

# Diseño de una red SDH entre Quito y Tulcán para dar servicios de un STM-1 y proveer a un centro de llamadas en Cuenca de un E1 hacia el NAP de las Américas con tecnologías Metro Ethernet y TDMoIP

Roberto Intriago Núñez-Pavel Castillo Chang--Ing. Héctor Fiallos  
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
[robertointriago@ieee.org](mailto:robertointriago@ieee.org)  
[pavel.castillo@gmail.com](mailto:pavel.castillo@gmail.com)  
[hfiallos@telconet.ec](mailto:hfiallos@telconet.ec)

## Resumen

*El siguiente trabajo inicia demostrando el aumento en la demanda de los servicios de telecomunicaciones debido a las necesidades de comunicación entre los usuarios. Luego 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. Usamos tecnología SDH, Metro Ethernet y TDMoIP para cumplir con los requisitos del diseño. Después podemos ver 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. Por último encontramos el 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 para presentarlos al CEO de una empresa de Telecomunicaciones.*

**Palabras Claves:** SDH, Metro Ethernet, TDMoIP, CEO.

## Abstract

*The following paper begins by showing the increase in demand for telecommunications services due to the communication needs of users. Then we focus on the design of the project by reviewing every detail starting from the minimum requirements, criteria for architecture, protection schemes and assurances necessary for the implementation of each individual node and network elements. We use SDH, Metro Ethernet and TDMoIP technologies to meet design requirements. Then we can see in practice the theoretical concepts subsequently applied to simulate the design for this project using our Huawei equipment in the Telecommunications Laboratory of the School of Electrical and Computing Engineering (FIEC) of ESPOL. Finally found the economic analysis derived from the implementation costs based on prices of various suppliers and potential profits, the results will be used primarily as an argument in the decision making of different conceivable scenarios for presentation to the CEO of a telecommunications company*

**Keywords:** SDH, Metro Ethernet, TDMoIP, CEO

## 1. 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.

## 2. Fundamentos Teóricos

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.

### 2.1. Demanda de ancho de banda

En Ecuador la demanda de ancho de banda creció enormemente a partir de que CONATEL concedió en el año 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 [1]. 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 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 [2].

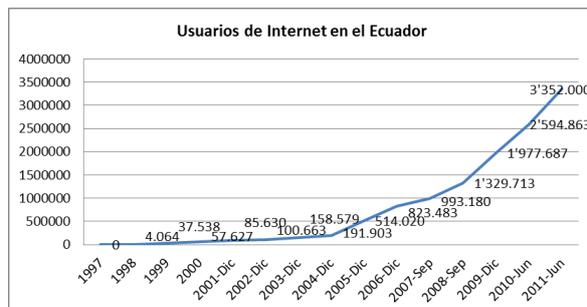


Figura 1. Usuarios de internet en el Ecuador

### 2.2. La Jerarquía Digital Sincrónica (SDH)

SDH fue 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 [3]. Nació sobre los cimientos del antiguo método de transmisión conocido como PCM, el que permitió la multiplexación por división del tiempo, 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 trama básica SDH, llamada 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:  $8000 \times (270 \text{ octetos} \times 9 \text{ filas} \times 8 \text{ bits}) = 155,52 \text{ Mbps}$

Existen varios elementos que poseen diferentes características y funcionalidades para construir una red SDH. Estos elementos son: Regenerador, Multiplexor Terminal (TM; Terminal Multiplexer), Conector Cruzado Digital (DXC; Digital Cross Connect), Multiplexor de Carga y Descarga (ADM; Add/Drop Multiplexer), y Múltiples ADM (MADM).

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.

Generalmente existe un acuerdo del nivel del Servicio (SLA; Service Level Agreement) que 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 [4].

### 2.3. 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).

La Calidad de Servicio (QoS; Quality of Service) es 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) [5].

#### 2.4. Tecnología 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 un 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.

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 renviada 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 [6].

### 3. Diseño de la red de telecomunicaciones

Para realizar un correcto diseño de una red de telecomunicaciones o de datos es necesario individualizar los diferentes tipos de servicios que se ofrece buscando eficiencia y escalabilidad para cubrir las necesidades actuales y futuras, teniendo presente el factor económico.

Los requerimientos de 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, ver Figura 2 para ubicación de las ciudades.



Figura 2. Ubicación geográfica de las ciudades

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.

### 3.1. Arquitectura de la Red Óptica

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.

Para unir los dos anillos, cada uno con diferentes tecnologías, tal como se observa en la Figura 3 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.

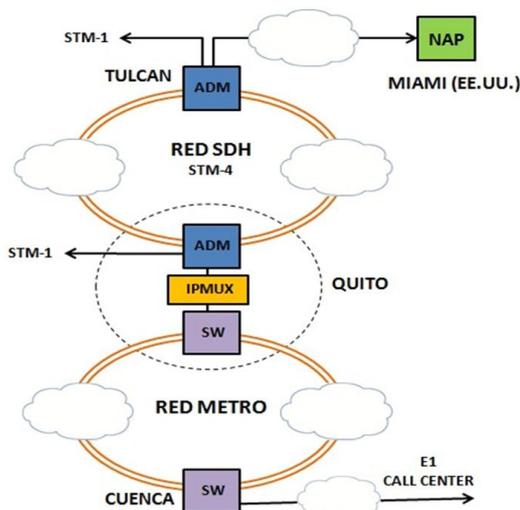


Figura 3. Red de Backbone

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. En la Figura 4 podemos visualizar esta red de acceso.

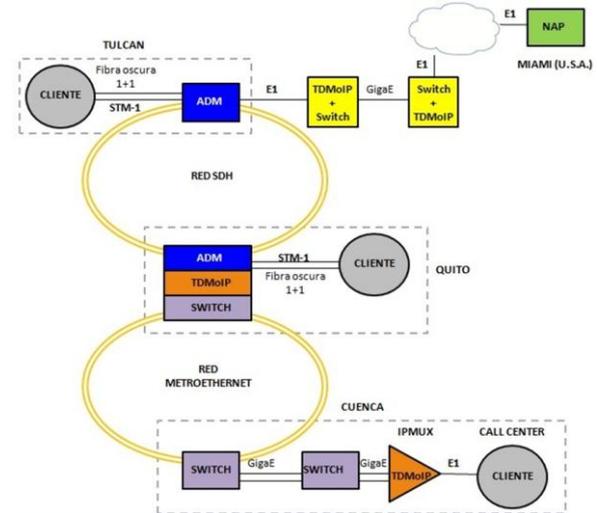


Figura 4. Red de acceso

### 3.2. Análisis del SLA acordado

El requerimiento del proyecto prevé 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.

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

Una red SDH tiene tiempos de convergencia ante menores a 30 ms. 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 [5]. Según empresas locales con licencia de portador, existen índices estadísticos de la cantidad de fallas mensuales a lo largo de redes 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.

### 3.3. Sincronización

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.

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. Acorde con esta norma 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.

### 3.4. Distancias entre nodos

En la Tabla 1 se detallan los niveles de potencia de las tarjetas usadas en los nodos SDH y Metro Ethernet, así mismo en la tabla 2 podemos encontrar los niveles de atenuación de los componentes pasivos de la red.

**Tabla 1.** Niveles de potencia de módulos ópticos

| Tecnología     | Longitud de onda (nm) | Distancia de Transmisión (Km) | Potencia óptica emitida (dBm) | Sensibilidad Recepción (dBm) |
|----------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| SDH            | 1550                  | 80                            | -1                            | -30                          |
| Metro Ethernet | 1550                  | 70                            | 0                             | -23                          |

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

| 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              |

Como podemos observar en la Tabla 1, la distancia máxima entre nodos SDH es de 80 Km. Cabe recalcar que esta distancia es una cantidad teórica. 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. De este modo procedemos con el cálculo del número de empalmes:

$$N_s = \frac{d_{Tx} [Km]}{l_{carrete} [Km]}$$

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

Según las tablas 2 los valores de la atenuación en la fibra es 0,2 dB/Km, los valores de atenuación de los empalmes por fusión es 0,05 dB y de los conectores es 0,5 dB. Realizamos el cálculo de la atenuación total:

$$A_t = a_{fibra} \times d_{Tx} + a_s \times N_s + a_c \times N_c$$

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

$$A_t = 16 dB + 1,05 dB + 1 dB$$

$$A_t = 18,05 dB$$

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

$$P_{Rx} = P_{Tx} - A_t$$

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

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

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  $P_s = -26$  dB. Procedemos con el cálculo del margen:

$$P_M = P_{Rx} - P_s$$

$$P_M = -19,05 dB - (-26 dB)$$

$$P_M = 6,95 dB$$

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

$$d_{max} = d_{Tx} + \frac{P_M}{a_{fibra}} \quad d_{max} = 80 Km + \frac{6,95 dB}{0,2 \frac{dB}{Km}}$$

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

Esta distancia nos indica la longitud máxima que no debemos exceder sin antes regenerar la señal en la red SDH. A continuación podemos ver los mismos cálculos pero para la red Metro Ethernet, tomando en cuenta el nivel de potencia adecuado de la Tabla 1.

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

$$A_t = 14 dB + 0,95 dB + 1 dB = 15,95 dBm$$

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

$$P_M = -15,95 dB - (-19 dB) = 3,05 dB$$

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

Las carreteras que unen las ciudades que intervienen en el proyecto atraviesan pueblos y ciudades más pequeñas, debido a la disposición

geográfica relativamente lineal entre las ciudades a lo largo de la cordillera de los Andes hemos podido individuar con ayuda de Google Maps en internet dos diferentes rutas para cada anillo de la red.

Para las diferentes rutas escogimos las ciudades que se aproximan a los valores de la distancia máxima. Sucesivamente en las Figuras 5 y 6 presentamos los nodos primarios y secundarios para las dos rutas de Quito-Tulcán y Quito-Cuenca respectivamente.

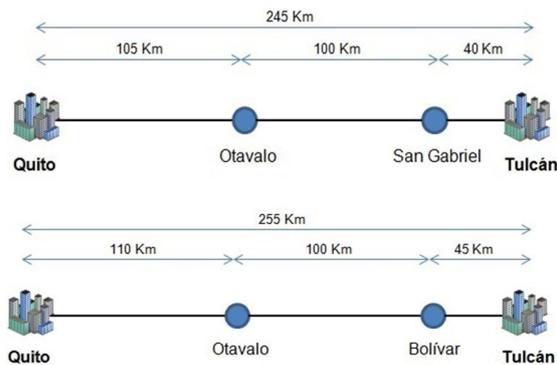


Figura 5. Ruta de nodos SDH

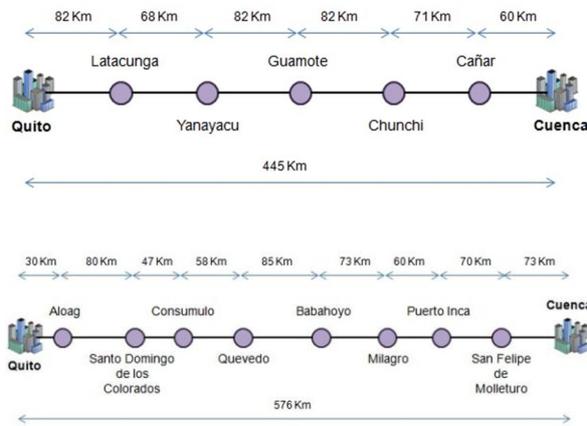


Figura 6. Ruta de nodos Metro Ethernet

Respecto al tendido de fibra, las principales técnicas utilizadas para el despliegue de los cables de fibra óptica son las siguientes: Canalización o zanjado tradicional de canales, Microzanjado y Vía Aérea

El método de tendido por vía aérea es el más económico, como se puede ver en “5. Análisis económico”, 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.

Para el cálculo del número de postes usaremos el valor promedio de los datos que proveyó la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), 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.

### 3.5. Implementación de los elementos de red

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.

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: 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).

### 4. 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.

En la Figura 7 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.

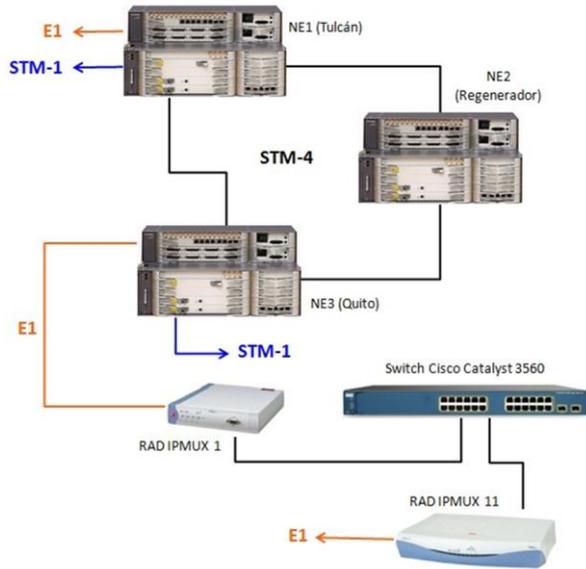


Figura 7. Topología de simulación en laboratorio

#### 4.1. Test de funcionamiento

En las Figuras 8 y 9 podemos ver el resultado de las pruebas mostradas en las pantallas del respectivo equipamiento de comprobación. La Figura 8 enseña el resultado de la señal E1 transmitida desde el nodo Tulcán hasta el IPMUX1 tal como indica la topología de simulación. La Figura 9 muestra que la señal STM-1 que va desde el nodo Quito hasta el nodo Tulcán es transmitida sin error alguno.



Figura 8. Resultado del equipo de medición E1

De la Figura 8 la primera pantalla significa el tiempo que ha corrido el servicio E1, donde nos muestra 66613 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.

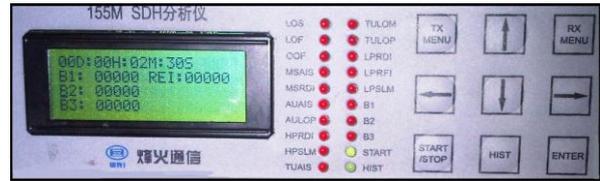


Figura 9. Resultado del equipo de medición STM-1

La Figura 9 representa los resultados obtenidos en la transmisión del STM-1 que fueron exitosos. Los datos que salen en la pantalla 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.

### 5. 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 [7].

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 entre los valores de P/A para el 5% y el 6%. Asumimos que la inversión inicial de los proyectos no fueron realizados a través de préstamos bancarios.

La Tabla 3 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.

Tabla 3. Costos anuales por servicios de terceros

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

En la Tabla 4 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.

**Tabla 4.** Costo del mantenimiento total de la red

| 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        |
| 2  | Mantenimiento de la red Metro Ethernet (por poste) | \$ 9,74         | 11345 | \$ 110.500       |
| <b>Total</b>                               |  |                 |       | <b>\$164.615</b> |

En la Tabla 5 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.

**Tabla 5.** Costo total de la implementación de la red

| Costos de implementación de la red |   |                        |
|------------------------------------|---|------------------------|
| No.                                | Descripción                             | Precio total           |
| 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> |

## 5.1. Escenario 1

Implementación de toda la red que incluye la red SDH y la red Metro Ethernet. En la Tabla 6 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.

**Tabla 6.** Egresos anuales del escenario 1

| 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 7.** Ingresos anuales del 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> |

$$I = \$ 1.171.889,36$$

$$Vo = \$ 4.275.727,50$$

$$VPN = I(P/A; i\%; N) - Vo$$

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

$$VPN = \$ 729.353,37$$

## 5.2. 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 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 \$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.

**Tabla 8.** Egresos anuales del escenario 2

| 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 9.** Ingresos anuales del 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> |

$$I = \$ 599.870,82$$

$$Vo = \$ 1.587.197,50$$

$$VPN = I(P/A; i\%; N) - Vo$$

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

$$VPN = \$ 974.820,77$$

## 5.3. 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.

**Tabla 10.** Ingresos anuales del escenario 3

| 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>                                      |   |                 |       | \$ 290.400,00 |
| Total de ganancias del 15% por los servicios ofrecidos |   |                 |       | \$ 43.560,00  |

$$I = \$ 43.560,00$$

$$V_0 = \$ 24.200,00$$

$$VPN = I(P/A; i\%; N) - V_0$$

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

$$VPN = \$ 161.842,58$$

## 6. Conclusiones

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.

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.

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.

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 la sección 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.

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.

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.

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.

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.

De los 3 escenarios propuestos en “5. Análisis económico” la opción económicamente más viable se revela 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 ya que el valor presente neto de dicho escenario es más alto en comparación con los otros dos.

## 7. Referencias

[1] Corporación Red Infodesarrollo, “Aprobación de la CONATEL para el permiso de cable submarino

- para Ecuador”, <http://www.infodesarrollo.ec/> , 2011.
- [2] Dirección Nacional de Imagen y Comunicación, “SUPERTEL Sección Estadísticas”, <http://www.supertel.gob.ec/> , 2011.
- [3] Mariconda, A. “La nuova gerarchia di multiplazione sincrona (SDH)”, Etal, 1992.
- [4] NTT Communications, “Global IP network SLA”, <http://www.us.ntt.net/support/sla/network.cfm> , 2011.
- [5] Hucaby, D. “CCNP switch 642-813 Official Certification Guide”. Cisco Press, 2010.
- [6] Network Working Group. “Time Division Multiplexing over IP (TDMoIP)”, RFC 5087, 2007.
- [7] Banco Central Del Ecuador. “Indice 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.