepción para filtrar el ruido y una etapa de amplificación para potenciar las señales de datos y del reloj, mejorando de este modo su calidad.
<b>Retardo</b>	(Delay). Es el tiempo que cada elemento de red requiere para memorizar, procesar, y también para la transmisión de los paquetes a través de un medio.



<b>SSU/SASE:</b>	Equipo de fuente de sincronización con funcionalidad independiente.
<b>TM</b>	(Terminal Multiplexer). Permite subir y/o bajar las señales tributarias de menor orden conectándose a la red mediante una interfaz agregada.

# INTRODUCCIÓN

La comunicación ha sido siempre una necesidad primordial para los seres humanos, la forma de comunicarnos ha evolucionado a través de los tiempos hasta lograr en la actualidad, gracias al progreso de la ciencia y de las nuevas tecnologías; como por ejemplo el uso de la fibra óptica como medio de transporte de voz y de datos, que consiente el envío de enormes cantidades de información a largas distancias, unir enteros continentes, algo sin precedentes en la historia de la humanidad.

En la actualidad, los cables submarinos de fibra óptica desplegados alrededor del mundo, en conjunto con el avance tecnológico, han hecho posible la interconexión de redes llamada internet. Inicialmente creada con fines militares desde finales de la década de los sesenta del siglo pasado, posteriormente desarrollado para su uso civil y comercial.

En el Ecuador, existen varias empresas de telecomunicaciones que transportan sus datos en redes ópticas con tecnologías SDH, DWDM, MSTP, etc., entre ellas existe un índice de competitividad cada vez más alto para ofrecer un servicio eficiente, confiable y rentable. Por ello es importante entender las aplicaciones y las ventajas de las diferentes tecnologías.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. Marco Teórico**

En el presente capítulo establecemos una serie de fundamentos teóricos acerca de las diferentes tecnologías para el transporte óptico de datos que nos servirá de base para el desarrollo del proyecto, y un breve análisis sobre el actual uso de ancho de banda nacional e internacional.

### **1.1. Demanda de ancho de banda**

En las últimas dos décadas las telecomunicaciones han evolucionado enormemente. Debido a varios factores, principalmente económicos, las empresas multinacionales han sido impulsadas a invertir en

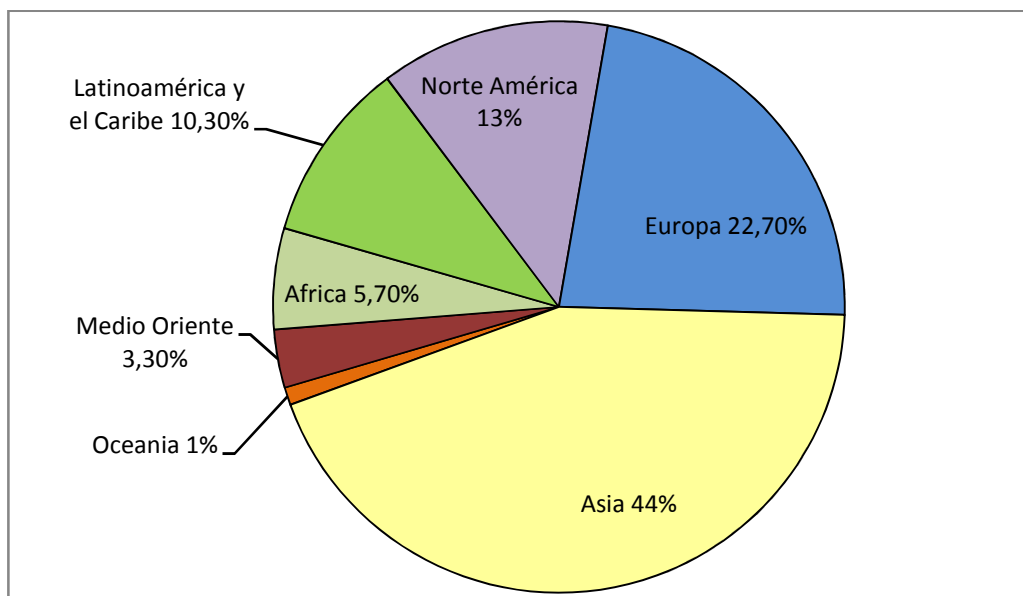
investigación, desarrollo de la electrónica y tecnologías para el transporte de datos. Provocado por un aumento en la demanda por parte de los consumidores y a la competencia entre los diferentes proveedores. Latinoamérica en los últimos años ha despuntado como una de las zonas de mayor crecimiento anual (1).

### **1.1.1. Ancho de banda en el Mundo**

A nivel mundial el porcentaje de los usuarios de internet se ha incrementado en un 480.4% desde el año 2000 hasta la actualidad, estos tan solo representan el 30.2% de la población mundial. Las potencias más desarrolladas como EE.UU. tienen el 78.3% de su población conectada a internet; en Europa el 58.3% donde solo Alemania posee el 65.1%; en Japón el 78.4%, etc. indiferentemente del tipo de tecnología usado (1). En la Figura 1.1 se puede apreciar la distribución de usuarios de internet a nivel mundial.

La tasa de crecimiento anual del número de abonados en estos países ha decrecido o se ha mantenido constante en comparación con años anteriores según datos estadísticos recolectados mundialmente (1). La proyección de las

operadoras en estas regiones van dirigidas a aumentar el número de usuarios ofreciendo variedades de servicios y aplicaciones que consumen progresivamente mayor ancho de banda como por ejemplo: películas a través de internet, videojuegos en línea, etc.



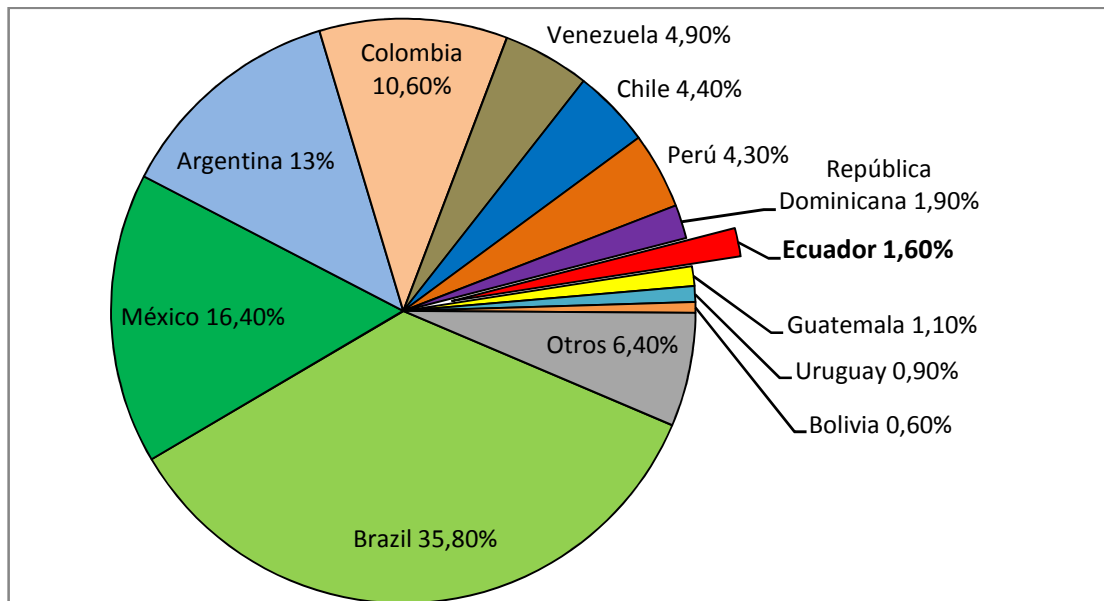
**Figura 1. 1.** Usuarios de internet distribuidos por regiones del mundo  
**Fuente:** (1)

En China, a pesar del considerable aumento de sus usuarios conectados a internet, de 22 millones en el año 2000 a 485 millones en marzo del 2011, estos únicamente representan el 36.3% de su población actual, basado en este dato se puede notar el potencial mercado del continente asiático (1).

Según la opinión de profesionales que poseen altos cargos en empresas de telecomunicaciones o de asesoría tecnológica en el Ecuador, en un futuro cercano los discos de almacenamientos de datos locales, serán reemplazados por servidores con capacidades de procesamiento y medios de almacenamiento remotos; estos son parte de los servicios ofrecidos por la computación en nube (*cloud computing*), donde las personas puedan acceder a toda clase de información a cada momento y en cualquier lugar, a través de sus cada vez más pequeños dispositivos.

### **1.1.2. Ancho de banda en Latinoamérica y en el Ecuador**

En Latinoamérica tan solo el 36.7% de sus habitantes tienen acceso a internet, esto representa apenas el 10.1% de los usuarios en el mundo, en la Figura 1.2 presentamos como está distribuido dicho porcentaje (1). Sin embargo, el gran incremento en la demanda está promoviendo estudios para desplegar más cables submarinos en la región debido a la continua saturación de los ya existentes.



**Figura 1. 2.** Usuarios de internet por países en Latinoamérica y el Caribe  
**Fuente:** (1)

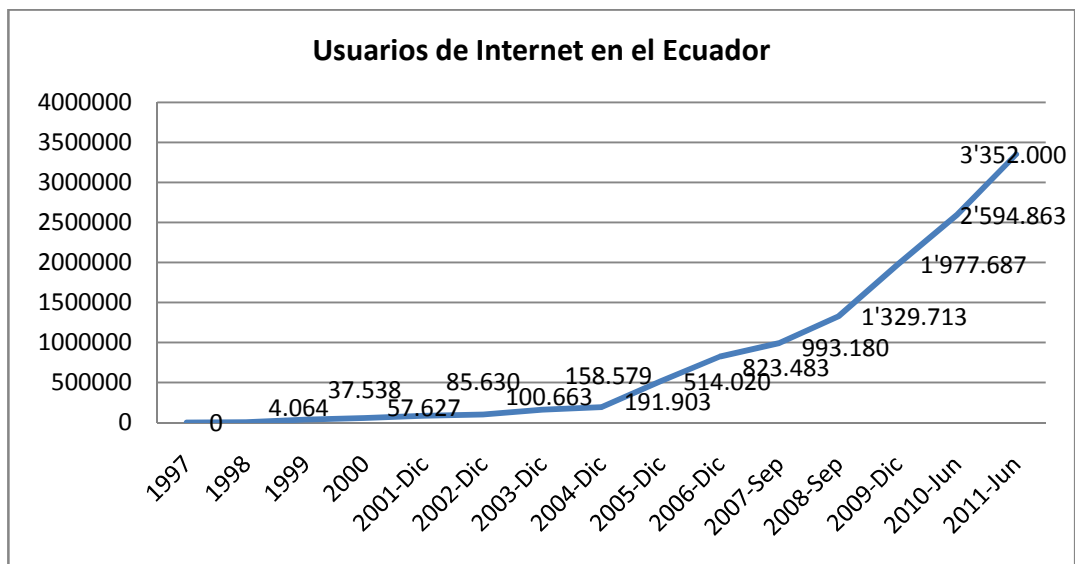
El cable submarino SAm-1 es actualmente uno de los que posee mayor capacidad de ancho de banda disponible, el gerente general de una de las mayores empresas de telecomunicaciones del país predice que en aproximadamente año y medio éste quedaría sin capacidad provocado sobretudo por la gran demanda del Brasil.

En Ecuador la demanda de ancho de banda creció enormemente a partir de que CONATEL<sup>1</sup> concedió en el año

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador.

2007 el permiso a Telefónica International Wholesale Services, una de las mayores proveedoras de la región, para que suministre inicialmente 200 Mbps de ancho de banda internacional a través de cable submarino (2). Esto ha provocado la reducción paulatina de los costos de acceso a internet, brindando mayor ancho de banda que permite el uso de pesadas aplicaciones en línea, incluso con tecnologías que llegan con fibra al hogar (FTTH).

La Figura 1.3 presenta gráficamente los datos estadísticos del total de usuarios de internet en el Ecuador desde el año 1997, sin diferenciar los usuarios personales de los corporativos, ni la tecnología empleada (3).



**Figura 1. 3.** Datos estadísticos históricos de usuarios de internet en el Ecuador

**Fuentes:** (1) (3)

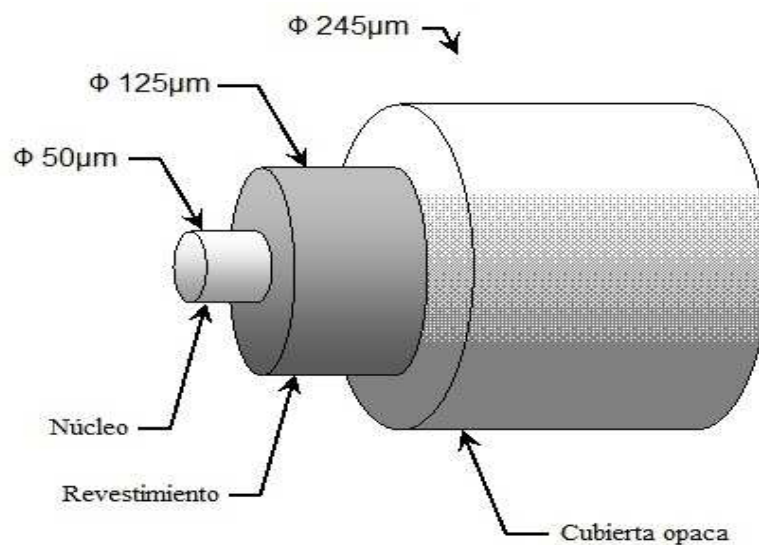


Existe además un factor muy importante en el futuro crecimiento del mercado de las telecomunicaciones en el Ecuador, ya que tan solo el 22.3% de la población tiene conexión de banda ancha, por lo tanto todavía existen muchos posibles compradores de estos servicios. Esto da una idea significativa del gran mercado existente, que incentiva a las empresas “portadoras” a invertir, para aumentar el propio número de abonados y así agrandarse, exigiendo mayor capacidad internacional, y a su vez, haciendo que estos servicios sean más accesibles para los clientes en términos económicos (4).

## **1.2. Fundamentos de Fibra Óptica**

La fibra óptica son similares a las guías de onda que en lugar de transportar ondas electromagnéticas, transporta haces de luz coherente. Estas fibras son de geometría cilíndrica, y su núcleo (*Core*) es cubierto por un material llamado revestimiento (*Cladding*) cuyo índice de refracción ( $n$ ) es menor al  $n$  del núcleo; y este a su vez, es cubierto ulteriormente por un empaque protector. En la Figura 1.4 se puede observar la estructura de la fibra óptica.

En la actualidad, el material más eficiente para el Núcleo es el Dióxido de Silicio ( $SiO_2$ ). Debido a que el silicio es tremendamente barato, más común que el cobre y con excelentes propiedades físicas que permiten la propagación de la luz, esta característica es explicada con la *Ley de Snell* (véase anexo A), sus reducidas pérdidas provocadas por la atenuación y ruido lo convierten en la materia prima ideal para la transmisión de enormes volúmenes de información a grandes distancias (5).



**Figura 1. 4.** Estructura de la fibra óptica constituido por un núcleo central y material periférico transparente rodeado por un empaque protector  
**Fuente:** (6)

Otra propiedad de la fibra óptica para una longitud de onda ( $\lambda$ ) específica es la llamada *frecuencia normalizada* ( $V$ ) cuya fórmula es la siguiente:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (1)$$

Donde:  $a$  = radio del núcleo y  $n$  = índice de refracción.

Al término:  $\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$  de la ecuación se le conoce como *Apertura Numérica* (NA).

### 1.2.1. Aplicación en la industria

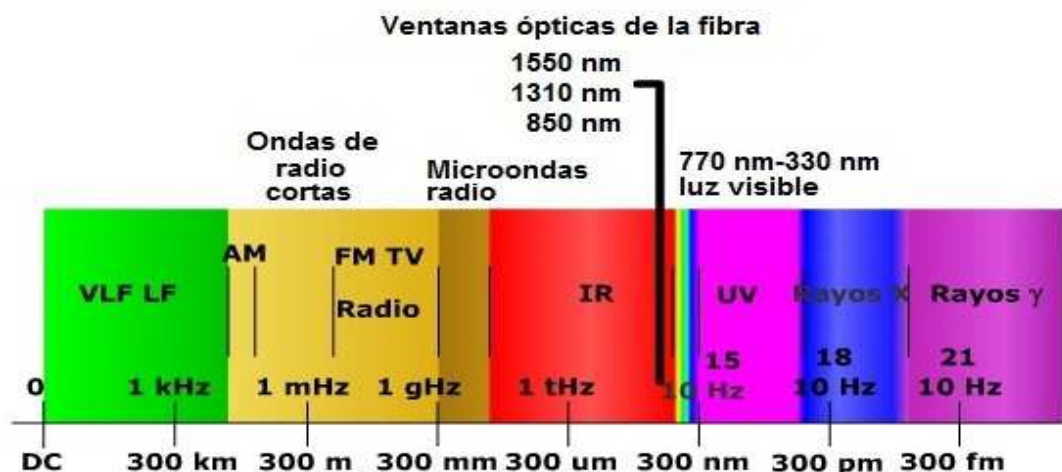
El Dr. Robert D. Maurer de Corning Glass Works desarrolló una fibra con pérdidas de 16 a 20 dB/Km promocionandolo comercialmente lo que, desde el año 1970, ha incrementado su uso dramáticamente. Los avances y mejoras tecnológicas en su construcción han disminuido los costos de producción, por ende la difusión de la fibra óptica se ha acrecentado con el pasar de los años (7).

Debido a dicha difusión, se han ido encontrando múltiples aplicaciones en diversas áreas que depende del tipo de fibra óptica (véase anexo B), como por ejemplo: en las

telecomunicaciones (cables submarinos e interurbanos), sensores (para medir la temperatura, tensión, presión, distancias y otros parámetros), fibra láser, bio-médico, automotor y otros sectores industriales.

### 1.2.2. Enlaces de comunicación de fibra óptica y componentes

La fibra óptica, cuya capacidad de ancho de banda es virtualmente ilimitada y con excelentes propiedades físicas para una baja atenuación, con una media en el orden de 0,22 dB/Km, son aprovechados como medio de transporte de la luz. En la actualidad, los enlaces ópticos utilizan tres bandas de longitud de onda o ventanas ópticas cercanas a los 850 nm, 1310 nm y 1550 nm (8).



**Figura 1. 5.** Posición que ocupan las ventanas ópticas en el espectro electromagnético  
Fuente: (9)

Para hacer posible la transmisión de datos a través de este medio, es necesaria una fuente de luz que trabaje dentro de las ventanas ópticas presentadas en la Figura 1.5 (véase el anexo C para una breve explicación de los componentes de un enlace de comunicación óptica).

### **1.2.3. Ventajas de los cables de Fibra Óptica**

Una de las mayores ventajas que tiene sobre un cable coaxial como medio de transporte es que ninguna ecualización es necesaria. Además, para una transmisión de igual ancho de banda, la separación entre los repetidores está en el orden de diez a cien veces más que para el de los cables coaxiales. Otras ventajas son las siguientes:

- Menor tamaño, más ligero y flexible.
- Inmunidad electromagnética.
- No produce interferencia.
- Eliminación de la conexión a tierra.
- Facilidad para localizar la avería utilizando equipos de mediciones ópticas.
- Privacidad en la transmisión de datos comparado con los medios de comunicación inalámbrica.

### **1.3. La Jerarquía Digital Sincrónica (SDH)**

La Jerarquía Digital Sincrónica o SDH es un estándar internacional para la transmisión óptica digital de alta capacidad desarrollado en el año 1989 en Estados Unidos. Inicialmente conocido con el nombre de SONET, donde el CCITT (actualmente ITU-T), publicó una serie de recomendaciones y quedó circunscrito con el nombre de SDH (10).

SDH fué definido fundamentalmente por tres recomendaciones: la G.707, G.708 y la G.709 que establecieron las tasas de velocidad de los varios ordenes jerárquicos, los principios y la estructura general de la multiplexación con los relativos elementos que la constituyen (11).

#### **1.3.1. Generalidades**

SDH nació sobre los cimientos del antiguo método de transmisión conocido como PCM, el que permitió la multiplexación por división del tiempo (TDM; véase anexo P), lo cual representó un avance tecnológico en aquella época con relación a sistemas de telefonía analógica basados en accesos múltiples por división de la frecuencia (FDM).

La Jerarquía Digital Plesiócrona o “casi síncrona” (PDH), fue el primer estándar de transmisión digital. Se produjo el desuso de sistemas basados únicamente en transmisiones de señales PDH, gracias a que SDH posee una mayor eficiencia en el transporte de datos, mayor velocidad y tiene mejor capacidad de control administrativo. Las cuatro capas de SDH son:

- Fofónico (tipos de fibra óptica)
- Sección (transición óptica-eléctrica y/o viceversa)
- Línea (sincronización)
- Encaminamiento (ruta)

#### **1.3.1.1. Estructura de la Trama SDH**

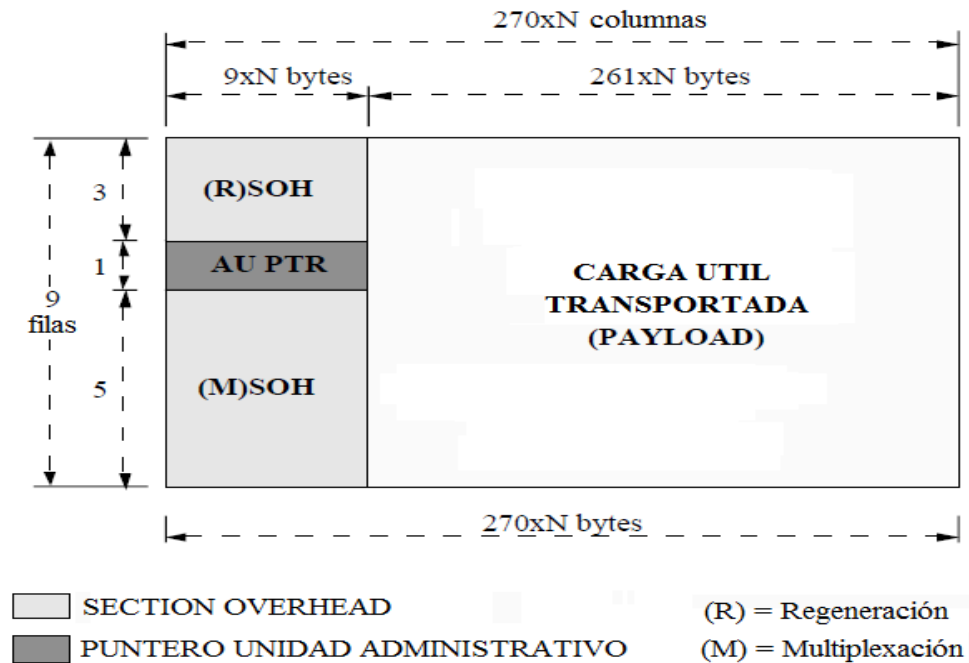
Una trama es una unidad de envío de datos, equivalente al paquete de datos pero en el nivel de enlace de datos o capa dos del modelo OSI. El cual contiene en su interior información de cada uno de los componentes de la red.

Las señales individuales de tasas de transmisión básicas o tributarias, como por ejemplo: las señales E1, T1, DS3 (ver tabla 1.1), etc., son colocados en un contenedor C (*container*)

específico para cada velocidad, a estos se les agrega una serie de bytes con información para la gestión de red llamada Cabecera de trayecto (POH; *Path Overhead*); así con la unión del C y el POH se forman los Contenedores Virtuales (VCs; *Virtual Containers*). Posteriormente se añade el puntero (PTR; *pointer*) el cual indica el octeto inicial de cada VC permitiendo administrar las señales individualmente y que forman la Unidad Tributaria (TU; *Tributary Unit*).

La trama STM-1 tiene la estructura o forma de una matriz de 270 octetos por 9 filas. Tal como se puede ver en la Figura 1.6, los primeros 9 octetos son utilizados por la sección de cabecera (SOH; *section overhead*), el décimo octeto utilizado por el puntero (PTR), y los 260 octetos restantes constituyen la carga útil (*payload*) (11).





**Figura 1. 6.** Estructura de un STM-1  
Fuente: (11)

### 1.3.1.2. Velocidades de Transmisión

El incremento de la tasa de bits se obtiene agrupando las señales individuales o tributarias recibidas por las diversas interfaces de entrada que luego de ser procesadas resultan en una única señal agregada de un específico nivel que a su vez podría convertirse en una de las señales entrantes de una jerarquía de orden superior sucesiva y de este modo va incrementando la tasa de bits transmitidas por las interfaces de salida proporcionando mayor rapidez y capacidad de transporte.

La trama STM-1 es transmitida bit a bit en el sentido de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo a una frecuencia de 8000 veces por segundo, es decir que cada trama se transmite en 125  $\mu$ s. Calculando la velocidad de la primera jerarquía se obtiene la unidad básica en los sistemas SDH que da como resultado lo siguiente:

$$STM - 1 = 8000 * (270 \text{ octetos} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 155,52 \text{ Mbps}$$

Los niveles superiores se consiguen multiplexando las diversas señales de nivel STM-1, de este modo se crea una familia de señales de orden superior STM-N (12).

Señal	Bit Rate	Ranuras de voz
DS0	64 Kbps	1 DS0
DS1	1.544 Mbps	24 DS0s
DS2	6.312 Mbps	96 DS0s
DS3	44.736 Mbps	28 DS1s

**Tabla 1. 1.** Jerarquía de Multiplexación TELCO  
Fuente: (12)

Portador óptico	Señal SONET/SDH	Bit Rate [Mbps]	Capacidad
OC-1	STS-1	51.84	28 DS1s or 1 DS3
OC-3	STS-3/STM-1	155.52	84 DS1s or 3 DS3s
OC-12	STS-12/STM-4	622.08	336 DS1s or 12 DS3s
OC-48	STS-48/STM-16	2488.32	1344 DS1s or 48 DS3s
OC-192	STS-192/STM-64	9953.28	5379 DS1s or 192 DS3s

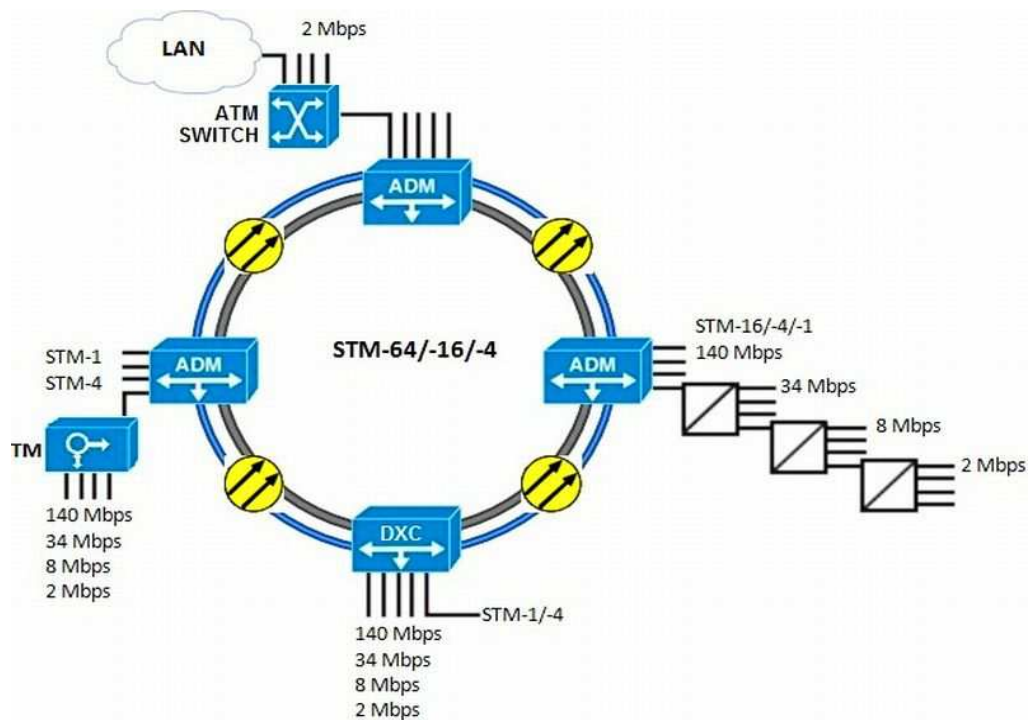
**Tabla 1. 2.** Jerarquía de Multiplexación SONET/SDH  
Fuente: (12)

### 1.3.1.3. Elementos de una red SDH

Existen varios elementos que poseen diferentes características y funcionalidades para construir una red SDH. Estos elementos, definidos en el glosario, son listados a continuación:

- Regenerador
- Multiplexor Terminal (TM; *Terminal Multiplexer*)
- Conector Cruzado Digital (DXC; *Digital Cross Connect*)
- Multiplexor de Carga y Descarga (ADM; *Add/Drop Multiplexer*)
- Múltiples ADM (MADM)

En la Figura 1.7 podemos observar un ejemplo de una red SDH genérica donde se exhiben los diferentes elementos a excepción del regenerador que simplemente amplifica la señal.



**Figura 1. 7.** Red SDH genérica exhibiendo sus diversos componentes y tasas de transmisión  
**Fuente:** (13)

### 1.3.2. Arquitectura y mecanismos de protección

La ITU-T puso a disposición las recomendaciones G.803 y G.841 las cuales describen las diversas arquitecturas y esquemas de protección para el diseño de una red de transporte SDH. Estos mejoran el tiempo de disponibilidad del servicio disminuyendo los tiempos de falla e incluso evitando la interrupción del tráfico. Los principales mecanismos que hacen posible esto son: la protección de la señal y la restauración de la red.

En la Figura E2 obtenida de los manuales técnicos del equipamiento Huawei, presenta gráficamente las diferentes topologías que pueden ser aplicadas en el diseño de una red SDH (14).

### **Protección de la señal**

Es un mecanismo automático que puede aplicarse colocando tarjetas o placas de circuitos adicionales (EPS) y/o duplicando los cables o enlaces físicos, como la topología tipo anillo, de tal manera que en caso de falla de uno, la transmisión conmute por el otro.

Cuando una tarjeta de reserva se encuentra como respaldo en estado activo (*hot backup*), es decir funcionando paralelamente y lista para tomar el lugar de aquella activa se le conoce como protección 1+1.

Cuando una tarjeta de reserva se encuentra en estado de espera (*stand-by*), esta simplemente está pendiente de que ocurra una falla en una de las N tarjetas activas para en ese momento intervenir, a esto se lo conoce como protección 1:N.

En este caso la tarjeta de reserva podría emplearse en actividades programadas de mantenimiento.

### **Restauración de la Red**

A diferencia de la protección donde las capacidades son pre-asignadas, la restauración es de carácter dinámico y asistido por el sistema de gestión de red (NM; *Network Management*). Los protocolos del nivel de red o capa tres del modelo OSI como por ejemplo: OSPF, BGP, etc. utilizan ciertos parámetros que son procesados con sus respectivos algoritmos, calculando de este modo las mejores rutas y caminos alternativos hacia su destino.

#### **1.3.2.1. Tipos de Protección**

En esquemas de protección automática se encuentran dos tipos de mecanismos que son:

**Protección por Conmutación del Camino** (PSP; *Path Switched Protection*) el cual duplica el tráfico en la trayectoria entre dos nodos, donde las señales son sensadas y viene

escogida la mejor. Si esta cae, la línea de respaldo toma su lugar. La velocidad de conmutación es inferior a los 30 milisegundos.

**Protección de Sección Multiplexadora** (MSP; *Multiplexer Section Protection*) la cual detecta el fallo en una sección de una topología anillada, dando lugar a que la línea de respaldo empiece a funcionar desviando el tráfico hacia su destino. La velocidad de conmutación es inferior a los 50 ms y la capacidad está dada por  $(STM - N) \times K/2$ , donde K es el número de nodos.

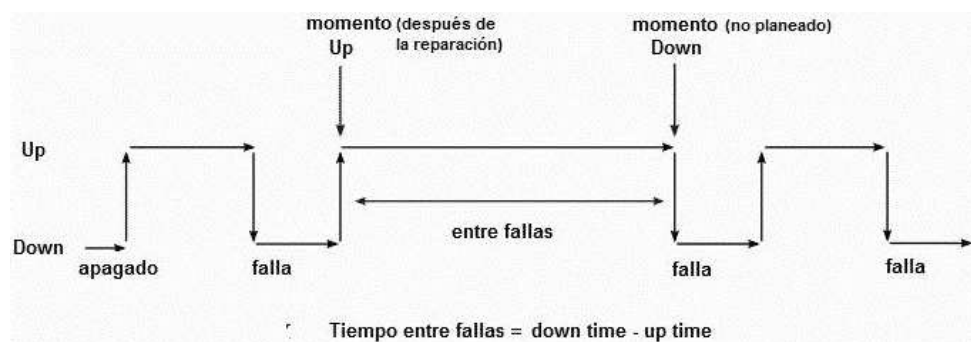
### **1.3.2.2. Acuerdo contractual del nivel de Servicio**

Acuerdo del nivel del Servicio (SLA; *Service Level Agreement*) es un contrato formal escrito entre el proveedor y sus usuarios o clientes donde se determina, de común acuerdo entre las partes, los parámetros que servirán de referencia para indicar la calidad y confiabilidad del servicio. Además, establece los límites de responsabilidad y sanciones por incumplimiento ante eventos de degradación o caída del mismo (15).

Existen dos factores que determinan el SLA, estos son: el tiempo promedio de reparación (MTTR; *Mean Time To Repair*),

y el tiempo promedio entre fallas (MTBF; *Mean Time Between Failures*) representados en la Figura 1.8.

$$MTBF = \frac{\sum(\text{Inicio del tiempo de falla} - \text{Inicio del tiempo activo})}{\text{número de fallas}} \quad (2)$$



**Figura 1. 8.** MTTR y MTBF representados en el tiempo  
Fuente: (16)

### 1.3.3. Sincronismo

En las telecomunicaciones digitales, existen redes que son asincrónicas y otras sincrónicas. En las comunicaciones asíncronas cada equipo tiene su propia señal de reloj, donde se usa un sistema para identificar el inicio y fin de cada transmisión de datos.



Este sistema es muy distinto a los enlaces sincrónicos que funcionan con una señal de reloj compartida entre todos los equipos que participan en ese enlace, dando paso a una manera más eficiente de reconstrucción de la señal desde un equipo transmisor a un receptor. Esta comunicación usa la señal de reloj para establecer el comienzo y fin de los datos transmitidos.

Existen varios métodos para establecer una sincronización entre equipos de una misma red digital, se los puede clasificar según su modo de operación:

**Sincronización mutua**, se establece cuando hay dos señales de reloj, obteniendo un promedio de ellas para crear una señal de reloj global. Este método produce errores por motivos de fluctuación de fase, es posible corregirlo mediante retroalimentaciones de las señales. La sincronización mutua es utilizada mayormente para el funcionamiento de los relojes de referencia primaria (PRC).

**Sincronización despótica**, ocurre cuando un equipo impone su señal de reloj sobre otro para establecer una comunicación. Puede funcionar como subordinado donde existe una sola señal maestra que se distribuye por la red, en caso de falla inicia a funcionar según la jerarquía reemplazando la señal maestra por una señal alterna.

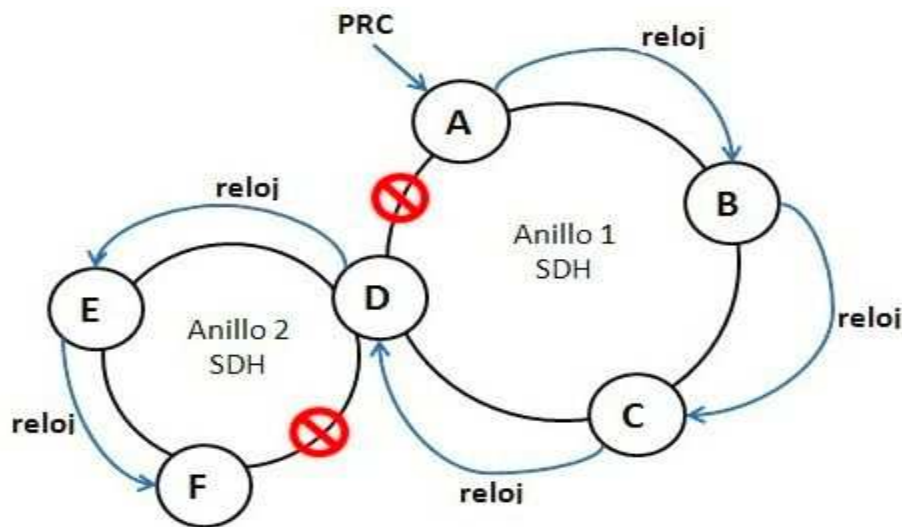
Las redes SDH usan el mecanismo de sincronización despótica, en la Figura 1.9 podemos observar la distribución del reloj en una red tipo anillo. Cada nodo puede entrar en diferentes modos de funcionamiento:

- **Sincrónico**, todos los nodos están sincronizados con la misma señal de reloj.
- **Plesiócrono**, donde el nodo tiene un reloj memoria entrando en estado de vestigio<sup>2</sup> (*holdover*), es decir usa una señal de reloj muy parecida a la maestra pero solo dura un tiempo determinado hasta que empieza a desfasarse comportandose de manera asincrónica.

---

<sup>2</sup> Si falla la fuente de reloj del nodo SDH, mantiene la señal anterior controlando el oscilador y la temperatura del mismo con la corrección de frecuencia almacenada, su duración es temporal (máx.24h).

- **Asincrónico o corrida libre** (*free running*) tiene el valor de desfase muy elevado en relación a la señal de reloj principal, en otras palabras no está sincronizado.



**Figura 1. 9.** Distribución de la señal de reloj a través de diversos nodos en una red anillada genérica SDH

Para mantener al mínimo los errores de transmisión es muy importante que la señal de reloj tenga tres características fundamentales. *Precisión*, es un concepto en donde cada vez que se repite el proceso de medición, este nos muestra el mismo resultado. *Exactitud*, es el factor que ocurre cuando la frecuencia media es igual al valor verdadero de la frecuencia del reloj. Por último una característica que contiene en cierta parte a las dos anteriores: la *Estabilidad*, factor que determina cuando

una señal de reloj produce una misma frecuencia durante un período de tiempo determinado (17).

Existen dos tipos de señales de reloj: de referencia primaria (PRC) y el subordinado. Así mismo rigen varios estándares para la clasificación de estos relojes que son: G.811, G.812. y G.813. (véase anexo Q para mayor información sobre los tipos de relojes y estándares de sincronismo).

#### **1.4. Metro Ethernet**

Metro Ethernet es una tecnología MAN, basada en la tecnología Ethernet LAN, la cual fue definida por el estándar IEEE 802.3 es de naturaleza asincrónica, ya que los tiempos son puramente casuales o probabilísticos. Emplea la tecnología CSMA/CD el cual requiere que estaciones transmisoras esperen un período de tiempo aleatorio cuando una colisión ocurre.

Metro Ethernet funciona con enlaces de fibra óptica a velocidades de 1 Gbps, 10Gbps, 40Gbps y de hasta 100Gbps. Haciendo posible unir sitios geográficamente separados por varios Km de distancia llegando a través de cables desde los Proveedores de Servicio de Internet (ISP;

*Internet Service Provider*) a los equipos del cliente (CE; *Customer Equipment*) con interfaces de conexión a la red (UNI; *User Network Interface*).

Metro Ethernet demanda un gran ancho de banda que es regulado a nivel de software mediante algoritmos llamados *token buckets*, a su vez esto requiere de calidad de servicio (QoS; *Quality of Service*), véase subcapítulo 1.4.2; QoS es aplicado en la frontera (*edge*) entre el proveedor y el cliente para ofrecer un mejor servicio, con normas de seguridad para evitar la manipulación de los paquetes por parte de impostores, exigiendo para sí mismos mayor preponderancia.

#### **1.4.1. Estructura de Redes**

La segmentación de redes a través de elementos de capa dos del modelo OSI tales como puentes (*bridges*) y/o conmutadores (*switches*) permiten seccionar los dominios de colisiones creados por hosts compartiendo un medio en común.

Los ruteadores (*routers*) en capa tres del modelo OSI ayudaron a crear y reducir el tamaño de los dominios de broadcast pero son costosos y lentos. Una solución fue añadir a las tramas un identificador numérico que representa una red de área local virtual llamada VLAN, según el protocolo del estándar IEEE 802.1Q-1998. Esta técnica consintió la creación de dominios *broadcast* virtuales empleando dispositivos de capa dos y son solo trascendentales localmente.

Para hacer disponible a los usuarios de estas VLANs se permitió la propagación de ellas, con ayuda de protocolos como VTP, a través de la mayor parte o de toda la red y debido a los relativos bajos costos de las interfaces ethernet se generalizó la interconexión entre conmutadores tendiendo a formar redes de tipo malla completa<sup>3</sup> (*full mesh*).

Las redes de malla completa sin ninguna planificación se revelaron muy ineficientes y de difícil administración. Las nuevas tecnologías junto con la experiencia adquirida por parte

---

<sup>3</sup> Tipo de topología en donde cada nodo o elemento de la red está conectado con todos los demás. El número total de conexiones está dado por  $n(n - 1)/2$ .

de los administradores de red han paulatinamente optimizado la arquitectura de redes.

En la actualidad, el diseño de red modular jerárquico de tres niveles: Acceso, Distribución y Núcleo. Es ampliamente recomendado y cada vez más redes de datos son migradas hacia este tipo de arquitectura que proporcionan rapidez, eficiencia, seguridad, escalabilidad y un comportamiento predecible que facilitan su gestión (18). Véase el anexo F para una descripción más detallada de cada nivel.

Para prevenir que segmentos de red queden aislados cuando ocurre alguna falla, se interconectan dos o más conmutadores creando caminos redundantes en la red. En estos escenarios podrían generarse situaciones en donde las tramas queden enlazados en un bucle infinito ocupando cada vez mayor ancho de banda generado por el tráfico innecesario, disminuyendo así la capacidad de procesamiento y memoria en los conmutadores que estarían ocupados en actualizar su tabla de direcciones MAC erróneamente (18) (19).

Existe un mecanismo que ayuda a mitigar estos aislamientos de los segmentos de red llamado Protocol Spanning Tree<sup>4</sup> (STP), cuya versión mejorada se denomina Protocolo Spanning Tree Rápido (RSTP).

#### 1.4.2. Calidad del Servicio (QoS)

La Calidad de Servicio (QoS; *Quality of Service*) es un argumento extremadamente complejo el cual solo trataremos de manera superficial para complementar nuestro trabajo. Particularmente recomendable su aplicación en redes Ethernet-IP donde el transporte de datos muy sensibles, como en el caso del tráfico de voz, donde la pérdida o retardos en la entrega de los paquetes a su destino sería inaceptable. El desafío para una buena calidad de servicio es reducir los efectos de falla de transmisión dados por: retardo (*delay*), latencia (*latency*), Jitter y pérdida de paquetes (*packet loss*) (18).

---

<sup>4</sup> Spanning Tree Protocol, es un protocolo definido por el estándar IEEE 802.1D que sirve para evitar los lazos (*bridging loops*) entre los switches que componen una red.



Hay básicamente tres formas de tratamiento que los paquetes de datos podrían recibir por parte de los elementos de red en su trayectoria para ser entregados al destinatario.

**El mejor esfuerzo en la entrega** (*Best-effort delivery*) es el comportamiento normal donde cada paquete es tratado igual, respetando su turno en la cola, a medida que estos ingresan son procesados y reenviados por su camino tan rápido como sea posible. Tal vez no lleguen a tiempo a su destino, pero se hizo el mejor esfuerzo por hacerlo (18).

**El modelo de servicio integrado** (*IntServ model*) designa una ruta desde el inicio dando prioridad absoluta a los paquetes para viajar a través de ella hasta que sea entregado a su destinatario. Causando zozobra al resto de tráfico que podría retardarse en la espera del paso de estos paquetes privilegiados (18).

**El modelo de servicio diferenciado** (*DiffServ model*) consiste en que cada elemento en la red aplica su propia política, decidiendo si negar o dar mayor o menor prioridad a un determinado paquete para saltar la cola. A diferencia del

modelo de servicio intergrado (*IntServ*), el cual reserva la ruta “a priori”, *DiffServ* tiene un comportamiento dinámico (18).

QoS no viene realmente aplicado en el primer caso, pero si en los dos restantes siendo el modelo de servicio diferenciado (*DiffServ*) el más complejo y cuya correcta implementación marca la diferencia en la calidad del servicio con respecto a otras redes.

### **1.5. TDMoIP**

Las redes tradicionales de telecomunicaciones, que transportan voz, usan enlaces sincrónicos orientados a la conexión como enlaces dedicados o por conmutación de circuito, esto quiere decir que antes que se establezca la comunicación entre dos puntos ya debe existir un canal de transporte físico solamente destinado para esa comunicación.

Estas señales de voz están compuestas por diferentes canales donde la técnica de multiplexación que se usa es TDM. Esta técnica asigna

una espacio de tiempo para cada canal, requiriendo así una importante sincronización.

Con el aumento de redes asíncronas o redes por conmutación de paquetes (PSN) como Ethernet, MPLS, ATM, etc. se ha creado una tecnología capaz de integrar las señales TDM dentro de estas redes PSN, llamada TDMoIP. Esto es posible gracias a la emulación de un pseudo-cable (*pseudowire*) dentro de la PSN. Dicha emulación se encarga de mantener la calidad de la señal TDM, así como la sincronización y latencia muy similares a la red TDM pura. En la Figura 1.10 podemos observar una aplicación de TDMoIP.



**Figura 1. 10.** Distribución de una señal TDM sobre una red GigaEthernet  
**Fuente:** (20)

### 1.5.1. Transporte de TDM estructurado

Existen dos tipos de señales TDM, las que vienen en un solo canal y no contienen ningún tipo de señal de control; y las señales estructuradas que son las que poseen una determinada transferencia de datos como por ejemplo la señal E1. Estas señales también tienen una cabecera asignada para bits de control.

TDMoIP tiene carácter de estructura consciente, es decir solo se encarga de transportar estas señales “TDM estructuradas” ya que esta tiene un control sobre la estructura de la señales TDM para no perder su orden. Así mismo también corrige el problema de pérdida de paquetes que existe en las redes IP.

Los métodos para salvaguardar el orden de la estructura TDM son llamados: bloqueo de estructura, índice de estructura y reensamblaje de estructura.

**Bloqueo de estructura** (*structure-locking*) es el método encargado de dividir la señal en submúltiplos de la original para luego empaquetarlos en su respectivo orden.

**Índice de estructura** (*structure-indication*) está enfocado en el ordenamiento de los paquetes pertenecientes a una misma estructura TDM, esto es logrado gracias a la inserción de punteros dentro de los paquetes IP.

**Reensamblaje de estructura** (*structure-reassembly*) extrae y almacena los diferentes canales para luego ensamblar la estructura original con su respectivo orden.

### **1.5.2. Desafíos del pseudo-cable**

Los principales problemas que ocurren en la emulación del pseudo-cable dentro de una red conmutada por paquetes son el jitter, la pérdida de paquetes y la recuperación del reloj. Estos factores son el gran desafío para poder recuperar la señal TDM de manera eficiente.

El jitter y la pérdida de paquetes son compensados gracias a la inclusión de un amortiguador de jitter (*jitter buffer*). Esto es logrado por un bloque de memoria que detecta la velocidad con

que se está recibiendo los paquetes y esta misma tasa de transferencia es reenviada a equipo TDMoIP de destino, con esto aseguramos de que la red TDM no perciba que un tramo de la transmisión está pasando por un PSN. El único problema de esto es que se aumenta la latencia en casos excesivos de pérdidas de paquetes y el resultado en una señal de voz sería escuchar la voz “entrecortada”.

La recuperación del reloj es el desafío más importante que tiene esta tecnología ya que la sincronización es un factor primordial para las redes TDM. El *jitter buffer*, que mencionamos anteriormente, se encarga de transmitir los paquetes a una sola tasa de transmisión independientemente de que si existe o no pérdida de paquetes. Esta velocidad de transmisión es usada para reconstruir la señal de reloj que proviene de la fuente (21).

# CAPÍTULO 2

## 2. Diseño del Sistema de Telecomunicaciones

Para realizar un correcto diseño de una red de telecomunicaciones o de datos es necesario individualar los diferentes tipos de servicios que se ofrece buscando eficiencia y escalabilidad para cubrir las necesidades actuales y futuras, teniendo presente el factor económico. Existen factores co-dependientes entre ellos, y una serie de criterios que describen el correcto diseño de la red (véase el anexo G).

### 2.1. Requerimientos

Una compañía portadora de servicios de Telecomunicaciones requiere una red SDH con un enlace de subida (*uplink*) o interfaces

agregadas STM-4 con dos fibras ópticas, una de transmisión (Tx) y otra de recepción (Rx), con protección tipo anillo. Los nodos SDH deberán tener como puntos principales las ciudades de Quito y Tulcán. Se debe de proveer un STM-1 como servicio o puerto tributario entre ambas ciudades para una compañía de Internet del país que transmitirá sus datos con mayor rapidez para aumentar sus ganancias, se debe evaluar si se renta o se construye la red. En cada una de estas ciudades existen dos tipos de redes: una red Gigabit Ethernet y una red de fibra oscura.

Una vez implementada la red SDH también debemos proveer de un circuito E1 de canal libre (*clear channel*) con tecnología TDM pura o con TDMoIP entre la ciudad de Cuenca y el NAP de las Américas hasta el MMR, cuya salida internacional es por Tulcán, que se interconecta con Colombia y a un cable de submarino óptico por el Mar Caribe llegando al NAP, para brindar servicio a un centro de llamadas (*call center*) en la ciudad de Cuenca.

Se efectuarán los respectivos análisis de los costos de implementación de todos los circuitos con las recomendaciones respectivas donde presentaremos las soluciones más robustas entre



TDM pura o TDMoIP dando un SLA del 99,98% mensual para el circuito E1 de canal libre soportada por la red SDH diseñada.

## **2.2. Arquitectura de la Red Óptica**

Siguiendo los criterios de diseño describiremos la red en dos partes: aquella con la capacidad de transportar enormes volúmenes de datos en el menor tiempo posible llamada red de backbone, y aquella para transportar datos con una menor velocidad al lugar donde lo requiera el cliente, esta denominada red de acceso.

### **2.2.1. Red de backbone**

Nuestro proyecto consta de dos tecnologías para la red de backbone las cuales son: la red anillada con tecnología SDH entre las ciudades de Quito y Tulcán, y la red anillada con tecnología Metro ethernet entre las ciudades de Quito y Cuenca. En la Figura 2.1 se puede apreciar las ubicaciones geográficas de estas ciudades.

La razón principal por el cual nuestro diseño fue fraccionado de esta manera ha sido por motivos económicos, ya que la alternativa de realizarlo completamente con equipamiento SDH sería muy costosa. Pues en el capítulo 4 se puede observar que los costos para su despliegue son mucho mayores en comparación con aquellos para una red metro ethernet.



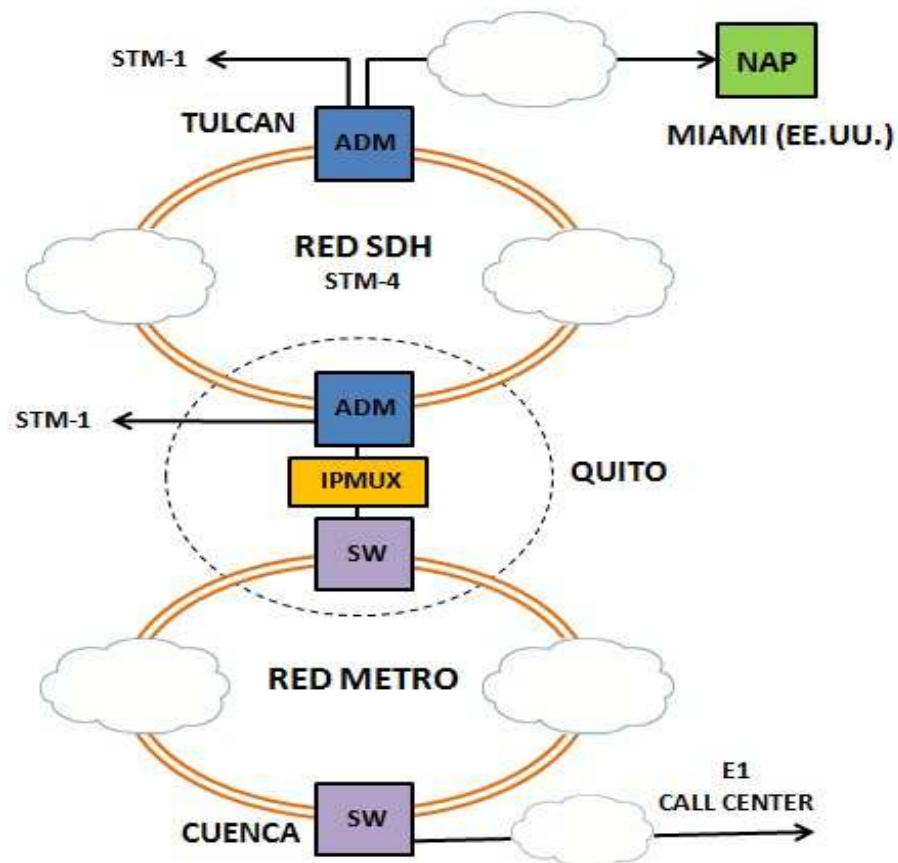
**Figura 2. 1.** Ubicación geográfica de las ciudades en el Ecuador  
**Fuente:** (22)

Decidimos proyectar el anillo entre las ciudades de Quito y Tulcán con tecnología SDH porque esta brinda las garantías técnicas necesarias para transportar un STM-4 y entregar con seguridad los servicios requeridos por medio de elementos ADM que tienen la funcionalidad de poder dar seguimiento a las diferentes señales y permitir el ingreso y/o la salida en cualquier punto de presencia de estos.

Como descrito en la sección de requerimientos debemos entregar un E1 a un centro de llamadas en la ciudad de Cuenca la cual es una cantidad mucho menor al STM-4, por lo que nos decidimos por el uso de la tecnología metro ethernet entre la ciudad de Quito y Cuenca para satisfacer al cliente con una solución que ofrece una relación de costos-beneficios más adecuado para el proveedor.

Para unir los dos anillos, cada uno con diferentes tecnologías, es necesario el uso de elementos que permitan la interacción de las señales TDM sincrónicas propias de SDH con la red asincrónica por conmutación de paquetes IP basado en

ethernet. Para este propósito usaremos equipamiento TDMoIP llamados multiplexores IP o IPMUX.



**Figura 2. 2.** Diseño genérico de la red backbone de nuestro proyecto

Las nubes observadas en los anillos de la Figura 2.2 representan el conjunto de nodos secundarios por los diversos recorridos de los enlaces ópticos, conformados principalmente por: regeneradores para el anillo SDH que se diferencia de los

nodos principales en que no poseen tarjetas de servicios STM-1 ni tampoco E1, y por conmutadores en el caso del anillo metro ethernet. En la sección 2.7 explicaremos más detalladamente la composición de los nodos.

### **2.2.2.Red de acceso**

Una vez definido el diseño de la red principal de transporte o red backbone, debemos especificar como transportar los servicios tributarios desde los nodos principales hasta las instalaciones donde el cliente lo requiera, dentro de la misma ciudad. A esta red se le llama de última milla o red de acceso.

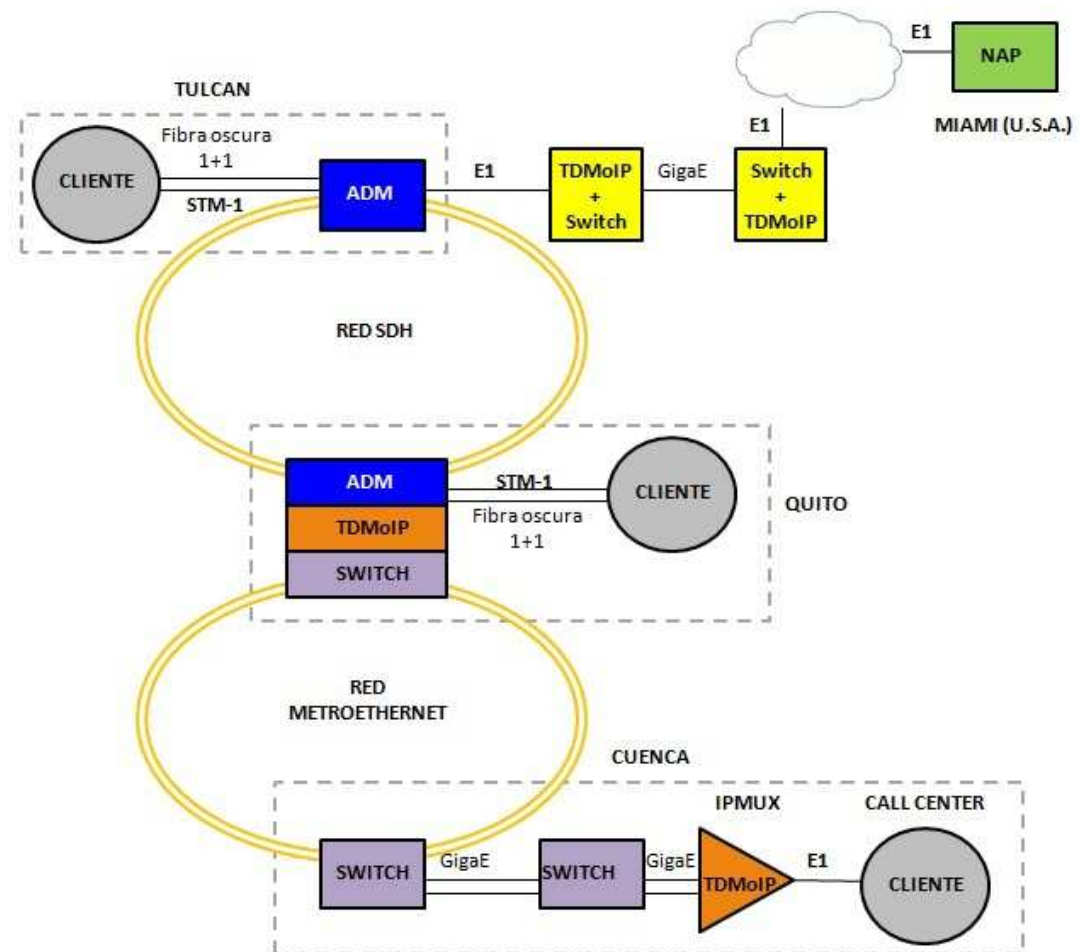
Según los requerimientos tenemos la disponibilidad de usar dos tipos de redes dentro de Tulcán y Quito, una red Gigabit Ethernet o directamente el uso de fibra oscura. En el caso de Cuenca usaremos la misma tecnología metro ethernet para llegar al centro de llamadas con ayuda de los IPMUX nos permitirá entregar el E1 solicitado.

El primer servicio que se requiere es una señal STM-1 que va en los ADM de Quito y Tulcán. Este tipo de señal puede ser transportada por un cable de fibra óptica por medio de su respectiva tarjeta STM-1 o a su vez también se puede usar una tarjeta que maneje señales Gigabit Ethernet, que gracias a la tarjeta cross conectora la señal STM-1 puede ser transmitida dentro de una trama Ethernet.

El beneficio de usar la red Gigabit Ethernet es que tiene capacidad de crecimiento, esto se debe a que el STM-1 solo equivale a 155 Mbps y dentro de una señal Gigabit puede entrar más capacidad. Además, si se requiere aumentar otro cliente es muy factible pues basta usar otro puerto de algún conmutador más cercano al cliente para habilitarlo.

Ya que la empresa portadora requiere la señal SDH pura, si se usa la red Ethernet implica el uso de equipos adicionales como ruteadores con tarjetas que soporten STM-1. En cambio el uso de fibra oscura nos beneficia en ese punto por el hecho de que no necesitamos elementos activos adicionales para enviar la

señal a su destino. Por factibilidad de costos el uso de fibra oscura nos beneficia más.



**Figura 2. 3.** Red de acceso o de última milla en las ciudades principales

A diferencia del STM-1, el E1 lo transportamos por dos tipos de red, SDH y Metro ethernet. Aprovechando que hemos decidido usar como red de última milla en Cuenca la misma tecnología de ese nodo, y para el E1 que sale en el nodo Tulcán nos

conviene el uso de una pequeña red TDMoIP compuesta por dos conmutadores y dos IPMUX.

Para poder cumplir con el SLA requerido por el centro de llamadas, en el nodo de Cuenca destinamos dos puertos diferentes para interconectarlo con un conmutador en el cliente y este equipo a su vez va a ir directamente conectado con el IPMUX.

### **2.3. Protección del Sistema ante eventos de falla**

Cada nodo del sistema SDH debe poseer dos tarjetas STM-4 en un esquema unidireccional con protección, es decir que el Tx de una tarjeta transmite, entretanto el Rx de la otra tarjeta recibe; mientras el Rx de la primera tarjeta y el Tx de la segunda sirven de protección para la recepción de la segunda y transmisión de la primera respectivamente.

Estos equipamientos deben contar con doble fuente de alimentación para la redundancia de energía eléctrica. Para el sistema metro



ethernet también debemos duplicar cada uno de los elementos tanto activos como pasivos.

### **Análisis del SLA acordado**

El requerimiento del proyecto prevee cumplir con un SLA mensual del 99.98%, para visualizar mejor esto realizamos el cálculo del tiempo máximo que el sistema puede estar sin dar servicio.

$$T = \frac{(100 - 99,98)}{100} \times 30 = 0,006 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \Rightarrow 8,64 \frac{\text{min}}{\text{mes}}$$

Esto implica la necesidad de implementar esquemas de protección adecuados y sistemas redundantes para asegurar el servicio minimizando las interrupciones provocadas por fallas en algunos o varios de los componentes de la red, como por ejemplo las provocadas por los cortes de fibra o por actividades de mantenimiento.

Una red SDH con su respectiva topología tipo anillo y componentes redundantes tienen tiempos de convergencia ante eventos de fallo menores a 30 ms, es decir si existe algún corte de fibra o alguna tarjeta de funcionar el sistema tarda un máximo de 30 ms en restablecerse. En el caso de la red metro ethernet depende de los

tiempos de convergencia del protocolo RSTP, que con una buena arquitectura de red jerárquica este tiempo es de aproximadamente 200ms (18).

Según empresas locales con licencia de portador, existen índices estadísticos de la cantidad de fallas mensuales a lo largo de su red, que incluyen ciudades con distancias similares a las usadas en nuestro diseño, este número no supera las 200 fallas al mes. Asumiendo cinco veces este valor y usando el mayor tiempo de restablecimiento de la red (200 ms) tenemos lo siguiente:

$$t = (200 \times 5) \times 200 \text{ ms} = 200 \frac{\text{seg}}{\text{mes}}$$

Como podemos observar el sistema tiene una gran capacidad para cumplir con el SLA acordado y adicionalmente dejando un margen de tiempo para reparaciones de fallas extraordinarias como por ejemplo cortes simultáneos en varios tramos de la red.

#### **2.4. Sincronización**

La composición de nuestro proyecto consta básicamente de dos redes con diferentes tecnologías, SDH y Ethernet. Como

mencionamos en el subcapítulo 1.4 la red metro ethernet no necesita estar sincronizada entre sus nodos, por lo tanto no existe el factor de la señal de reloj para esa red. Diferente es el caso de la red SDH ya que como pudimos observar en el subcapítulo 1.3 es una red sincrónica, es decir tiene que compartir una señal de reloj única entre sus nodos para que estos estén sincronizados y puedan transmitir datos sin errores.

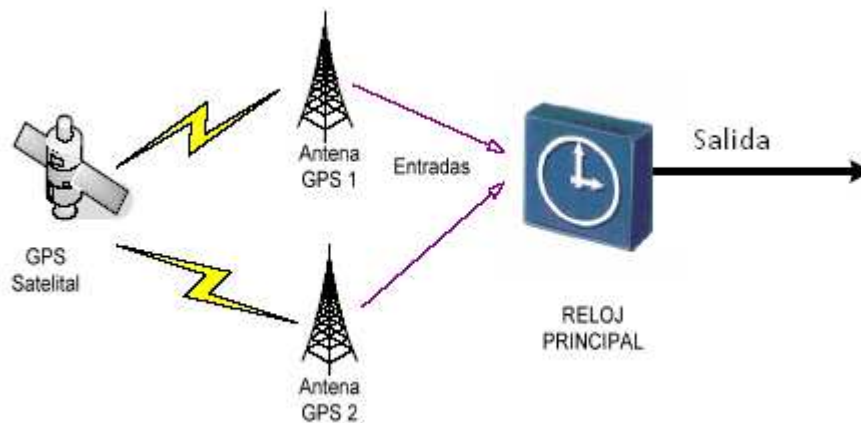
Para completar el diseño correcto de la red SDH tenemos que establecer la fuente de señal de sincronismo que predominará en los diferentes nodos del anillo. Esta señal de reloj es el PRC de la red, para construir una correcta ruta de esta señal a lo largo de la topología definiremos a continuación en que nodo va a estar dirigido.

#### **2.4.1. Fuente de reloj primaria**

Según las normas de la ITU-T para referencia de reloj primario (PRC) de una red SDH se tiene que usar el estándar G.811, nivel de estrato uno. Como los relojes internos que manejan los equipos de tecnología SDH son de estrato tres, hay que buscar una fuente que cumpla con el estándar.

Tenemos varias opciones para establecer el PRC las cuales son la compra de equipo independiente de reloj SSU/SASE, alquiler de la señal de reloj a otro proveedor o por último usar el reloj de estrato uno que exista en la entrada de señal del STM-1 o del E1. La opción más económica pero técnicamente inferior, es depender del reloj de la señal de entrada de alguno de los dos servicios que estamos entregando, ya que no tendríamos necesidad de un equipo adicional y por lo tanto no representa gasto alguno. El gran problema es de la propia dependencia que tenemos respecto a las otras señales, ya que si existe una falla en esta señal de reloj, estaría fuera de nuestras manos el tiempo de activación del reloj y fácilmente los nodos entrarían en modo de corrida libre.

La propuesta, con el aspecto técnico más factible, es la de implementar un sistema SSU/SASE. Este equipo nos da una señal de reloj de nivel de estrato uno y únicamente depende de la señal GPS de entrada. Acorde con la norma G.811, el equipo SSU/SASE tiene una redundancia 1+1 en sus entradas GPS y adicionalmente en caso de falla de esta señal satelital tiene un oscilador interno que puede mantener el reloj como estrato uno por cinco días.



**Figura 2. 4.** Esquema de PRC

**Fuente:** (23)

Establecemos el nodo de la ciudad de Quito como el nodo principal ya que úne la red SDH con la red metro ethernet, en otras palabras tiene acceso a las dos redes, por lo tanto en este nodo va a estar localizado el servidor de monitoreo de red. Así mismo usaremos este nodo principal para que se encargue de recibir el PRC y repartir la señal de sincronización al resto del anillo.

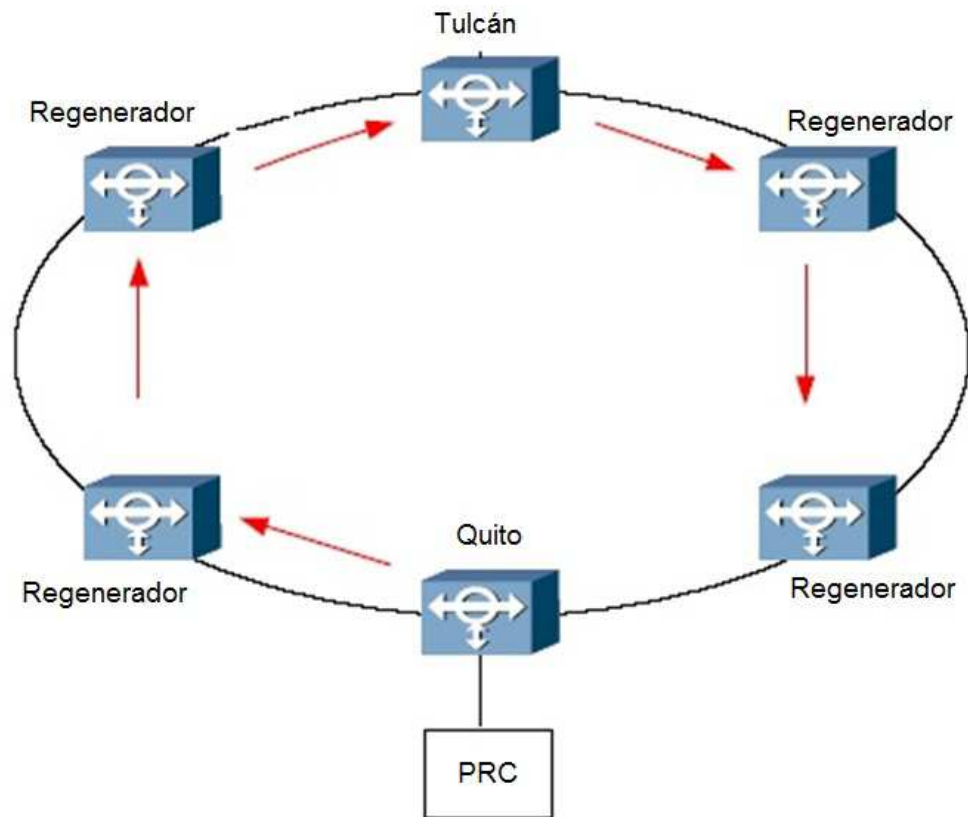
#### **2.4.2. Distribución del reloj jerárquico**

En el caso que exista algún problema con la fuente del reloj primario, usaremos el reloj proveniente de la conexión E1 que tenemos con la empresa Transnexa en el nodo Tulcán y por último si también falla esta señal, tenemos el reloj interno del

nodo Quito, los cuales son de estrato dos y tres respectivamente.

Gracias a la protección tipo anillo en la red SDH podemos prevenir que algún nodo se quede sin señal de reloj por motivos de falla de algún tramo o nodo. En la Figura 2.5 el reloj puede tener dos rutas por donde ser transmitido. Cada equipo, ADM o regenerador, posee su propio reloj interno que entra en funcionamiento en estado de vestigio, cuando no encuentra ninguna de las fuentes de reloj antes mencionada.

La señal PRC se repartirá en todos los nodos de la red pero sin cerrar el anillo, esto sirve para evitar sobreposición del temporizador o errores de transmisión.



**Figura 2. 5.** Distribución de la señal PRC en la red SDH

## 2.5. Niveles de Potencia y Atenuación

En la Tabla 2.1 se detallan los niveles de potencia de las tarjetas usadas en los nodos SDH, donde podemos establecer el nivel correspondiente e individualizar la tarjeta con los parámetros más adecuados que nos permitirán conocer los valores de potencia y sensibilidad que usaremos en los cálculos.

Tasa de Transmisión	Nivel correspondiente	Longitud de onda (nm)	Distancia de Transmisión (Km)	Potencia óptica emitida (dBm)	Sensibilidad Recepción (dBm)
<b>STM-1</b>	I-1	1310	0—2	-15 a -8	-31
	S-1.1	1310	2—15	-15 a -8	-31
	L-1.1	1310	15—40	-5 a 0	-34
	L-1.2	1550	40—80	-5 a 0	-34
	Ve-1.2	1550	80—100	-3 a 2	-34
<b>STM-4</b>	I-4	1310	0—2	15 a -8	-31
	S-4.1	1310	2—15	15 a -8	-31
	L-4.1	1310	15—40	-3 a 2	-30
	L-4.2	1550	40—80	-3 a 2	-30
	Ve-4.2	1550	80—100	-3 a 2	-33

**Tabla 2. 1.** Tipos y parámetros de los módulos ópticos provistos por las tarjetas SDH  
Fuente: (14)

En la Tabla 2.2 se encuentran especificadas las diferentes atenuaciones presentadas por los elementos pasivos de la red.

Nombre del componente pasivo	Factor de atenuación
Fibra óptica G.652	0,2 dB/Km
Conector óptico FC	0,5 dB
Empalme por fusión	0,05 dB

**Tabla 2. 2.** Factor de atenuación de elementos pasivos



### 2.5.1. Cálculo de la distancia máxima entre nodos

Según los diferentes proveedores de cables ópticos, los carretes de fibra G.652 que podemos encontrar en el mercado local con mayor disponibilidad son aquellos carretes de cuatro Km de longitud.

#### Para la red SDH

Como podemos observar en la Tabla 2.1, con un STM-4 nivel correspondiente L-4.2 en la ventana óptica de 1550 nm, la distancia máxima entre nodos es de 80 Km. Cabe recalcar que esta distancia es una cantidad teórica, mostraremos más adelante la distancia máxima real. Con este valor teórico de la distancia en Km y los carretes de fibra de cuatro Km de los cuales reservaremos 200 m. para contingencias en caso de que la longitud real de los cables de algún carrete sea menor a lo esperado y/o por cortes durante los trabajos de tendido y de fusión. De este modo procedemos con el cálculo del número de empalmes:

$$N_e = \frac{d_{Tx} [Km]}{l_{carrete} [Km]} \quad (3)$$

$$N_e = \frac{80 Km}{3,8 Km} = 21,05 \Rightarrow 21 empalmes$$

Según las tablas del estándar G.652 los valores de la atenuación en la fibra para una longitud de onda  $\lambda$  de 1550 nm no debe superar los 0.35 dBm. Asumiremos un valor menor de atenuación bastante real para la fibra  $a_{fibra} = 0,2 \text{ dB/Km}$  y los valores de atenuación de los empalmes por fusión  $a_e = 0,05 \text{ dB}$  y de los conectores  $a_c = 0,5 \text{ dB}$ . Realizamos el cálculo de la atenuación total:

$$A_t = a_{fibra} \times d_{Tx} + a_e \times N_e + a_c \times N_c \quad (4)$$

$$A_t = \left(0,2 \frac{\text{dB}}{\text{Km}}\right) \times (80 \text{ Km}) + (0,05 \text{ dB}) \times (21) + (0,5 \text{ dB}) \times (2)$$

$$A_t = 16 \text{ dB} + 1,05 \text{ dB} + 1 \text{ dB}$$

$$A_t = 18,05 \text{ dB}$$

Asumiendo la potencia de transmisión en la salida  $P_{Tx} = -1 \text{ dB}$  determinamos la potencia en la recepción como sigue:

$$P_{Rx} = P_{Tx} - A_t \quad (5)$$

$$P_{Rx} = -1 \text{ dB} - 18,05 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -19,05 \text{ dB}$$

Por el resultado anterior podemos determinar que la potencia que llega al siguiente nodo está muy por debajo de la sensibilidad de la tarjeta que es de -30 dB.

Consideramos entonces un valor absoluto aún mas pequeño ya que se debe dejar un margen adicional de entre cuatro o cinco dB para futuras atenuaciones por daños en la fibra o en cualquier otro elemento pasivo que exista en el tramo, asumimos un  $P_S = -26 \text{ dB}$ . Procedemos con el cálculo del margen:

$$P_M = P_{Rx} - P_S \quad (6)$$

$$P_M = -19,05 \text{ dB} - (-26 \text{ dB})$$

$$P_M = 6,95 \text{ dB}$$

A continuación se procede a calcular la distancia máxima real entre nodos, ya que la distancia anterior nos basamos en una información teórica.

$$d_{max} = d_{Tx} + \frac{P_M}{a_{fibra}} \quad (7)$$

$$d_{max} = 80 \text{ Km} + \frac{6,95 \text{ dB}}{0,2 \frac{\text{dB}}{\text{Km}}}$$

$$d_{max} = 114,75 \text{ Km}$$

Esta distancia nos indica la longitud máxima que no debemos exceder sin antes regenerar la señal.

### Para la red Metroethernet

Hacemos exactamente los mismos cálculos realizados para la red SDH, pero con los parámetros de potencia y sensibilidad encontrados en las tarjetas de los conmutadores. Con fibra monomodo en la longitud de onda  $\lambda$  de 1550 nm la distancia máxima teórica es de 70 Km, con rangos de potencia de transmisión entre 0 y +5 dBm y una sensibilidad de recepción de -3 a -23 dB. El número de empalmes necesarios recordando de dejar 200 m por cada carrete con cables de longitud de cuatro Km es:

$$N_e = \frac{70 \text{ Km}}{3,8 \text{ Km}} = 18,42 \Rightarrow 19 \text{ empalmes}$$

Asumiendo nuevamente los valores del coeficiente de atenuación para la fibra  $a_{fibra} = 0,2 \text{ dB/Km}$ , los valores de atenuación de los empalmes por fusión  $a_e = 0,05 \text{ dB}$  y de los conectores  $a_c = 0,5 \text{ dB}$ .

$$A_t = \left(0,2 \frac{\text{dB}}{\text{Km}}\right) \times (70 \text{ Km}) + (0,05 \text{ dB}) \times (19) + (0,5 \text{ dB}) \times (2)$$

$$A_t = 14 \text{ dB} + 0,95 \text{ dB} + 1 \text{ dB} = 15,95 \text{ dBm}$$

Asumiendo una potencia en la transmisión de 0 dBm (1 mW) obtenemos en la recepción una potencia de:

$$P_{Rx} = -15,95 \text{ dB}$$

Asumiendo un  $P_S = -19 \text{ dB}$  dejando cuatro dB del límite que ofrece la tarjeta obtenemos el siguiente margen:

$$P_M = -15,95 \text{ dB} - (-19 \text{ dB}) = 3,05 \text{ dB}$$

La distancia máxima real entre nodos resulta:

$$d_{max} = 70 \text{ Km} + \frac{3,05 \text{ dB}}{0,2 \frac{\text{dB}}{\text{Km}}} = 85,25 \text{ Km}$$

### 2.5.2. Distancia entre nodos

En la Tabla 2.3 podemos observar las distancias de los recorridos de las carreteras encontradas entre las ciudades principales Tulcán–Quito y Quito–Cuenca.

Trayecto entre las ciudades	Distancia en Km
Ruta 1 Quito-Tulcán	245
Ruta 2 Quito-Tulcán	255
Ruta 1 Quito-Cuenca	445
Ruta 2 Quito-Cuenca	576
<b>Total</b>	<b>1521</b>

**Tabla 2. 3.** Distancias de carreteras entre las ciudades principales Tulcán–Quito y Quito–Cuenca

**Fuente:** GOOGLE, Google Maps, versión Octubre 2011.

### Para la red SDH

Las carreteras que unen estas dos ciudades atraviesan pueblos y ciudades más pequeñas, debido a la disposición geográfica relativamente lineal entre ambas ciudades a lo largo de la cordillera de los Andes hemos podido individuar con ayuda de Google Maps en internet dos diferentes rutas en la misma región de la Sierra ecuatoriana, con lo cual evitamos alejarnos demasiado por caminos que atraviesan regiones diferentes. A continuación proponemos estas dos rutas las cuales se intersectan en el tramo central, pero que nos brindan cierta redundancia para el tendido de la fibra, cuidando que en la parte central los cables sean colocados paralelamente y separados por la carretera.

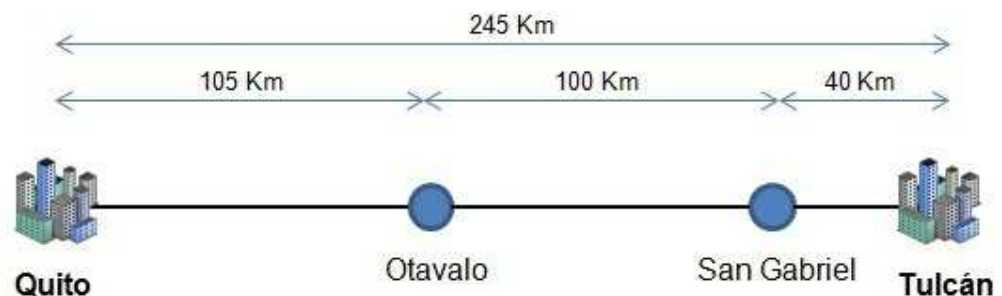
Trayecto	Distancia [Km]	Acumulado [Km]
Quito-Cayambe	75	-
Cayambe-Otavalo	30	105
Otavalo-Ibarra	25	130
Ibarra-Mira	35	165
Mira-El Angel	17	182
El Angel-San Gabriel	23	205
San Gabriel-Las Juntas	30	235
Las Juntas-Tulcán	10	<b>245</b>

**Tabla 2. 4.** Ruta 1 saliendo desde Quito por la Panamericana norte hacia Tulcán

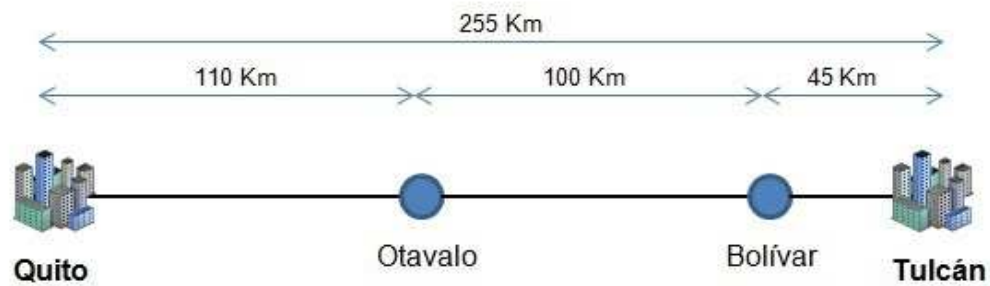
Trayecto	Distancia [Km]	Acumulado [Km]
Quito-Pifo	25	-
Pifo-El Quinche	20	45
El Quinche-Cayambe	35	80
Cayambe-Otavallo	30	110
Otavallo-Ibarra	25	135
Ibarra-Bolívar	75	210
Bolívar-San Gabriel	12	222
San Gabriel-Las Juntas	23	245
Las Juntas-Tulcán	10	<b>255</b>

**Tabla 2. 5.** Ruta 2 desde Quito hacia Tulcán saliendo por la carretera Quito-Pifo

Para las diferentes rutas escogimos las ciudades que se aproximan a los valores de la distancia máxima. Sucesivamente en las Figuras 2.6 y 2.7 presentamos los nodos primarios y secundarios para la dos rutas Quito–Tulcán con sus respectivas distancias.



**Figura 2. 6.** Ruta 1 SDH (Quito – Tulcán)



**Figura 2. 7.** Ruta 2 SDH (Quito – Tulcán)

Dado que la distancia en los últimos tramos es más corta realizamos el cálculo de la potencia que llega al destino de tal manera que incluyamos atenuadores apropiados que protegerán los fotodetectores sensibles a la señal óptica en la recepción para evitar quemar las tarjetas.

$$N_e = \frac{40 \text{ Km}}{3,8 \text{ Km}} = 10,53 \Rightarrow 11 \text{ empalmes}$$

$$A_t = \left(0,2 \frac{\text{dB}}{\text{Km}}\right) \times (40 \text{ Km}) + (0,05 \text{ dB}) \times (11) + (0,5 \text{ dB}) \times (2)$$

$$A_t = 8 \text{ dB} + 0,55 \text{ dB} + 1 \text{ dB}$$

$$A_t = 9,55 \text{ dB}$$

Asumiendo un  $P_{Tx} = -1 \text{ dB}$  resulta un  $P_{Rx} = -10,55 \text{ dB}$ . Ya que la potencia máxima que puede recibir la tarjeta es de  $-8 \text{ dBm}$ , NO es necesario el uso de atenuadores.



### Para la red Metroethernet

Debido a que entre estas dos ciudades no encontramos dos carreteras admisibles en la misma región de la sierra, fué necesario salir por una ruta atravesando la región de la costa ecuatoriana, lo cual implica un incremento de costos por tendido de fibra y equipos.

Una posible alternativa más económica pero no tan redundante sería usar la misma ruta de la sierra que es más corta para formar el anillo, evitando como hicimos en la parte central del recorrido entre Quito y Tulcán, de mantener los cables paralelos y separados por la carretera.

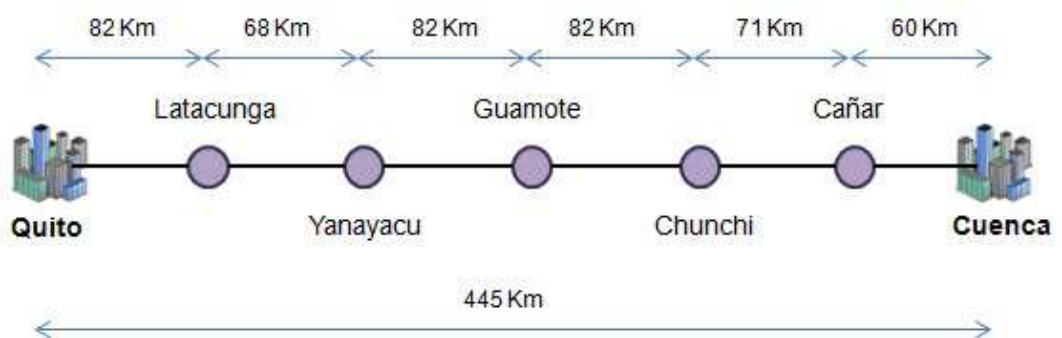
Trayecto	Distancia [Km]	Acumulado [Km]
Quito–Latacunga	82 Km	–
Latacunga–Yanayacu	68 Km	150 Km
Yanayacu–Guamote	82 Km	232 Km
Guamote–Chunchi	82 Km	314 Km
Chunchi–Cañar	71 Km	385 Km
Cañar–Cuenca	60 Km	<b>445 Km</b>

**Tabla 2. 6.** Ruta 1 desde la ciudad de Quito a Cuenca

Trayecto	Distancia [Km]	Acumulado [Km]
Quito–Aloag	30 Km	–
Aloag–Santo Domingo de los Colorados	80 Km	110 Km
Santo Domingo de los Colorados–Consumulo	47 Km	157 Km
Consumulo–Quevedo	58 Km	215 Km
Quevedo–Babahoyo	85 Km	300 Km
Babahoyo–Milagro	73 Km	373 Km
Milagro–Puerto Inca	60 Km	433 Km
Puerto Inca–San Felipe de Molleturo	70 Km	503 Km
San Felipe de Molleturo–Cuenca	73 Km	<b>576 Km</b>

**Tabla 2. 7.** Ruta 2 desde la ciudad de Quito a Cuenca

Dado que no sobrepasamos el límite de la distancia en nuestra red metro ethernet no serán necesarios el uso de atenuadores en las recepciones de los conmutadores.



**Figura 2. 8.** Ruta 1 anillo Metro Ethernet (Quito-Cuenca)



**Figura 2. 9.** Ruta 2 anillo Metro Ethernet (Quito-Cuenca)

## 2.6. Tendido de fibra óptica

Es preciso mencionar que es absolutamente necesario obtener los permisos de parte de las instituciones o autoridades competentes respectivas para ejecutar cualquiera de las técnicas que trataremos a continuación. Asumimos que la empresa que implemente nuestro diseño ya posee la licencia de portador, por lo tanto el costo por la concesión de este permiso no es contemplado en el estudio económico.

### 2.6.1. Técnicas de tendido

Las principales técnicas utilizadas para el despliegue de los cables de fibra óptica (véase anexo H), son las siguientes:

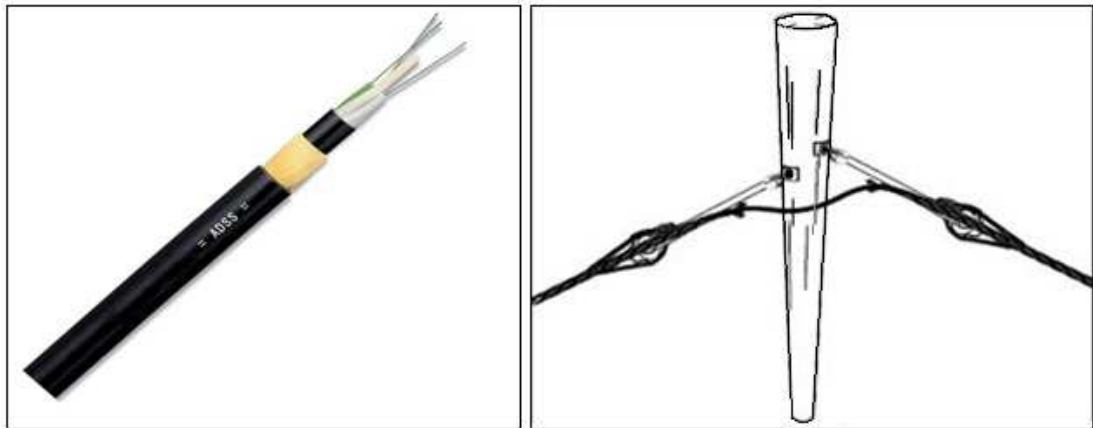
- Canalización o zanjado tradicional de canales
- Microzanjado
- Via Aérea

El método de tendido por vía aérea es el más económico, como se puede ver en el capítulo 4, ya que simplemente debemos pagar el contrato de alquiler a las empresas que brindan dichos servicios. La principal desventaja es que los cables quedan expuestos a accidentes o cortes provocados por terceros.

Con el análisis correspondiente, detallado en el capítulo 4, de cada técnica podemos determinar que el tendido de fibra por vía aérea cubre con nuestras expectativas sobretodo de carácter económico y por facilidad de implementación lo cual justifica los gastos que podrían ocurrir cuando exista un corte de fibra ya sea por accidentes o por imprevistos.

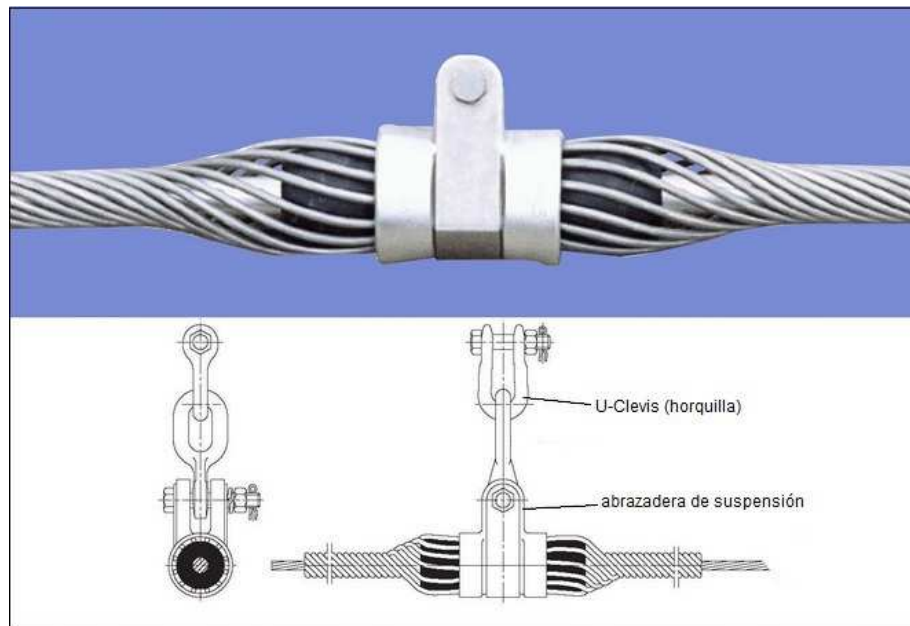
La fibra que usaremos para nuestro proyecto será del tipo ADSS, ideales para el tendido por vía aérea porque son flexibles, resistentes a las más duras condiciones ambientales, protegido con materiales termoplásticos especiales y no se ven

afectados por los campos electromagnéticos. En la Figura 2.10 y 2.11 podemos apreciar este tipo de cable, montaje sobre los postes y sus respectiva abrazadera de suspensión



**Figura 2. 10.** Cable ADSS y detalle del montaje de los cables sobre los postes  
**Fuentes:** (24) (25)

Las reparaciones de los cables tendidos por vía aérea poseen un MTTR relativamente bajo en comparación a otras técnicas, debido a la libre exposición de los cables y a herramientas como el reflectómetro óptico en dominio del tiempo (OTDR; *Optical Time Domain Reflectometry*) es posible localizar los puntos de falla, pero así mismo la probabilidad que ocurran cortes es mucho mayor. El tiempo de reparación depende sobretodo de la accesibilidad y del tiempo requerido para llegar al sitio, asumiendo que la empresa disponga del respectivo personal técnico para realizar este trabajo.



**Figura 2. 11.** Conjunto de suspensión para cables ADSS y OPGW  
**Fuente:** (26)

Según datos de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) en las carreteras interprovinciales los postes se hallan distanciados uno de otro entre un mínimo de 80 m a un máximo de 100m, lo cual se encuentra perfectamente dentro de las limitaciones del vano nominal (*span*) de los cables autoportados de tipo holgado ADSS que es de 100 m.

Para el cálculo del número de postes usaremos el valor promedio de estos que resultaría de 90 m. Esto nos será de

utilidad para conocer la cantidad de herrajes que necesitaremos para sostener los cables en los postes.

Por lo tanto, el número de postes para nuestro anillo SDH (Quito-Tulcán) lo obtenemos sumando las distancias de ambos recorridos que resulta de 500 Km dividido para el valor de 90 m, es decir  $\frac{500.000 \text{ m}}{90 \text{ m}} = 5556$  postes, mientras que para nuestra red metro resulta en  $\frac{1021.000 \text{ m}}{90 \text{ m}} = 11345$  postes. Es decir, para este proyecto el número total de postes que atravesarían nuestros cables de fibra óptica es de 16901 aproximadamente.

### **2.6.2. Empalmes**

Debido a que la longitud de los cables en los carretes de fibra que usaremos son de cuatro Km; progresivamente debemos unir o empalmar cada una de las secciones con el tramo sucesivo a lo largo del tendido del cable.

Trayecto	Cantidad de carretes
Ruta 1 Quito-Tulcán	61
Ruta 2 Quito-Tulcán	64
<b>Subtotal (red SDH)</b>	<b>125</b>
Ruta 1 Quito-Cuenca	112
Ruta 2 Quito-Cuenca	144
<b>Subtotal (red Metro Ethernet)</b>	<b>256</b>
<b>Total</b>	<b>381</b>

**Tabla 2. 8.** Cantidad total de carretes de longitud de 4 km. por trayectos entre nodos

La técnica que emplearemos es por fusión de la fibra ya que esta nos brinda la mejor atenuación por empalme. Este método funde el silicio de la fibra para unirlo con otros hilos, estos grupos de hilos fusionados son alojados dentro de bandejas con capacidades variables que a su vez vienen depositados en recipientes más grandes y resistentes llamados mangas, hechos con materiales plásticos o metálicos que tienen la función de proteger las fusiones del medio al que quedarían expuestas.

Existen varios tipos de mangas dependiendo del tipo de tendido usado y de su capacidad, en relación a la cantidad de hilos de fibra óptica que vienen dentro de un cable. Las dimensiones de la manga así mismo varían en proporción al total de cables que ingresan a esta.





**Figura 2. 12.** Caja de empalme óptico  
**Fuente:** (27)

## **2.7. Implementación de los elementos de la red**

En la presente sección describiremos de manera general las características técnicas de los elementos activos (equipos ADM, conmutadores, etc), y elementos pasivos (cables, conectores, atenuadores, etc).

### **2.7.1. Activos**

Como dijimos previamente la red SDH es nuestro anillo principal encargado de transportar un STM-4 para lo cual serán

necesarios dos nodos ADM con equipos Huawei Optix 1500B, ya que este equipo es el más económico de su serie, al mismo tiempo cumple con los requerimientos básicos y posee una capacidad de crecimiento de hasta un STM-16, cuya plataforma transporta múltiples servicios MSTP, uno instalado en Quito y otro en Tulcán. Recordemos que la salida hacia el NAP de las Américas es por esta última. En el anexo I encontramos las características detalladas de este equipamiento.

Para el anillo metro ethernet entre Quito y Cuenca usaremos en los extremos de la red conmutadores Cisco Catalyst 3750 Metro con capacidades de capa tres, en alternativa podría usarse el Catalyst 3560, mientras que para el transporte de datos emplearíamos los conmutadores de capa dos Cisco Catalyst 2960-S, que encontramos en el mercado y para los que el fabricante aún da soporte. Estos conmutadores poseen capacidades para redes metro ethernet entre los cuales mencionamos algunos como: MPLS, EoMPLS, QoS, 802.1Q tunneling, SLA y gran capacidad de transporte de datos a través de interfaces para cables de fibra óptica con módulos 1000BASE-ZX SFP (*Small Form-Factor Pluggable*) de un Gbps (*full duplex*).



**Figura 2. 13.** Modulo SFP Cisco 1000BASE-ZX monomodo 9µm 1550nm 70Km conector LC  
**Fuente:** (28)

En la Figura 2.13 se puede apreciar un módulo SFP, estos son dispositivos externos que se introducen en los espacios dedicados de los elementos de red, en nuestro caso de conmutadores, y los cuales permiten la conexión de cables ópticos. Con la fibra monomodo en la longitud de onda de 1550 nm son capaces de alcanzar largas distancias de hasta 70 Km, claramente esto depende de las pérdidas en el enlace. La potencia de transmisión se encuentra en el rango de 0 a +5 dBm y la sensibilidad en la recepción de -3 a -23 dBm. El tipo de estandar para los SPF que escogemos es el 1000BASE-ZX, ya que es el de mayor sensibilidad por ende tiene mayor alcance la distancia entre nodos, a diferencia de los otros que solo soportan un rango de cinco, diez, y 40 Km.

### 2.7.2. Pasivos

A diferencia de los elementos activos, los elementos pasivos no consumen energía. En esta sección establecemos todos los componentes de nuestra red que atenúan la señal óptica de la fibra, ya sea de manera inevitable o con algún propósito adicional.

El elemento pasivo mas importante en nuestro caso es el medio de transmisión, o sea la fibra óptica. El tipo de fibra óptica que usaremos es la descrita en el estándar G.652 ya que es la ideal para el transporte de señales SDH y metro ethernet que solo usan una landa de luz y dispone de una atenuación relativamente baja por ser de tipo monomodo. Las características más destacables de esta fibra son:

- Trabajan en la región de longitud de onda de 1550 nm, que es la ventana óptica con menor atenuación.
- Tiene un factor de atenuación de 0.2 dB/Km.
- Posee un coeficiente de dispersión cromática de 17 ps/nm.Km.

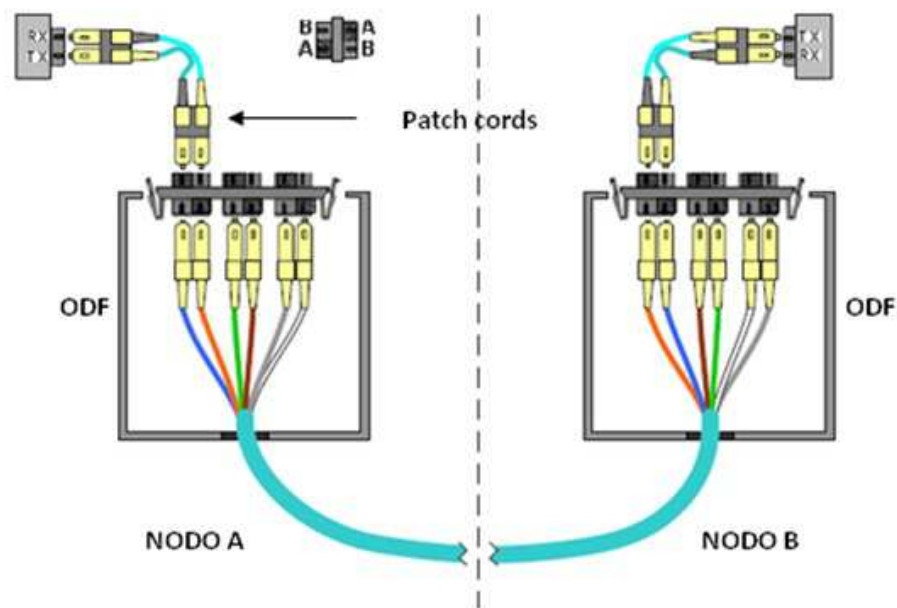
Para el tendido de fibra el cable más adecuado para el proyecto dispone de 12 hilos de fibra óptica del estándar G.652. Esto se

debe a que se usa dos hilos para transmisión, dos hilos para protección, y los otros ocho hilos pueden quedar para alquiler de fibra oscura o para uso futuro. Ya que se establecieron las tarjetas de los equipos SDH descritos anteriormente, podemos saber que sus interfases físicas de fibra son de tipo LC. El factor de atenuación es de 0,5 dB. Los SFP 1000BASE-ZX usan el mismo tipo de conector. En cuanto a los empalmes del tendido de fibra usaremos de tipo por fusión ya que tienen la menor atenuación posible con un factor de 0.05 dB por empalme.

Respecto a los elementos que se encuentran dentro de un cuarto de equipos adecuados con las correctas normas de cableado estructurados. Dentro de ese conjunto de dispositivos encontramos los distribuidores de fibra óptica u ODF que permite el ordenamiento y etiquetamiento adecuado de los diferentes hilos de fibra que entran a un punto. En la Figura 2.14 se puede ver la distribución de un ODF a un punto de conexión.

En conjunto al ODF también tenemos los patch cord de fibra y de cobre que son cables de hasta un metro de longitud que

sirven para conectar los equipos a la fibra entrante. Los patch cord de fibra son de tipo monomodo y con conectores LC. En cuanto a los de cobre son UTP categoría 5e que los necesitamos para las conexiones de los conmutadores con los IPMUX en los nodos que manejen metro ethernet.



**Figura 2. 14.** Distribución de hilos de fibra mediante un ODF y patch cord de fibra  
**Fuente:** (29)

Por último tenemos los atenuadores de fibra que nos sirven para evitar el daño de alguna tarjeta del equipamiento SDH o así mismo el daño de algún SPF. Esto solo es necesario si la señal de entrada a un equipo es muy alta y sobrepase el límite máximo de potencia óptica de entrada (30).

### **2.7.3. Implementación de los nodos**

Todos los equipamientos o nodos ya sean principales o secundarios deben estar albergados dentro de estaciones que posean características comunes entre ellos como veremos a continuación.

Se sugiere que los cuartos de telecomunicaciones donde se alojan los equipos deben quedar bajo medidas de seguridad, es decir dentro de lugares cerrados en cuyo interior se encuentran muchos y/o costosos equipos, pueden ser provistos de sistemas de vigilancia en las puertas de entrada, monitoreo con videocámaras y guardias que impidan el fácil acceso a personal no autorizado que podría no estar adecuadamente preparado para manipular estos equipos y también para evitar la indebida apropiación de estos. Las medidas de seguridad descritas en el presente párrafo son de carácter opcional y pueden ser descritos en futuros análisis.

En su interior las estaciones deben permanecer en un ambiente controlado libre de humedad, con equipos de climatización que mantengan adecuados niveles de temperatura, en el rango de 0

a 45°C (14). Recordemos que el funcionamiento de los equipos de red generan calor que es dispersado mediante el propio sistema de ventilación pero que podría no ser suficiente, elevando la temperatura a niveles críticos provocando su mal funcionamiento e incluso su avería. Los fabricantes proveen esta información en los manuales que describen las características técnicas y recomendaciones para el apropiado funcionamiento del equipo.

El sistema de suministro de energía eléctrica mediante generadores, armarios y cuadros eléctricos para la alimentación de los equipos deben cumplir con las normas mínimas de protección y demás seguridades vigentes internacionalmente; con puesta a tierra mediante barras metálicas para descargar las sobretensiones de corriente, sistemas para proveer de energía (UPS; *Unit Power Supply*) por un periodo de tiempo adicional en caso de fallas o por carencia de esta por parte del sistema principal evitando interrupciones de servicio, prestando así más tiempo para la conmutación y/o resolución del problema. Los equipos deben montarse sobre bastidores metálicos (*racks*), debidamente etiquetados e instalados con sistemas de conexión a tierra según el estándar ANSI/EIA/TIA-



607, permaneciendo a una cierta altura desde el piso y correctamente sujetos para evitar que precipiten al suelo.

Los cables de red (*patch cord*) ya sean de cobre u ópticos necesarios para la interconexión entre equipos de red deben estar dispuestos de manera ordenada, si es necesario desplegados a través de techos o pisos falsos y distribuidos mediante el uso de paneles (*patch panels*), en el caso de la fibra con ODFs. Recordamos también que entre los conmutadores deben emplearse cables cruzados según el estándar ANSI/EIA/TIA-568; y en general, los cables de cobre deben estar alejados de fuentes que puedan generar interferencia electromagnéticas como generadores, ascensores, etc. según el estándar ANSI/EIA/TIA-569.

En la Tabla 2.9 están descritos la cantidad de elementos activos necesarios para la implementación de nuestro diseño divididos por tipos de tecnología y así mismo diferenciando el nodo primario del secundario. Cabe recalcar, como hemos mencionado anteriormente, que los nodos primarios es donde

entregamos los servicios, mientras que los secundarios simplemente regeneran la señal.

Red / Tecnología	Tipo de nodo	Detalle	Cantidad
SDH	Primario	Huawei OptiX OSN 1500B	2
		Tarjetas con 2 interfaces STM-4	4
		Tarjetas STM-1	4
		Tarjetas E1 (PQ1)	2
		Servidor T2000	1
		Tarjetas Cross-conectoras	4
		Rack y accesorios	2
		Fuentes de poder	4
		Fuente de reloj (SSU)	1
	Secundario	Regeneradores ópticos	4
		Tarjetas con 2 interfaces STM-4	8
		Rack y accesorios	4
		Fuentes de poder	8
	Metro Ethernet	Primarios	Conmutadores Cisco Catalyst 3560
módulos SFP			4
Rack y accesorios (solo Cuenca)			1
Secundarios		Conmutadores Cisco Catalyst 2960-S	13
		módulos SFP	26
		Rack y accesorios	13
Ultima milla		Conmutadores Cisco Catalyst 2960-S	3
		módulos SFP	6
		Rack y accesorios	3
TDMoIP	Primario / secundario	RAD IPMUX 24	4

**Tabla 2. 9.** Elementos principales necesarios para implementar el proyecto

# CAPÍTULO 3

## 3. Simulación en laboratorio

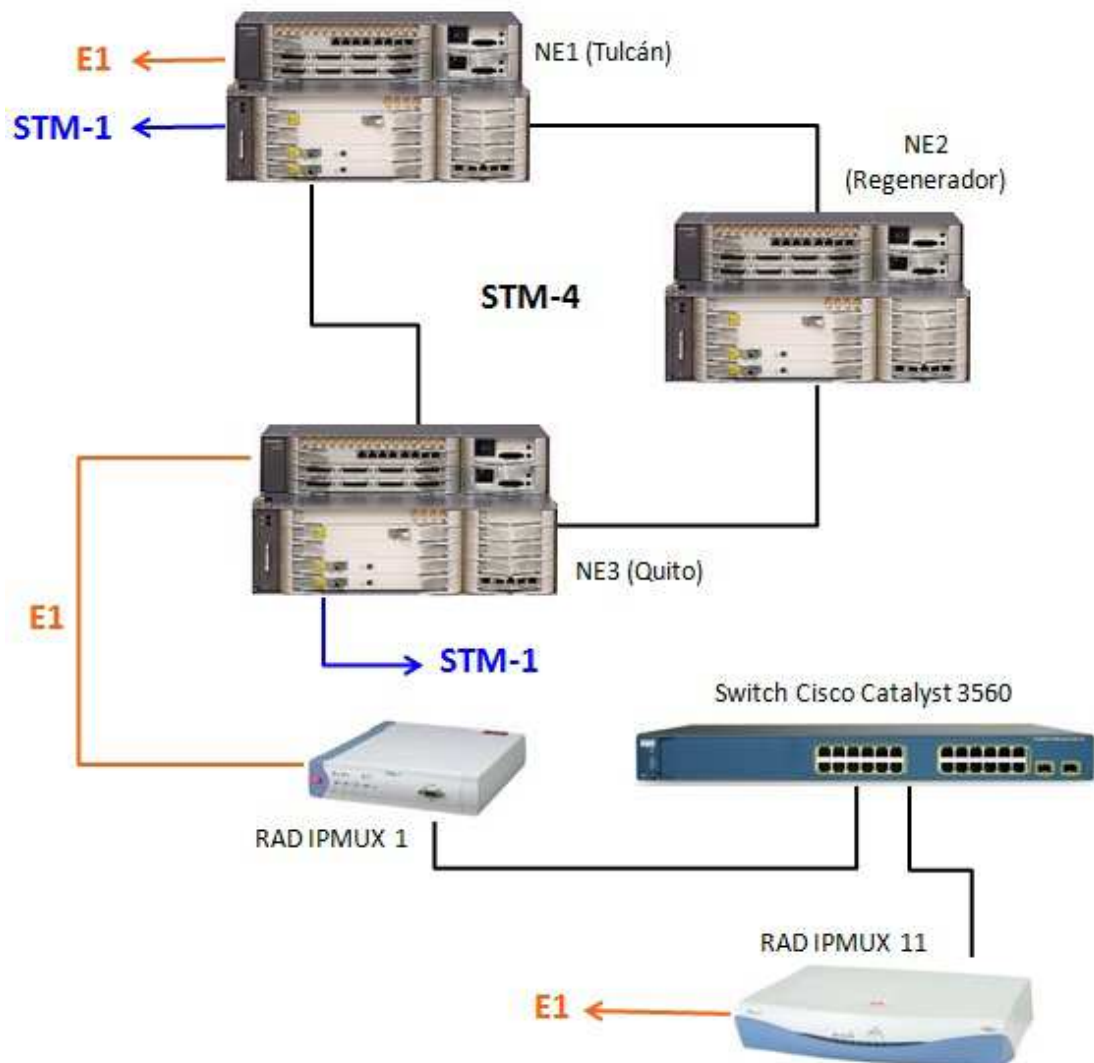
Dado que ya se estableció la marca y modelo de los equipos para cada tipo de tecnología, nosotros nos basaremos en los respectivos sistemas operativos para realizar las configuraciones. Siendo para la red SDH equipos Huawei, para el anillo metro ethernet se realizará la implementación con equipamiento Cisco y por último los equipos TDMoIP de marca Rad.

A continuación realizaremos la simulación con las configuraciones respectivas para cada una de las tres diferentes tecnologías usadas en nuestro proyecto. Dado que no se trata de un ambiente real estaremos

sujetos a las limitaciones propias de un ambiente simulado. Elaboraremos una prueba en el laboratorio de Telecomunicaciones de la ESPOC armando una topología parecida a la de nuestro proyecto real. Comprobaremos las distintas configuraciones para las tecnologías empleadas y así demostraremos su funcionamiento.

En la Figura 3.1 que la encontramos a continuación, podemos verificar la topología que usamos para la simulación. A diferencia de la topología original del proyecto la parte SDH solo tiene 2 nodos (Quito y Tulcán) y un solo nodo regenerador. Para simular el transporte del E1 sobre las redes SDH y Metro Ethernet solo aplicamos TDMoIP en el lado del nodo Quito con un solo conmutador representando el transporte IP.

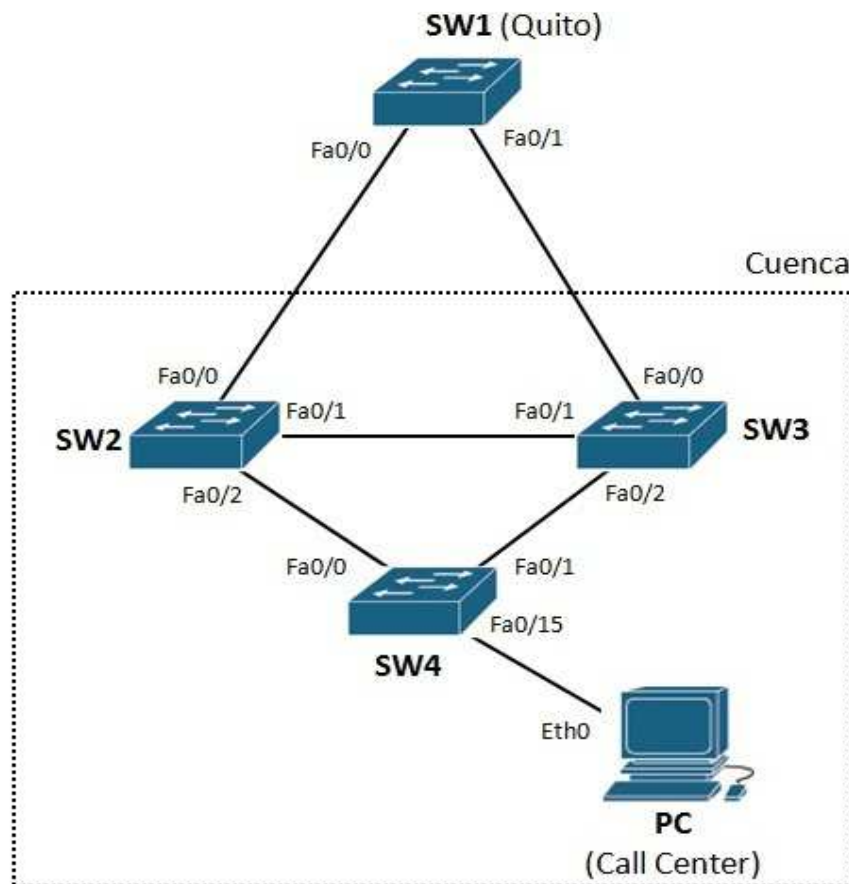
Efectuaremos la emulación de una red metro ethernet compuesta por conmutadores, verificaremos el funcionamiento del protocolo STP para redundancia lógica de la red de paquetes y comprobaremos la convergencia de la misma ante una eventual falla también simulada.



**Figura 3. 1.** Topología de simulación SDH mas TDMoIP

Los equipos que usamos en el laboratorio SDH son 3 Huawei Optix 1500B con una tarjeta STM-4 de 2 puertos, una tarjeta PQ1 que maneja 63 E1s y con 2 tarjetas STM-1 en cada equipo. Los equipos TDMoIP fueron un IPMUX 11 y un IPMUX1 los dos de marca Rad. Para el transporte IP, el conmutador con el que trabajamos en el laboratorio es un Cisco Catalyst

3560. Por último para la emulación de la red conmutada por paquetes encontramos en la Figura 3.2 la topología armada virtualmente donde los conmutadores representa los Cisco 3750 y 2960.



**Figura 3. 2.** Topología de emulación de la red Metro ethernet

### 3.1. Configuración y pruebas de la red simulada

Para la correcta configuración del anillo SDH debemos configurar primero los servicios agregados, luego las protecciones, después los tributarios y por último el reloj que predomina en la sincronización de

la red; véase anexo J para seguir los pasos de las distintas configuraciones de los equipos SDH, donde se las realizaron desde el servidor T2000 instalado en el laboratorio, en nuestro caso es un PC que está directamente conectado al NE3. Este servidor es el encargado de las diferentes configuraciones y monitoreos de la red.

Como ya sabemos gracias a los capítulos anteriores los equipos IPMUX de marca Rad manejan 2 tipos de red, la de datos y la sincronizada. Por esta razón se requiere diferenciar las 2 tipos de configuraciones la Ethernet y la TDM. Dentro del anexo K está descrito paso a paso la configuración que se hicieron en los equipos TDMoIP del laboratorio.

### **Test de funcionamiento**

Para comprobar que las configuraciones anteriores están correctas y que la transmisión de datos fue realizada con éxito, el laboratorio de telecomunicaciones de la ESPOL nos permitió el uso de 2 herramientas que sirven para medir las señales E1 y STM-1 que previamente configuramos.

En las Figuras 3.3 y 3.4 podemos ver el resultados de las pruebas mostradas en las pantallas del respectivo equipamiento de comprobación. La Figura 3.3 enseña el resultado de la señal E1 transmitida desde el nodo Tulcán hasta el IPMUX1 tal como indica la topología de simulación. La Figura 3.4 muestra que la señal STM-1 que va desde el nodo Quito hasta el nodo Tulcán es transmitida sin error alguno.



**Figura 3. 3.** Pantallas del equipo de medición E1

De la Figura 3.3 la primera pantalla significa el tiempo que ha corrido el servicio E1, donde nos muestra 613 segundos con 0 segundo de errores. La segunda pantalla en el centro muestra que ha recibido 0



tramas de error. Y por último, la tercera pantalla presenta que no hay ningún error tanto en la sincronización como en los bits.



**Figura 3. 4.** Pantalla del equipo de prueba de la señal STM-1

La Figura 3.4 representa los resultados obtenidos en la transmisión del STM-1 que fueron exitosos. Los datos que salen en la pantallas significa que los punteros que van dentro de la cabecera de la trama no muestran ningún error. Al lado derecho de dicha pantalla podemos observar que ningún LED rojo está prendido lo que significa que no hay ningún tipo de pérdida ni error en la transmisión.

### 3.2. Configuración de la red metro ethernet con la aplicación GNS3

En la presente sección realizaremos una simulación de la red metro ethernet de nuestro proyecto compuesto fundamentalmente por conmutadores Cisco usando como plataforma el software GNS3 (Graphic Network Simulator 3) (31) y con ayuda de programas como

Dynamips será posible simular este tipo de redes, este ejercicio lo realizaremos principalmente para ver el comportamiento de STP. Véase el anexo L para información detallada sobre la configuración de este software y de cada uno de los elementos de la red simulada descrita en la Figura 3.2.

### **Prueba de convergencia de STP**

Una vez que todos los elementos están debidamente configurados y comprobada la comunicación entre cada uno de ellos, realizaremos un ping desde el PC virtual, cuya interfaz ethernet configurada con el IP 10.0.20.5, simulará nuestro cliente conectado a nuestro conmutador de acceso SW4, hacia el SVI del SW1 con dirección IP 10.0.20.1. Tal como apreciamos en la Figura 3.5 durante la ejecución del ping simularemos la caída de un enlace de nuestro anillo, para esto deshabilitaremos con el comando *shutdown* la interfaz fastethernet 0/0 de SW1.

Notamos en la Figura 3.5 que después del número de secuencia 3 del ping existe una breve interrupción del servicio que dura hasta que STP vuelve a converger, dando como resultado otra topología activa.

```

root@box:~#
root@box:~# ifconfig eth0 10.0.20.5 netmask 255.255.255.248
root@box:~# ifconfig eth0 up
root@box:~# ping 10.0.20.1
PING 10.0.20.1 (10.0.20.1): 56 data bytes
64 bytes from 10.0.20.1: seq=0 ttl=255 time=90.318 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=1 ttl=255 time=36.240 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=2 ttl=255 time=34.893 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=3 ttl=255 time=27.623 ms ← CAIDA DEL ENLACE
64 bytes from 10.0.20.1: seq=52 ttl=255 time=71.002 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=53 ttl=255 time=50.144 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=54 ttl=255 time=23.390 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=55 ttl=255 time=35.724 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=56 ttl=255 time=47.503 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=57 ttl=255 time=33.211 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=58 ttl=255 time=40.298 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=59 ttl=255 time=41.487 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=60 ttl=255 time=39.944 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=61 ttl=255 time=42.375 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=62 ttl=255 time=45.521 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=63 ttl=255 time=38.213 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=64 ttl=255 time=42.724 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=65 ttl=255 time=27.290 ms
64 bytes from 10.0.20.1: seq=66 ttl=255 time=44.147 ms

```

Figura 3. 5. Ping desde el PC virtual hacia la interfaz virtual en SW1

En la Figura L13 comprobamos los estados por los que pasan las interfaces en SW3. En particular comprobamos como la interfaz fastethernet 0/1 inicialmente en estado de *blocking* pasa por cada uno de los estados hasta llegar al estado de *forwarding* después de 50 segundos de verificarse la caída.

Finalmente, mostramos en la Tabla 3.1 los estados de todas las interfaces después de la última convergencia del STP con el enlace down, comparando con la Tabla L.1 como han cambiado los estados de los puertos de la topología activa.

Conmutadores	Interfaz	Estado
SW1 (root)	FastEthernet 0/0	Down
	FastEthernet 0/1	Forwarding
SW2	FastEthernet 0/0	Down
	FastEthernet 0/1	Forwarding
	FastEthernet 0/2	Forwarding
SW3	FastEthernet 0/0	Forwarding
	FastEthernet 0/1	Forwarding
	FastEthernet 0/2	Forwarding
SW4	FastEthernet 0/0	Blocking
	FastEthernet 0/1	Forwarding
	FastEthernet 0/15	Forwarding

**Tabla 3. 1.** Estado final de los puertos después de la convergencia STP

### 3.3. Resolución de problemas (Troubleshooting)

Podemos visualizar el diagrama de flujo de la Figura M1 para guiarnos a una mejor forma de encontrar las posibles causas de errores de red. Dicho flujograma nos muestra una visión general de resolución de problemas independientemente de la tecnología que sea la red, ya que para la red SDH las alarmas más comunes, descritas en el anexo M, que el sistema de monitoreo T2000 arroja al momento en que ocurre un error con sus posibles causas, donde también podemos observar la soluciones de dichos erros en mismo anexo.

# CAPÍTULO 4

## **4. Ingeniería Económica del proyecto**

En el presente capítulo enfocaremos nuestro esfuerzo en presentar los costo de nuestro proyecto, que luego nos ayudarán a realizar una evaluación económica de las diferentes alternativas técnicas que servirán de referencia, y ayudarán a la posterior toma de decisiones de la más adecuada y económicamente accesible para beneficio del implementador.

Véase el anexo N para información detallada de los diferentes rubros contemplados en el proyecto y cuyas cotizaciones fueron conseguidas por diversos medios y para asegurar la confidencialidad de tan delicada información omitiremos si es necesario los nombres de las fuentes. Cabe

recalcar que estos costos fueron escogidos de los proveedores locales que ofrecían precios más económicos.

Respecto a los costos de fibra e instalación que se encuentran en dicho anexo evidenciamos la diferencia de costos de los métodos de tendido por microzanjado y aéreo. En el capítulo 2 ya establecimos los argumentos por los cuales elegimos la técnica de tendido aéreo.

#### **4.1. Costos totales del proyecto**

La Tabla 4.1 detalla los costos anuales de servicios contratados a terceros como en el caso del E1 internacional por Tulcán a través de la empresa colombiana Transnexa, el alquiler de postes que bordean las carreteras interprovinciales en áreas rurales, y como opcional el transporte de un E1 entre las ciudades de Quito y Tulcán, el cual usaremos como parte del segundo escenario. Para referencia en la Tabla 4.3 ponemos el precio mensual y anual de un STM-1, dato que usaremos también en los ingresos en la sección de análisis económico.

Costos anuales de servicios varios				
No.	Descripción	Precio unitario	cant.	Precio total
1	E1 internacional por Transnexus (mensual)	\$ 2.500,00	12	\$ 30.000,00
2	Uso de postes de la CNEL (red SDH)	\$ 10,00	5556	\$ 55.560,00
3	Uso de postes de la CNEL (red MetroEthernet)	\$ 10,00	11345	\$113.450,00
<b>Subtotal</b>				\$199.010,00
4	Transporte de un E1 desde Quito a Cuenca (opcional)	\$ 300,00	12	\$ 3.600,00

**Tabla 4. 1.** Detalle de los costos anuales por servicios de terceros

En la Tabla 4.2 detallamos los precios por mantenimiento de la red, el cual según empresas del mercado local su promedio es de aproximadamente \$10,00 anuales por poste, esto incluye el pago al personal, materiales y transporte.

Costos anuales por mantenimiento de la red				
No.	Descripción	Precio unitario	cant.	Precio total
1	Mantenimiento de la red SDH (por poste)	\$ 9,74	5556	\$ 54.115,44
2	Mantenimiento de la red Metro Ethernet (por poste)	\$ 9,74	11345	\$ 110.500,30
<b>Total</b>				<b>\$164.615,74</b>

**Tabla 4. 2.** Costo del mantenimiento anual de la red

Costo anual de un STM-1 en el mercado local				
No.	Descripción	Precio unitario	cant.	Precio total
1	Costo de un STM-1 (mensual)	\$ 21.700,00	12	\$ 260.400,00
<b>Total</b>				<b>\$ 260.400,00</b>

**Tabla 4. 3.** Costo anual por el transporte de un STM-1

Desde la Tabla 4.4 hasta la Tabla 4.6 podemos ver los totales de los costos necesarios para implementar la red propuesta, donde están separadas en la red SDH y la red Metro Ethernet.

Costos de la red SDH y última milla de Tulcán		
No.	Descripción	Precio total
1	Equipos e instalación de la red SDH	\$ 337.895,00
2	Tendido de fibra del anillo SDH	\$ 1.241.686,50
3	Última milla de Tulcán hacia la salida internacional	\$ 7.616,00
<b>Total</b>		<b>\$ 1.587.197,50</b>

**Tabla 4. 4.** Costo total de la implementación de la red SDH más ultima milla de Tulcán

Costos de la red Metro Ethernet		
No.	Descripción	Precio total
1	Equipos e instalación de la red Metro Ethernet	\$ 145.578,00
2	Tendido de fibra del anillo Metro Ethernet	\$ 2.542.952,00
<b>Total</b>		<b>\$ 2.688.530,00</b>

**Tabla 4. 5.** Costo total de la implementación de la red Metro Ethernet



<b>Costos de implementación de la red</b>		
<b>No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio total</b>
1	Implementación de la red SDH	\$ 1.587.197,50
2	Implementación de la red Metro Ethernet	\$ 2.688.530,00
<b>Total</b>		<b>\$ 4.275.727,50</b>

**Tabla 4. 6.** Costo total de la implementación de la red completa

## **4.2. Análisis Económico**

En nuestro análisis económico realizaremos una proyección para tres diferentes escenarios que definiremos más adelante en un periodo (N) de cinco años, usando la tasa de inflación del país que es del 5,5% al 31 de octubre del 2011 según los indicadores del Banco Central del Ecuador (32).

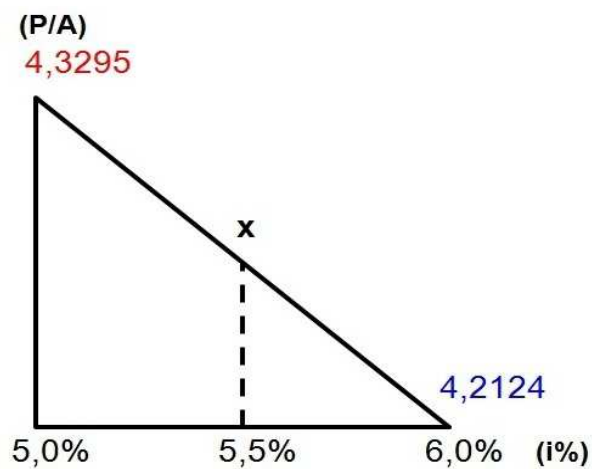
Para realizar el análisis económico emplearemos el método del Valor Presente Neto (VPN). Para obtener el factor de interés compuesto del valor presente P/A para la tasa de interés del 5,5% debemos extrapolar y hacer el cálculo a partir de los datos recuperados de la tabla 4.7 (véase la tabla completa en el anexo O), entre los valores de P/A para el 5% y el 6% como hemos evidenciado. Asumimos que la

inversión inicial de los proyectos no fueron realizados a través de préstamos bancarios.

N	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
1	0,9901	0,9804	0,9709	0,9615	0,9524	0,9434	0,9346	0,9259	0,9174	0,9091
2	1,9704	1,9416	1,9135	1,8861	1,8594	1,8334	1,8080	1,7833	1,7591	1,7355
3	2,9410	2,8839	2,8286	2,7751	2,7232	2,6730	2,6243	2,5771	2,5313	2,4869
4	3,9020	3,8077	3,7171	3,6299	3,5460	3,4651	3,3872	3,3121	3,2397	3,1699
5	4,8534	4,7135	4,5797	4,4518	4,3295	4,2124	4,1002	3,9927	3,8897	3,7908
6	5,7955	5,6014	5,4172	5,2421	5,0757	4,9173	4,7665	4,6229	4,4859	4,3553
7	6,7282	6,4720	6,2303	6,0021	5,7864	5,5824	5,3893	5,2064	5,0330	4,8684
8	7,6517	7,3255	7,0197	6,7327	6,4632	6,2098	5,9713	5,7466	5,5348	5,3349
9	8,5660	8,1622	7,7861	7,4353	7,1078	6,8017	6,5152	6,2469	5,9952	5,7590
10	9,4713	8,9826	8,5302	8,1109	7,7217	7,3601	7,0236	6,7101	6,4177	6,1446

**Tabla 4. 7.** Tabla del valor presente P/A del factor de interés compuesto

Para visualizar mejor la extrapolación presentamos la Figura 4.1, y hacemos los cálculos necesarios para obtener el factor  $x$  que también mostramos gráficamente en la Figura 4.2.

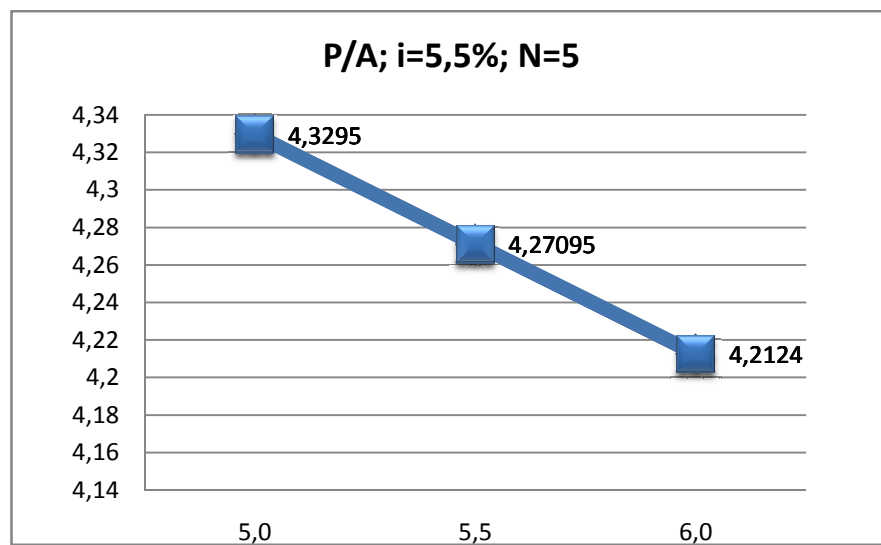


**Figura 4. 1.** Visualización gráfica para extrapolar y obtener el factor  $P/A$

$$x = 4,3295 - \frac{(5 - 5,5)(4,3295 - 4,2124)}{(5 - 6)}$$

$$x = 4,3295 - \frac{(-0,5)(0,1171)}{(-1)} = 4,3295 - 0,05855$$

$$x = 4,27095$$



**Figura 4. 2.** Gráfico lineal del P/A para un interés del 5,5% a 5 años

El Valor Presente Neto (VPN) se calcula con la siguiente fórmula:

$$VPN = I\left(\frac{P}{A}; i\%; N\right) - V_0 \quad (8)$$

$$x\left(\frac{P}{A}\right) = f(i\%; N)$$

Donde:

I : Ingreso Anual Neto

P/A : Valor Presente

i% : Tasa de interés

N : periodo en años

Vo : Inversión inicial

### **ESCENARIO 1**

Implementación de toda la red que incluye la red SDH y la red Metro Ethernet. En la Tabla 4.8 indicamos los egresos anuales por alquiler, mantenimiento y consumos varios.

Asumiendo el cobro adicional del 15% con relación a los egresos obtenemos una ganancia de \$56.343,86 más el cobro del STM-1 y además una ganancia neta anual con relación a la inversión inicial, como mencionamos previamente sin realizar préstamos bancarios, durante 5 años obtenemos un ingreso de \$855.145,50.

Egresos anuales		
No.	Descripción	Costos
1	Anualidad por alquiler de postes y E1 internacional	\$ 199.010,00
2	Mantenimiento de la red	\$ 164.615,74
3	Consumo de energía eléctrica (toda la red)	\$ 12.000,00
<b>Total</b>		<b>\$ 375.625,74</b>

**Tabla 4. 8.** Egresos anuales en el escenario 1

Ingresos anuales		
No.	Descripción	Valor
1	Ingresos del 15% en relación al egreso anual	\$ 56.343,86
2	Ingresos Netos anuales durante los primeros 5 años	\$ 855.145,50
3	Ingresos por servicio STM-1	\$ 260.400,00
<b>Total</b>		<b>\$ 1.171.889,36</b>

**Tabla 4. 9.** Ingresos anuales en el escenario 1

$$I = \$ 1.171.889,36$$

$$V_0 = \$ 4.275.727,50$$

$$VPN = I \left( \frac{P}{A}; i\%; N \right) - V_0$$

$$VPN = \$ 1.171.889,36(4,27095) - \$ 4.275.727,50$$

$$VPN = \$ 729.353,37$$

## ESCENARIO 2

Implementación de la red SDH y el alquiler del transporte de un E1 entre las ciudades de Quito y Cuenca. En la Tabla 4.10 indicamos los egresos anuales por alquiler, mantenimiento y consumos varios.

Asumiendo el cobro adicional del 15% con relación a los egresos obtenemos una ganancia de \$22.031,32 más el cobro del STM-1 y además una ganancia neta anual con relación a la inversión inicial, como mencionamos previamente sin realizar préstamos bancarios, durante 5 años obtenemos un ingreso de \$317.439,50.

Egresos anuales		
No.	Descripción	Costos
1	Anualidad por alquiler de postes de la red SDH, E1 internacional y E1 nacional (Quito-Cuenca)	\$ 89.160,00
2	Mantenimiento de la red SDH	\$ 54.115,44
3	Consumo de energía eléctrica (solo red SDH)	\$ 3.600,00
<b>Total</b>		<b>\$ 146.875,44</b>

**Tabla 4. 10.** Egresos anuales en el escenario 2

Ingresos anuales		
No.	Descripción	Valor
1	Ingresos del 15% en relación al egreso anual (escenario 2)	\$ 22.031,32
2	Ingresos Netos anuales durante los primeros 5 años	\$ 317.439,50
3	Ingresos por servicio STM-1	\$ 260.400,00
<b>Total</b>		<b>\$ 599.870,82</b>

**Tabla 4. 11.** Ingresos anuales en el escenario 2

$$I = \$ 599.870,82$$

$$V_0 = \$ 1.587.197,50$$

$$VPN = I \left( \frac{P}{A}; i\%; N \right) - V_0$$

$$VPN = \$ 599.870,82(4,27095) - \$ 1.587.197,50$$

$$VPN = \$ 974.820,77$$

### ESCENARIO 3

Alquilando toda la red a terceros y simplemente ofreciendo a nuestros clientes los servicios de un STM-1 y de un E1 internacional para el centro de llamadas de la ciudad de Cuenca. Las ganancias se obtienen mediante el cobro del 15% adicional de los costos de los servicios. En el cálculo del VPN se contempla como inversión inicial el pago de la primera mensualidad.

Ingresos anuales				
No.	Descripción	Precio unitario	cant.	Precio total
1	Servicio de un STM-1 (mensual)	\$ 21.700,00	12	\$ 260.400,00
2	Servicio de un E1 internacional (mensual)	\$ 2.500,00	12	\$ 30.000,00
<b>Subtotales</b>		\$ 24.200,00		\$ 290.400,00
<b>Total de ganancias del 15% por los servicios ofrecidos</b>				<b>\$ 43.560,00</b>

**Tabla 4. 12.** Ingresos anuales en el escenario 3

$$I = \$ 43.560,00$$

$$V_0 = \$ 24.200,00$$

$$VPN = I \left( \frac{P}{A}; i\%; N \right) - V_0$$

$$VPN = \$ 43.560,00(4,27095) - \$ 24.200,00$$

$$\mathbf{VPN = \$ 161.842,58}$$



# CONCLUSIONES

1. Se diseñó con éxito una red capaz de manejar los servicios solicitados y aún así con capacidad de futuro crecimiento tanto en Quito, Tulcán y Cuenca. Donde este diseño refleja una baja inversión para la red Quito-Tulcán en relación a los servicios entregados en esas ciudades. Diferente el caso de Cuenca que el E1 no representa justificación económica para poder proceder con el diseño propuesto.
2. Debido a que las ubicaciones de las ciudades de Tulcán, Quito y Cuenca son prácticamente en línea recta la implementación de un anillo SDH entre las 3 ciudades no es factible ya que esto aumentaría la cantidad de nodos a un número mayor de 16, el cual sobrepasa el límite de nodos por anillo que soporta la tecnología SDH.
3. El SLA que nos pide los requerimientos son del 99.98% el cual representa 8.62 minutos al mes, este factor lo cumplimos con satisfacción en el diseño propuesto ya sea para la red SDH o la red Metro Ethernet, las cuales tienen una redundancia con recuperación a fallas mucho menor a ese tiempo, con 3.33 minutos al mes por cada 200 fallas independientes.

4. Las distancias nominales del alcance máximo de los módulos ópticos que muestran las tablas de los fabricantes puedan variar tal como se lo demostró en la parte de cálculos de distancias en el capítulo de diseño. Esto nos ayuda a tener un mejor aprovechamiento en las potencias entregadas y así usar una distancia mayor para un tendido de fibra óptica.
  
5. La opción de usar para el centro de llamadas la tecnología de TDM pura fue descartada inmediatamente debido a que no tienen ninguna posibilidad de crecimiento.
  
6. Siguiendo las indicaciones de los requerimientos solicitados diseñamos la entrega del E1 del centro de llamadas de Cuenca por medio de la red SDH entre Quito y Tulcán, saliendo por la frontera con Colombia hacia el NAP de la Américas. Pero el uso del cable submarino que ingresa a Ecuador por Salinas, hubiera sido la solución más económica ya que la distancia desde Cuenca hacia esa ciudad es menor por lo tanto el tendido de fibra y número de nodos también serían menor en relación al proyecto propuesto.
  
7. El segundo anillo de nuestro diseño que va desde la ciudad de Quito a Cuenca está implementado para manejar un E1 por lo tanto no representa un tráfico considerable, por esta razón la tecnología más económica y capaz de manejar este tráfico con eficiencia es la Metro Ethernet, la cual los precios

son mucho menores a los equipos SDH, tal como se muestra en el capítulo 4 la diferencia de un conmutador es aproximadamente 11 veces más barato que un ADM.

8. El costo mensual de un E1 entre Quito y Cuenca según empresas locales varían entre 300 a 400 dólares, por lo tanto si la red o los servicios entregados en la red Metro no aumentan es imposible justificar una inversión de MILLONES de dólares solo para darle el servicio al centro de llamadas en Cuenca. Para cumplir con los requerimientos planteados se realizó el respectivo diseño de la red Metro Ethernet pero es un hecho que es económicamente más factible pagar a una empresa por el transporte del E1 hacia Quito.
  
9. Para la última milla de la entrega del servicio STM-1 se usó fibra oscura preferible a la red GigaEthernet, esto fue debido a que los equipos terminales del cliente solo manejaban esas interfaces SDH. El uso de tarjetas GigaEthernet sería la solución más robusta en cuanto a futuro crecimiento ya que maneja más capacidad de tráfico y para aumentar clientes solo implica un puerto del conmutador en la red GigaEthernet, pero esto se puede siempre y cuando el cliente maneje este tipo de interfaces.

10. La señal de reloj que se incluye en el diseño propuesto puede ser considerado de estrato 2, pero este reloj puede ser omitido en el análisis de costos si es que la red donde va a ir el STM-1, ya sea en Quito o Tulcán, posee un reloj de igual o mayor precisión.
  
11. Ya que solo manejamos un E1 en la tecnología TDMoIP solo es necesario el IPMUX 11 pero debido a que estos fueron descontinuados, la opción más económica fué el uso del IPMUX 24 que maneja 4 puertos E1 y se los puede encontrar con facilidad en el mercado.
  
12. Gracias a la simulación hecha en el laboratorio de la ESPOL se pudo comprobar el correcto funcionamiento de los equipos SDH, que son de la misma marca y modelo que los que se presentan en el diseño. Así mismo se pudo comprobar la señal E1 que es transportada por las tres tipos de tecnologías, SDH, Ethernet y TDMoIP.
  
13. La mejor fibra que se puede encontrar en el mercado es la G.655 ya que maneja el menor factor de atenuación por lo tanto la distancia entre nodos puede ser mayor. Pero este tipo de fibra es especializada para tecnología DWDM y su costo es más elevado que la G.652 según proveedores locales.

14. La técnica de tendido de fibra más segura es la de microzanjado, con esta podemos prevenir cortes de cables por algún accidente en las carreteras o por algún otro motivo que los cables de tendido aéreo sí están expuestos. La ventaja de este tipo de técnica se la puede evaluar a largo plazo ya que tiene un costo de mantenimiento muy pequeño en relación con el tendido aéreo. Nuestro diseño presenta como mejor opción el tendido aéreo porque su instalación es mucho más económica que la técnica del microzanjado y podemos ver la recuperación de la inversión a menor plazo.

15. De los 3 escenarios propuestos en el capítulo cuatro, la opción económicamente más viable se revela en el segundo escenario, es decir la implementación de la red SDH y el alquiler del E1 nacional entre las ciudades de Quito y Cuenca. Esto lo podemos corroborar en el análisis económico efectuado en la sección 4.2 del cuarto capítulo ya que este escenario obtiene el valor presente neto más alto en comparación con los otros dos.

# RECOMENDACIONES

1. De manera general, debemos siempre verificar la correcta instalación, interconexión de puertos y etiquetado de todos los elementos activos y pasivos que integran la red para la cual DEBE realizarse la documentación correspondiente de manera meticulosa y mantenerse actualizada constantemente. En el momento de realizarse algún cambio esto nos ayuda a mantener el orden y reducir la probabilidad de errores humanos.
2. Antes de proceder a configurar el servidor sugerimos borrar todo para evitar inconvenientes con servicios precedentes que podrían corromper los archivos y base de datos. En caso de problemas sería necesaria la reinstalación del software.
3. En lo específico, debemos conectar la fibra en las ranuras correspondientes siguiendo la topología y/o diagrama del diseño de red previamente realizado observando cuidadosamente los puertos e interfaces empleadas.
4. Para la correcta sincronización del sistema SDH debemos indicar la fuente y la dirección de la señal de reloj, recordando de NO CERRAR el lazo ya que si el mismo elemento recibe más de una señal de reloj simultáneamente

iniciaría a perder paquetes debido a una desincronización entre los elementos hasta llegar a la completa incompreensión de las señales provocando la caída del servicio.

5. Comprobar mediante equipos de medición la potencia recibida en la recepción y si es necesario usar atenuadores para prevenir quemar los elementos fotosensitivos de las tarjetas que tendrían que ser reemplazadas.
  
6. En general, para garantizar la disponibilidad del servicio es recomendable como hemos recalcado a lo largo del desarrollo del presente documento redundar por lo menos uno de cada tipo de elemento que componen la red. Y de manera particular, es altamente recomendable incluir un servidor de respaldo para prevenir en caso de falla la pérdida completa del servicio ya que este equipo administra toda la red SDH
  
7. Según los requerimientos exigidos para nuestro proyecto la red diseñada debe únicamente transportar un E1 para dar servicio a un centro de llamadas en Cuenca, pero si en futuro aumentan los clientes y la diversidad de tráfico debe contemplarse seriamente la necesidad de aplicar QoS DiffServ para evitar un degrado del servicio altamente sensible a la pérdida de paquetes como en el caso del tráfico de voz.

8. En la sección de troubleshooting describimos los problemas más frecuentes y su correspondiente resolución, algunos de los cuales posiblemente se encuentren indicados detalladamente en los manuales del fabricante. En caso de no lograr resolver el inconveniente se sugiere contactar al servicio de soporte técnico del fabricante.
  
9. Para la simulación de la red con conmutadores y observar el comportamiento de STP con la plataforma GNS3 usamos un PC con las siguientes características: Intel Core i5 CPU 2,27 GHz., 6 GB RAM, sistema operativo Windows 7 (64 bits). Al momento se encuentra la versión 0.7.4. de GNS3 disponible para la descarga, recomendamos visitar el sitio para obtener los requisitos mínimos de instalación y funcionamiento. También usar funciones como idle PC para regular los ciclos del CPU, esto depende de la versión IOS empleada (31).
  
10. Verificar para cada determinada plataforma física o hardware de los conmutadores el soporte para RSTP y los correspondientes requerimientos mínimos de software. Ya que algunas plataformas simplemente no lo soportan, aunque en los nuevos productos es cada vez menos probable encontrar este inconveniente.



**ANEXO A**  
**LEY DE SNELL**

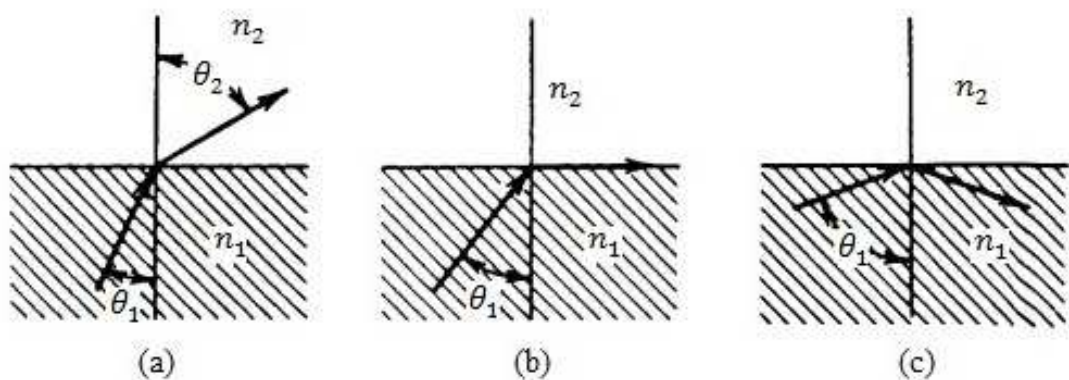
## Ley de Snell

Cuando un rayo de luz viajando a través de un medio con índice de refracción  $n_1$  incide sobre la superficie de un segundo elemento  $n_2$  formando un ángulo  $\theta_1$  con respecto a la normal o eje imaginario, que es perpendicular a la superficie en común entre ambos elementos y donde  $n_1 > n_2$ , este rayo de luz se refracta, es decir se desvía un ángulo  $\theta_2$  como presentado en la Figura A1(a).

A medida que aumentamos el ángulo  $\theta_1$  del rayo de incidencia, el rayo refractado se va acercando cada vez más a la superficie hasta que finalmente coincide con esta, al ángulo de incidencia con el cual se logra este efecto se le conoce como *ángulo crítico* (b).

El principio físico de propagación de la luz a través de la fibra óptica la obtenemos enviando los rayos formando una inclinación mayor al ángulo crítico entre los dos elementos con lo cual conseguimos *la reflexión interna total de la luz* (c) (5).

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2 \quad ; \quad n_1 > n_2$$



**Figura A1.** Trayectoria del rayo de luz para algunos ángulos de incidencia

**Fuente:** (5)

**ANEXO B**  
**TIPOS DE FIBRA ÓPTICA**

## **Tipos de Fibra Óptica**

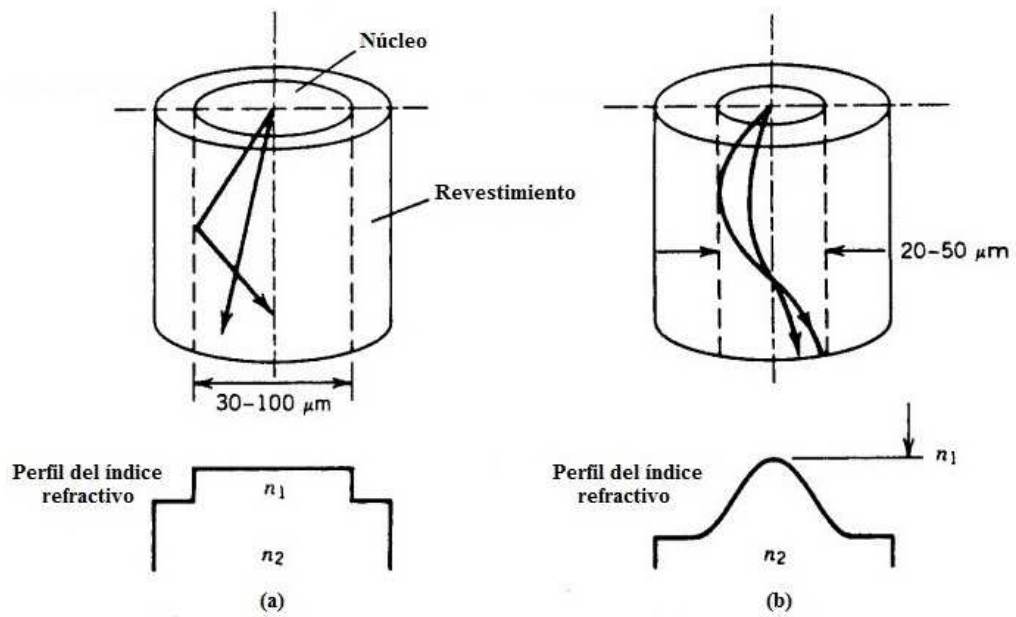
Existen dos tipos de fibra óptica distinguidas por sus propiedades modales y físicas. Los cuales son: Monomodo y Multimodo.

### **Monomodo**

La fibra monomodo (*single-mode*) está construida para propagar un único modo de luz. Para lograr esto se reduce el diámetro del núcleo y se mantiene baja la fracción  $\frac{n_1}{n_2}$  de tal manera que la frecuencia normalizada  $V \leq 2,405$ . La fibra monomodo alcanza distancias mucho mayores que las conseguidas por la fibra multimodo, de hasta 400 Km. utilizando el rayo láser (5).

### **Multimodo**

La fibra multimodo a su vez se divide en dos tipos: con índice escalonado (*step index*) caracterizado por el brusco cambio del índice de refracción en comparación a un cambio más moderado de la fibra con índice gradual (*graded index*) cuyo núcleo es fabricado con diversos materiales, lo cual reduce la dispersión modal. Ambos son llamados multimodos porque pueden propagar simultáneamente más de un modo. El alcance y el ancho de banda (*bandwidth*) del segundo superan ampliamente al primero, por lo que es más empleado en las telecomunicaciones, pero así mismo es más costoso (5).



**Figura B1.** Construcción y propiedades del índice de refracción para fibra (a) con índice escalonado y (b) con índice gradual

**Fuente:** (5)

**ANEXO C**  
**ELEMENTOS DE LOS ENLACES DE**  
**COMUNICACIÓN ÓPTICA**

## **Empalmes**

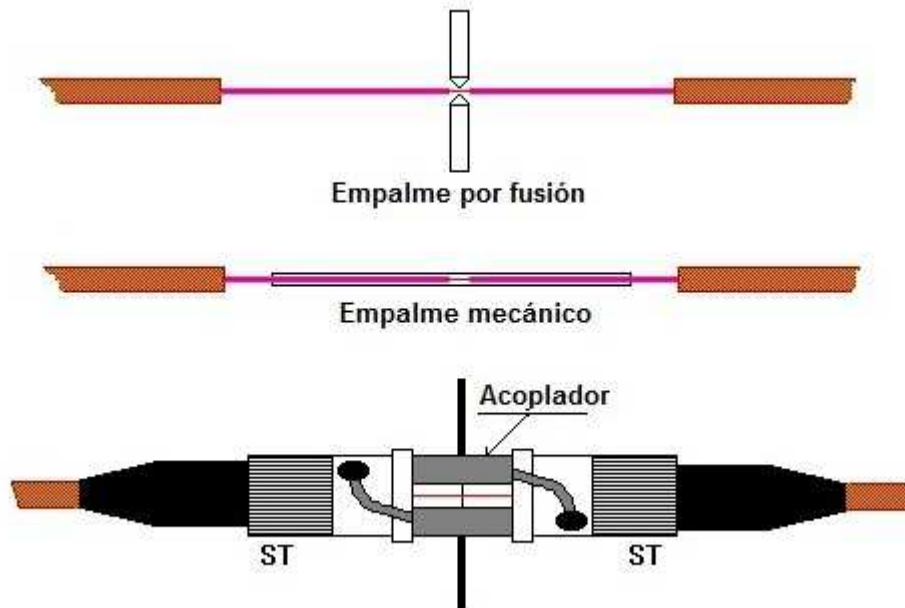
Dada la longitud finita de los cables de fibra óptica que varía desde uno a diez kilómetros, se hace necesario unir los extremos entre dos segmentos de cables para lograr de este modo alcanzar mayores distancias de transmisión (33).

Con este fin es posible proceder de dos maneras: realizando los empalmes de los hilos de la fibra o utilizando conectores. La diferencia sustancial es que la primera opción es de carácter permanente, mientras que con la segunda podría eventualmente desconectarse.

Previo a la fusión existe la etapa de preparación donde los extremos vienen cortados de manera perpendicular al eje longitudinal de la fibra y alinearlos, para luego proceder con una de las técnicas de empalme, indicadas en la recomendación ITU L.12, que son básicamente dos: *por fusión* y *mecánico*.

Por fusión del núcleo es posible obtener pérdidas por inserción tan bajas como 0,09db, por lo general se consiguen valores aproximados a los 0,2dB; mientras que con los empalmes mecánicos conseguimos unos 0,5dB por lo cual se prefiere la técnica por fusión.

Después de hacer el empalme con cualquiera de las dos técnicas es necesario protegerlas del medio ambiente que las rodea mediante unas cajas metálicas o plásticas llamadas mangas.



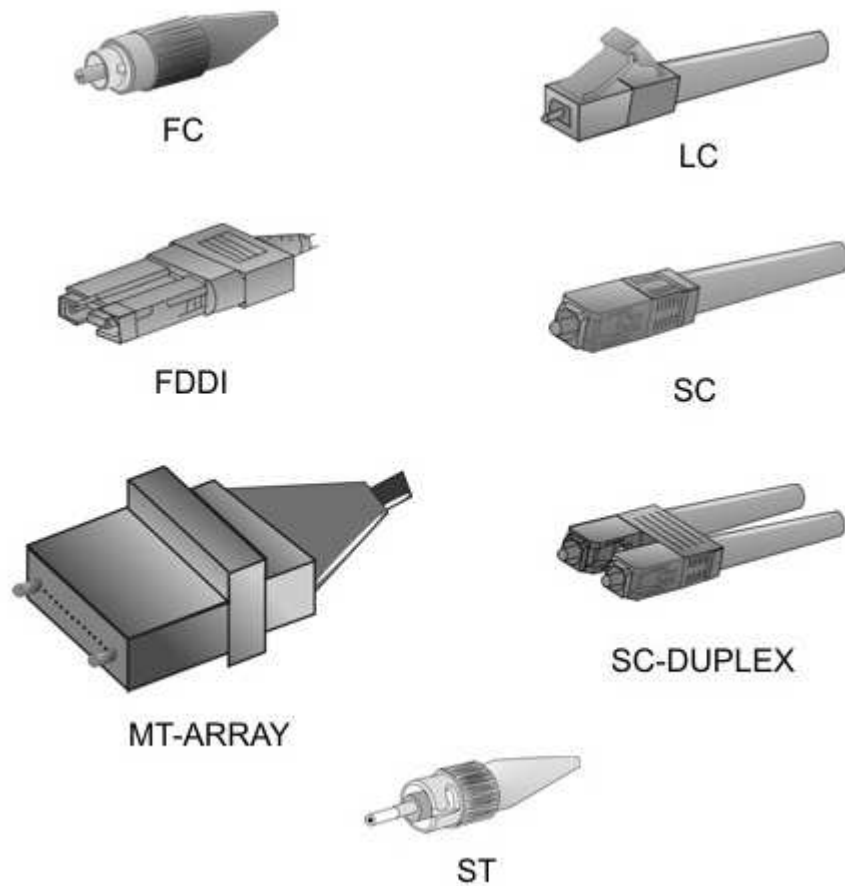
**Figura C1.** Empalmes y conectores  
**Fuente:** (34)

## Conectores

Con conectores en cambio es posible obtener pérdidas por inserción de aproximadamente 0.3 dB comúnmente usados únicamente en los extremos de la fibra que van conectados directamente a los equipos.

En el mercado se encuentran algunas variedades, cada uno con sus características técnicas específicas como por ejemplo su forma, dimensión, modo de conexión y parámetros de atenuación. Los costos varían entre ellos principalmente por su calidad y niveles de atenuación.





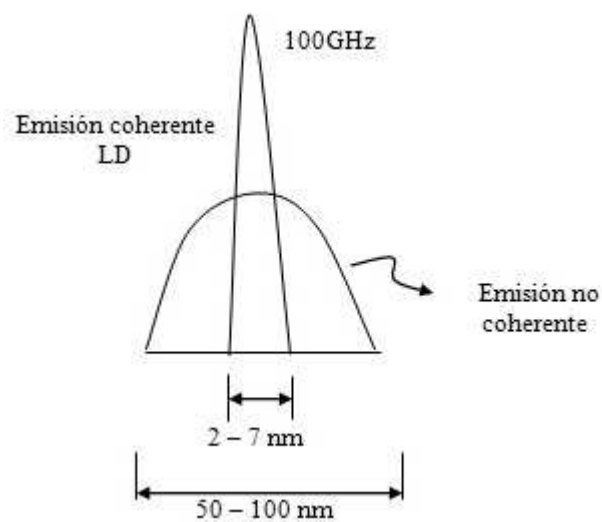
**Figura C2.** Conectores de fibra óptica  
**Fuente:** (35)

### **Fuentes de luz**

Las fuentes de luz para la comunicación óptica son dos: diodos LED y LASER. En la Figura C3 se comparan los espectros de ambas fuentes que evidencia la menor difusión y por tanto mayor alcance de el LASER.

**LED** (*Light Emission Diode*) son diodos emisores de luz natural denominada no coherente, cuya luminosidad es proporcional al nivel de la corriente eléctrica absorbida por el diodo (36).

**LASER** (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) son diodos emisores de luz coherente, amplificada mediante la estimulación de fotones (36).



**Figura C3.** Comparación entre la emisión de luz coherente y la no coherente  
**Fuente:** (36)

### Receptores de luz

Realizada mediante fotodetectores altamente sensibles a la señal óptica recibida que viene luego transformada en corriente eléctrica posteriormente amplificada produciendo de este modo una secuencia de pulsos digitales (36).

**ANEXO D**  
**BREVE RESEÑA SOBRE EL NAP DE LAS**  
**AMERICAS**

## **Breve Reseña sobre el NAP de las Américas**

Está ubicado en Miami (EE.UU.) y es uno de los más importantes e innovadores proyectos de telecomunicaciones a nivel mundial, diseñado para unir específicamente Latinoamérica con el resto del mundo.

El NAP de las Américas se encuentra situado estratégicamente en las cercanías de otras empresas de telecomunicaciones donde convergen cables submarinos de fibra óptica provenientes desde otros lugares y cuya neutralidad de interconexiones permite albergar múltiples y avanzadas tecnologías de diversos fabricantes.

Las instalaciones de este gran Centro de Datos (*Data Center*) han convertido a Miami en la única ciudad en EE.UU. capaz de ofrecer y dar servicio a numerosas compañías de telecomunicaciones, empresas privadas dedicadas a los negocios e instituciones educativas.

La infraestructura fabricada de hierro y hormigón revestida con paneles de acero de 18 cm (7 pulgadas) de grosor, está distribuida sobre una superficie total aproximada de 70 mil metros cuadrados, fue diseñado para soportar huracanes de categoría 5 y cuyos equipamientos se encuentran a 10 metros de altura sobre el nivel del mar bajo estrictas medidas de seguridad las cuales son monitoreadas todo el tiempo (37).

**ANEXO E**  
**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**  
**TECNOLOGÍA SDH**

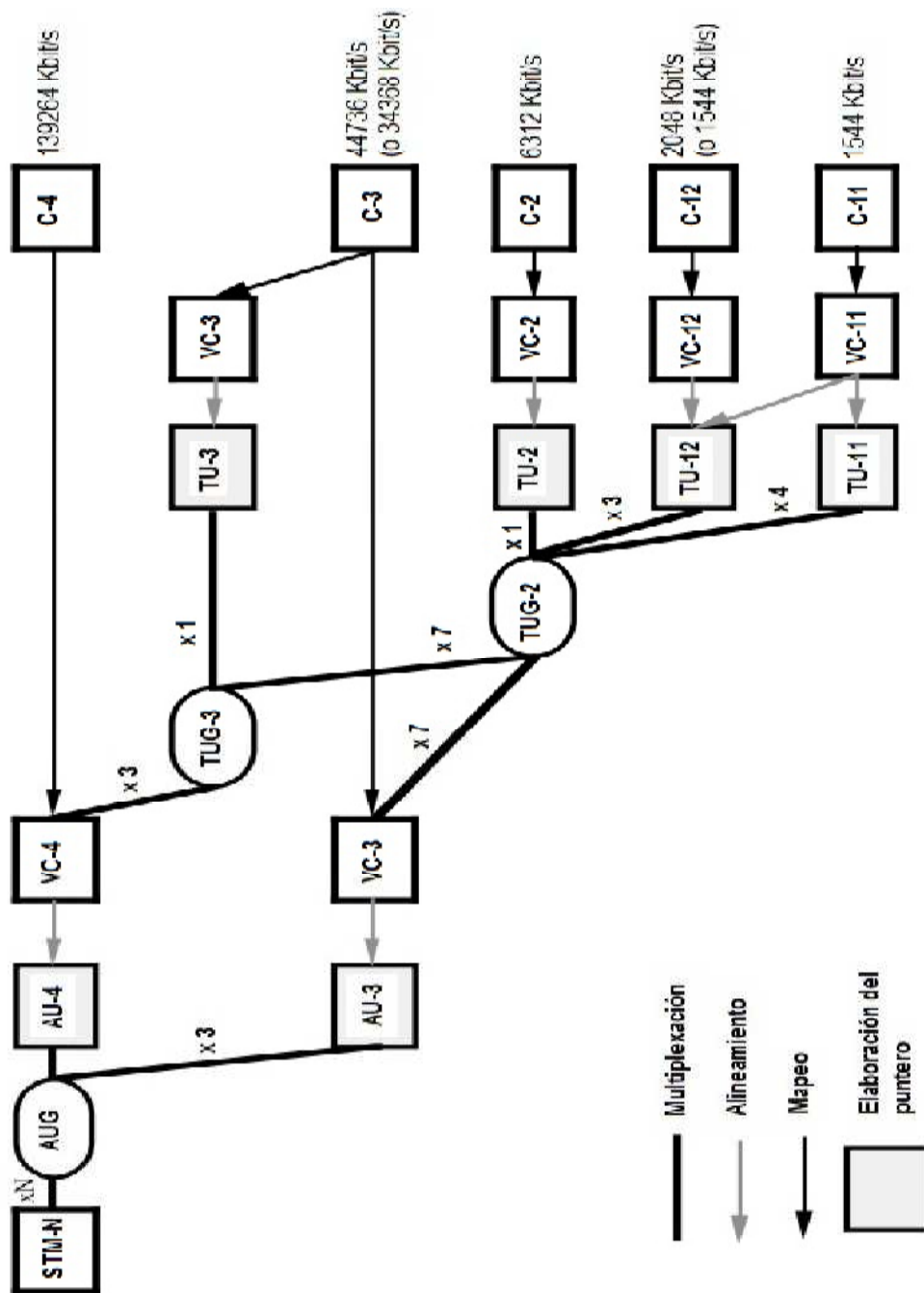

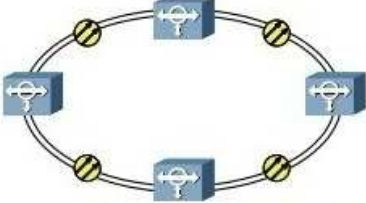
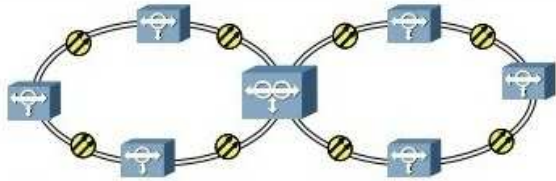
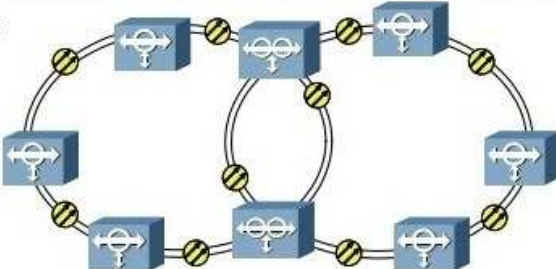
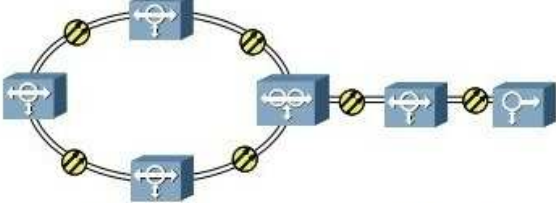
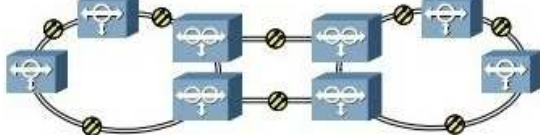
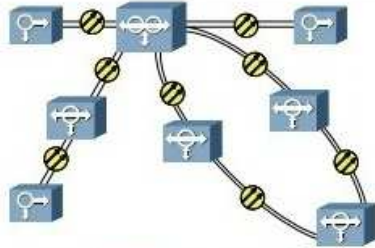





Figura E1. Esquema de multiplexación SDH (ITU-T G.708)

Fuente: (11)

No.	Tipo de topología	Topología
1	Red en Cadena	
2	Red Anillada	
3	Anillos Tangentes	
4	Intersección de anillos	
5	Anillo con cadena	
6	Interconexión de nodo dual (DNI)	
7	Red HUB	
Leyendas:		 MADM  ADM  TM

**Figura E2.** Topologías de redes SDH (14)

**Fuente:** (38)

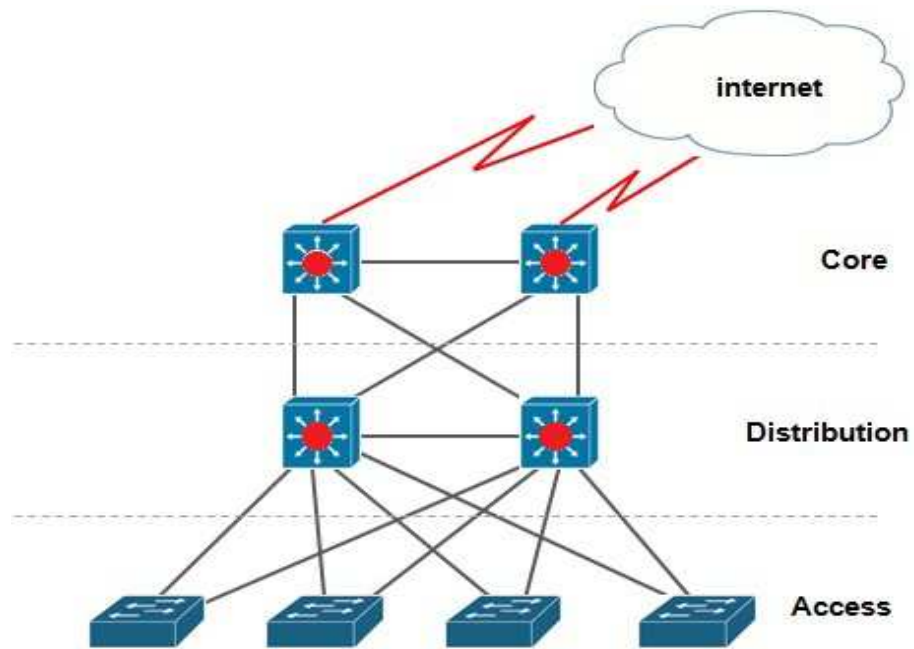
**ANEXO F**  
NIVELES JERÁRQUICOS DE UNA RED DE  
DATOS



**Acceso** (*Access*) son los elementos de red con alta densidad de puertos a bajo costos adonde los usuarios se conectan, siendo asignados a un determinado servicio o grupo de trabajo mediante VLANs. Debido a que estos dispositivos son el límite entre el proveedor y el cliente deben aplicarse medidas de seguridad de acceso tanto físicos (posicionandolos dentro de lugares cerrados o áreas restringidas), como lógicos (implementando filtros y mecanismos de autenticación) y como ya mencionamos precedentemente este nivel también debe tener capacidades QoS.

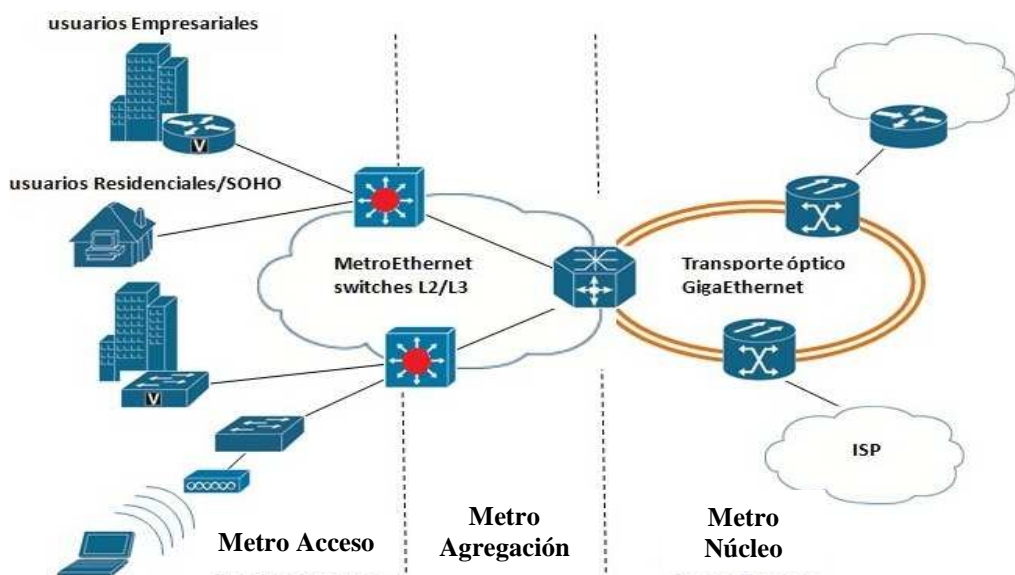
**Distribución** (*Distribution*) es el nivel intermedio donde se agregan los múltiples dispositivos del nivel de acceso interconectandolo con el núcleo, motivo por el cual deben poseer mayores capacidades de ancho de banda y velocidad. Aquí se aplican sólidas políticas y listas de acceso para consentir y distribuir los diferentes flujos de tráfico.

**Núcleo** (*Core o backbone*) debe tener una gran capacidad de ancho de banda y enlaces extremadamente veloces, ya que su función principal es la de transportar enormes cantidades de datos que convergen desde el conglomerado de dispositivos del nivel de distribución hacia el internet. Debe poseer avanzadas funciones de QoS tales como las mencionadas en el subcapítulo 1.4.3; evitando la innecesaria manipulación de paquetes. Para optimizar y brindar una alta disponibilidad del servicio es imprescindible redundar los enlaces y equipamientos. La Figura F1 presenta un diseño de red de datos jerárquico de tres niveles completamente redundante.



**Figura F1.** Diseño de red de datos jerárquico completamente redundante

La arquitectura para las redes Metro Ethernet deben poseer características similares a las descritas anteriormente, pero distribuida en una área geográfica de varios kilómetros de extensión.



**Figura F2.** Red Metro Ethernet (MEN) genérica

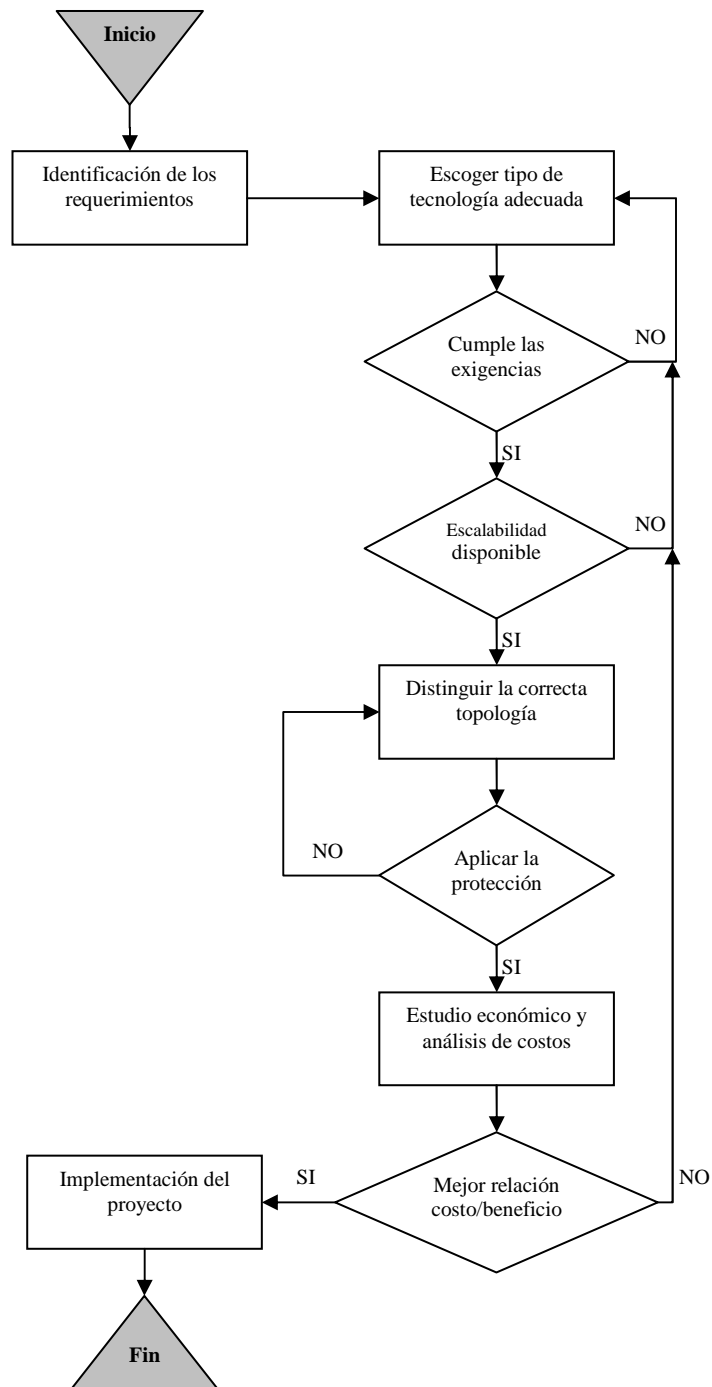
**ANEXO G**  
**CRITERIOS DE DISEÑO**

## **Criterios de diseño**

Los factores para un correcto diseño co-dependientes entre ellos que son los siguientes:

- **Tecnologías** a usar las cuales están sujetas a los servicios, capacidades de ancho de banda y velocidades de transmisión. Se establece la tecnología adecuada al diseño de la red que se requiere en conjunto con sus respectivos elementos activos y pasivos para cubrir todos los requerimientos.
- **Topología**, depende de la ubicación geográfica y las distancias entre nodos y también depende de la redundancia del mismo. El diseño va ligado a la tecnología ya que deben ser compatibles entre ellas. La topología de la red de datos.
- **Escalabilidad**, para evitar un futuro colapso de la red se realiza un estudio de mercado y se determina el margen de crecimiento, va de la mano con la capacidad de inversión.
- **Económico**, factor que predomina ya que con el respectivo análisis se puede concluir la tecnología del diseño que proporcione la mejor relación costos/beneficios para la empresa.

Con los factores descritos realizamos un diagrama de bloques que detalla los pasos a seguir para el correcto diseño de nuestra red.



**Figura G1.** Flujograma del diseño de una red

**ANEXO H**  
**MÉTODOS DE TENDIDO DE FIBRA**

**Canalización o zanjado tradicional de canales**, ductos subterráneos a lo largo del camino para lo cual se requiere de maquinaria pesada como excavadoras para realizar la zanja de hasta 1,5 metros de profundidad, tractores para extraer el material excedente, camiones de carga para transportarlo y de muchos trabajadores. Esta técnica es muy costosa, su ejecución muy lenta y lo cual provoca muchas molestias en su entorno.

**Microzanjado** (*microtrenching*) es esencialmente igual a la anterior pero que consiste en hacer canales mucho mas pequeños, de dimensiones de entre 1,5 a 5 cm. de ancho y de 15 a 30 cm. de profundidad. Para lo cual se requiere de maquinaria más liviana y de menos obreros para realizar esta tarea. Es una técnica más barata, de más rápida ejecución y remoción de escombros, que provoca menos molestias en comparación a la técnica anterior beneficiando también al medioambiente. Un inconveniente es que los cables permanecen relativamente cerca de la superficie y los cortes de fibra por obras ajenas son probables (39).



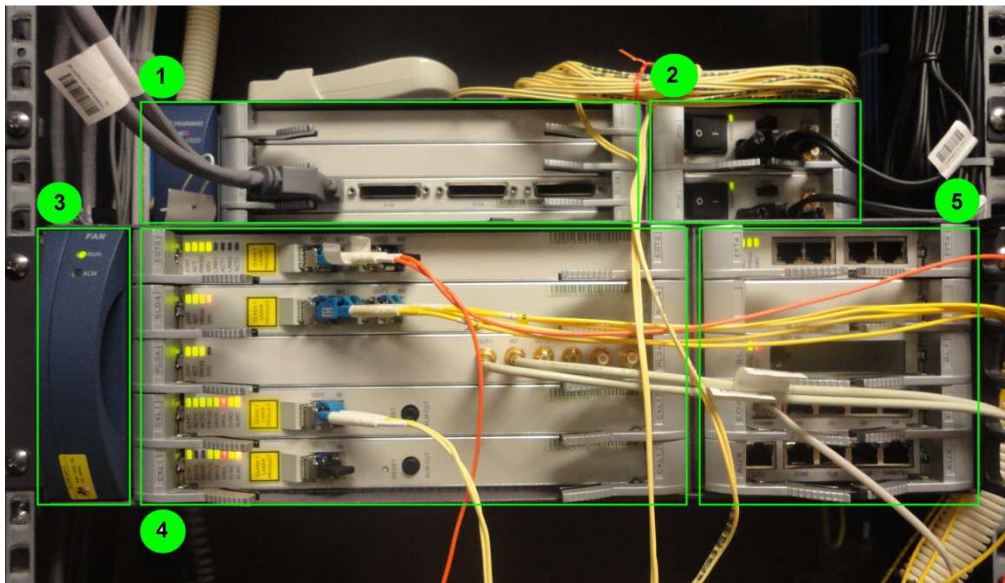
**Figura H1.** Procedimiento para el tendido de la fibra con la técnica de microzanjado  
**Fuente:** (39)

**Via aérea** utilizando los postes telefónicos o de alumbrado público, desplegando los cables a través de ellos. Para esto se recomienda el uso de cables dieléctricos tipo ADSS (*All-Dielectric Self-Supporting Aerial*), en alternativa podría usarse el OPGW (*Optical Fibre Ground Wire*).

**ANEXO I**  
**CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO HUAWEI**  
**OPTIX 1500B**



El equipo Huawei Optix 1500B cuyas dimensiones físicas de 221 mm de altura, 444 mm de ancho y 263 mm de profundidad; con un peso de 9 Kg puede ser fácilmente montado sobre bastidores metálicos.



**Figura I1.** Huawei Optix OSN 1500B

A continuación una breve descripción del mismo:

1. Área de tarjetas de interfaz (Interface board area) donde vienen alojadas las varias tarjetas de interfaces usadas para las interconexiones.
2. Unidades de interfaces de alimentación (PIU area) para proveer de redundancia eléctrica al sistema posee dos fuentes de alimentación.
3. Área de ventiladores (Fan area) sirven para disipar el calor generado por el funcionamiento del equipo.

4. Área de tarjetas de procesamiento (Processing board area) alberga las placas de procesamiento y tarjetas para las múltiples interfaces.
5. Área de interfaces auxiliares (Auxiliary interface area) pueden instalarse interfaces para las alarmas, señales de reloj, puertos seriales, interfaces de operación y mantenimiento, entre otras.

	14		18
	15		(PIU)
	16		19
	17		(PIU)
20 (FAN)	1	11	6
	2	12	7
	3	13	8
	4/5 (CXL16/4/1)		9 (EOW)

**Figura I2.** Asignación de slots o ranuras del Optix OSN 1500B  
**Fuente:** (38)

En la siguiente tabla incluimos algunas de las múltiples tarjetas de interfaces y/o de procesamiento, sobretodo de nuestro particular interés, que pueden ser insertadas y su relación con las ranuras dedicadas para esta finalidad en las áreas anteriormente mencionadas.

Tarjeta	Detalle	Ranuras disponibles
SLQ4	Tarjeta x 4 interfaces ópticas STM-4	11,12,13
SLD4	Tarjeta x 2 interfaces ópticas STM-4	11,12,13
SL4	Tarjeta interfaz óptica STM-4	11,12,13
SLQ1	Tarjeta x 2 interfaces ópticas STM-1	11,12,13
SL1	Tarjeta interfaz óptica STM-1	11,12,13
SEP1	Tarjeta de procesamiento STM-1	11,12,13
SEP	Tarjeta de procesamiento STM-1	12,13
PQ1	Tarjeta de procesamiento x 63 E1	11,12,13
PD1	Tarjeta de procesamiento x 32 E1	1,2,3,6,7,8,11,12,13
EGS2	2 puertos Gigabit Ethernet (tarjeta de interfaz óptica con LAN switch)	11,12,13
D12B	Tarjeta de interfaz x 32 E1/T1	14,15,16,17
CXL4	Línea STM-4, sistema de control, conexión cruzada (cross-connect) y temporizador	4,5
CXL1	Línea STM-1, sistema de control, conexión cruzada (cross-connect) y temporizador	4,5
EOW	Tarjeta de procesamiento orderwire phone	9
AUX	Tarjeta de interfaz auxiliar	10
FAN	Ventilador	20
PIU	Fuente de alimentación	18,19

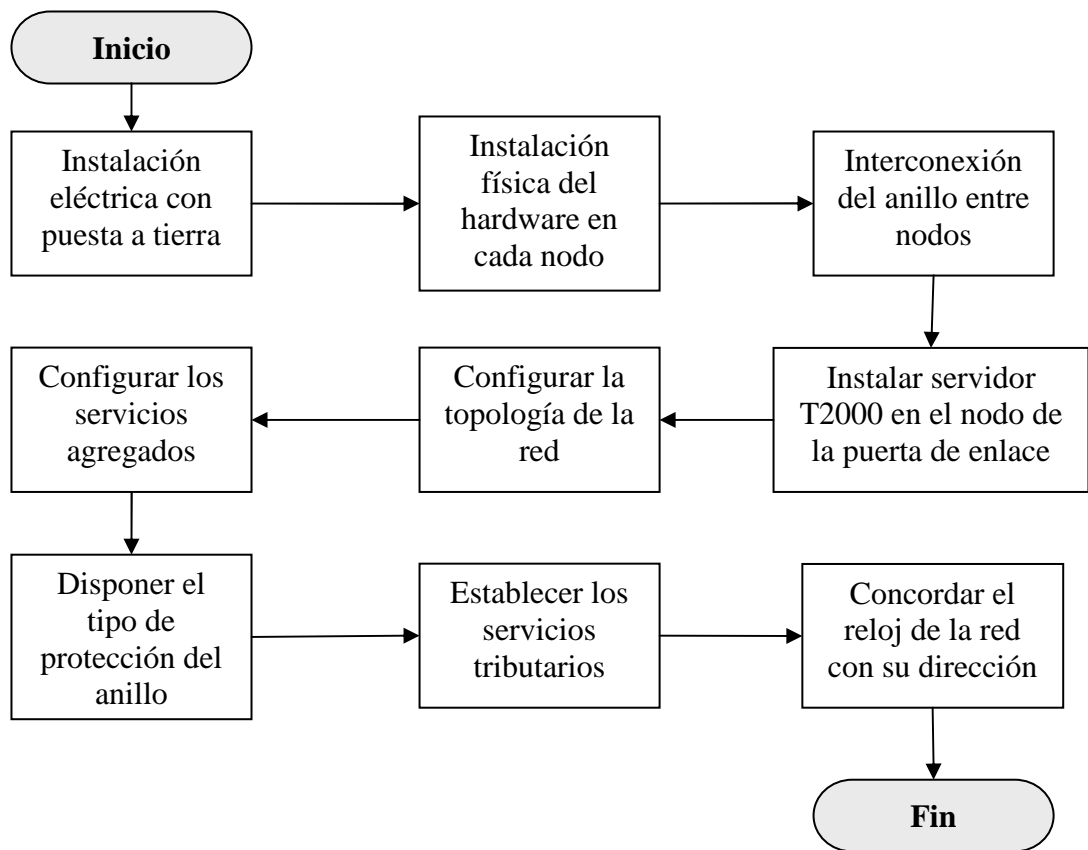
**Tabla I1.** Detalle de diversas tarjetas con las ranuras disponibles  
Fuente: (38)



**Figura I3.** Equipos montados sobre bastidores metálicos

## **ANEXO J**

# **PASOS PARA LA CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS SDH EN LABORATORIO**



**Figura J1.** Diagrama de flujo de la implementación de un anillo SDH

Dentro del PC es necesario usar dos aplicaciones antes de configurar los equipos SDH. La primera herramienta que debemos levantar son los servicios del servidor T2000 tal como se ve en la Figura J2, luego de que todo los servicios del servidor estén corriendo tenemos que ingresar al T2000 client<sup>5</sup> y seguir los siguientes pasos para constituir la respectiva topología anillo de nuestro diseño, así mismo establecer las distintas configuraciones de cada nodo.

---

<sup>5</sup> T2000 client: programa de propietario Huawei que sirve para configurar y administrar una red SDH en base al servidor T2000.

Service	State	Start Mode	CPU Used Rate(%)	Used Memory(K)	Start Time
Ems Server	Running	Automatic	0.00	78272	2011-10-20 10:48:50
Northbound Interface ...	Running	Manual	0.00	20336	2011-10-20 10:48:55
Northbound Interface ...	Running	Manual	0.00	12756	2011-10-20 10:49:00
Naming Service	Running	Manual	0.00	6404	2011-10-20 10:48:49
Notify Service	Running	Manual	0.00	8652	2011-10-20 10:48:53
Schedulesv Server	Running	Automatic	0.00	11316	2011-10-20 10:48:51
Security Server	Running	Automatic	0.00	12036	2011-10-20 10:48:51
Syslog Agent	Running	Automatic	0.00	12120	2011-10-20 10:48:52
Toolkit Server	Running	Automatic	0.00	7928	2011-10-20 10:48:52
Topo Server	Running	Automatic	0.00	11600	2011-10-20 10:48:53
Database Server Proc...	Running	External	0.00	72536	2011-10-20 09:15:51

**Figura J2.** Servicios del servidor T2000 en estado activo

## Servicios agregados

**Paso 1:** Una vez dentro del T2000 client procedemos a crear cada nodo de nuestra red con sus respectivos parámetros como nombre, contraseña, dirección IP, si es gateway, o en caso contrario establecer cual nodo es el gateway hacia el servidor. En la Figura J3 se visualizan los distintos parámetros de cada nodo.

Tener en cuenta que el NE1 representa a Tulcán, el NE2 a un regenerador intermedio y por último el NE3 es nuestro Gateway que constituye nuestro nodo de Quito como en el proyecto real.

Attribute	Value
Type	OptiX OSN 1500
ID	3
Extended ID	9
Name	NE3
Remarks	QUITO
Gateway Type	Gateway
Protocol	IP
IP Address	129.9.0.3
Port	1400
NE User	root
Password	*****
NE Preconfiguration	<input type="checkbox"/> Yes

Attribute	Value
Type	OptiX OSN 1500
ID	1
Extended ID	9
Name	NE1
Remarks	TULCAN
Gateway Type	Non-Gateway
Affiliated Gateway	NE3
Affiliated Gateway Protocol	IP
NE User	root
Password	*****
NE Preconfiguration	<input type="checkbox"/> Yes

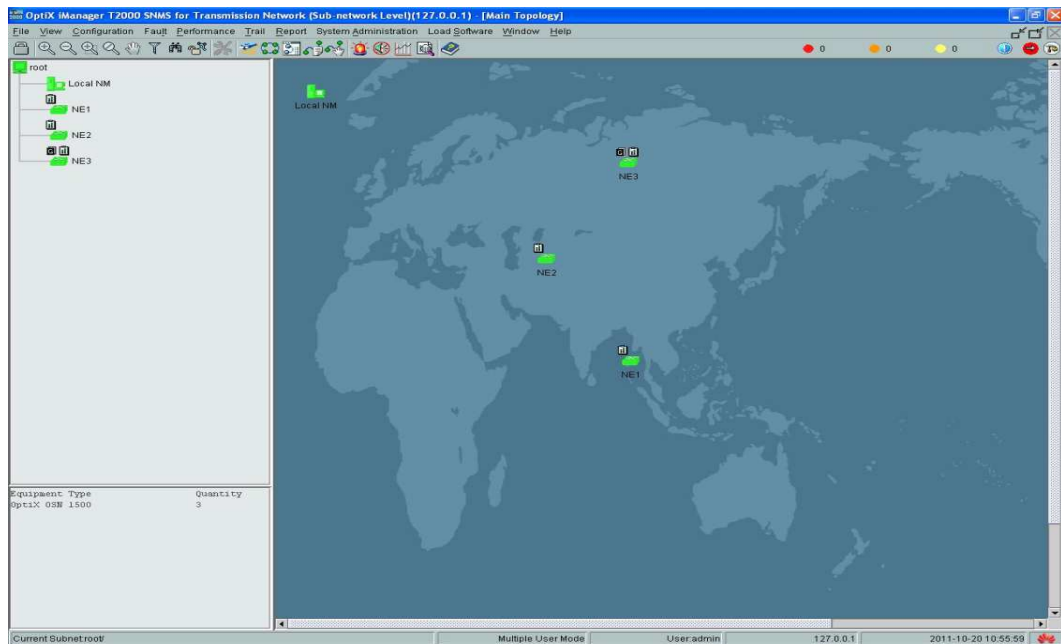
  

Attribute	Value
Type	OptiX OSN 1500
ID	2
Extended ID	9
Name	NE2
Remarks	REGENERADOR
Gateway Type	Non-Gateway
Affiliated Gateway	NE3
Affiliated Gateway Protocol	IP
NE User	root
Password	*****
NE Preconfiguration	<input type="checkbox"/> Yes

**Figura J3.** Parámetros de creación de nodo



Luego de crear cada nodo podemos ubicar en la pantalla principal del T2000 client el lugar más conveniente para arma la topología de la red.

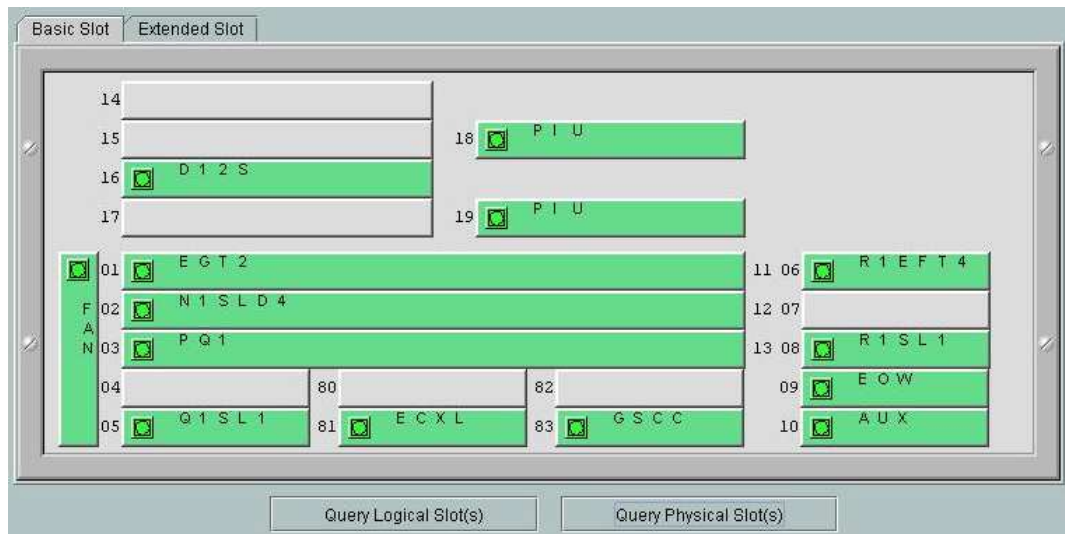


**Figura J4.** Ubicación de los nodos en el T200

**Paso 2:** Una vez creado los nodos, se procede a hacer un requerimiento de todas las ranuras físicas del nodo. Esto permite hacer un reconocimiento automático de todas las tarjetas físicamente instaladas en los equipos Huawei.

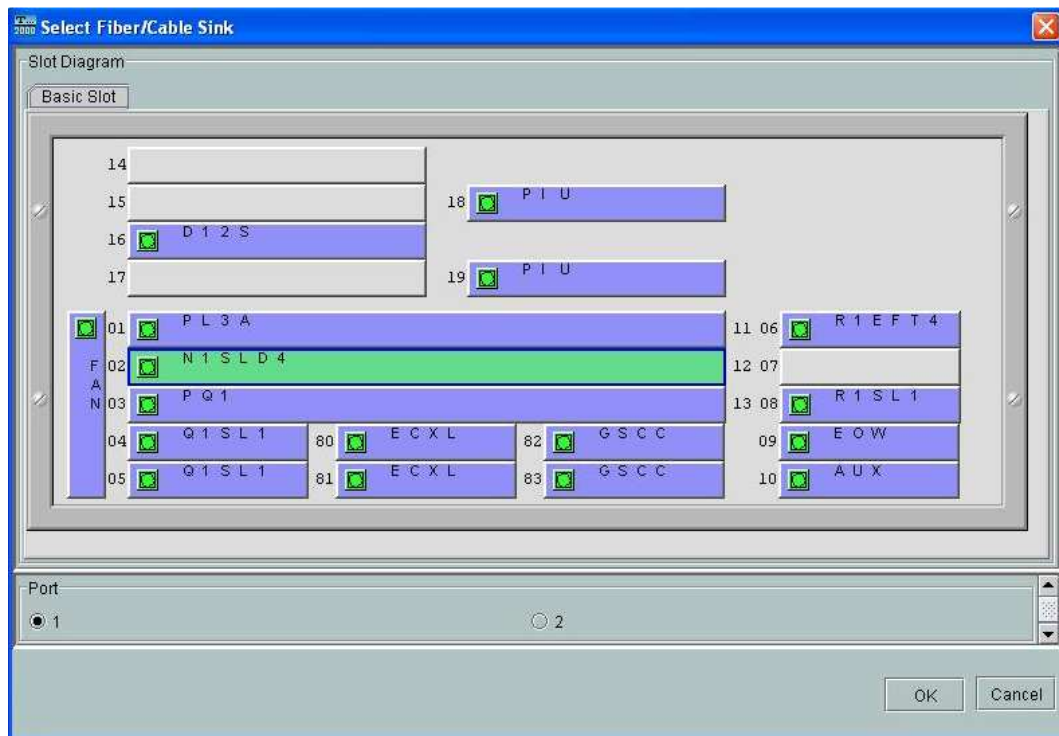
Con un simple doble clic en el nodo recién creado nos muestra tres distintas opciones entre cargar, copiar o manualmente crear una configuración. Escogemos manualmente, luego en la siguiente ventana hay que elegir el tipo de subrack B, porque ese es el rack que están usando los equipos del laboratorio, si seleccionamos mal esa opción el requerimiento de las ranuras físicas van a ser equivocadas.

Como se ve en la Figura J5 para terminar este paso seleccionamos la opción de “Query physical slots”, y todas las tarjetas que están instaladas físicamente en el NE se verán reflejadas en el programa para su correcto uso. Repetir este paso para cada NE.



**Figura J5.** Requerimiento físico de las tarjetas.

**Paso 3:** Por último creamos los enlaces ópticos entre cada nodo, seleccionando correctamente las tarjetas con sus correspondientes puerto en base a nuestro diseño. En el proyecto propuesto el servicio agregado que vamos a manejar es un STM-4, por lo que las tarjetas a seleccionar son las N1SLD4. Siguiendo la topología de la Figura 3.1 escogemos que puerto de dicha tarjeta va con su respectivo nodo. En la Figura J6 tenemos un ejemplo al momento de seleccionar el puerto de la tarjeta que usa ese enlace óptico.



**Figura J6.** Selección de la tarjeta y puerto para el enlace STM-4

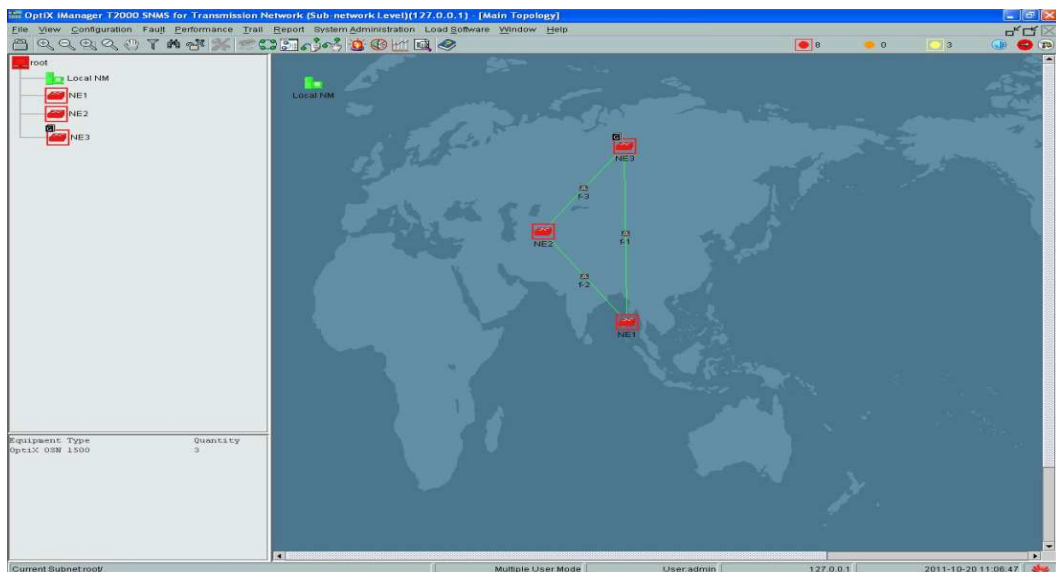
Tal como está mostrado en la Figura 3.1 los enlaces del NE1 van por el puerto 1 al puerto 2 del NE3, luego desde el mismo NE1 va desde el puerto 2 al puerto 1 del NE2, y por último el enlace desde el puerto 1 del NE3 al puerto 2 del NE2.

En la Figura J7 se puede ver los diferentes parámetros que pueden modificarse al crear un enlace óptico, lo importante es escoger bien los puertos de destino y origen ya que las demás opciones sirven para identificación del enlace.

Attribute	Value
Type	Fiber/Cable
Name	f-1
Remarks	UIO TUL
Source NE	NE3
source NE slot-board type-port	12-N1SLD4-2(SDH-2)
Rate Level	STM-4
Fiber Type	G.652
Sink NE	NE1
sink NE slot-board type-port	12-N1SLD4-1(SDH-1)
Direction	Two-Fiber Bidirectional
Length(km)	1.00
Attenuation(dB)	0.00
Created on	2011-10-20 11:03:32
Created by	admin
Maintained by	admin

**Figura J7.** Parámetros de un enlace óptico

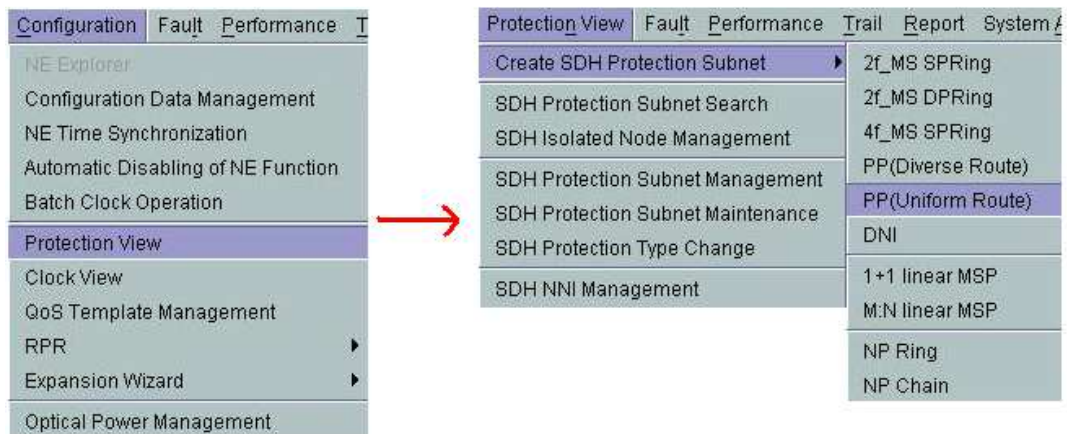
Al momento tenemos ya creados los 3 nodos con sus respectivos enlaces. Tal como observamos en la Figura J.8 el servicio agregado de un STM-4 está creado con sus respectivas conexiones.



**Figura J8.** Nodos con sus respectivos enlaces ópticos

## Protección

**Paso 1:** Relativamente sencillo ya que solo tenemos que ir a la vista de protección de nuestra red en el cliente T2000 y crear una nueva. Como lo establece nuestro diseño, el tipo de protección es un anillo unidireccional 1+1, en Huawei está representada como anillo de ruta uniforme (*ring uniform route*).



**Figura J9.** Opciones para una protección de anillo de ruta uniforme

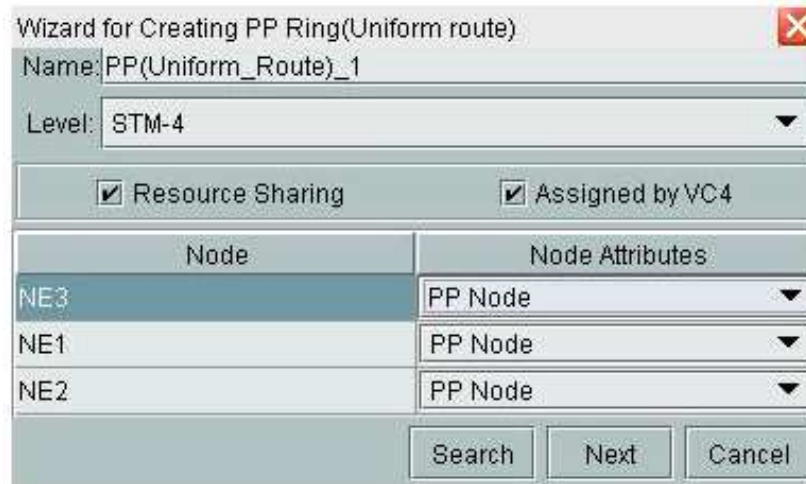
**Paso 2:** En la ventana desplegable, indicamos la configuración del nivel de servicio que se va a incluir en la protección, ya que nuestro servicio agregado es un STM-4, la opción escogida es de la misma de nuestro servicio agregado.

Establecemos los correctos parámetros al momento de crear la protección, activamos la opción de recursos compartidos (*resource sharing*<sup>6</sup>) y asignación por VC-4 (*assigned by VC-4*). Esta opción permite el uso compartido de la misma trama para el E1, donde éste es almacenado dentro de un VC-4.

---

<sup>6</sup> Resource sharing: Opción en los equipos Huawei, que habilita el uso de varios servicios en una sola protección.

Para concluir con la protección de ruta uniforme nos queda seleccionar los nodos de nuestro anillo con sus respectivas tarjetas STM-4, ya sean nodos principales o secundarios.



**Figura J10.** Opciones para creación de una protección de ruta uniforme

Una vez seleccionado todos los nodos del anillo procedemos a dar clic en el botón siguiente y luego en finalizar.

### **Servicios Tributarios**

Son dos tipos de servicios tributarios que debemos crear, el STM-1 y el E1, cada uno de estos servicios se los configura en su respectiva tarjeta. Para el primer servicio la tarjeta que debemos asignar es la Q1SL1 y para el otro la tarjeta a usar se llama PQ1 que soporta hasta 63 E1's. Estos servicios deben ser configurados solo en los nodos principales ya que estos son entregados únicamente en el nodo Quito y el nodo Tulcán.

## STM-1

**Paso 1:** El primer paso es la creación de una traza VC-4, para esto vamos a la opción de “Trail” para luego escoger “SDH trail creation” donde establecemos los parámetros del servicio, tal como vemos en la Figura J11. Dentro de las opciones que se pueden modificar en la creación de trazas está la dirección bidireccional para que el tráfico se vaya por las 2 diferentes rutas, el nivel del ancho de banda del servicio es de VC-4. Disponemos la estrategia de protección creada anteriormente para que nuestro servicio participe en la convergencia de la red en caso que una ruta se caiga.

The screenshot shows a configuration window for STM-1. At the top, there are dropdown menus for 'Direction' (set to Bidirectional) and 'Level' (set to VC4). Below these are 'Resource Usage Strategy' (Protected Resource) and 'Protection Priority Strategy' (Trail Protection First). There are input fields for 'Source' (Quito-4-Q1SL1-1(SDH-1)-VC4:1) and 'Sink' (Tulcan-4-Q1SL1-1(SDH-1)-VC4:1), each with a 'Browse' button. Below the input fields are tabs for 'Trail setting' and 'SNCP setting'. The 'Route Information' section contains a table with the following data:

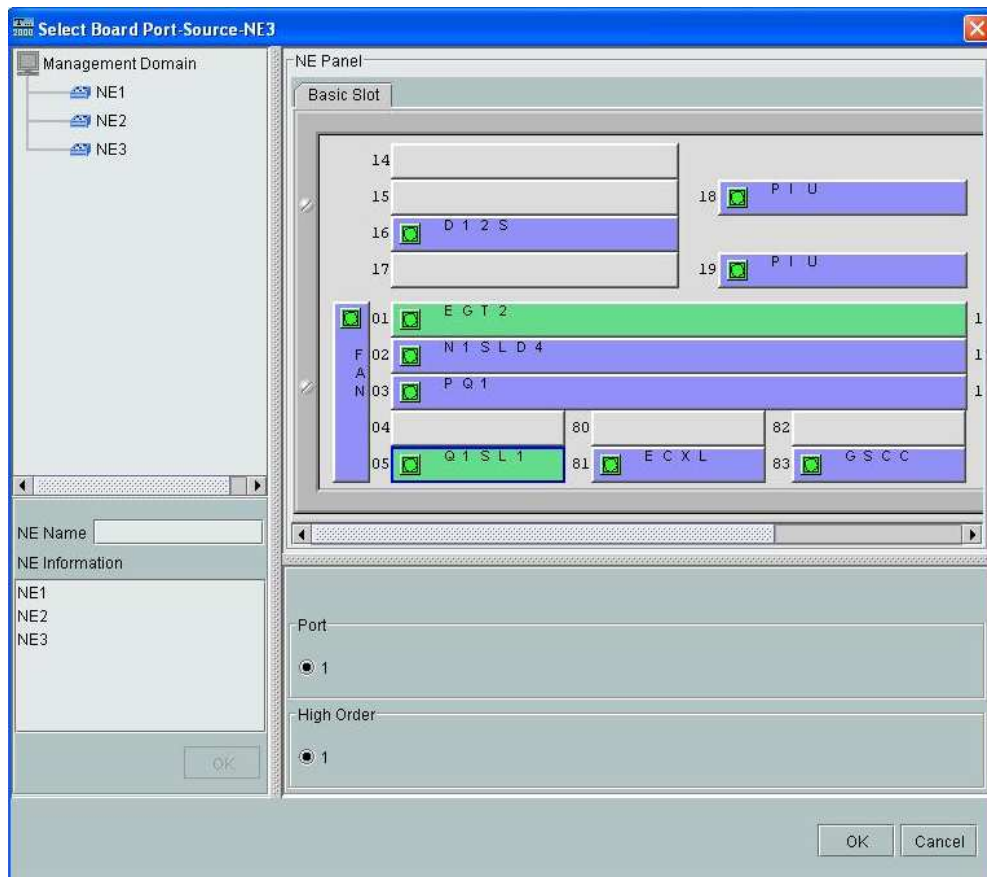
Source	Sink	Timeslot	Working/Protection
Quito-12-N1SLD4-1(SDH-1)	Tulcan-12-N1SLD4-2(SDH-2)	VC4:1	Positive Working
Tulcan-12-N1SLD4-2(SDH-2)	Quito-12-N1SLD4-1(SDH-1)	VC4:1	Negative Working
Quito-12-N1SLD4-2(SDH-2)	Tulcan-12-N1SLD4-1(SDH-1)	VC4:1	Positive Protection
Tulcan-12-N1SLD4-1(SDH-1)	Quito-12-N1SLD4-2(SDH-2)	VC4:1	Negative Protection

At the bottom, there is a 'Calculate Route' section with a checked 'Auto-Calculation' checkbox, a 'Calculate Route' button, and buttons for 'Set Route Timeslot' and 'Cancel Route Restriction'.

**Figura J11.** Vista del cuadro de configuración al momento de crear el STM-1

**Paso 2:** Colocamos los nodos que dan los servicios en las opciones fuente y destino, pero como activamos la opción bidireccional es indistinto el orden que colocamos al nodo Quito o al nodo Tulcán en esas opciones. En el momento que escogemos los nodos principales debemos indicar la

respectiva tarjeta donde el STM-1 sale del anillo, es decir donde los servicios tributarios son entregados al cliente. Así como apreciamos a continuación las tarjetas que debemos seleccionar son las Q1SL1 que manejan una interfaz óptica de nivel STM-1.



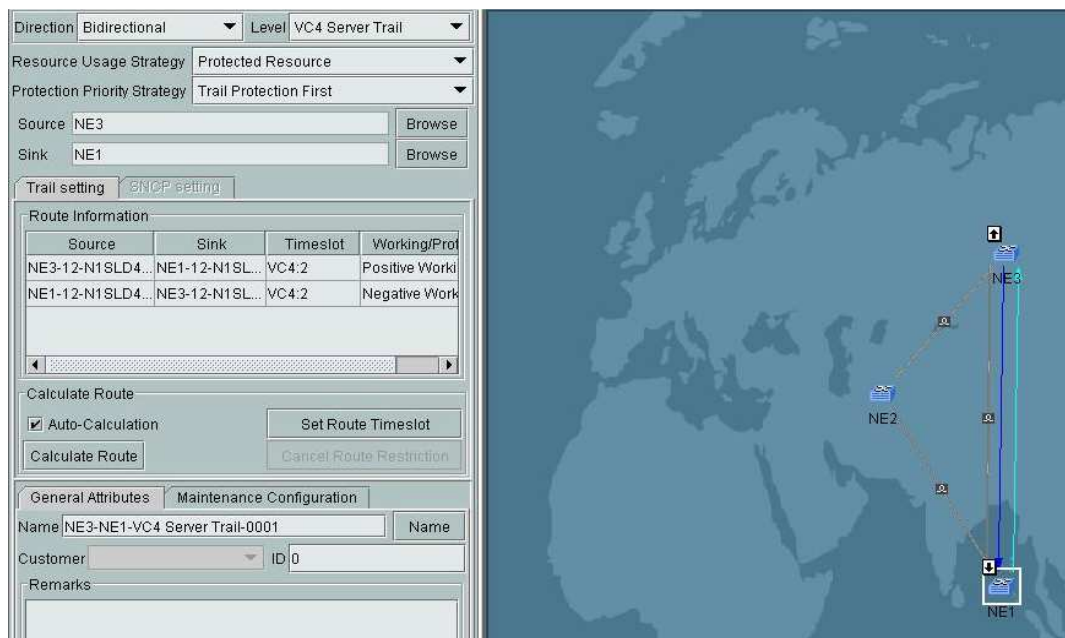
**Figura J12.** Vista de selección de fuente y destino de un servicio STM-1

Para finalizar hacemos clic en aplicar el cual debe mostrarnos un mensaje de operación exitosa, que nos indica que el servicio ha sido activado.



## E1

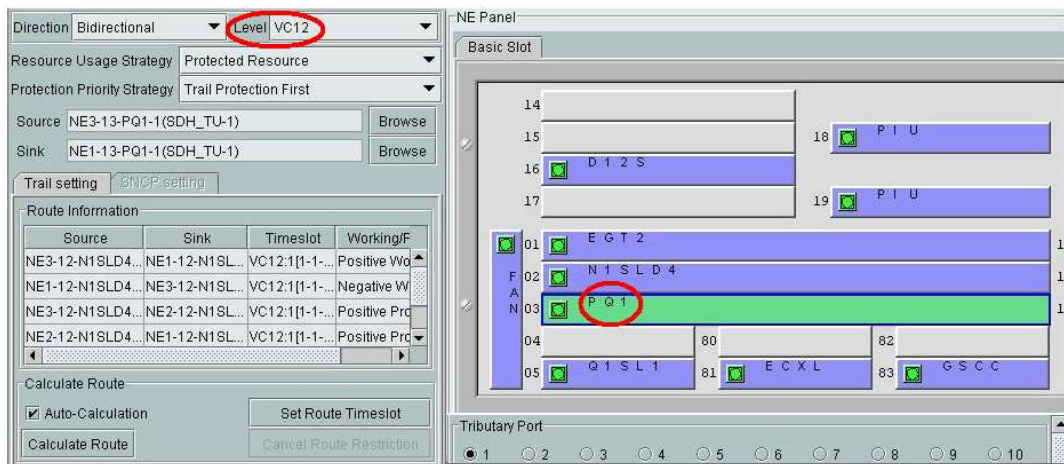
**Paso 1:** Muy parecido a la creación del STM-1, antes de crear la traza VC-12 o E1 tenemos que crear una traza servidor el cual nos permite transportar la cantidad de VC-12 que entren en una traza VC-4. Esto se lo crea en el mismo campo de “SDH trail creation” donde solo tenemos que establecer el nivel de VC-4 Server trail y seleccionamos como fuente y destino al NE3 con el NE1.



**Figura J13.** Creación de un VC-4 server trail

Luego crear 2 trazas de servidor mas entre NE1 con NE2 y por último NE3 con NE2.

**Paso 2:** Una vez creado dicha traza se procede a agregar el E1, donde la única diferencia con la creación del STM-1 es que en la opción de nivel se coloca VC-12 y procedemos a seleccionar el nodo de Quito y luego el de Tulcán, escogiendo la tarjeta PQ1 tal como observamos en la Figura J14.



**Figura J14.** Creación de un E1

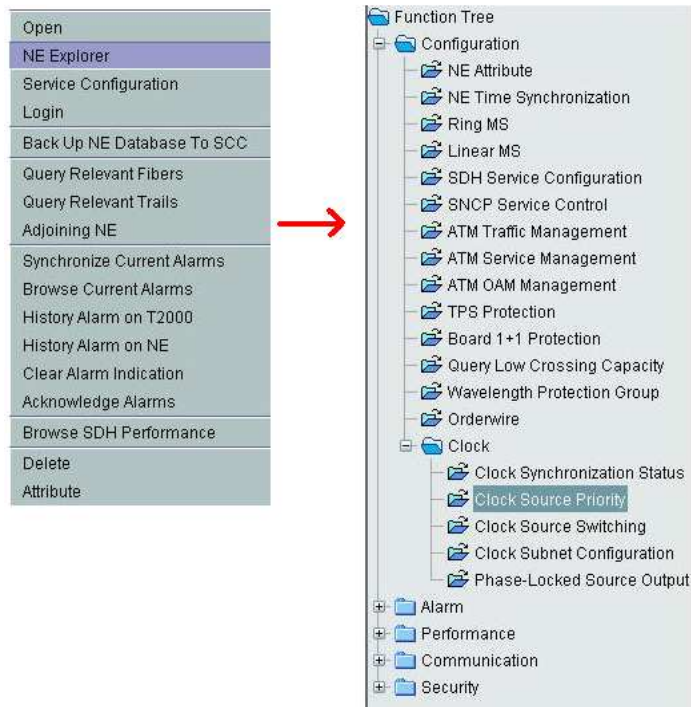
## Reloj

**Paso 1:** La configuración consiste básicamente en establecer las prioridades del reloj en cada nodo ya sea primario o secundario. Teniendo presente que nuestra fuente de reloj proviene del nodo Quito, por lo tanto hay que tener muy en cuenta la topología y no agregar el puerto 1 de la tarjeta STM-4 del NE3 que va hacia el nodo Regenerador o NE2, donde el anillo cierra porque esto ocasionaría una redundancia en la señal de reloj y a su vez errores en la transmisión de datos. Observamos en la Figura J15 la distribución del reloj con sus respectivas interfaces.



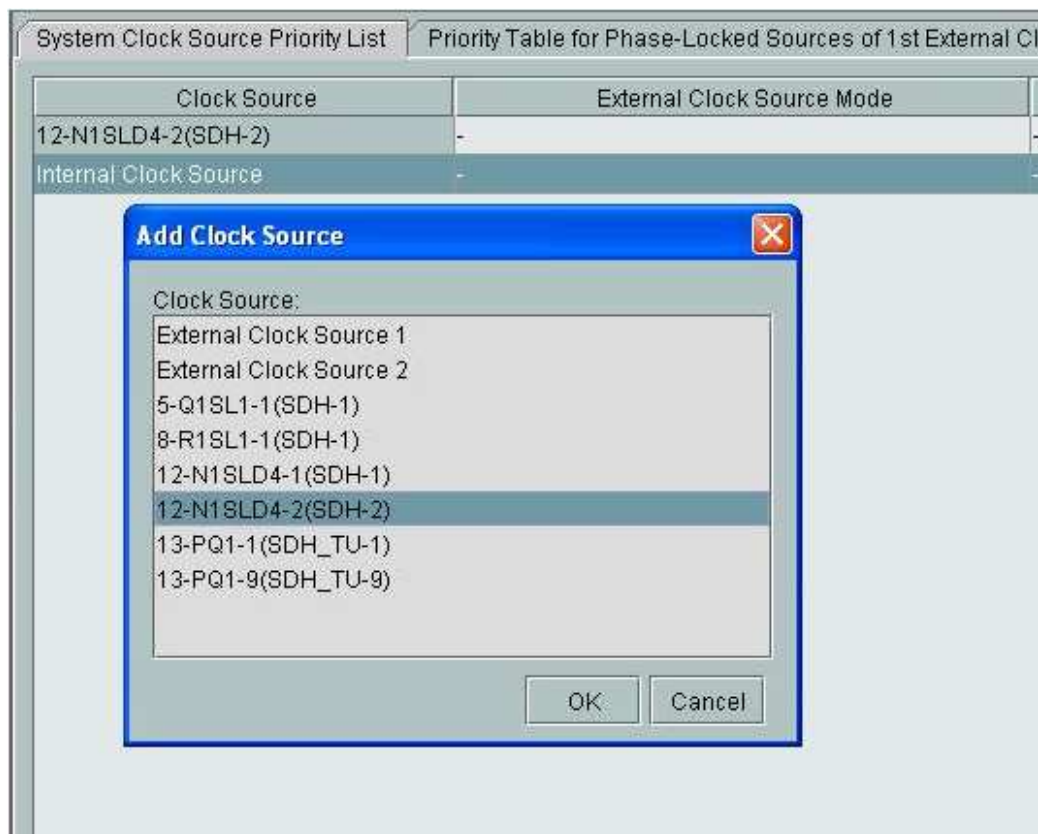
**Figura J15.** Distribución del reloj en simulación

Establecemos las prioridades del reloj haciendo clic derecho en cada NE y entrando al explorador del elemento de red (*NE explorer*), luego en la carpeta de prioridad de fuente de reloj (*clock source priority*).



**Figura J16.** Selección de fuente del reloj dentro del explorado de NE

En la ventana que se abre ponemos en la opción de agregar más fuentes de reloj; solo para el nodo Quito ubicamos el puerto 2 de la tarjeta N1SLD4 y el reloj interno.



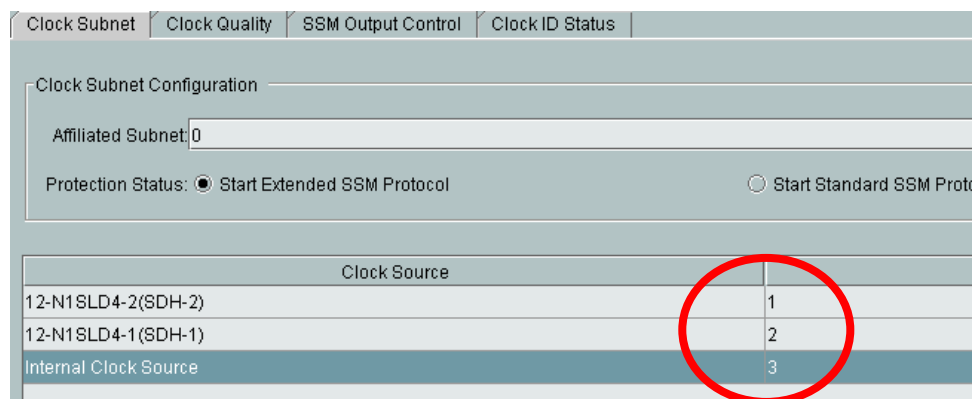
**Figura J17.** Adición de fuentes de reloj en simulación

Como se observa en la Tabla J1 en todos los demás nodos las fuentes de reloj que debemos de agregar son el puerto 1 y 2 de la tarjeta SLD4 y el reloj interno del equipamiento propio del nodo.

Nodo	Fuente de reloj	Prioridad
Quito	Fuente de reloj interno	1
	Puerto 2 tarjeta STM-4	2
Otros	Puerto 2 tarjeta STM-4	1
	Puerto 1 tarjeta STM-4	2

**Tabla J.1.** Prioridades de las distintas fuentes de reloj de los nodos

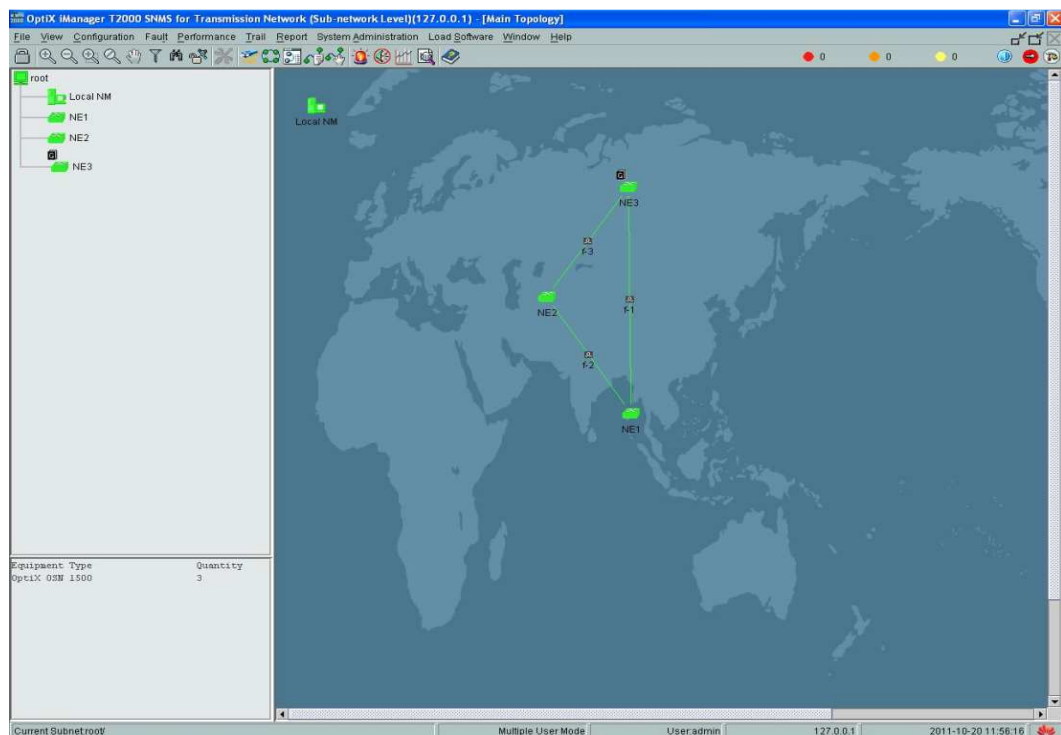
**Paso 2:** El siguiente paso es establecer las prioridades. En la pestaña de subred de reloj (*clock subnet*) se encuentran las fuentes ya agregadas en el paso anterior, tomando en cuenta los datos de la tabla anterior donde encontramos las diferentes prioridades de fuente de reloj para cada nodo podemos establecer los parámetros para el correcto funcionamiento del reloj en nuestro anillo. Las prioridades se configuran mientras más bajo el número más primordial es la fuente.



**Figura J18.** Prioridades de las fuentes de reloj en un nodo SDH

Damos clic en aplicar y nos muestra el respectivo mensaje de cambio correcto en la configuración, en conjunto con esto todas las alarmas que estaban presentes por falta de sincronización deben desaparecer, finalizando así toda la configuración referente a la red SDH.

Tal como muestra la Figura J19 en una configuración terminada sin errores ni alarmas y con todos los servicios activos. En una sección posterior podremos observar las respectivas pruebas de cada servicio tributario usando equipos de medición.



**Figura J19.** Vista de una configuración SDH con servicios activos y sin errores

**ANEXO K**  
**PASOS PARA LA CONFIGURACIÓN DE**  
**TDMoIP EN LABORATORIO**

## **Configuración TDMoIP**

**Paso 1:** Lo primero que se hace es conectarse a los IPMUX por medio de un cable de consola con conectores DB-9<sup>7</sup> en cada extremo para conectarlo a la interfaz de configuración de los equipos hacia una PC que tenga ese puerto disponible. Después de estar conectados, se tiene que ingresar por un software de comunicación terminal con los siguientes parámetros. 115200 bits por segundos, trama de datos de 8 bits con 1 bit de parada, sin paridad y sin control de flujo. Cabe recalcar que esos son los parámetros que vienen por defecto en los IPMUX, ya que se los puede modificar.

**Paso 2:** Con del paso anterior ya tenemos establecida la conexión con el IPMUX, el siguiente paso es establecer la dirección de red con sus respectivos rangos de direcciones para que los 2 IPMUX se puedan comunicar dentro de la red IP. Luego establecer los parámetros según lo que se puede observar en la Tabla K.1 que son las correspondientes configuraciones Ethernet de cada IPMUX.

Como la red Ethernet solo está compuesta por 2 equipos terminales solo es necesario usar una máscara de red que permita al menos 3 usuarios, IPMUX1, IPMUX 11 y el usuario para administrar los equipos vía Telnet. Por tal motivo la máscara de red que usamos es 29 bits que permite hasta 6 direcciones de usuario.

---

<sup>7</sup> DB-9: estándar de conector de transmisión analógica constituido por 9 pines de comunicación en serie.



Opciones de la red	IPMUX 1	IPMUX 11
Dirección IP	192.168.99.2	192.168.99.3
Máscara	255.255.255.248	255.255.255.248,00
Dirección IP de destino	192.168.99.3	192.168.99.2
Bundle de destino	1	1
Jitter buffer	15	1500

**Tabla K1.** Parámetros Ethernet de los IPMUX

Como se puede ver en la Tabla K1 el Jitter buffer es diferente en dichos equipos. Esto es debido a que la unidad de tiempo en cada equipo es diferente, es decir en el IPMUX 1 cada unidad representa un milisegundo en cambio en el otro equipo el valor de ese parámetro es multiplicado por 10 microsegundos. Cabe recalcar que las configuraciones de puerta de enlace y siguiente salto no son necesarias en nuestro caso ya los equipos están en una misma red y no hay ruteador de por medio. A continuación podemos encontrar las Figuras K1, K2 y K3 de las respectivas configuraciones reflejadas dentro de los IPMUX

```

1. IP address          ... (192.168.99.2)
2. IP mask            ... (255.255.255.248)
3. Default gateway    ... (192.168.99.1)
4. DHCP               (Disable)

Please select item <1 to 4>
$ - save
ESC-prev.menu; !-main menu; &-exit
nfiguration>System>Host IP----- 1 Mngr/s Co

```

**Figura K1.** Configuración IP del IPMUX 1

```

1. Destination IP address      ... (192.168.99.3)
2. Next hop                   ... (192.168.99.1)
3. IP TOS[0 - 255]           ... (0)
4. Connection status          ... (Enable)
5. Destination bundle[1 - 8063] ... (1)
6. TDM bytes in frame(x48 bytes)[1 - 30] ... (1)
7. Payload format             ... (V1)
8. OAM connectivity          ... (Enable)
9. Jitter buffer [msec][3 - 300] ... (15)
10. VLAN tagging              ... (Disable)

>

Please select item <1 to 10>
$ - save
ESC-prev.menu; !-main menu; &-exit
nfiguration>Connection>Bundle connection-----1 Mngr/s Co

```

Figura K2. Configuración Ethernet del IPMUX 1

```

BUNDLE CONNECTION CONFIGURATION CHANGED
1. Bundle ID                  1
2. IP TOS                     0
3. TDM Bytes in Frame(x48 bytes) 1
4. Connection Status          Enable
5. Destination IP Address      192.168.99.2
6. Next Hop                    192.168.99.1
7. Destination Bundle         1
8. Jitter Buffer(x10usec).rounded up 1000usec steps! 1500
9. OAM Connectivity           Enable
A. Redundancy Function        Empty!
B. VLAN Tagging               Empty!
C. VLAN Id                    Empty!
E. VLAN Priority               Empty!

ESC. Exit      S. Save

Select item from the menu.
Use <ESC>-key or keys <1> to <9> and <A> to <E>

```

Figura K3. Configuración Ethernet del IPMUX 11

**Paso 3:** Para seguir con la correcta configuración de los equipos TDMoIP tenemos que establecer los parámetros adecuados de la señal E1. En cada

equipo que participa en la comunicación de un mismo E1 se tiene que especificar si la señal es con trama o sin trama, es decir si la señal E1 tiene cabecera o no. En nuestro caso vamos a usar un E1 puro, sin entramado.

**Paso 4:** Antes de culminar la configuración de los IPMUX tenemos que establecer que equipo recibe la señal de reloj, donde esta interfaz va estar en modo de loopback<sup>8</sup> que quiere decir que la señal de reloj retorna por ese mismo puerto. Y para el otro equipo la interfaz E1 tiene que estar en modo adaptivo, es decir que el reloj es creado por la transmisión de datos del mismo equipo. Como se ve en las Figuras K4 y K5 el modo loopback lo posee el IPMUX 11 y el modo adaptivo lo tiene el IPMUX 1

```
Channel ID (1)
1. Admin status (Enable)
2. Transmit clock source > (Adaptive)
3. Rx sensitivity (Short haul)
4. Line type > (Unframed G.703)

>
Please select item <1 to 4>
S - save
ESC-prev.menu; !-main menu; &-exit 1 Mngr/s Co
nfiguration>Physical layer>TDM configuration (E1)-----
```

**Figura K4.** Configuración TDM del IPMUX 1

---

<sup>8</sup> Loopback: En transmisión de datos, un lazo lógico o físico en un puerto que junta la transmisión con la recepción.

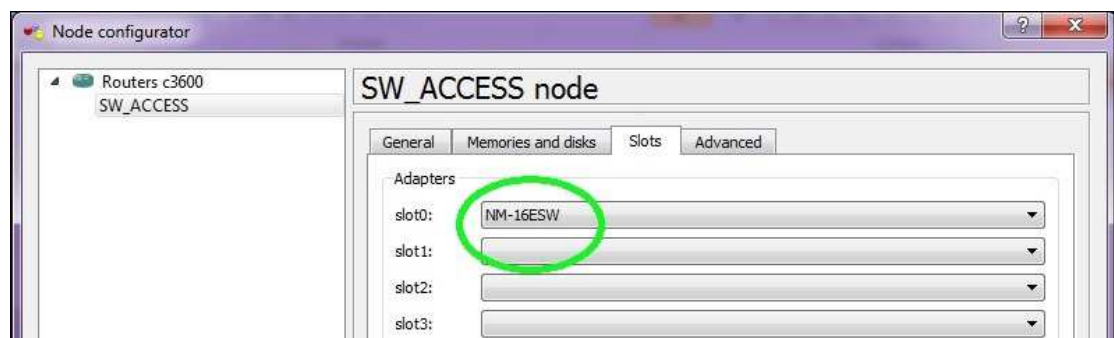


**Figura K5.** Configuración TDM del IPMUX 11

**ANEXO L**  
**CONFIGURACIÓN DE LA RED METRO**  
**ETHERNET USANDO LA APLICACIÓN**  
**GNS3**

Para proceder con la emulación de los conmutadores usaremos la plataforma virtual del router c3600 previamente asociado con una imagen del sistema operativo soportado por este dispositivo. Específicamente usaremos la siguiente: Cisco IOS Software (C3640-JK9O3S-M) versión 12.3(14)T3 release (fc2).

Antes de iniciar la operación y a causa de la escasez de interfaces ethernet del router, hacemos click derecho sobre cada uno de estos y a continuación elegimos del menú desplegable la opción de configuración, para luego proceder a poner en la ranura virtual o slot un módulo NM-16ESW como podemos apreciar en la Figura L1.



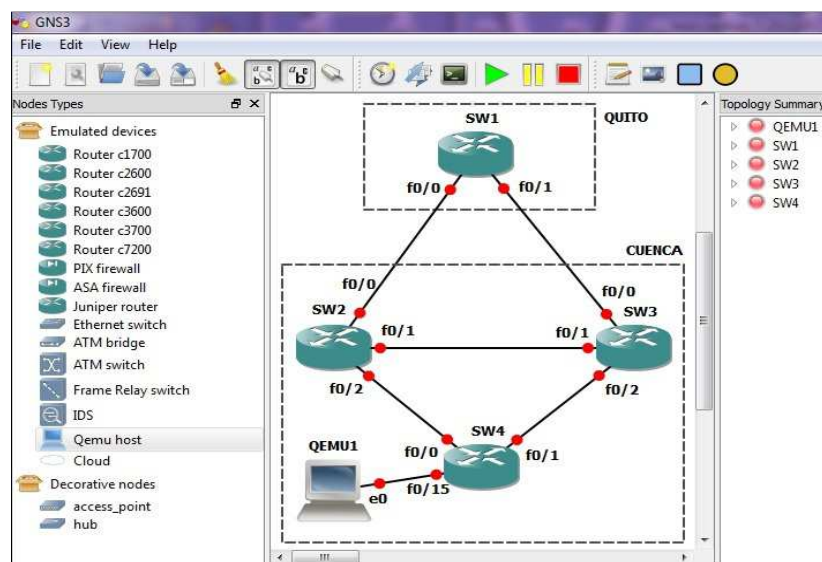
**Figura L1.** Inserción del módulo NM-16ESW en uno de los conmutadores

El adaptador NM-16ESW es un módulo Cisco Etherswitch de 16 puertos ethernet de 10/100 Mbps el cual nos permitirá simular más fielmente el comportamiento de un conmutador real. Las interfaces Fastethernet simularán los enlaces ópticos GigaEthernet.

Disponemos entonces los elementos sobre el tablero para emular nuestra red. Señalamos que es posible redundar todos los elementos de la red, pero para reducir la capacidad de procesamiento y excesivo consumo de memoria exigido a nuestro PC procederemos a redundar solo ciertos elementos.

La Figura L2 muestra la topología que está conformada por un nodo principal que representará al conmutador de la ciudad de Quito, adonde convergen dos enlaces desde dos diferentes conmutadores que representarán nuestro anillo que brindarán cierta redundancia al sistema.

A estos dos conmutadores de agregación o de distribución, situados virtualmente en la ciudad de Cuenca, viene conectado otro conmutador de acceso por el cual nuestro cliente representado por el PC virtual, recibirá el servicio. Los enlaces fueron conectados manualmente y los elementos debidamente etiquetados.



**Figura L2.** Elementos de red colocados según la topología sobre el tablero de GNS3

Una vez finalizado el POST virtual después de haber inicializado los conmutadores, podemos verificar sus características desde la consola mediante el comando *show version*. En la Figura L3 podemos apreciar el IOS usado y las interfaces fastethernet disponibles en SW1 (Quito) que simularán nuestros enlaces ópticos.

```

SW1#sh version
Cisco IOS Software, 3600 Software (C3640-JK9O3S-M), Version 12.3(14)T3, RELEASE
SOFTWARE (fc2)
Technical Support: http://www.cisco.com/techsupport
Copyright (c) 1986-2005 by Cisco Systems, Inc.
Compiled Tue 12-Jul-05 01:03 by ccai

ROM: ROMMON Emulation Microcode
ROM: 3600 Software (C3640-JK9O3S-M), Version 12.3(14)T3, RELEASE SOFTWARE (fc2)

SW1 uptime is 2 hours, 3 minutes
System returned to ROM by unknown reload cause - suspect boot_data[BOOT_COUNT] 0
x0, BOOT_COUNT 0, BOOTDATA 19
System image file is "tftp://255.255.255.255/unknown"

This product contains cryptographic features and is subject to United
States and local country laws governing import, export, transfer and
use. Delivery of Cisco cryptographic products does not imply
third-party authority to import, export, distribute or use encryption.
Importers, exporters, distributors and users are responsible for
compliance with U.S. and local country laws. By using this product you
agree to comply with applicable laws and regulations. If you are unable
to comply with U.S. and local laws, return this product immediately.

A summary of U.S. laws governing Cisco cryptographic products may be found at:
http://www.cisco.com/wvl/export/crypto/tool/stqrg.html

If you require further assistance please contact us by sending email to
export@cisco.com.

Cisco 3640 (R4700) processor (revision 0xFF) with 124928K/6144K bytes of memory.
Processor board ID 00000000
R4700 CPU at 100MHz, Implementation 33, Rev 1.2
16 FastEthernet interfaces
DRAM configuration is 64 bits wide with parity enabled.
125K bytes of NVRAM.
8192K bytes of processor board System flash (Read/Write)

Configuration register is 0x2102

SW1#

```

**Figura L3.** Configuración básica del hardware y versión e imagen del software del sistema



## Configuraciones Generales

Procedemos entonces con las configuraciones básicas en nuestros conmutadores previamente definidos con los nombres: SW1, SW2, SW3 y SW4 con el comando `hostname` desde el nivel de configuración global.

Configuramos cada una de las interfaces `fastethernet` conectadas entre los conmutadores poniendo una breve descripción, a 100 full duplex, y en modalidad trunk con el tipo de encapsulación 802.1Q permitirán el transporte de las diferentes VLANs, como presentado en la Figura L4.

```
SW2#conf t
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
SW2(config)#interface fastethernet 0/0
SW2(config-if)#description SW1_f0/0
SW2(config-if)#switchport mode trunk
SW2(config-if)#switchport trunk encapsulation dot1q
SW2(config-if)#speed 100
SW2(config-if)#duplex full
SW2(config-if)#no shutdown
SW2(config-if)#
```

**Figura L4.** Configuración de las interfaces `fastethernet`

Una vez terminada la configuración de todas las interfaces debemos verificar su estado previamente levantadas con el comando `no shutdown`. En la Figura L5 presentamos el estado de las interfaces en SW2, el cual como vimos en la topología tiene un enlace hacia cada uno de los otros conmutadores.

```
SW2#show interface status

Port      Name           Status      Vlan      Duplex  Speed  Type
Fa0/0     SW1_f0/0       connected   trunk     full    100    10/100BaseTX
Fa0/1     SW3_f0/1       connected   trunk     full    100    10/100BaseTX
Fa0/2     SW4_f0/0       connected   trunk     full    100    10/100BaseTX
Fa0/3     disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/4     disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/5     disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/6     disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/7     disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/8     disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/9     disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/10    disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/11    disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/12    disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/13    disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/14    disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
Fa0/15    disabled       1          auto     auto    10/100BaseTX
SW2#
```

Figura L5. Estado de las interfaces en SW2

Luego, debemos implementar VTP (VLAN Trunking Protocol) es cual nos permitirá propagar a través de los enlaces troncales cualquier cambio concerniente a las VLANs ya sea la creación, cambio o cancelación en los conmutadores que participan dentro del mismo dominio VTP. Para esto definimos la función de cada uno de ellos, ya sea como servidor o cliente.

En nuestro caso particular definiremos dos servidores VTP por redundancia, los cuales serán los conmutadores de agregación, es decir SW2 y SW3; los demás funcionarán como clientes, de esta manera centralizamos la administración de las VLANs.

Para configurar esto, debido a la versión del IOS usado en nuestra simulación, es necesario ingresar desde el modo privilegiado a un nivel paralelo dedicado para esta actividad con el comando *vlan database*, en otras versiones es posible configurarlo directamente desde el modo de configuración global.

```

SW2#vlan database
SW2(vlan)#vtp server
Setting device to VTP SERVER mode.
SW2(vlan)#vtp domain lab_metroeth
Changing VTP domain name from otro to lab_metroeth
SW2(vlan)#vlan 10 name ADMINISTRATIVA
VLAN 10 added:
  Name: ADMINISTRATIVA
SW2(vlan)#vlan 20 name TEST
VLAN 20 added:
  Name: TEST
SW2(vlan)#vlan 30 name CALL_CENTER
VLAN 30 added:
  Name: CALL_CENTER
SW2(vlan)#exit
APPLY completed.
Exiting...
SW2#

```

**Figura L6.** Configuración de las características VTP y creación de las VLANs

Verificamos el estado VTP en los clientes, de esta manera nos aseguramos de la correcta propagación de la información.

```

SW4#sh vtp status
VTP Version                : 2
Configuration Revision     : 1
Maximum VLANs supported locally : 256
Number of existing VLANs   : 8
VTP Operating Mode         : Client
VTP Domain Name            : lab_metroeth
VTP Pruning Mode           : Disabled
VTP V2 Mode                 : Disabled
VTP Traps Generation       : Disabled
MD5 digest                  : 0x7A 0x9C 0xF9 0x92 0x63 0x55 0x64 0x32
Configuration last modified by 0.0.0.0 at 3-1-02 00:41:59
SW4#

```

**Figura L7.** Verificación del estado VTP en SW4

Como notamos en la Figura L7 el conmutadores SW4 está operando como cliente en el dominio “lab\_metroeth”, es decir actualizará su base de datos según la información recibida desde los servidores si el número de revisión local es menor al del servidor. Por lo que se debe tener mucho cuidado en no introducir a la red un conmutadores con un número de revisión mayor.

Además, cabe señalar que estos equipos soportan VTP versión 2, el cual es incompatible con la versión 1.

Apreciamos también que el número de VLANs se ha incrementado a 8, es decir 5 que vienen por defecto más las 3 creadas anteriormente en el servidor VTP a modo de ejemplo que son: ADMINISTRATIVA (10), TEST (20) y la de producción CALL\_CENTER (30).

```
SW4>sh vlan-switch
```

VLAN	Name	Status	Ports
1	default	active	Fa0/2, Fa0/3, Fa0/4, Fa0/5 Fa0/6, Fa0/7, Fa0/8, Fa0/9 Fa0/10, Fa0/11, Fa0/12, Fa0/13 Fa0/14, Fa0/15
10	ADMINISTRATIVA	active	
20	TEST	active	
30	CALL_CENTER	active	
1002	fddi-default	active	
1003	token-ring-default	active	
1004	fddinet-default	active	
1005	trnet-default	active	

VLAN	Type	SAID	MTU	Parent	RingNo	BridgeNo	Stp	BrdgMode	Trans1	Trans2
1	enet	100001	1500	-	-	-	-	-	1002	1003
10	enet	100010	1500	-	-	-	-	-	0	0
20	enet	100020	1500	-	-	-	-	-	0	0
30	enet	100030	1500	-	-	-	-	-	0	0
1002	fddi	101002	1500	-	0	-	-	-	1	1003
1003	tr	101003	1500	1005	0	-	-	srb	1	1002

VLAN	Type	SAID	MTU	Parent	RingNo	BridgeNo	Stp	BrdgMode	Trans1	Trans2
1004	fdnet	101004	1500	-	-	1	ibm	-	0	0
1005	trnet	101005	1500	-	-	1	ibm	-	0	0

Figura L8. Comprobación de la correcta propagación de las VLANs en el cliente SW4

### Configuración Spanning Tree Protocol (STP)

El tradicional STP 802.1D viene ya habilitado por defecto para todas las VLANs con una prioridad de 32768 que es posible variar dentro del rango de 0 a 65536 para influenciar la elección del conmutador root, recordemos que mientras menor sea este valor es más deseable.

En esta simulación modificaremos el parámetro para dar prioridad a que el SW1 se convierta en el root primario y SW2 en el secundario, de esta manera como vimos en la teoría del primer capítulo, prevenimos una topología activa con rutas indeseables una vez finalizada la convergencia de STP.

Esto lo realizaremos únicamente para la VLAN 20 de TEST, pero antes configuraremos en el conmutador una SVI (Switched Virtual Interface) para la VLAN 20 prestandole así capacidades de capa 3 OSI, esto nos servirá para poder realizar el ping desde nuestro PC virtual.

Asignamos la dirección IP de 10.0.20.1 dentro de una subred con capacidad para seis direcciones IP.

```
SW1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
SW1(config)#interface vlan 20
SW1(config-if)#ip address 10.0.20.1 255.255.255.248
SW1(config-if)#no shutdown
SW1(config-if)#^Z
SW1#
*Mar  1 09:31:51.833: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
SW1#ping 10.0.20.1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.20.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/3/4 ms
SW1#
```

**Figura L9.** Configuración de un SVI y ejecución de un ping de prueba

```

SW1#show spanning-tree vlan 20 brief

VLAN20
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    28672
             Address    cc05.0a24.0002
             Cost      19
             Port      1 (FastEthernet0/0)
             Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    32768
             Address    cc04.0a24.0002
             Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
             Aging Time 0

Interface
Name          Port ID Prio Cost  Sts Cost  Bridge ID          Port ID
-----
FastEthernet0/0  128.1  128   19 FWD   0 28672 cc05.0a24.0002 128.1
FastEthernet0/1  128.2  128   19 FWD   19 32768 cc04.0a24.0002 128.2

```

**Figura L10.** Estado inicial de STP para la VLAN 20 en el SW1

En la Figura L10 podemos también apreciar los valores por defecto de los tiempos y el estado de los puertos. Notamos también que el SW1 NO es el root, dado que tiene una prioridad mayor que 28672. Procedemos a modificar la prioridad disminuyéndola con una diferencia de 4096 con respecto al valor que tiene el actual root.

```

SW1#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
SW1(config)#spanning-tree vlan 20 priority 24576
SW1(config)#do sh spanning-tree vlan 20 brief

VLAN20
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID    Priority    24576
Address    cc04.0a24.0002
This bridge is the root
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec

Bridge ID  Priority    24576
Address    cc04.0a24.0002
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Aging Time 0

Interface
Name          Port ID Prio Cost Sts Cost Bridge ID Port ID
-----
FastEthernet0/0 128.1 128 19 FWD 0 24576 cc04.0a24.0002 128.1
FastEthernet0/1 128.2 128 19 FWD 0 24576 cc04.0a24.0002 128.2

SW1(config)#

```

**Figura L11.** Verifica del estado actual de STP para la VLAN 20 en SW1

Ahora explícitamente nos dice que SW1 es el root con una prioridad de 24576. La Tabla L1 presenta el resultado de la convergencia de STP indicando el estado de todos los puertos de nuestra red para la VLAN 20.

Conmutador	Interfaz	Estado
SW1	FastEthernet 0/0	Forwarding
	FastEthernet 0/1	Forwarding
SW2	FastEthernet 0/0	Forwarding
	FastEthernet 0/1	Forwarding
	FastEthernet 0/2	Forwarding
SW3	FastEthernet 0/0	Forwarding
	FastEthernet 0/1	Blocking
	FastEthernet 0/2	Forwarding
SW4	FastEthernet 0/0	Forwarding
	FastEthernet 0/1	Blocking
	FastEthernet 0/15	Forwarding

**Tabla L1.** Estado de todos los puertos de nuestra red para la VLAN 20

Preparamos el enlace entre el conmutador de acceso y el PC virtual. Para esto configuramos la interfaz fastethernet 0/15 del SW4 a la cual se conecta el PC en la VLAN 20.

```
SW4#sh run interface fastEthernet 0/15
Building configuration...

Current configuration : 163 bytes
!
interface FastEthernet0/15
  description PC_Virtual
  switchport access vlan 20
  no ip address
  duplex full
  speed 100
  no cdp enable
  spanning-tree portfast
end
SW4#
```

**Figura L12.** Configuración corriente de la interfaz de acceso para el PC virtual

### **Estado de los puertos en convergencia ante un evento de falla**

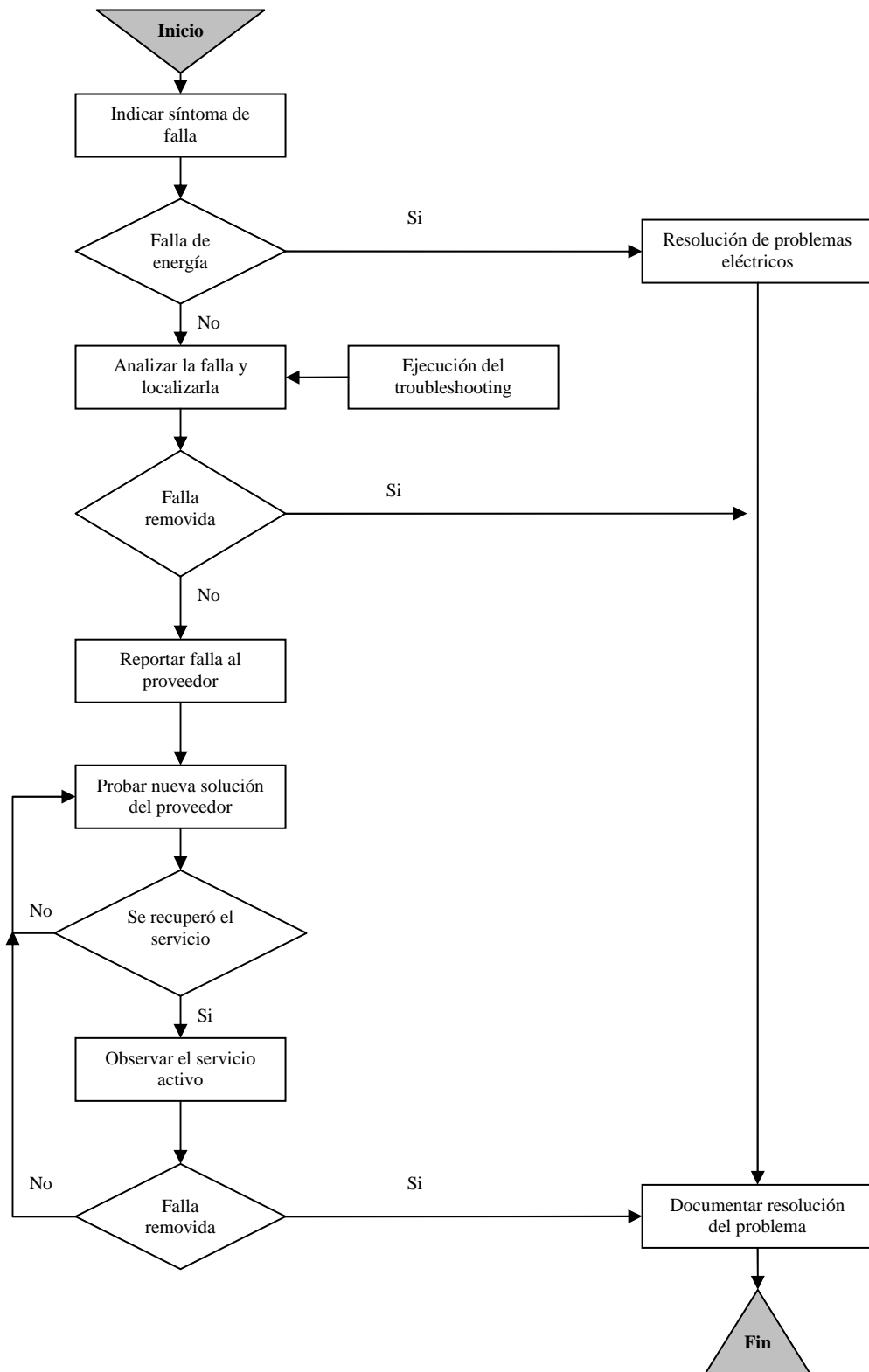
Para lograr visualizar esto ejecutamos el comando varias veces teniendo en cuenta los tiempos de duración de cada uno de los estados, es decir 20 segundos de bloqueo y 30 segundos durante los estados de listening y learning.



```
SW3#sh spanning-tree vlan 20 active | include Fast
  Root port is 1 (FastEthernet0/0), cost of root path is 19
    from FastEthernet0/1
  Port 1 (FastEthernet0/0) of VLAN20 is forwarding
  Port 2 (FastEthernet0/1) of VLAN20 is blocking
  Port 3 (FastEthernet0/2) of VLAN20 is forwarding
SW3#sh spanning-tree vlan 20 active | include Fast
  Root port is 1 (FastEthernet0/0), cost of root path is 19
    from FastEthernet0/1
  Port 1 (FastEthernet0/0) of VLAN20 is forwarding
  Port 2 (FastEthernet0/1) of VLAN20 is listening
  Port 3 (FastEthernet0/2) of VLAN20 is forwarding
SW3#sh spanning-tree vlan 20 active | include Fast
  Root port is 1 (FastEthernet0/0), cost of root path is 19
    from FastEthernet0/2
  Port 1 (FastEthernet0/0) of VLAN20 is forwarding
  Port 2 (FastEthernet0/1) of VLAN20 is learning
  Port 3 (FastEthernet0/2) of VLAN20 is forwarding
SW3#sh spanning-tree vlan 20 active | include Fast
  Root port is 1 (FastEthernet0/0), cost of root path is 19
    from FastEthernet0/2
  Port 1 (FastEthernet0/0) of VLAN20 is forwarding
  Port 2 (FastEthernet0/1) of VLAN20 is forwarding
  Port 3 (FastEthernet0/2) of VLAN20 is forwarding
SW3#
```

**Figura L13.** Visualización del estado de los puertos durante el proceso de convergencia

**ANEXO M**  
**RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS**



**Figura M1.** Diagrama de flujo para resolución de problemas de redes ópticas

## **Alarmas más comunes y sus causas**

El sistema de monitoreo del servidor T2000 nos permite estar al tanto de todos los inconvenientes que se producen en la red SDH, esto lo hace por medio de alarmas, las cuales están divididas en diferentes grados de severidad del problema. A continuación encontramos una breve descripción de las alarmas mas importantes con sus posibles causas.

**R\_LOS:** Indica perdida de señal recibida (received loss of signal), alarma de nivel critico<sup>9</sup>. Posibles causas; fibra cortada, atenuación excesiva, falla en el puerto Rx o el puerto Tx del otro nodo está fallando.

**R\_LOF:** Indica perdida de trama recibida (received loss of frame), alarma de nivel critico. Posibles causas; atenuación excesiva, falla en el puerto Rx o el nodo opuesto no tiene estructura de trama.

**R\_OOF:** Indica recibe fuera de trama (receive out of frame), alarma de nivel critico. Posibles causas; atenuación excesiva, hay un exceso de bits de error en la transmisión, falla en el puerto Rx o el puerto Tx del otro nodo está fallando.

**AU\_AIS:** Indica indicador de unidad de alarma administrativa (administrative unit-alarm indication signal), alarma de nivel mayor. Posibles causas; falla en el puerto Rx o el puerto Tx del otro nodo está fallando.

**AU\_LOP:** Indica perdida del puntero (AU loss of pointer), alarma de nivel mayor. Posibles causas; falla en el puerto Rx, error en la configuración de servicio en la estación opuesta o exceso de bits de error en la transmisión.

---

<sup>9</sup> Niveles de alarma: Crítico, mayor, menor y advertencia. Importancia mayor a menor respectivamente.

**B1\_EXC:** Indica exceso de bits de error en la sección regeneradora (regenerator section B1 excessive bit error indication), alarma de nivel menor. Posibles causas; atenuación excesiva, el final de la fibra no está limpio, los conectores están conectados incorrectamente, falla en el puerto Rx o el puerto Tx del nodo opuesto está fallando.

**HP\_LOM:** Indica pérdida de ruta de multitramas (high order path loss of multiframe), alarma de nivel mayor. Posibles causas; error en la configuración del servicio.

**HP\_SLM:** Indica identificación de ruta de señal desigual (high order path signal identification mismatch), alarma de nivel menor. Posibles causas; error en la configuración o el puerto Tx del otro nodo está fallando.

**TU\_AIS:** Indica alarma de señal de unidad tributaria (TU alarm indication), alarma de nivel mayor. Posibles causas; error en la configuración de servicio, causada por una alarma de nivel más alto, la tarjeta cross-conectora está fallando o el puerto Tx del otro nodo está fallando.

**TU\_LOP:** Indica pérdida del puntero de unidad tributaria (TU loss of pointer), alarma de nivel mayor. Posibles causas; la interfaz de la tarjeta cross-conectora con la tarjeta del servicio tributario está fallando o error en la configuración del servicio.

**EXT\_LOS:** Indica pérdida de señal externa (external loss of signal), alarma de nivel menor. Posibles causas; no se recibe ninguna señal en la entrada de la tarjeta tributaria o está fallando la tarjeta.

**PS:** Indica cuando existe una conmutación en la protección de la red (protection switching happened indication), alarma de nivel mayor. Posibles causas; entra en funcionamiento la protección de la red.

**LTI:** Indica pérdida de fuente de sincronización (loss of synchronous source), alarma de nivel mayor. Posibles causas; fibra cortada, la fuente de sincronismo está configurada incorrecta o el nodo está en modo de corrida libre.

**SYNC\_C\_LOS:** Indica pérdida de nivel de fuente de sincronismo (synchronuos source level loss), alarma de advertencia. Posibles causas; la fuente de reloj PRC no está disponible, corte de fibra o si el reloj viene de una fuente externa está desconectado.

**SYN\_BAD:** Indica pérdida de señal recibida (synchronous source deteriorated), alarma de nivel menor. Posibles causas; la fuente de sincronismo tiene un pequeño desfase.

**POWER\_FAIL:** Indica falla de energía (power failure), alarma de nivel mayor. Posibles causas; el equipo está apagado, la tarjeta de poder está fallando, la tarjeta cross-conectora está fallando o está mal conectada.

**FAN\_FAIL:** Indica falla de un ventilador (fan failed), alarma de nivel mayor. Posibles causas; el ventilador no estq prendido o est'a dañado.

**BD\_STATUS:** Indica que la tarjeta no está instalada (board not in position), alarma de nivel mayor. Posibles causas; la tarjeta no ha sido insertada o la ranura está fallando.

### **Detección y solución al problema**

Verificar si el problema es físico o lógico. Esto lo podemos realizar verificando las alarmas en el sistema de monitorea, la sección anterior nos muestra las posibles causas en base a las alarmas, así mismo podemos verificar cuales son los elementos de la red que tienen el problema.

### **Componentes físicos:**

Si el problema es físico tenemos que revisar si es por atenuación de fibra óptica o por fallas de alguna tarjeta de equipamiento. Con medidor de potencia o un OTDR podemos evaluar la potencia óptica de entrada y salida de las tarjetas y compararlas con los valores de la Tabla 2.1. Si la potencia de salida no cumple con los valores del rango entonces es la tarjeta que tiene fallas por lo tanto hay que cambiarla, pero si es por atenuación corte de fibra, el OTDR detecta el tramo donde está el daño del cable donde hay que hacer la respectiva reparación.

Luego de determinar si el inconveniente no es de atenuación de potencia ni tampoco de la tarjeta, procedemos a verificar la ranura de equipo y por ultimo todos los componentes del equipamiento del nodo. Recordar que estamos asumiendo que todo tipo instalación eléctrica está sin ningún problema.

### **Configuraciones lógicas:**

Consecuentemente después de comprobar los todos componentes físicos que intervienen en el tramo con el error están funcionando correctamente y todas las conexiones están correctamente hechas, partimos al siguiente paso para determinar la causa lógica que esté afectando al sistema.

La manera más simplificada para resolver problemas lógicos es enfocándonos en el tipo de alarma que sea y reiniciando las tarjetas cross-conectoras o tributarias que entren en la alarma.

Si el problema persiste, borramos toda configuración existente en el servidor T2000 y lo volvemos a configurar paso a paso la red con sus respectivos servicios.

**ANEXO N**  
**COSTOS DETALLADOS PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO**



## Costos de los equipos de telecomunicaciones

En la Tabla N.1 presentamos el detalle y costos de los elementos de telecomunicaciones empleados en los nodos principales para la red SDH.

No.	Item	Descripción	Precio unit.	cant.	Precio total
1	Rack	ETSI Assembly Rack (2200x600x300mm)	\$ 3.123,00	1	\$ 3.123,00
2	Subrack	SS-Subrack 1500	\$ 2.458,00	1	\$ 2.458,00
3	SS-E0W-1500	Order wire Board	\$ 867,00	1	\$ 867,00
4	SS-AUX-1500-R1	Auxiliary Interface Board	\$ 1.388,00	1	\$ 1.388,00
5	SS-PIU-1500	Power Interface Board	\$ 135,00	2	\$ 270,00
6	SS-CXL1(Ve-1,2-LC)Q2	STM1 - System Control Cross-Connect, optical Interface Board (Ve-1.2,LC)	\$ 11.880,00	2	\$ 23.760,00
7	SS-SL4(Ve-4.2,LC)-R1	STM4 - Optical Interface Board (Ve-4.2,LC)	\$ 3.784,00	2	\$ 7.568,00
8	SS-SL1(Ve-1.2)-R1	STM1- Optical Interface Board (Ve-1.2,LC)	\$ 2.253,00	1	\$ 2.253,00
9	SS-PQ1(120)	63xE1 Service Processing Board (120 ohm)	\$ 4.394,00	1	\$ 4.394,00
10	SS-D12S	32xE1/T1 Electrical Interface Switching Board	\$ 590,00	1	\$ 590,00
11	Telephone	Telephone, Ivory, double crystal type plug	\$ 11,00	1	\$ 11,00
12	SS-DL-8E1-120-15	Trunk Cable: 45 deg, 15m,120ohm, 8E1, 0.5mm	\$ 70,00	8	\$ 560,00
13	SS-DL-SMB-75-10	Trunk cable: 155M/clock/Lightining	\$ 7,00	6	\$ 42,00
14	SS-OP-LC-FC-S-20	Patch Cord FC/PC, LC/PC, Single Mode, 2mm , 20m	\$ 13,00	10	\$ 130,00
15	SS-Power 01	One set of 4805 and Accesories for 1500/2500	\$ 456,00	1	\$ 456,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 47.870,00</b>

**Tabla N1.** Costos para la implementación de un nodo principal SDH

Podemos observar en la Tabla N2 algo similar a la Tabla N1 pero con el detalle de los elementos usados en los nodos secundarios para el funcionamiento de los regeneradores ópticos.

No.	Item	Descripción	Precio unit.	cant.	Precio total
1	Rack	ETSI Assembly Rack (2200x600x300mm)	\$ 3.123,00	1	\$ 3.123,00
2	Subrack	SS-Subrack 1500	\$ 2.458,00	1	\$ 2.458,00
3	SS-E0W-1500	Order wire Board	\$ 867,00	1	\$ 867,00
4	SS-AUX-1500-R1	Auxiliary Interface Board	\$ 1.388,00	1	\$ 1.388,00
5	SS-PIU-1500	Power Interface Board	\$ 135,00	2	\$ 270,00
6	SS-SL4(Ve-4.2,LC)-R1	STM4 - Optical Interface Board (Ve-4.2,LC)	\$ 3.784,00	2	\$ 7.568,00
7	Telephone	Telephone, Ivory,double crystal type plug	\$ 11,00	1	\$ 11,00
8	SS-DL-8E1-120-15	Trunk Cable: 45 deg, 15m,120ohm, 8E1, 0.5mm	\$ 70,00	8	\$ 560,00
9	SS-DL-SMB-75-10	Trunk cable: 155M/clock/Lightining	\$ 7,00	6	\$ 42,00
10	SS-OP-LC-FC-S-20	Patch Cord FC/PC, LC/PC, Single Mode, 2mm , 20m	\$ 13,00	10	\$ 130,00
11	SS-Power 01	One set of 4805 and Accesories for 1500/2500	\$ 456,00	1	\$ 456,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 16.873,00</b>

**Tabla N2.** Detalle de costos para la implementación de un nodo secundario o regenerador

La Tabla N3 muestra los costos del servidor T2000 y sus respectivas licencias para uso comercial del software, tambien se encuentra el costo del hardware.

Costos del servidor, aplicaciones y licencias					
No.	Item	Descripcion	Precio unit.	cant.	Precio total
1	PC servidor	Desktop, intel core i5, 4 gb RAM, 250 Gb disco duro, DVD, integrated NIC, integrated audio card, 19" LCD, English Windows 7 professional	\$ 1.325,00	1	\$ 1.325,00
2	iManager T2000	SDH Aplicacion de Software	\$ 14.458,00	1	\$ 14.458,00
3		Licencia por OSN 1500 NE	\$ 1.800,00	6	\$ 10.800,00
4		Ciente de Windows software	\$ 12.480,00	1	\$ 12.480,00
5		Cargo de licencia por licencia de cliente	\$ 60.000,00	1	\$ 60.000,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 99.063,00</b>

**Tabla N3.** Detalle de costos del servidor, aplicaciones y licencias

La Tabla N4 muestra el costo de la construcción civil de la infraestructura que albergará los equipos de telecomunicaciones incluyendo también los elementos eléctricos y de climatización necesarios.

Costos de la Infraestructura civil, equipos eléctricos y de climatización para la red SDH				
No.	Descripción	Precio unit.	cant.	Precio total
1	Construcción civil 9 m2	\$ 3.600,00	1	\$ 3.600,00
2	Terreno de 20 m2	\$ 400,00	1	\$ 400,00
3	Banco de baterias 2,5KVA	\$ 7.000,00	1	\$ 7.000,00
4	Instalacion eléctrica con puesta a tierra	\$ 1.200,00	1	\$ 1.200,00
5	Equipos de climatización	\$ 400,00	1	\$ 400,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 12.600,00</b>

**Tabla N4.** Costos de construcción e infraestructura de un nodo SDH

Costos parciales del anillo SDH				
No.	Descripción	Precio unit.	cant.	Precio total
1	Equipo SDH nodo principal	\$ 47.870,00	2	\$ 95.740,00
2	Equipo SDH nodo secundario	\$ 16.873,00	4	\$ 67.492,00
3	Infraestructura para albergar los equipos, sistema eléctrico y climatización	\$ 12.600,00	6	\$ 75.600,00
4	Servidor T2000, aplicaciones y licencias	\$ 99.063,00	1	\$ 99.063,00
<b>Total</b>				<b>\$ 337.895,00</b>

**Tabla N5.** Costos del anillo SDH sin tendido de fibra

En la Tabla N5 se puede ver el costo total de la implementación del anillo SDH pero sin considerar el costo del tendido, el cual más adelante lo encontramos detallado.

### Red MetroEthernet

Así como detallamos la red SDH a continuación se puede observar la Tabla N6 los costos de la red Metro pero sin considerar el tendido de fibra.

Costos parcial de la red Metro Ethernet					
No.	Item	Descripción	Precio unit.	cant.	Precio total
1	Cisco Catalyst 3750 Switch	WS-C3750V2-48TS-E (48 ethernet ports + 4x1G SFP)	\$ 4.225,00	2	\$ 8.450,00
2	Cisco Catalyst 2960-S Switch	WS-C2960S-48FPS-L (48 ethernet ports + 4x1G SFP)	\$ 2.650,00	14	\$ 37.100,00
3	Modulo SFP Cisco 1000BASE-ZX		\$ 179,00	32	\$ 5.728,00
4	Gabinete y accesorios		\$ 180,00	15	\$ 2.700,00
5	Infraestructura para albergar los equipos, sistema eléctrico y climatización		\$ 6.000,00	15	\$ 90.000,00
6	RAD IPMUX 24		\$ 800,00	2	\$ 1.600,00
<b>Total</b>					<b>\$ 145.578,00</b>

**Tabla N6.** Costo del anillo Metro Ethernet sin tendido de fibra

A continuación presentamos el detalle del ítem 5 de la Tabla N6. La diferencia entre los costos de infraestructura de los nodos SDH con los nodos de la red Metro solo se centran en el detalle del respaldo de energía.

<b>Costos de la Infraestructura civil, equipos eléctricos y de climatización para la red Metro Ethernet</b>					
<b>No.</b>	<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>cant.</b>	<b>Precio total</b>
1		Construcción civil 9 m2	\$ 3.600,00	1	\$ 3.600,00
2		Terreno de 20 m2	\$ 400,00	1	\$ 400,00
3		UPS 1KVA (5 horas de respaldo energético)	\$ 400,00	1	\$ 400,00
4		Instalación eléctrica con puesta a tierra	\$ 1.200,00	1	\$ 1.200,00
5		Equipos de climatización	\$ 400,00	1	\$ 400,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 6.000,00</b>

**Tabla N7.** Detalle del costo de la infraestructura de un nodo de la red Metro

## Última milla

Ya que para la última milla usamos la fibra oscura disponible en las ciudades como indicado en los requerimientos, por lo tanto no incluimos sus costos. El costo de la última milla para el centro de llamadas de Cuenca fueron incluidas en la Tabla N6 relativo a la red Metro Ethernet.

<b>Costos de última milla en Tulcán hacia la salida internacional</b>					
<b>No.</b>	<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>cant.</b>	<b>Precio total</b>
1	Cisco Catalyst 2960-S Switch	WS-C2960S-48FPS-L (48 ethernet ports + 4x1G SFP)	\$ 2.650,00	2	\$ 5.300,00
2		Modulo SFP Cisco 1000BASE-ZX	\$ 179,00	4	\$ 716,00
3		RAD IPMUX 24	\$ 800,00	2	\$ 1.600,00
<b>Total</b>					<b>\$ 7.616,00</b>

**Tabla N8.** Detalle de costos para la última milla de Tulcán hacia la salida internacional

## Costos de fibra e instalación

Los detalles de costos respecto al tendido de fibra los podemos encontrar divididos en tres tablas, La Tabla N9 son los costos de un tendido de fibra en cuatro kilómetros, ya que esa es la distancia de los carretes del cable. La Tabla N10 y N11 muestran el costo total del tendido en la red SDH y Metro Ethernet respectivamente.

Costos de fibra, materiales e instalación por tramo de 4 Km.				
No.	Descripción	Precio unit.	cant.	Precio total
1	Herraje de suspensión	\$ 27,41	45	\$ 1.233,45
2	Herraje de retención	\$ 70,49	45	\$ 3.172,05
3	Montaje de herraje por poste	\$ 5,00	45	\$ 225,00
4	Tendido Aéreo por metro y etiquetado	\$ 0,25	4000	\$ 1.000,00
<b>Total</b>				<b>\$ 5.630,50</b>

**Tabla N9.** Costo de tendido de fibra por vía aérea por tramo de 4 Km

Costos de fibra y tendido para la red SDH				
No.	Descripción	Precio unit.	cant.	Precio total
1	Materiales y mano de obra por 4 Km.	\$ 5.630,50	125	\$ 703.812,50
2	Manga de empalme	\$ 170,00	124	\$ 21.080,00
3	Fusiones de fibra por empalme (12 hilos)	\$ 120,00	124	\$ 14.880,00
4	Fusiones de fibra por nodo	\$ 240,00	6	\$ 1.440,00
5	Carrete de fibra óptica ADSS G.652 (12 hilos)	\$ 4.000,00	125	\$ 500.000,00
6	Montaje y materiales de acometida por nodo	\$ 79,00	6	\$ 474,00
<b>Total</b>				<b>\$ 1.241.686,50</b>

**Tabla N10.** Costos de fibra y respectivo despliegue para la red SDH

<b>Costos de fibra y tendido de la red Metro Ethernet</b>				
<b>No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>cant.</b>	<b>Precio total</b>
1	Materiales y mano de obra por 4 Km.	\$ 5.630,50	256	\$ 1.441.408,00
2	Manga de empalme	\$ 170,00	255	\$ 43.350,00
3	Fusiones de fibra por empalme (12 hilos)	\$ 120,00	255	\$ 30.600,00
4	Fusiones de fibra por nodo	\$ 240,00	13	\$ 3.120,00
5	Carrete de fibra óptica ADSS G.652 (12 hilos)	\$ 4.000,00	256	\$ 1.024.000,00
6	Montaje y materiales de acometida por nodo	\$ 79,00	6	\$ 474,00
<b>Total</b>				<b>\$ 2.542.952,00</b>

**Tabla N11.** Costos de fibra y respectivo despliegue para la red Metro

A continuación podemos ver en las Tablas N12, N13 y N14 el costo total del tendido de la fibra óptica para el proyecto propuesto. La Tabla N.12 es por tendido aéreo, las Tablas N13 y N14 se refieren al método por microzanjado.

<b>Costos de fibra y tendido de toda la red</b>				
<b>No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>cant.</b>	<b>Precio total</b>
1	Materiales y mano de obra por 4 Km.	\$ 5.630,50	381	\$ 2.145.220,50
2	Manga de empalme	\$ 170,00	379	\$ 64.430,00
3	Fusiones de fibra por empalme (12 hilos)	\$ 120,00	379	\$ 45.480,00
4	Fusiones de fibra por nodo	\$ 240,00	19	\$ 4.560,00
5	Carrete de fibra óptica ADSS G.652 (12 hilos)	\$ 4.000,00	381	\$ 1.524.000,00
6	Montaje y materiales de acometida por nodo	\$ 79,00	12	\$ 948,00
<b>Total</b>				<b>\$ 3.784.638,50</b>

**Tabla N12.** Costo total del tendido aéreo de toda la red

<b>Costos de tendido de fibra empleando la técnica de microzanjado por carrete de 4 Km. (opcional)</b>				
<b>No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>cant.</b>	<b>Precio total</b>
1	Tendido de fibra por microzanjado (por metro)	\$ 7,50	4000	\$ 30.000,00
<b>Total</b>				<b>\$ 30.000,00</b>

**Tabla N13.** Costo del tendido del microzanjado por 4 Km

<b>Costos de tendido de fibra empleando la técnica de microzanjado (opcional)</b>				
<b>No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>cant.</b>	<b>Precio total</b>
1	Tendido de la red SDH (opcional)	\$ 30.000,00	125	\$ 3.750.000,00
2	Tendido de la red Metro Ethernet (opcional)	\$ 30.000,00	256	\$ 7.680.000,00
<b>Total</b>				<b>\$ 11.430.000,00</b>

**Tabla N14.** Costo del tendido de toda la red por el método de microzanjado



**ANEXO O**  
TABLA DEL FACTOR  
DE INTERÉS COMPUESTO PARA  
EL VALOR PRESENTE P/A

		i%																			
		1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%
N	1	0,9901	0,9804	0,9709	0,9615	0,9524	0,9434	0,9346	0,9259	0,9174	0,9091	0,9009	0,8929	0,8850	0,8772	0,8696	0,8621	0,8547	0,8475	0,8403	0,8333
	2	1,9704	1,9416	1,9135	1,8861	1,8594	1,8334	1,8080	1,7833	1,7591	1,7355	1,7125	1,6901	1,6681	1,6467	1,6257	1,6052	1,5852	1,5656	1,5465	1,5278
	3	2,9410	2,8839	2,8286	2,7751	2,7232	2,6730	2,6243	2,5771	2,5313	2,4869	2,4437	2,4018	2,3612	2,3216	2,2832	2,2459	2,2096	2,1743	2,1399	2,1065
	4	3,9020	3,8077	3,7171	3,6299	3,5460	3,4651	3,3872	3,3121	3,2397	3,1699	3,1024	3,0373	2,9745	2,9137	2,8550	2,7982	2,7432	2,6901	2,6386	2,5887
	5	4,8534	4,7135	4,5797	4,4518	4,3295	4,2124	4,1002	3,9927	3,8897	3,7908	3,6959	3,6048	3,5172	3,4331	3,3522	3,2743	3,1993	3,1272	3,0576	2,9906
	6	5,7955	5,6014	5,4172	5,2421	5,0757	4,9173	4,7665	4,6229	4,4859	4,3553	4,2305	4,1114	3,9975	3,8887	3,7845	3,6847	3,5892	3,4976	3,4098	3,3255
	7	6,7282	6,4720	6,2303	6,0021	5,7864	5,5824	5,3893	5,2064	5,0330	4,8684	4,7122	4,5638	4,4226	4,2883	4,1604	4,0386	3,9224	3,8115	3,7057	3,6046
	8	7,6517	7,3255	7,0197	6,7327	6,4632	6,2098	5,9713	5,7466	5,5348	5,3349	5,1461	4,9676	4,7988	4,6389	4,4873	4,3436	4,2072	4,0776	3,9544	3,8372
	9	8,5660	8,1622	7,7861	7,4353	7,1078	6,8017	6,5152	6,2469	5,9952	5,7590	5,5370	5,3282	5,1317	4,9464	4,7716	4,6065	4,4506	4,3030	4,1633	4,0310
	10	9,4713	8,9826	8,5302	8,1109	7,7217	7,3601	7,0236	6,7101	6,4177	6,1446	5,8892	5,6502	5,4262	5,2161	5,0188	4,8332	4,6586	4,4941	4,3389	4,1925
	11	10,3676	9,7868	9,2526	8,7605	8,3064	7,8869	7,4987	7,1390	6,8052	6,4951	6,2065	5,9377	5,6869	5,4527	5,2337	5,0286	4,8364	4,6560	4,4865	4,3271
	12	11,2551	10,5753	9,9540	9,3851	8,8633	8,3838	7,9427	7,5361	7,1607	6,8137	6,4924	6,1944	5,9176	5,6603	5,4206	5,1971	4,9884	4,7932	4,6105	4,4392
	13	12,1337	11,3484	10,6350	9,9856	9,3936	8,8527	8,3577	7,9038	7,4869	7,1034	6,7499	6,4235	6,1218	5,8424	5,5831	5,3423	5,1183	4,9095	4,7147	4,5327
	14	13,0037	12,1062	11,2961	10,5631	9,8986	9,2950	8,7455	8,2442	7,7862	7,3667	6,9819	6,6282	6,3025	6,0021	5,7245	5,4675	5,2293	5,0081	4,8023	4,6106
	15	13,8651	12,8493	11,9379	11,1184	10,3797	9,7122	9,1079	8,5595	8,0607	7,6061	7,1909	6,8109	6,4624	6,1422	5,8474	5,5755	5,3242	5,0916	4,8759	4,6755
	16	14,7179	13,5777	12,5611	11,6523	10,8378	10,1059	9,4466	8,8514	8,3126	7,8237	7,3792	6,9740	6,6039	6,2651	5,9542	5,6685	5,4053	5,1624	4,9377	4,7296
	17	15,5623	14,2919	13,1661	12,1657	11,2741	10,4773	9,7632	9,1216	8,5436	8,0216	7,5488	7,1196	6,7291	6,3729	6,0472	5,7487	5,4746	5,2223	4,9897	4,7746
	18	16,3983	14,9920	13,7535	12,6593	11,6896	10,8276	10,0591	9,3719	8,7556	8,2014	7,7016	7,2497	6,8399	6,4674	6,1280	5,8178	5,5339	5,2732	5,0333	4,8122
	19	17,2260	15,6785	14,3238	13,1339	12,0853	11,1581	10,3356	9,6036	8,9501	8,3649	7,8393	7,3658	6,9380	6,5504	6,1982	5,8775	5,5845	5,3162	5,0700	4,8435
	20	18,0456	16,3514	14,8775	13,5903	12,4622	11,4699	10,5940	9,8181	9,1285	8,5136	7,9633	7,4694	7,0248	6,6231	6,2593	5,9288	5,6278	5,3527	5,1009	4,8696
	21	18,8570	17,0112	15,4150	14,0292	12,8212	11,7641	10,8355	10,0168	9,2922	8,6487	8,0751	7,5620	7,1016	6,6870	6,3125	5,9731	5,6648	5,3837	5,1268	4,8913
	22	19,6604	17,6580	15,9369	14,4511	13,1630	12,0416	11,0612	10,2007	9,4424	8,7715	8,1757	7,6446	7,1695	6,7429	6,3587	6,0113	5,6964	5,4099	5,1486	4,9094
	23	20,4558	18,2922	16,4436	14,8568	13,4886	12,3034	11,2722	10,3711	9,5802	8,8832	8,2664	7,7184	7,2297	6,7921	6,3988	6,0442	5,7234	5,4321	5,1668	4,9245
	24	21,2434	18,9139	16,9355	15,2470	13,7986	12,5504	11,4693	10,5288	9,7066	8,9847	8,3481	7,7843	7,2829	6,8351	6,4338	6,0726	5,7465	5,4509	5,1822	4,9371

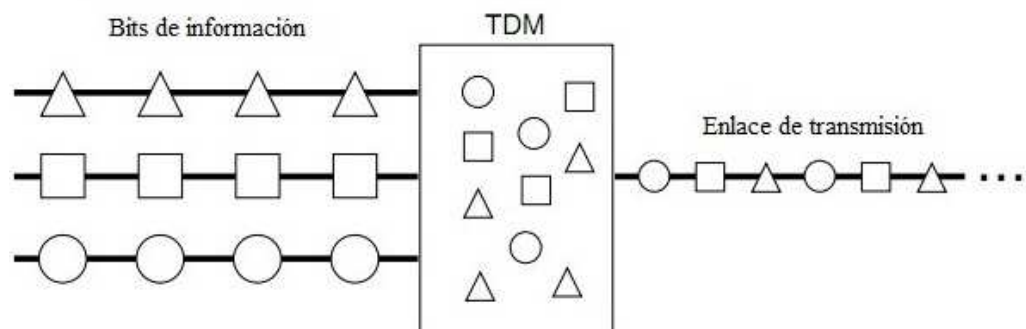
**ANEXO P**  
MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE  
TIEMPO (TDM)

## Accesos Múltiples por División del Tiempo (TDM)

TDM fue inventado como un modo para maximizar el volumen de tráfico de voz que podría ser transportado por un medio. En las antiguas redes telefónicas, antes que la multiplexación fuera inventada, cada llamada telefónica requería de su propio enlace físico, esto resultaba muy costoso y con muchas limitaciones para futuras expansiones de la red (12).

### Mecanismo de funcionamiento TDM

El que consiste en que cada señal tributaria entrante es servida con el modo *round-robin* (1, 2, 3, 1, 2,..) que es colocada en una ranura de tiempo de manera síncrona, lo cual evita las colisiones, estas son enviadas a través de la interfaz de salida o también llamada señal agregada. En la Figura P1 mostramos una explicación gráfica de su funcionamiento. De esta manera, TDM incrementa la capacidad del enlace aumentando efectivamente el número de bits transmitidos por segundo. Finalmente, en el destino la señal agregada es inversamente multiplexada y enviada a cada uno de los respectivos destinatarios (12).



**Figura P1.** Mecanismo conceptual de funcionamiento TDM  
**Fuente:** (12)

**ANEXO Q**  
**TIPOS DE RELOJES Y ESTÁNDARES DE**  
**SINCRONISMO**

## Tipos de relojes

**Reloj de referencia primaria (PRC)** señal de reloj maestra que se transmite a los subordinados y su función principal es la de sincronizar cada elemento de red. Siendo este reloj el principal del sincronismo, tiene una estabilidad por encima de  $1 \times 10^{-11}$ . A este tipo de reloj se los conoce como de estrato<sup>10</sup> uno y estos son autónomos, es decir que no dependen de otra fuente. Como podemos observar en la Tabla Q1 existen varios tipos de osciladores que cumplen con el factor de estabilidad (17).

**Reloj de subordinado**, este tipo de señal es la que podemos llamar esclavo. Tiene como referencia principal la señal del maestro, su función mas importante es atenuar las fluctuaciones de fase de la señal proveniente y volver a transmitirla al siguiente nodo de la red. En SDH estos relojes pueden funcionar como fuente maestra de sincronización, sin embargo poseen una estabilidad de  $1 \times 10^{-10}$  o menor (17).

Tipo de oscilador	Grado de Estabilidad	Frecuencia de Trabajo	MTBF	Nivel de Estrato
Máser de Hidrógeno	$1 \times 10^{-14}$	1.420.405.752 Hz	4 días	1
Reloj de Cesio	$1 \times 10^{-11}$	9.191.631.770 Hz	5 años	1
Reloj de Rubidio	$1 \times 10^{-10}$	6.834.682.613 Hz	10 años	2
Reloj de Cuarzo	$1 \times 10^{-8}$	Depende de la forma del cristal	20 años	3

**Tabla Q1.** Tipos de osciladores con su respectivo nivel de estrato  
**Fuente:** (17)

---

<sup>10</sup> Estrato o stratum: Clasificación de la temporización organizada en niveles jerárquicos.

## **Estándares de sincronismo**

La ITU-T publicó tres diferentes recomendaciones para la sincronización de los relojes en relación al nivel del estrato que son las siguientes: G.811, G.812 y G.813.

**G.811:** Aquí se incluyen todas las características que deben cumplir los relojes de referencia primaria PRC para la función de sincronizar una red digital (40).

**G.812:** En este estándar encontramos los requisitos que deben cumplir los dispositivos de temporizador subordinados para que entren en funcionamiento como reloj de un nodo en redes sincrónicas. Este tipo de reloj es inferior en cuanto a estabilidad en comparación al estándar G.811, pero sus precios son bajos. Dentro de esta recomendación se enfocan los temporizadores SSU de estrato dos (41).

**G.813:** Describe los requisitos mínimos que debe tener una señal de reloj para las redes SDH. Si la señal maestra se pierde dentro de una red digital, cada nodo debe estar en capacidad de funcionar con un temporizador interno (SEC; *SDH equipment slave clock*) dentro de los límites de calidad de la recomendación (42).

**ANEXO R**  
**PROTOCOLO DE SPANNING TREE RÁPIDO**  
**(RSTP)**



## RSTP

A diferencia del tradicional STP, en el RSTP, definido por el estándar IEEE 802.1w, se mejoró el proceso de sincronización entre los dispositivos de la red, donde se establecen tres tipos de puertos: de frontera (*edge*), raíz (*root*) y punto a punto (*point-to-point*) y también la denominación de los roles de estos puertos que son: raíz (*root*), designado (*designated*), alternativo (*alternative*) y respaldo (*backup*). Además, los estados de los puertos por los cuales deben pasar durante el proceso de convergencia, se redujeron de cinco a solo tres que son los siguientes: descartando (*discarding*), aprendiendo (*learning*) y reenviando (*forwarding*).

Cada conmutador en la red inicia su operación intercambiando diminutas unidades de información llamadas BPDUs, que funcionan a nivel de enlace de datos. Reclamando a sí mismos como puente raíz (*root bridge*), pretendiendo ser aquel que de manera centralizada reciba información acerca de cambios en la topología, e inicie su inmediata propagación con el propósito de lograr una rápida convergencia.

Cada uno de los dispositivos tiene un valor llamado identificador de puente (*bridge ID*), de ocho bytes de longitud que lo identifica de manera unívoca, a menor valor es más deseable. El cual está compuesto de dos campos que son: la prioridad del puente (*bridge priority*) y la dirección MAC, de dos y seis bytes respectivamente. Como sabemos la dirección MAC es un valor único para cada puerto o tarjeta de red.

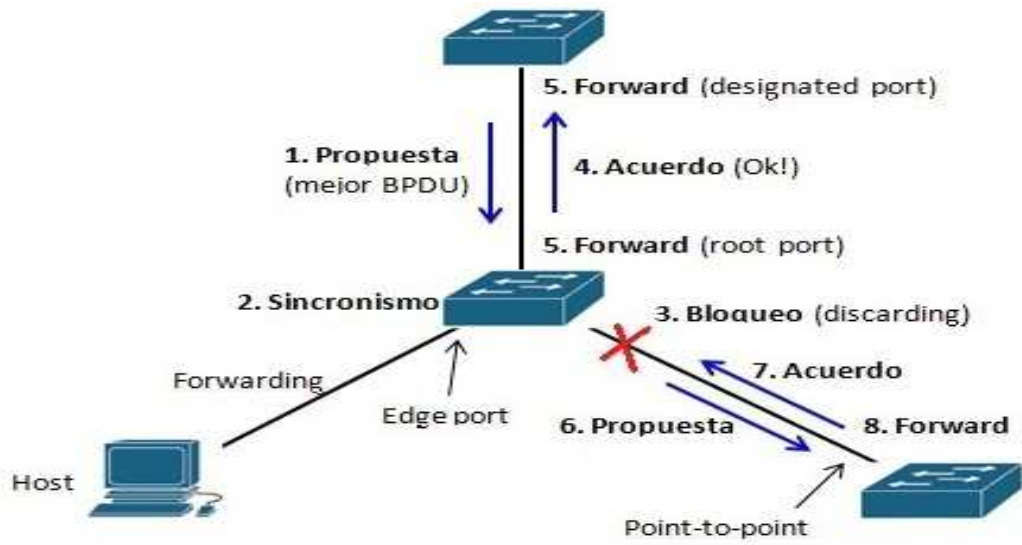
Los fabricantes fijan un valor predeterminado a la prioridad, pero esta es una cantidad que puede ser cambiada para permitir la manipulación por parte de

los administradores de red e influenciar así la topología activa que resultará de la convergencia.

Se recomienda posicionar al puente raíz (*root bridge*) lo más central y alejado posible de los conmutadores de acceso para prevenir que los paquetes viajen por caminos indeseados. En la Figura R1 presentamos la secuencia de eventos que ocurren durante la convergencia con RSTP. Como notamos el puerto de frontera (*edge port*), es decir donde se conectan los usuarios finales (*hosts*). Estos usuarios no supondrían ningún riesgo de formar lazos, por lo que ni siquiera deben poder transmitir BPDUs, ni ser capaces de negociar. Por lo tanto, estos puertos pasan inmediatamente al estado de reenvío (*forwarding*).

Los demás puertos negociarán su condición dependiendo de la topología. Si un conmutador local recibe una mejor propuesta, desde una interfaz deseando ser un puerto designado (*designated port*) por parte de otro conmutador, para que su propio puerto se convierta en puerto raíz (*root port*), este debe sincronizarse a sí mismo con la topología.

Antes de “ponerse de acuerdo” y empezar a transmitir por él, bloquea los demás puertos que no sean de frontera. De esta manera, se asegura que no se formen lazos y entonces se repite este proceso prosiguiendo con el envío de nuevas propuestas hacia sus vecinos (18).



**Figura R1.** Secuencia de eventos durante la convergencia de RSTP  
**Fuente:** (18)

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] **MINIWATTS MARKETING GROUP**, Internet World Stats, <http://www.internetworldstats.com/>, 2011
- [2] **CORPORACIÓN RED INFODESARROLLO**, Aprobación de la CONATEL para el permiso de cable submarino para Ecuador, <http://www.infodesarrollo.ec/>, 2011.
- [3] **DIRECCIÓN NACIONAL DE IMAGEN Y COMUNICACIÓN**, SUPERTEL Sección Estadísticas, <http://www.supertel.gob.ec/>, 2011.
- [4] **PROASETEL**, Estudio de Mercado de Internet, [http://www.proasetel.com/paginas/articulos/mercado\\_internet.htm](http://www.proasetel.com/paginas/articulos/mercado_internet.htm), 2006.
- [5] **FREEMAN, R.** Telecommunication System Engineering, John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- [6] **ARUMUGAM, M.** Optical Fiber Communication, Pramana journal of physics, 2010.
- [7] **TRANSITION NETWORKS INC.** Fiber Optics Basics, <http://www.transition.com/TransitionNetworks/Learning/Whitepaper/Fiber.aspx>, 2006..
- [8] **GRUPO ECA**, Comunicaciones de Fibra óptica, [http://lab.raona.com/uoc/cursos%20UOC/1/ud638/conocimiento3\\_0.html](http://lab.raona.com/uoc/cursos%20UOC/1/ud638/conocimiento3_0.html), 2009
- [9] **MORA, J.** Fundamentos de fibra óptica, [http://conocimientosopticalfibertransmission.blogspot.com/2010\\_02\\_01\\_archive.html](http://conocimientosopticalfibertransmission.blogspot.com/2010_02_01_archive.html), 2010.
- [10] **MILLÁN, R.** La tecnología líder del transporte óptico: SDH, [http://www.ramonmillan.com/tutoriales/sdh\\_parte1.php](http://www.ramonmillan.com/tutoriales/sdh_parte1.php), 2011.
- [11] **MARICONDA, A.** La nuova gerarchia di multiplazione sincrona (SDH), Etal, 1992.
- [12] **CISCO SYSTEMS, INC.** Introduction to DWDM Technology, Cisco press, 2001.

- [13] **OCHOA, F; PEREZ, I; y FARFAN, T.** Jerarquía Digital Síncrona (SDH), <http://www.geocities.ws/feochoa/fase2/t6.html>, 2008.
- [14] **HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.** OptiX OSN 1500 Intelligent Optical Transmission System - Technical Manual, Huawei press, 2004.
- [15] **NTT COMMUNICATIONS**, Global IP network SLA, <http://www.us.ntt.net/support/sla/network.cfm>, 2011.
- [16] **JONES, J.** Integrated Logistics Support Handbook Professional, McGraw–Hill , 2006.
- [17] **RUBIOLA, E.** Phase Noise and Frequency Stability in Oscillators, Cambridge University Press, 2008.
- [18] **HUCABY, D.** CCNP switch 642-813 Official Certification Guide. Cisco Press, 2010.
- [19] **CISCO SYSTEMS, INC.** Basic networking, Cisco press. 2011.
- [20] **RAD DATA COMMUNICATIONS.** Tutorial de Redes TDMoIP, <http://www.bestdatasource.com/rad/Gmux-2000.htm>, 2011.
- [21] **NETWORK WORKING GROUP.** Time Division Multiplexing over IP (TDMoIP), RFC 5087, 2007.
- [22] **ASOCIACION NACIONAL DE OPERADORES DE TURISMO RECEPTIVO DEL ECUADOR**, Información del Ecuador, <http://www.optur.org/>, 2011.
- [23] **CALDERON, P.** Diseño de un sistema de sincronismo redundante para la red de una empresa proveedora de servicios, EPN, 2010.
- [24] **SHENZHEN HOPE TECHNOLOGY HOLDING Co., LTD.** Portal de Venta de Productos de Fibra óptica, <http://es.preformedline.com/products/adss-cable.html>, 2011.
- [25] **CEBALLOS, V.** Cableado de Fibra óptica. <http://www.actiweb.es/myvcomunicaciones/servicios.html>, 2011.
- [26] **HAO, K.** Portal de Venta de Productos de marca TUOFA, Alibaba.com, 2010.

- [27] **CHENGDU HUAJING KELI INDUSTRY Co., LTD.** Catálogo de Productos, <http://www.huajingkeli.com/en/products.aspx?id=184>, 2011.
- [28] **SHENZHEN NETWORKSELLERS COMMUNICATION Co., Ltd.** Directorio de fabricantes y proveedores de ZX 1000BASE-1550, Alibaba.com, 2011.
- [29] **THE SIEMON COMPANY**, Polaridad en Cableados de Fibra Óptica, Siemo, 2011.
- [30] **TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU.** ITU-T Recommendation G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre cable, [http://www.iet.unipi.it/m.luise/HTML/AdT/ITU\\_G652.pdf](http://www.iet.unipi.it/m.luise/HTML/AdT/ITU_G652.pdf), 2000.
- [31] **GROSSMANN, J.** Graphical Network Simulator GNS3. <http://www.gns3.net/>, 2011.
- [32] **BANCO CENTRAL DEL ECUADOR.** Índice de inflación, [http://www.bce.fin.ec/resumen\\_ticker.php?ticker\\_value=inflacion](http://www.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion), 2011.
- [33] **GRUPO TEXTOSCIENTÍFICOS**, Empalmes y conexión de fibras ópticas, <http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/empalmes-conexiones>, 2006.
- [34] **MARTINEZ, B.** Teoría de Fibra óptica, <http://www.schema-electrique.be/accueil-6.php?numlien=34>, 2011.
- [35] **WIKIMEDIA FOUNDATIONS, Inc.** Imágen de Tipos conectores fibra óptica, [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Tipos\\_conectores\\_fibra\\_optica.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Tipos_conectores_fibra_optica.jpg), 2011.
- [36] **GRUPO TEXTOSCIENTÍFICOS**, Emisores y receptores ópticos, <http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/emisores-receptores>, 2006.
- [37] **TERREMARK WORLDWIDE.** NAP of the Americas, <http://www.terremark.com/technology-platform/nap-of-the-americas.aspx>, 2011.
- [38] **HUAWEI TECHNOLOGIES Co., LTD**, OptiX OSN 1500 Intelligent Optical Transmission System - Hardware Description Manual, Huawei press, 2004.

- [39] **TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU**, Optical fibres, Cables and Systems, ITU-T, 2009.
- [40] **TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU**, Recommendation G.811: Timing characteristics of primary reference clocks, ITU-T, 1997.
- [41] **TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU**, Recommendation G.812: Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks, ITU-T 2004.
- [42] **TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU**, Recommendation G.813: Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC), ITU-T, 2003.
- [43] **UBM ELECTRONICS**, The global electronics engineering community, <http://www.eetimes.com/>, 2011.
- [44] **TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU**, Recommendation L.12: Optical fibre splices, ITU-T, 2008.