

El presente paper se basa en la tesina de seminario titulada “Análisis y Diseño de Redes SDH entre las ciudades de Loja y Guayaquil de 5 STM-1 y una Metro Ethernet con Tecnología TDMoIP para brindar 25 E1 en la ciudad de Loja”, en la cual se da un análisis técnico para el diseño de una red SDH y evaluar el mejor servicio que garantice un retorno de inversión para una empresa proveedora de servicios de Telecomunicaciones.

## **ANÁLISIS Y DISEÑO DE REDES SDH ENTRE LAS CIUDADES DE LOJA Y GUAYAQUIL DE 5 STM-1 Y UNA METRO ETHERNET CON TECNOLOGIA TDMoIP PARA BRINDAR 25 E1 EN LA CIUDAD DE LOJA**

Edinson Márquez – Arturo León - 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  
edinson.marquez@chocomeleria.com  
arturex79@hotmail.com  
hfiallos@telconet.net

### **Resumen**

*El proyecto consiste en diseñar una red SDH con un uplink o interfaces agregadas STM-16 con dos fibras ópticas, Tx y Rx, con protección tipo anillo para una empresa de portadores de servicios de Telecomunicaciones. Los nodos SDH deberán tener como puntos principales las ciudades de Guayaquil y Loja. Se debe de proveer 5 STM-1 como servicio o puerto tributario entre ambas ciudades para una compañía de Telefonía Fija del país. En cada una de estas ciudades existe dos tipos de de redes la una es una red Gigabit Ethernet y una red de una fibra óptica oscura. Se debe diseñar un circuito clear channel 25 E1 con tecnología TDM pura y con TDMoIP entre la ciudad de Loja hacia el NAP de las Américas hasta el Meet me Room o MMR, cuya salida internacional hacia un cable de fibra submarino es por Punta Carnero, para brindar servicio a un Call Center de la ciudad de Loja. Se detallan los precios de los rubros para implementar la red y se calcula el retorno de inversión tomando en cuenta el costo de alquiler de E1s dedicados. De la misma manera se hizo una simulación del Diseño con equipos del Laboratorio de Telecomunicaciones de la ESPOL utilizando dispositivos de tecnología SDH con tarjetas agregadas STM-4.*

**Palabras Claves:** Red SDH, Fibra Óptica, STM-16, STM-1, E1, Gigabit Ethernet, clear channel, TDMoIP, NAP.

### **Abstract**

*The project is to design a network with SDH aggregate uplink or STM -16 interfaces with two optical fibers, Tx and Rx, with ring protection for a business of carrying Telecommunications Services. The SDH nodes must have as main points the cities of Guayaquil and Loja. It must provide 5 STM- 1 as service or tributary port between the two cities for a fixed telephony company in the country. In each of these cities there are two types of networks is a one Gigabit Ethernet network and a dark optical fiber. Should design a clear channel circuit 25 E1 pure TDM technology with TDMoIP between the city of Loja to the NAP of the Americas to Meet me Room or MMR, whose departure to international submarine fiber cable is Punta Carnero , for provide service to a call center in the city of Loja. Prices of the items are listed for implementing the network and the return on investment is calculated by taking into account the cost of renting dedicated E1s. In the same way a simulation of the design teams took ESPOL Telecommunication Laboratory using SDH technology devices aggregate STM-4 cards.*

**Keywords:** SDH Network, Optical Fiber, STM-16, STM-1, E1, Gigabit Ethernet, clear channel, TDMoIP, NAP.

## 1. Introducción

La creciente demanda de los servicios multimedia y la necesidad de estar continuamente conectados a las diferentes fuentes de información cada vez con mayor velocidad y disponibilidad, hacen que las tecnologías de comunicación evolucionen rápidamente. En este avance nos encontramos con tecnologías como Metro Ethernet y SDH que a pesar de ser de naturalezas diferentes son complementarias. El esfuerzo económico al que se enfrentan los portadores por la mejora y actualización de los servicios que prestan en su red, no siempre va de la mano con la visión de cambio o el presupuesto de las compañías, que son las encargadas de consumir estos servicios, por lo que estas tecnologías deben estar en la capacidad de poder transportar servicios tradicionales, tal es el caso de los servicios TDM.

## 2. Fundamentos Teóricos

### 2.1. Tecnología Síncrona

Es llamada tecnología síncrona aquella que se utiliza para que dos o más dispositivos estén alineados en el tiempo.

### 2.2. Tecnología Asíncrona

Es aquella tecnología en la cual los dos o más dispositivos que se encuentran en grupo no necesitan de alineación en el tiempo.

### 2.3 SDH

Es una tecnología que se basa en técnicas TDM permitiendo combinar varias señales digitales en una señal de velocidad superior, estas señales digitales son denominadas jerarquías.

En SDH se definen interfaces denominadas Módulos de Transporte Síncrono o STM-N; las cuales van en orden jerárquico desde una señal de 155 Mbps o STM-1 siguiendo las demás señales con múltiplos de 155 en una secuencia de nx4.

### 2.4. Sincronización en redes SDH

Para que no haya fallas en la red SDH se debe de distribuir una señal de reloj de referencia primaria (ITU-T G.811), esta señal debe de tener un desvío de frecuencia máximo de  $\pm 10^{-11}$  con respecto a la norma horaria mundial. La señal primaria se distribuye a los relojes esclavos a los sistemas SDH

(ITU-T G.812); y además se tiene los propios relojes locales de los dispositivos SDH (ITU-T G.813).

### 2.5. Métodos de Protección

Existen varios métodos de protección que se utilizan actualmente en las redes SDH, a continuación se describen ciertos métodos.

### 2.6. APS (Automatic Protection Switching)

La forma más simple de mecanismo de protección es APS, en caso de que un elemento o un link de la red fallen, APS reserva un canal de protección con la misma capacidad del canal protegido.

La conmutación del canal tiene tiempos de recuperación de 50 mseg.

### 2.7. MSP (Multiplex Section Protection)

Esta protección se aplica a un link entre dos nodos adyacentes y tiene varias variantes entre las que podemos citar las siguientes:

**2.7.1. Protección 1:1.** Cada link es protegido por otro link, si algo falla en el link protegido el tráfico conmuta inmediatamente al link de protección; si no hay necesidad de tener protección se puede utilizar este link para enviar tráfico extra; en el modo revertive una vez que se recupera el link principal luego de un fallo el tráfico vuelve a pasar por dicho link.

**2.7.2. Protección 1:N.** En este esquema se tiene varios links protegidos por un solo link de backup.

**2.7.3. Protección 1+1 MSP.** Se usan los links en forma simultánea, si el extremo de recepción detecta algún fallo en el link entonces realiza el proceso de conmutación hacia la protección.

### 2.8. Protección de Anillos

La protección de anillos se utiliza más habitualmente en equipos ADM con dos puertos agregados, se realiza sencillas decisiones de encaminamiento, existe un camino alternativo para protección; entre las técnicas más conocidas tenemos:

**2.8.1. MS-SP Ring (Multiple Section – Shared Protection Ring).** Con este mecanismo de protección tipo anillo se emplea la mitad de la capacidad en cada sentido del anillo (en orden de las manecillas del reloj y contrario a las manecillas del reloj), cuando dos

nodos adyacentes detectan el falla el tráfico es devuelto en el otro sentido del anillo; el máximo número de nodos que soporta es de 16.

**2.8.2. MS-DP Ring (Multiple Section – Dedicated Protection Ring).** Con este tipo de protección en una conexión bidireccional se emplea una ruta distinta siguiendo el sentido del anillo; el sentido contrario es el backup del link; como desventaja se tiene que se consume todo el ancho de banda disponible del anillo; así mismo como en el caso anterior el máximo número de nodos que soporta es de 16.

**2.8.3. SNCP Ring (Subnetwork Connection Protection Ring).** Con este esquema cada conexión unidireccional del anillo emplea los dos caminos del anillo (es un 1+1); además como otra ventaja se tiene que no hay la limitación de los 16 nodos.

## 2.9. Metro Ethernet

Esta tecnología nació bajo la necesidad de hallar un mecanismo que simplifique los diseños de redes a un bajo costo, de instalación simple, compatible con varios medios (coaxial, par trenzado, fibra).

Los dispositivos que trabajan en Ethernet no hacen uso de un dispositivo de control, los dispositivos Ethernet se encuentran conectados entre sí mediante un canal de comunicaciones de señales compartidas, el acceso a este canal es determinado por la subcapa MAC, todo este proceso de control es conocido como CSMA/CS.

A menudo se utiliza MPLS a través de una red Ethernet, donde los paquetes Ethernet enviados por los dispositivos que se encuentran en el cliente son empaquetados en la red MPLS.

Con MPLS se puede ofrecer varios servicios a nivel de capa 2 y capa 3 entre ellos tenemos:

**2.9.1. VLL (Virtual Leased Line).** Donde se provee un servicio de capa 2 punto a punto.

**2.9.2. VPLS (Virtual Private Lan Service).** Donde se provee de igual manera un servicio capa 2 pero esta vez la conectividad es multipunto-multipunto, donde se emula a toda la red Ethernet como un switch de capa 2.

**2.9.3. VRF (Virtual Routing and Forwarding).** Donde se provee múltiples instancias de tablas de enrutamiento que pueden coexistir en un mismo router al mismo tiempo; como cada tabla de enrutamiento es independiente entonces puede ser

usado el overlapping de direccionamiento IP entre diferentes instancias de VRF.

## 2.10. TDMoIP

TDM sobre IP implica la emulación de circuitos TDM sobre una infraestructura IP; fue desarrollado para afrontar las deficiencias de VoIP, por la falta de protocolos de señalización.

Esta emulación soporta circuitos virtuales que pueden funcionar con el equipamiento y los servicios TDM existentes sin hacer algún cambio en los protocolos de señalización o su funcionalidad.

TDMoIP opera segmentando, adaptando y encapsulando el tráfico TDM al ingreso de la PSN y realizando la operación inversa en el egreso de la PSN; la adaptación denota mecanismos que modifican el payload para habilitar su propia restauración en el egreso de la PSN.

El formato general de los paquetes TDMoIP es como se muestra en la figura 1.

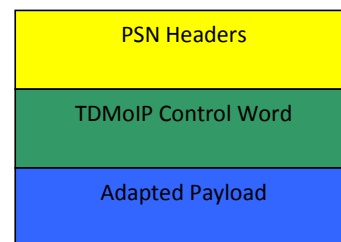


Figura 1. Formato general de los paquetes TDMoIP

Los encabezados específicos PSN son los de UDP/IP, L2TPv3/IP, MPLS o Ethernet capa 2; estos encabezados contienen toda la información necesaria para realizar el forwarding de paquetes.

Dentro de las variantes en esta tecnología TDMoIP tenemos TDMoIP CE (Circuit Emulation) y TDMoIP CV (Compressed Voice).

## 2.11. TDMoIP Circuit Emulation (CE)

Es la mejor tecnología en entornos donde el ancho de banda no es una limitante, por ejemplo en las conexiones Fast y Giga Ethernet de los enlaces WAN de un campus. Para asegurarse que el circuito TDM esté libre de errores se requiere que la red transporte a un stream constante con paquetes en alta-prioridad obligando así a una estricta calidad de servicio (QoS). El TDMoIP CE se utiliza a menudo cuando se requiere baja latencia, alta calidad de voz, video o

datos sobre una red IP. La sincronización del clock es mantenida haciendo posible extender circuitos TDM sincrónicos sobre una red Ethernet asincrónica.

## **2.12. TDMoIP Compressed Voice (CV)**

A diferencia del anterior ésta tecnología es implementada donde el ancho de banda de la red es limitado realizando una compresión de voz (en bajada cerca de 4Kbps/canal). Por este motivo es ampliamente implementado en tecnologías wireless, cable MODEM, xDSL, o por la red Internet.

TDMoIP CV trabaja procesando el estándar PCM de la voz y señalizando los canales en paquetes que son enviados a la unidad de multiplexación, ésta unidad agrega un número de paquetes en un frame. Cuando el frame alcanza su máximo tamaño un encabezado TDMoIP es añadido en orden para completar la estructura del paquete TDMoIP.

Esta tecnología tiene más capacidad de adaptación a las pérdidas de paquetes ya que cada frame consiste de un contenido distribuido de múltiples canales, por lo cual el efecto en canales individuales es minimizado; luego los paquetes son enviados sobre la red IP/MPLS y en el sitio destino los canales originales de voz y señalización son reconstruidos.

## **2.13. Sincronización en redes TDMoIP**

Las redes TDM nativas están basadas en la distribución jerárquica del timing. En un lugar de la red se tiene un reloj primario con una precisión de stratum1, este sirve de reloj de referencia para los nodos secundarios que tienen una precisión de stratum2, estos nodos secundarios a su vez sirven de referencia para los nodos con referencia stratum3; ésta jerarquía es esencial para un buen funcionamiento de la red.

Los paquetes en la red PSN llegan a su destino con un retraso que tiene un componente en la red, esto es conocido como Variación de Retardo de Paquetes (Packet Delay Variation PDV). Esto se puede arreglar mediante el uso de un buffer de datos que pueden ser leídos a una velocidad constante en el lado de los equipos TDM destinos ya cuando se entrega al usuario final.

Como alternativa se trata de recuperar el reloj basado exclusivamente en el tráfico TDMoIP, esta tecnología es denominada “adaptive clock recovery”. Esto es posible cuando el dispositivo TDM origen produce un flujo de bits constante determinado por su

reloj, mientras que el PDV oculta esta tasa hasta que llega al dispositivo TDM final.

## **2.14. Pérdida de Paquetes**

En las aplicaciones de voz la pérdida de paquetes causa errores que resultan en llamadas entrecortadas o que no se pueden entender; ya que los paquetes TDMoIP son pequeños es aceptable simplemente insertar un valor constante; suponiendo que la señal de entrada es de media cero una distorsión mínima se alcanza cuando esta constante se pone a cero.

Una alta calidad en las aplicaciones de voz se mantiene cuando se tiene un 5% o menos en pérdida de paquetes.

## **3. Objetivo del Proyecto**

El proyecto se desarrolla en su primera parte para cubrir la necesidad que se tiene de interconectar dos redes Metro Ethernet ubicadas una en la ciudad de Guayaquil y la otra en la ciudad de Loja por medio de una infraestructura de red SDH que hay que diseñar.

La otra mitad del problema propone brindar servicios TDM en la localidad de Loja para lo cual se tiene una red de fibra óptica oscura y la infraestructura de red Metro Ethernet, el desarrollo del proyecto finalmente dará como resultado en este punto la elección de la tecnología TDMoIP para ser implementada sobre la infraestructura de red IP existente. El destino de este tráfico TDM originado en Loja es llegar al NAP de las Américas para recibir los servicios de canales de voz internacionales.

El diseño del proyecto tendrá como resultado el poder brindar el servicio de 5 STM1, a la compañía telefónica que desea contratar los servicios del Portador entre las ciudades de Loja y Guayaquil, por medio de dos interfaces Giga Ethernet en cada localidad.

Las dos interfaces serán usadas para brindar protección 1+1 a los 5 STM1 de capacidad contratada, para lo cual se tenderán dos últimas millas por cada ciudad hacia el cliente. Se entrega en interface Giga Ethernet debido a que el cliente de telefonía posee una red IP-RAN MPLS lista para brindar servicios de comunicación de cuarta generación.

Se proveerá el servicio de 25 E1 a un Call Center en Loja. Este circuito es creado desde esta localidad hacia el NAP de las Américas. Entre el nodo

principal del Portador ubicado en Loja y el NAP de las Américas se usa una tecnología síncrona.

### 3.1. Análisis de Soluciones Existentes en el Mercado

Para la primera parte del desarrollo de nuestro problema analizaremos una única tecnología que será bajo la cual se hará el diseño de interconexión de redes a larga distancia.

Para respaldar el uso de esta tecnología mencionaremos que en el mercado ecuatoriano, existen dos de los más grandes proveedores de servicios los cuales son Conecel y Telconet, que interconectan sus redes MAN desplegadas en las distintas ciudades por medio de tecnología SDH.

Para la segunda parte del desarrollo de nuestro problema analizaremos dos tecnologías, TDM y TDMoIP y mencionaremos los beneficios de implementar cada una. También se tomará en consideración lo que ya está implementado en la red para tener un criterio de elección más completo.

### 3.2. Interconexión de Redes Metro

La tecnología con mayor presencia en el mundo y de la cual se derivan las mejoras hechas para las nuevas tecnologías ópticas, es la Jerarquía Digital Síncrona (SDH por sus siglas en inglés), que ha normalizado a la actualidad una tasa máxima de transferencia de 40 Gbit/s es decir un STM-256, aunque la siguiente velocidad de 160 GB/s STM-1024 está disponible no se ha normalizado todavía, debido al alto coste de los transceptores de alta velocidad, al ser más baratos los multiplex de longitudes de onda a 10 y 40 Gbit/s.

La tecnología SDH nos permitirá conectar las dos redes Metro Ethernet desplegadas una en la ciudad de Loja y la otra en la ciudad de Guayaquil que aún están aisladas la una de la otra, la capacidad de los puertos agregados utilizados en esta red es de 1STM-16 esto es aproximadamente 2,5 Gbit/s

### 3.3. Prestación de Servicios TDM

El uso de tecnologías TDM están aun presentes en los mercados de Telecomunicaciones, por ejemplo las empresas de telefonía celular aun basan el acceso a los servicios que ofrecen desde sus nodos en la asignación de los recursos de RF por un periodo de tiempo definido para un canal compartido en muchas ocasiones hasta por 8 usuarios, esta es una forma de

la aplicación de la tecnología TDM. Otro ejemplo muy común es el uso de capacidad para los circuitos de voz en interfaces TDM ya que las centrales PBX TDM no han sido aun migradas a centrales IP, porque los servicios TDM aun están presentes en la red de los Portadores

### 3.4. Tecnología TDM convencional

Un factor muy importante en los servicios TDM es la sincronización entre la fuente y el destino, ya que el acceso a los recursos se basa en el instante del acceso y la duración del tiempo de uso del canal, una incorrecta referencia de tiempo entre el receptor y el transmisor, puede producir la degradación total del sistema.

Adicionalmente, las redes TDM convencionales tienen numerosas características especiales, en particular aquellas requeridas para portar un correcto grado de voz en canales de telefonía. Estas características implican sistemas de señalización que soporten un amplio rango de características de telefonía, una rica literatura de estandarización, un muy desarrollado mecanismo de operación y mantenimiento.

### 3.5. Tecnología TDMoIP

La tecnología TDMoIP que hace posible la emulación de los circuitos TDM sobre redes basadas en el protocolo IP tales como Metro Ethernet o MPLS hace posible que sobre una misma infraestructura de red se pueda brindar servicios Ethernet y TDM.

Un reto visible al que se enfrenta esta tecnología es la recuperación del reloj, en redes nativas TDM la capa física porta con gran precisión la información de temporización junto con la TDM data, pero cuando emulamos TDM sobre PSN la sincronización está ausente. Los estándares de temporización TDM pueden ser exigentes, y de conformidad con estas pueden requerir mecanismos innovadores para reproducir de forma adaptativa la temporización en TDM.

Otra cuestión que debe abordarse es el ocultamiento de la pérdida de paquetes TDMoIP (PLC por sus siglas en inglés). Puesto que los datos TDM se entregan a un ritmo constante a lo largo de un canal exclusivo, el servicio nativo puede tener errores de bit, pero la información nunca se pierde durante el transporte. Todos los PSN sufren en algún grado de pérdida de paquetes, y esto debe ser compensado cuando se entrega TDM sobre una PSN.

### 3.6. Análisis de TDM vs TDMoIP

Los hechos han demostrado que la tendencia en las tecnologías de telecomunicaciones y datos es transportar todos los servicios sobre una única infraestructura de red, capaz de poder mover la información de varios orígenes a sus destinos.

Antiguamente con mayor presencia y aun en la actualidad se ve el caso de proveedores de servicios que mantienen una doble infraestructura de red para brindar sus productos, el uso depende del requerimiento del cliente, si el cliente desea usar líneas alquiladas para servicios TDM o clear channel, lo ofrecen a través de su red Frame Relay a velocidades múltiples de 64Kb sobre interfaces G703 o V35 y si por otro lado el cliente desea contratar el servicio únicamente de datos lo pueden hacer a través de una interface Ethernet por medio de su red Metro Ethernet.

Esto obliga a duplicar el gasto de Operación sobre la red en la compañía, capacitar a los operadores sobre el manejo de las dos redes o hacer dos grupos de operadores, uno por cada red.

A continuación el comentario de Pablo Stein, Account Manager para el Cono Sur de RAD Data Communications, "Mediante dichas soluciones los operadores tienen la posibilidad de ampliar su portafolio de servicios a una oferta multi-servicio real a través de redes IP/MPLS", quien además agregó lo siguiente: "la utilización de tecnología Pseudowire no requiere actualizaciones en el equipo del cliente (preservando así su inversión), ni capacitación extra para el personal.

Eduardo Moreira, gerente de Ingeniería de Backbone de IPLAN comenta lo siguiente: "utilizar nuestra red de dispersión de cobre con tecnologías TDM tradicionales implicaba un cambio de paradigma tecnológico en nuestra red y la implementación de tecnologías legacy TDM desconocidas para IPLAN". "La tecnología Pseudowire TDMoIP provista por RAD, se adaptaba perfectamente a nuestra topología de red de Cobre e implementaba las funcionalidades requeridas por el cliente, aprovechando las características de red existentes; formando una combinación ideal para permitir un despliegue rápido y sencillo de los servicios, con un mínimo impacto en la operación, administración y mantenimiento de la red y en las necesidades de capacitación de nuestro personal".

Desde el punto de vista económico, que en muchos casos es el factor que determina o no la

realización de un proyecto, no tiene sentido invertir en tecnologías legacy TDM por lo que una mejor propuesta es el uso de TDMoIP, que será sobre la cual se basará el diseño del servicio TDM, en este proyecto.

### 4. Diseño del Proyecto

La primera parte del diseño se enfocará en la interconexión de las dos redes Metro Ethernet ubicadas una en Guayaquil y la otra en Loja (figuras 2 y 3) mediante una red SDH.

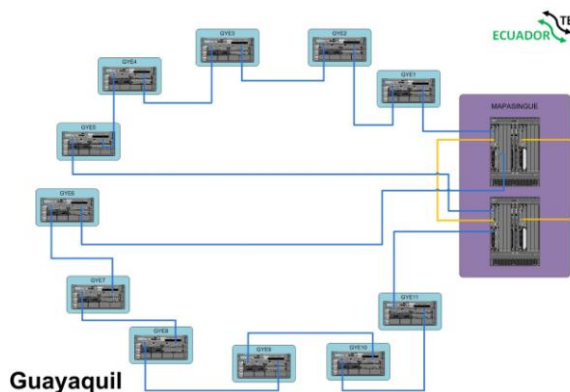


Figura 2. Esquema actual de la red IP/MPLS desplegada en Guayaquil

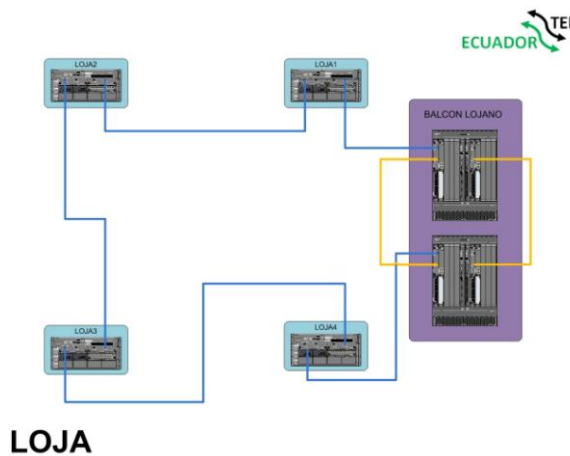


Figura 3. Esquema actual de la red IP/MPLS desplegada en Loja

La segunda parte, enfoca la prestación de los servicios de E1s y 5 STM-1 en ambas ciudades, tal como lo enuncia el problema.

#### 4.1. Interconexión de Redes Metro Ethernet

En la actualidad poseemos el despliegue de dos redes Metro Ethernet, una por localidad, las cuales serán enlazadas por medio de tecnología SDH. A pesar de que el proyecto está enmarcado en proveer servicios entre las ciudades de Loja, Guayaquil y el MMR, encontramos que entre estas ciudades hay zonas de potencial consumo de servicios de comunicaciones, por lo que se hace atractivo el montar infraestructura propia, para tener una red que pueda atender estos servicios.

En el trayecto por carretera entre Loja y Guayaquil, tenemos ciudades como Cuenca, Machala, Naranjal y Milagro que hacen parte de este mercado potencial, en base a este antecedente se opta en el proyecto por hacer el diseño de la red versus la posibilidad del alquiler de la misma, haciendo una estimación promedio del costo por la capacidad de 1 E1 en \$400,00 al mes, y la venta del 60% de la capacidad planteada en el proyecto, nos daría la cifra de \$241.920,00 mensuales, cifra que anima a realizar una inversión de este tipo.

Se diseñará una red SDH con topología en anillo; la ubicación de los nodos principales en las dos ciudades de interés donde estarán los equipos SDH son el cerro Mapasingue en Guayaquil y el Balcón Lojano en Loja.

#### 4.2. Diseño macro de la solución

El diagrama del diseño en macro se muestra en la figura 4.

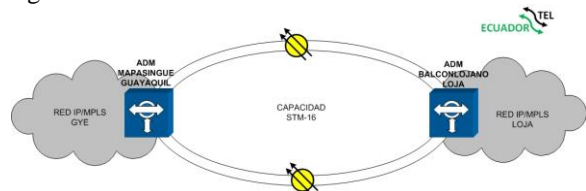


Figura 4. Esquema simplificado de la conexión SDH Loja - Guayaquil.

El objetivo del diseño es llegar a cumplir lo que se muestra en el diagrama de la figura 4, sabemos que debido a la distancia entre ambas ciudades dos equipos no bastan para interconectarla, la distancia aproximada entre ambas ciudades es de 400 Km, aunque esto depende de la ruta seleccionada.

La fibra óptica seleccionada para el tendido del anillo es la ITU-T G.652 por tener pérdidas y brindar velocidades acorde a las necesidades del proyecto, además de su bajo costo.

Para completar el tramo costa sur desde GYE hasta Loja se han escogido las localidades que se muestran en la figura 5 para la colocación de los nodos SDH.



Figura 5. Distancias localidades tramo Costa Sur

Para cubrir distancias cercanas o mayores a 100 Km se usará un optical booster amplifier BA que tiene alcance de hasta 120 o 130 Km para la fibra óptica seleccionada.

Para completar el tramo sierra centro desde Loja hasta GYE se han escogido las localidades que se muestran en la figura 6 para la colocación de los nodos SDH



Figura 6. Distancias localidades tramo Sierra Centro

Para cubrir distancias cercanas o mayores a 100 Km se usará un optical booster amplifier BA que tiene alcance de hasta 120 o 130 Km para la fibra óptica seleccionada.

#### 4.5. Diseño del Anillo Completo

Se requiere un total de 9 ADM's para construir un anillo SDH y tender 851 Km de fibra para interconectarlos.

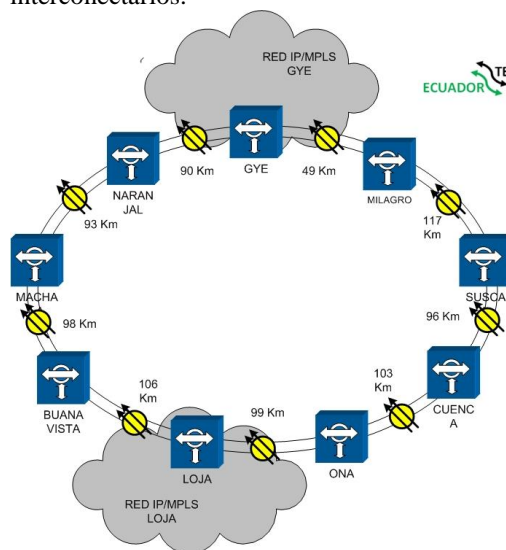


Figura 7. Resumen de sitios escogidos



#### 4.6. Presupuesto de enlace

El presupuesto de enlace se lo realiza en base a la siguiente fórmula:

$$at = L \cdot aL + ne \cdot ae + nc \cdot ac + ar \cdot L$$

L = longitud del cable en Km.

aL = coeficiente de atenuación en dB/Km

ne = número de empalmes

ae = atenuación por empalme

nc = número de conectores

ac = atenuación por conector

ar = reserva de atenuación en dB/Km

$$Pm = Pt - Pu$$

Pm = Margen de potencia

Pt = Potencia de transmisión

Pu = Potencia de umbral

$$Me = Pm - At$$

Me = Margen del enlace

At = Atenuación

Luego de aplicada la fórmula del presupuesto de enlace, obtenemos los valores mostrados en la tabla 1.

**Tabla 1.** Resumen de cálculos ópticos para el anillo SDH GYE-Loja

Segmento	Distancia Km	Número de empalmes para bobinas de 4 Km	Pérdidas por empalmes	Coefficiente de atenuación dB/Km	Pérdida por conector dB	Reserva de atenuación dB/Km	Atenuación sin reserva	Atenuación total
1 GYE/Naranjal	89,825	23	0,1	0,23	0,5	0,1	23,96	32,94
2 Naranjal/Machala	92,217	24	0,1	0,23	0,5	0,1	24,61	33,83
3 Machala/Buena Vista	97,68	25	0,1	0,23	0,5	0,1	25,97	35,73
4 Buena Vista/Loja	105,975	27	0,1	0,23	0,5	0,1	28,07	38,67
5 Loja/Ona	98,473	25	0,1	0,23	0,5	0,1	26,15	36,00
6 Ona/Cuenca	102,701	26	0,1	0,23	0,5	0,1	27,22	37,49
7 Cuenca/Suscal	95,532	24	0,1	0,23	0,5	0,1	25,37	34,93
8 Suscal/Milagro	116,382	30	0,1	0,23	0,5	0,1	30,77	42,41
9 Milagro/GYE	48,851	13	0,1	0,23	0,5	0,1	13,54	18,42

#### 4.7. Selección de módulos ópticos

La selección de los módulos ópticos apropiados para cada tramo la haremos en base a la información obtenida de los cálculos de los presupuestos de enlace hechos resumidos en la tabla 1; la tabla de parámetros de desempeños ópticos y la tabla de parámetros técnicos de las BA2 se muestran a continuación.

**Tabla 2.** Parámetros de desempeño de los módulos ópticos

2. Optical Module and Parameter Requirement  
Table A-4 shows the types and parameters of the optical modules provided by SDH boards.

Table A-4 Types and parameters of optical modules provided by SDH boards

Transmission rate	Corresponding level	Wavelength (nm)	Transmission distance (km)	Launched optical power (dBm)	Receiver sensitivity (dBm)
STM-1	I-1	1310	0-2	-15 to -8	-31
	S-1.1	1310	2-15	-15 to -8	-31
	L-1.1	1310	15-40	-5 to 0	-34
	L-1.2	1550	40-80	-5 to 0	-34
	Ve-1.2	1550	80-100	-3 to 2	-34
STM-4	I-4	1310	0-2	-15 to -8	-31
	S-4.1	1310	2-15	-15 to -8	-31
	L-4.1	1310	15-40	-3 to 2	-30
	L-4.2	1550	40-80	-3 to 2	-30
	Ve-4.2	1550	80-100	-3 to 2	-33
STM-16	I-16	1310	0-2	-10 to -3	-21
	S-16.1	1310	2-15	-5 to 0	-21
	L-16.1	1310	15-40	-2 to 3	-30
	L-16.2	1550	40-80	-2 to 3	-30
	U-16.2Je (Note)	1550	100-140	5 to 7	-31.5
STM-16	L-16.2Je	1550	80-100	5 to 7	-31.5
	V-16.2Je (Note)	1550	100-140	5 to 7	-31.5
	U-16.2Je (Note)	1550, 12	140-170	5 to 7	-38

Note: Provide V-16.2Je with BA, provide U-16.2Je with BA and PA.

**Tabla 3.** Parámetros técnicos de la BA2 y BPA

Parameter	Description	
	BA2	BPA
Rate	2488320 kbit/s	9953280 kbit/s
Processing capability	2-channel power amplification	1-channel power amplification and 1-channel pre-amplification
Line code pattern	NRZ	
Connector	LC	
Dimensions (mm)	262.05x220x25.4	
Weight (kg)	1.01	1.01
Power consumption (W)	20	
Working wavelength range (nm)	BA: 1530 - 1565	BA: 1530 - 1565 PA 1550.12
Single channel input power range (dBm)	BA: -6 to +3	BA: -6 to +3 PA: -10 to -38
Total output (dBm)	BA: +14 or +17	BA: +14 or +17
Receiver sensitivity (dBm)	PA: -38	
Noise figure (dB)	BA: < 6.5	BA: < 6.5, PA: < 6
type of optical interface	V-16.2, U-16.2, L-64.2, V-64.2, U-64.2	V-16.2, U-16.2, L-64.2, V-64.2, U-64.2
Long-term operating condition	Temperature: 0°C to 45°C Humidity: 10% - 90%	
Short-term operating condition	Temperature: 5°C to 50°C Humidity: 5% - 95%	
Environment for storage	Temperature: -40°C to 70°C Humidity: 10% - 100%	
Environment for transportation	Temperature: -40°C to 70°C Humidity: 10% - 100%	

Con estos parámetros se obtiene la tabla 4 que nos indica la selección de los módulos ópticos.



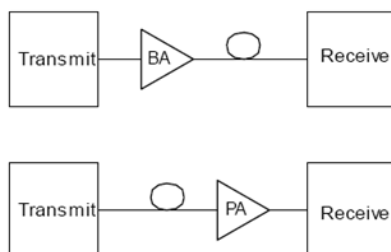
**Tabla 4.** Selección de módulos ópticos por segmento

Segmento	Distancia Km	Atenuación total	Nivel correspondiente de módulos ópticos
1 GYE/Naranjal	89,825	32,94	L-16.2/e
2 Naranjal/Machala	92,217	33,83	L-16.2/e
3 Machala/Buena Vista	97,68	35,73	L-16.2/e
4 Buena Vista/Loja	105,975	38,67	V-16.2/e
5 Loja/Ona	98,473	36,00	L-16.2/e
6 Ona/Cuenca	102,701	37,49	V-16.2/e
7 Cuenca/Suscal	95,532	34,93	L-16.2/e
8 Suscal/Milagro	116,382	42,41	V-16.2/e
9 Milagro/GYE	48,851	18,42	L-16.2

#### 4.8. Uso del Booster Amplifier

En transmisiones de larga distancia, la atenuación de la señal óptica es grande. Para hacer que el receptor óptico reciba una señal óptica normal, se necesita usar las BA2 y BPA2.

En la figura 8 se muestra el uso del optical booster amplifier.



**Figura 8.** Ubicación del BA2 y BPA en la red.

#### 5. Costos

A continuación se detalla los precios de cada uno de los rubros que se necesita para la implementación de la red.

El primer rubro que se considera es el alquiler de los sitios de 15 m<sup>2</sup> de superficie donde se encontrarán los equipos SDH a un valor de \$200 por sitio.

Luego tenemos los costos de implementación para los dos nodos principales de equipamiento SDH Mapasingue y Balcón Lojano que nos da un valor de \$25.148,00 por cada nodo. La implementación para

los nodos secundario se calculó con un costo de \$25.000,08 por cada nodo secundario.

Para la gestión de los equipos SDH se debe adquirir el servidor con las licencias respectivas del software T2000 con un costo de \$107.210,00.

En la Tabla 5 se ha listado los costos que implica la instalación de la fibra a lo largo del recorrido del anillo Guayaquil – Loja en donde se observa los costos de tendido, fusión de fibra.

**Tabla 5.** Costos Instalación de Fibra Anillo Guayaquil–Loja

Producto	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Tendido Fibra	Valor de tendido de fibra por metro	847630	0,30	254.289,00
Fusión de Fibra	Valor de hilo fusionado	2604	20,00	52.080,00
Mangas	Manga de Fibra Óptica	199	80,00	15.920,00
Postes	Postes de concreto	28254	1,00	28.254,00
Fibra 12 hilos x m	Valor por metro	847630	0,40	339.052,00
Herrajes	Herraje por poste	28254	6,00	169.524,00
<b>TOTAL</b>				<b>859.119,00</b>

El precio de instalación de un canal de E1 es de \$250 mientras que el costo de alquiler de un canal E1 desde el NAP de las Américas hasta Punta Carnero es de \$1.800 mensuales, y el canal de E1 en Loja es de \$2.500 mensuales.

En la Tabla 6 se describe la estimación de costos totales de implementación de la red SDH con un valor de \$1.241.697,00.

**Tabla 6.** Costo Total Implementación Red SDH

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Costo Nodo Principal	2	25.148,00	50.296,00
Costo Nodo Secundario	9	25.008,00	225.072,00
Costo Sistema de Gestión	1	107.210,00	107.210,00
Costo Instalación de Fibra	1	859.119,00	859.119,00
<b>TOTAL</b>			<b>1.241.697,00</b>

#### 5.1. Retorno de inversión

Se realizó un resumen de cálculos de retorno de inversión tomando en cuenta que se va a brindar servicios de 1 E1 dedicado a un precio de \$400 entre las ciudades de Guayaquil, Naranjal, Machala, Loja.

Teniendo en cuenta que desde el primer año que se vende este servicio se va a tener una cantidad de 90 clientes y manteniendo este número de clientes por los siguientes dos años; podemos observar cómo según lo muestra la Tabla 7 que el retorno de toda la inversión se la obtiene a los tres años después de haber implementado la red SDH.

Tabla 7. Retorno de inversión

Costo de 1 E1 dedicado mensual		\$ 400,00
E1s disponibles	9 STM1s X 63 E1s	567
Valor recaudación mensual por 90 E1s vendidos		36.000,00
Valor recaudación anual por 90 E1s vendidos		432.000,00
Valor recaudación por 3 años de los 90 E1s que se brindan		1.296.000,00

Adicional a la proyección efectuada del retorno del capital invertido, uno de los servicios que se han ofertado en este proyecto es la venta de los 25 canales de voz hacia el NAP de las Américas, en la actualidad se posee un STM-1 de capacidad contratada hacia el MMR, el pago mensual del alquiler de esta capacidad es de \$25.000,00 y se tiene aún disponible 29 E1's, se proyecta vender el servicio al Call Center en Loja por \$17.500,00.

## 6. Conclusiones

La selección de las ciudades o localidades en las cuales se instalarán los equipos SDH, se hizo pensando en una futura demanda de servicios sobre la red SDH, así podemos notar que ciudades como Machala, Loja, Cuenca, Naranjal y Milagro son usadas en el proyecto para instalar los ADM's.

Los sitios rurales seleccionados para la instalación de los ADM's fueron escogidos tomando en consideración la disponibilidad del servicio de electricidad y la viabilidad del acceso. El tendido de la fibra es de forma aérea, se escogió este método debido al menor costo, menor tiempo de instalación y menor tiempo de reparación de fibra.

La topología física que se usa para la implementación es un anillo, esta nos brinda la contingencia necesaria para sobreponernos a un evento de falla en uno de nuestros enlaces. Las redes Metro Ethernet ubicadas una en Loja y la otra en Guayaquil se conectarán a la red SDH por medio de interfaces STM16. El reloj de la red SDH se recibirá por medio de la interfaz STM16 conectado a los equipos 7750 SR12 Mapasingue1 y Mapasingue2 el cual es capturado del PRC de la central Mapasingue.

Como estándar de la empresa se especifica que todo trabajo sobre la red deberá tener de por medio un documento llamado MOP que tiene como objetivo guiar al personal de operación y mantenimiento a lo largo de un proceso metódico durante la tarea planificada.

Para los servicios de los canales de voz internacionales se usa la capacidad excedente

arrendada del tráfico TDM hacia el NAP de las Américas, esta conexión se la recibe en nuestra central Mapasingue, sitio en el que interconectaremos los 25 E1 provenientes del cliente en Loja.

## 7. Recomendaciones

Se debe proveer al laboratorio de la FIEC con el equipamiento y licencias de software necesarias a fin de que él permita simular escenarios más completos, que haría que la diferencia entre una implementación real y de laboratorio no sea mayor. Se debe definir un plan de capacitación para los operadores de la red SDH, a fin de minimizar los fallos en la red producto del desconocimiento de la teoría e implementación, de esta tecnología. Las instalaciones de estos equipos deben cumplir con los estándares sugeridos por el proveedor del hardware, para no mermar la vida útil del equipamiento.

## 8. Referencias

- [1] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica. Tesis de Grado, "Análisis de interoperabilidad de las tecnologías SDH e IP aplicadas al Diseño de un sistema de anillos metropolitanos para la CNT EP en la ciudad de Riobamba".  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/629/1/38T00247.pdf>, fecha de consulta julio 2011.
- [2] Huawei OSN3500 manual, 31250252-OSN 3500 Hardware Description Manual (V1.21), fecha de consulta mayo 2011.
- [3] Huawei OSN3500 manual, 31161365-OSN 3500&2500&1500 Service Configuration Guide(V1.20), fecha de consulta julio 2011.
- [4] Wikipedia, enciclopedia libre, Synchronous optical networking  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous\\_Digital\\_Hierarchy](http://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous_Digital_Hierarchy), fecha de consulta mayo 2011.
- [5] Heavy Reading, VOL. 1, No. 6, Noviembre 14 de 2006. The Future of SONET/SDH  
[http://img.lightreading.com/heavyreading/pdf/hr20031114\\_esum.pdf](http://img.lightreading.com/heavyreading/pdf/hr20031114_esum.pdf), fecha de consulta julio 2011.
- [6] TyN Latinoamérica, IPLAN seleccionó las soluciones TDMoIP,  
<http://www.tynmagazine.com/NotePrint.aspx?Note=70185>, fecha de consulta marzo 2011.