

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE BACKBONE SOBRE ANILLOS DE FIBRA ÓPTICA EN LA CIUDAD DE QUITO PARA UNIR LAS REDES DE ACCESO DE LA EMPRESA INTEGRAL DATA QUE SOPORTE SISTEMAS DE COMPRESIÓN DE VOZ EN TDMoIP.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**Domínguez Limaico Hernán Mauricio  
Gordillo Pasquel Marco Patricio**

**DIRECTOR: Msc. Tania Pérez**

**Quito, Marzo del 2006**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Hernán Mauricio Domínguez Limaico y Marco Patricio Gordillo Pasquel, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Hernán Mauricio Domínguez Limaico

---

Marco Patricio Gordillo Pasquel

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo, “ESTUDIO, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE BACKBONE SOBRE ANILLOS DE FIBRA ÓPTICA EN LA CIUDAD DE QUITO PARA UNIR LAS REDES DE ACCESO DE LA EMPRESA INTEGRAL DATA QUE SOPORTE SISTEMAS DE COMPRESIÓN DE VOZ EN TDMoIP”, fue desarrollado por los señores: Hernán Mauricio Domínguez Limaico y Marco Patricio Gordillo Pasquel, bajo mi supervisión.

---

Msc. Tania Pérez  
DIRECTOR DE PROYECTO

## **DEDICATORIA**

A mi Padre Celestial por guiarme, iluminarme y bendecirme todos los días de mi vida y en especial porque en aquellos momentos difíciles cuando se perdía la esperanza, me dio fortaleza para salir adelante y así convertir este sueño en realidad.

A mis amados padres Hernán y Martha, por enseñarme que no hay límites, que lo que me proponga lo puedo lograr con esfuerzo y sacrificio y que solo depende de mí, y en especial por su ayuda y amor plasmado en ayuda efectiva para culminar mis estudios. A mis hermanos: Andrés y Kary por su cariño y apoyo incondicional, aun a la distancia.

A Andrea por su amor, apoyo y por compartir las alegrías, las penas y por tener siempre palabras de aliento en aquellos momentos difíciles.

A todas las personas que han creído en mí...

*- Hernán Mauricio Domínguez Limaico -*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Msc. Tania Pérez por ser una profesora ejemplar y además brindarme su amistad, apoyo y ayuda incondicional en la realización del presente trabajo, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

A la EPN, a mis profesores y compañeros, por los conocimientos impartidos a lo largo de todo el camino universitario, y sembrar en mí los cimientos académicos y morales necesarios para llegar a ser un profesional que contribuya al bienestar de la sociedad.

A las empresas ISEYCO C.A e Integral Data, en especial al Ing. Pablo Zurita, Msc. Jorge Luis Reascos, Ing. Pablo Molina y a mis compañeros del DT, quienes de una u otra forma han contribuido en forma significativa a este trabajo.

*- Hernán Mauricio Domínguez Limaico -*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios por dar sentido a mi vida, a mis padres que han inculcado en mí valores, principios, hábitos y metas, y a mis hermanos por el apoyo que nos hemos brindado siempre.

- *Marco Patricio Gordillo Pasquel* -

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional, a mis maestros, compañeros y amigos, en especial a la Msc. Tania Pérez por ser una maestra ejemplar en mi carrera universitaria. Un agradecimiento a las empresas Integral Data e Iseyco C.A., en especial al Ing. Pablo Zurita, al Msc. Jorge Luis Reascos y al Ing. Pablo Molina por el apoyo brindado en el desarrollo de este trabajo.

*- Marco Patricio Gordillo Pasquel -*

## **RESUMEN**

En este trabajo se realiza el estudio del funcionamiento de la tecnología TDMoIP en sus dos variantes: emulación de circuito y compresión de voz. Presenta una descripción de la red de acceso TDM actual de la empresa Integral Data, obteniendo el requerimiento en capacidad de transmisión de la información, para la migración de los circuitos TDM actuales hacia una red basada en el protocolo IP, y se proyecta la capacidad de transmisión a 10 años, para el diseño de una red de backbone sobre anillos de fibra óptica para unir las redes de acceso y que además soporte sistemas de compresión de voz con TDMoIP, seleccionando el tipo de fibra óptica y los equipos necesarios. Adicionalmente se realiza la simulación de un sistema que utiliza TDMoIP con emulación de circuito, analizando su funcionamiento y el contenido de su trama. Finalmente se presenta un presupuesto referencial del diseño de la red.

## **ABSTRACT**

The operation of the technology TDMoIP is studied in its two variants: circuit emulation and voice compression. It presents a description of the current access TDM network of the Integral Data company, obtaining the requirement in capacity of transmission of the information, for the migration of the circuits current TDM toward a network based on the IP protocol, and the capacity of transmission is projected to 10 years, for the design of a backbone network over rings of optic fiber to unit the access network and that it also supports systems of voice compression with TDMoIP, selecting the type of optic fiber and the necessary equipments. Additionally is carried out the simulation of a TDMoIP system that uses circuit emulation, analyzing its operation and the content of its frame. Finally a budget referential of the design of the network is presented.



## INTRODUCCIÓN

Las redes de telefonía y de transmisión de datos, utilizan el tradicional sistema de Multiplexación por división de tiempo (TDM), el mismo que requiere de mecanismos de sincronización y señalización complejos, la asignación de un canal de comunicaciones es dedicada y se utiliza la conmutación de circuitos. Por otra parte, se tiene la tecnología del protocolo Internet (IP), el cual está siendo implementado actualmente en el Ecuador sobre la conocida red de acceso Metropolitana “Metro ethernet”, la cual utiliza un canal de comunicaciones compartido con técnicas de conmutación de paquetes a altas velocidades.

El presente proyecto pretende hacer una aplicación en la cual se utiliza TDMoIP, para migrar la red de acceso TDM hacia una red IP, para lo cual, en el capítulo 1 se realiza una descripción del funcionamiento de la tecnología TDMoIP en sus dos variantes: La emulación de circuito y la compresión de voz. Junto con las tecnologías necesarias para su implementación.

En el capítulo 2, se realiza una descripción de la red de acceso actual de la empresa Integral Data, para luego obtener los requerimientos en capacidad de transmisión necesarios, para la migración de los circuitos TDM actuales hacia una red basada en el protocolo internet IP.

Una vez determinados los requerimientos de la empresa Integral Data se procede a realizar el diseño de la red de backbone lo cual es tratado en el capítulo 3, donde se selecciona como medio de transmisión la fibra óptica, y se propone una ruta para su tendido, la cual sigue una topología física en anillos, trabajando con la tecnología Gigabit Ethernet. También se trata sobre el equipamiento necesario que se tendrá en la red de backbone y en la red de acceso, para brindar servicios TDM tanto con emulación de circuito como con compresión de voz, y nuevos servicios basados en IP.

Luego, con la finalidad de conocer el funcionamiento de la tecnología TDMoIP con emulación de circuito, en el capítulo 4, se realiza una simulación que permite obtener la trama TDMoIP, para analizar su contenido e identificar los diferentes campos que conforman esa trama, y además su comportamiento en la red para diferentes tamaños de carga útil.

Finalmente, en el capítulo 5 se presenta un presupuesto referencial del proyecto, el cual puede variar, sin embargo establece una referencia del capital necesario para implementar la red de backbone sobre anillos de fibra óptica en la ciudad de Quito para unir las redes de acceso de la empresa Integral Data.

## CAPÍTULO 1

### ***1 ANÁLISIS TÉCNICO DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS QUE PERMITEN UTILIZAR SISTEMAS DE COMPRESIÓN DE VOZ (CVS) EN TDMOIP Y DISTINTOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN.***

- 1.1 GENERALIDADES.
- 1.2 TRANSMISIÓN DIGITAL.
- 1.3 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS TCP/IP.
- 1.4 TDM SOBRE IP (TDMoIP).
- 1.5 ALGORITMOS DE COMPRESION DE VOZ.
- 1.6 MEDIOS DE TRANSMISIÓN.
- 1.7 TECNOLOGÍAS xDSL.

## **1.1 GENERALIDADES.**

Las redes de telefonía y de transmisión de datos, utilizan el tradicional sistema de Multiplexación por división de tiempo (TDM), el mismo que requiere de mecanismos de sincronización y señalización complejos, la asignación de un canal de comunicaciones es dedicada y se utiliza la conmutación de circuitos. Por otra parte, se tiene la tecnología del protocolo Internet (IP), el cual está siendo implementado actualmente en el Ecuador sobre la conocida red de acceso Metropolitana “Metro ethernet”, la cual utiliza un canal de comunicaciones compartido con técnicas de conmutación de paquetes a altas velocidades.

En el presente capítulo se describe el concepto de la tecnología de multiplexación por división de tiempo sobre el protocolo Internet (TDMoIP), que consiste en el transporte transparente de tramas TDM sobre paquetes IP, conservando características originales, como son la señalización y el sincronismo. La ventaja de TDMoIP es la ocupación de un canal compartido, en el cual puede convivir el transporte de voz con el transporte de datos, de una forma eficiente ocupando el canal de comunicaciones en su totalidad y todo el tiempo. La sincronización que proporciona una red IP para la emulación de circuitos TDM, se basa en la utilización de protocolos que llevan a cabo un control del arribo de paquetes.

TDMoIP posee dos tipos de encapsulación: Emulación de circuitos TDM, y compresión de voz. En el presente capítulo se indica también una clasificación y funcionamiento de los algoritmos utilizados en sistemas de compresión de voz con TDMoIP.

Una red Metro ethernet generalmente utiliza medios de transmisión como la fibra óptica, el par de cobre y la transmisión inalámbrica, así como tecnologías xDSL para la conexión usuario – red, que se describen en el presente capítulo.

## 1.2 TRANSMISIÓN DIGITAL. [23]

“La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales, entre dos puntos, en un sistema de comunicación”. La información original puede ser datos digitales o señales analógicas, que se convierten a digitales para su transmisión y son convertidas nuevamente a señales analógicas para su recepción.

El procesamiento y multicanalización es mejor para pulsos digitales que para señales analógicas; la información digital puede guardarse fácilmente y la regeneración de señales en un sistema digital la hace más resistente al ruido que en un sistema analógico; además, un sistema digital tiene mecanismos de detección y corrección de errores, haciéndolo casi independiente de la distancia. La desventaja frente a una señal analógica es la mayor ocupación de ancho de banda y la sincronización que se necesita entre el transmisor y el receptor es más compleja.

### 1.2.1 MODULACIÓN DE PULSOS.

La modulación de pulsos es la conversión de una señal analógica a una señal digital para transmitirla en forma digital. Los cuatro métodos más importantes son: modulación de ancho de pulso (PWM: *Pulse Width Modulation*), modulación de posición de pulso (PPM: *Pulse Position Modulation*), modulación de amplitud de pulso (PAM: *Pulse Amplitude Modulation*) y modulación por pulsos codificados (PCM: *Pulse Coded Modulation*).

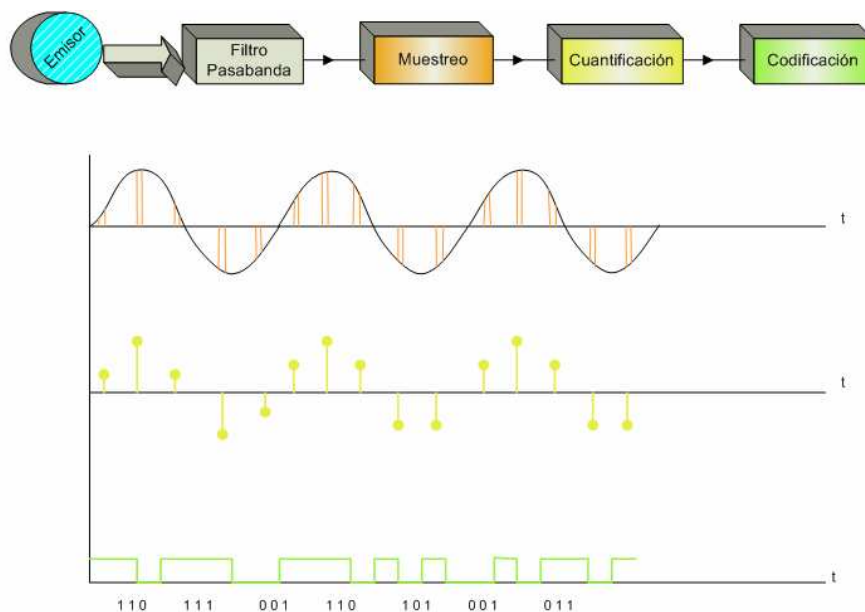
Los métodos más utilizados en una transmisión digital son PAM y PCM. En PAM la amplitud de un pulso de posición constante y duración constante varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica. Para PCM la señal analógica se muestrea y se convierte a un número binario serial para su transmisión, que varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

### 1.2.1.1 Modulación de Pulsos Codificados (PCM).

La modulación por pulsos codificados (PCM) permite la digitalización de señales analógicas y es la más utilizada para el transporte de las comunicaciones de voz en telefonía. PCM es un sistema binario con pulsos de duración y amplitud fija, donde un pulso o ausencia de pulso, dentro de una ranura de tiempo representa una condición de lógica 1 o de lógica 0, respectivamente.

Su funcionamiento consiste básicamente de tres pasos:

- Muestreo
- Cuantificación
- Codificación



**Figura 1.1 Etapas de PCM de 3 bits. [4]**

La figura 1.1 muestra un diagrama de bloques simplificado de un solo canal en un sistema PCM desde el transmisor. El filtro pasa-bandas limita a la señal analógica de entrada a la proporción de la frecuencia de la banda de voz estándar, de 300 a

3000 [Hz]. Un circuito de muestreo y retención<sup>1</sup> prueba la entrada analógica y la convierte en una señal PAM multinivel. Un codificador o convertidor análogo-digital convierte las muestras PAM a un flujo de datos binarios seriales para su transmisión por un medio físico.

En el lado de la recepción, se produce el proceso inverso, un convertidor digital – análogo convierte el flujo de datos binarios seriales a una señal PAM multinivel. Un circuito de retención y un filtro pasa bajos convierten la señal PAM en la señal analógica original.

**Muestreo:** Consiste en la obtención de muestras de una señal PAM, a partir un circuito de muestreo y retención. Para muestrear una señal analógica se necesita establecer la frecuencia mínima de muestreo, lo cual está determinado por el teorema del muestreo.

El teorema de muestreo de Nyquist establece la mínima razón de muestreo ( $f_s$ ) para un sistema PCM. Para que una muestra sea reproducida correctamente en el receptor, cada ciclo de la señal analógica ( $f_a$ ) debe muestrearse por lo menos dos veces. La mínima razón de muestreo es igual al doble de la frecuencia de entrada más alta, en el caso que sea menor se produce una distorsión llamada “aliasing” o distorsión encimada. La ecuación 1.1 muestra la mínima tasa de muestreo de Nyquist.

$$f_s \geq 2f_a \quad \text{ec. 1.1}$$

Donde:

$f_s$ : Mínima razón de muestreo de Nyquist

$f_a$ : frecuencia más alta que se debe muestrear.

Para el muestreo de señales de voz estándar que ocupan un ancho de banda de hasta 4000 [Hz], la mínima tasa de muestreo es de 8000 [Hz].

---

<sup>1</sup> Un circuito de muestreo y retención prueba periódicamente la señal de entrada analógica cambiante, convirtiendo las muestras en una serie de niveles PAM de amplitud constante.

**Cuantificación:** Es el proceso mediante el cual a una muestra obtenida de la señal analógica se le asigna un determinado valor central en un segmento de cuantización. La cuantificación puede ser lineal o no lineal, siendo ésta última la más usada ya que es más eficiente, puesto que en una transmisión de voz, las señales de menor amplitud, ocurren con mayor frecuencia que las señales de mayor amplitud. Cada segmento de cuantización es representado por códigos binarios y al existir más códigos para amplitudes menores, incrementa la exactitud donde se necesita.

El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T: *International Telecommunications Union – Telecommunication Standardization Sector*) en la Recomendación G.711 especifica las leyes A y  $\mu$  para cuantificación no uniforme. Los dos tipos de cuantificación poseen una escala logarítmica de valores de cuantificación, en segmentos de longitud no uniforme. La ley A utiliza 13 segmentos y la ley  $\mu$  utiliza 15 segmentos [4].

**Codificación:** El código binario que se transmitirá al receptor usado para PCM es un código de n-bit (enésimo bit), donde n puede ser cualquier entero mayor que 1. Un código puede representar magnitud y signo, donde el bit más significativo (MSB) es el bit de signo y los bits sobrantes se usan para magnitud.

Para los dos tipos de cuantificación no uniforme se considera una codificación binaria de 8 bits, por consiguiente se tienen 256 niveles de cuantificación, 128 para las señales positivas y 128 para señales negativas. De los 8 bits de la palabra PCM, 1 bit especifica la polaridad, 3 bits discriminan el segmento y 4 bits determinan el nivel de cuantificación dentro del segmento.

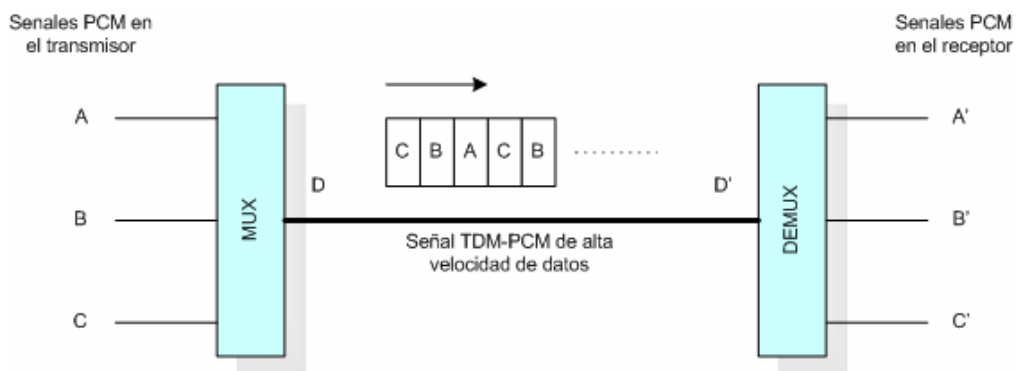
## 1.2.2 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO. [23]

“La Multiplexación o multicanalización es la transmisión de información, de más de una fuente a más de un destino, por el mismo medio de transmisión”. Los



principales métodos de realizar este proceso son la multiplexación de división de frecuencia (FDM: *Frequency Division Multiplexing*), la multiplexación por división de código (CDM: *Coded Division Multiplexing*), la multiplexación por división de longitud de onda (WDM: *Wavelength Division Multiplexing*) y la multiplexación por división de tiempo (TDM: *Time Division Multiplexing*).

“En la Multiplexación por división de tiempo, las transmisiones para fuentes múltiples ocurren sobre el mismo medio pero no al mismo tiempo”. Las transmisiones de varias fuentes se intercalan en el dominio del tiempo mediante ranuras, una para cada mensaje. Se utiliza tanto para transmisión analógica como para la transmisión digital. Una de las aplicaciones más comunes es la multiplexación en el tiempo de señales PCM. En un sistema PCM-TDM, se muestrean dos o más canales de voz, convertidos a códigos PCM, luego con el proceso de multiplexación por división de tiempo se transmite por un medio de transmisión común. La figura 1.2 describe el proceso de multiplexación donde las señales PCM en los canales A, B y C, son multiplexadas en el tiempo y transmitidas en un canal D de mayor velocidad de datos, para luego ser demultiplexadas en el receptor.



**Figura 1.2 Multiplexación y Demultiplexación de señales PCM. [23]**

El código PCM para cada canal ocupa una ranura de tiempo (ciclo) fija dentro de la trama total de TDM. Se toma una señal de cada canal una vez, durante cada

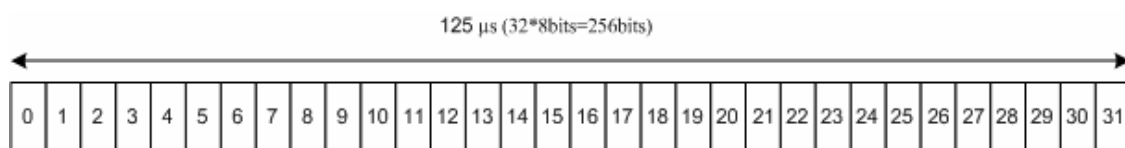
trama. Por tanto, el tiempo de trama total es igual al inverso de la frecuencia de muestreo ( $1/f_s$ ).

#### 1.2.2.1 Multiplexación PCM-TDM de 30 canales (E1). [4]

La multiplexación PCM de 30 canales está mencionado en la norma G.732 de la ITU-T y es utilizado en Europa y Sudamérica. Se basa en la multiplexación de 30 canales de telefonía y 2 canales para sincronismo (PCM + TDM), resultando 32 ranuras de tiempo (TS: *Time Slots*), para formar la trama multiplexada o portadora digital, denominada E1. Cada muestra PCM está formada de 8 bits, como la trama E1, tiene 32 TS, en total se tiene 256 bits por trama.

La señal de voz digital para telefonía PCM se obtiene a partir de la toma de muestras de la señal de voz a razón de 8000 muestras por segundo, y la representación de cada muestra, mediante 8 bits; da como resultado una velocidad de transmisión de cada canal de voz de 64 [kbps]. Para multiplexar 32 canales de voz la velocidad de transmisión es de 2048 [kbps]. La figura 1.3 define la estructura de una trama multiplexada PCM-30 la misma que tiene una duración de 125 [ $\mu$ s].

La conversión análogo-digital para PCM se realiza mediante el método de cuantización no uniforme de 13 segmentos (ley A).



**Figura 1.3 Estructura de la trama del multiplexado PCM30. [4]**

La agrupación de 16 tramas PCM-30 conforma una multitrama o supertrama, la misma que tiene una duración de 2 [ms].

De los 32 TS que componen la trama PCM-30, la funcionalidad que tiene el TS0 es el transporte de la alineación de trama, alarma, y control de errores, el TS16

lleva información de señalización propias de telefonía, que pueden ser señalización asociada al canal (CAS: *Channel Associated Signaling*) o señalización de canal común (CCS: *Channel Common Signaling*), el resto de TS transportan información útil del usuario.

#### **1.2.2.2 Multiplexación PCM-TDM de 24 canales (T1). [4]**

Al igual que en PCM-30, el canal de voz en PCM-24 tiene una velocidad de transmisión de 64 [Kbps]. Una trama PCM-24 multiplexa 24 canales de voz, en 24 ranuras de tiempo, más un bit para sincronismo de multitrama; dicha trama se denomina portadora digital T1, y tiene un tiempo de duración de 125 [µs] para una frecuencia de muestreo de 8 Khz. Una portadora digital T1 se transmite a 1544 [kbps]. Cada trama contiene 192 bits de información más un bit adicional que se usa para transmitir de forma alternada la señal de alineamiento de trama y la señal de alineamiento de multitrama.

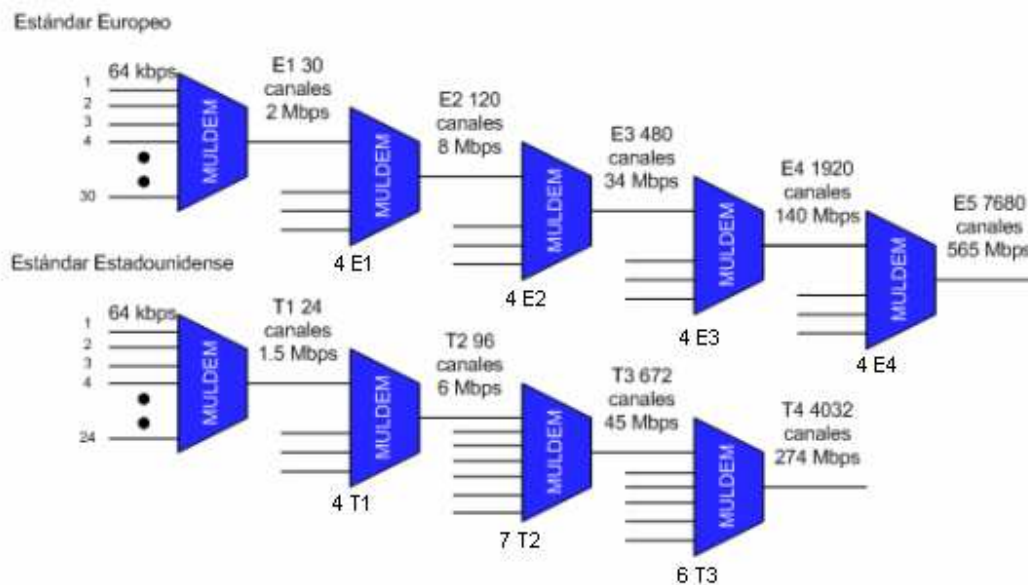
En PCM-24, se utiliza un conversor análogo – digital de 15 segmentos (Ley  $\mu$ ). La agrupación de 12 tramas forma una multitrama, cuya duración es de 1.5 [ms].

#### **1.2.2.3 Jerarquía Digital Plesiócrona. [20, 23]**

Las señales multicanalizadas en forma digital se prestan para interconectar diferentes canales para la transmisión digital, con diferentes velocidades de transmisión. La figura 1.4 muestra los estándares europeo y estadounidense de la jerarquía digital plesiócrona (PDH: *Plesiocronous Digital Hierarchy*) para señales digitales multicanalizadas con las mismas tasas de bits, adecuadas para la transmisión en el siguiente nivel más alto de la jerarquía. Para pasar desde un nivel en la jerarquía al nivel más alto, se utilizan dispositivos especiales llamados *muldems* (multiplexor/demultiplexor) que pueden realizar conversiones en ambas direcciones.

En la jerarquía digital estadounidense, el bloque básico de construcción de PDH es un T1, que se compone de 24 canales de 64 [kbps] cada uno. La portadora digital T2 se obtiene de la combinación de 4 tributarios T1, mientras que T3

corresponde a la combinación de 7 señales T2 y por último T4 se forma de la combinación de 6 señales T3. La jerarquía digital europea es similar, partiendo de un bloque E1 de 32 canales de 64 [kbps] cada uno; los niveles superiores de la jerarquía se obtienen agrupando 4 señales del nivel inferior, tal como se muestra en la figura 1.4.



**Figura 1.4 Jerarquía Digital Plesiócrona. [4]**

#### 1.2.2.4 Protocolos de Señalización. [6]

Al comienzo de la telefonía, se utilizaban cables de cobre para interconectar Centrales de Conmutación a través de líneas troncales, la señalización era la corriente de circuito de abonado, la cual fue sustituida posteriormente por tonos. Con el crecimiento de la utilización de estos enlaces troncales, se desarrolló técnicas digitales para acceder a redes sofisticadas a altas velocidades.

Cabe mencionar los diferentes tipos de información de señalización:

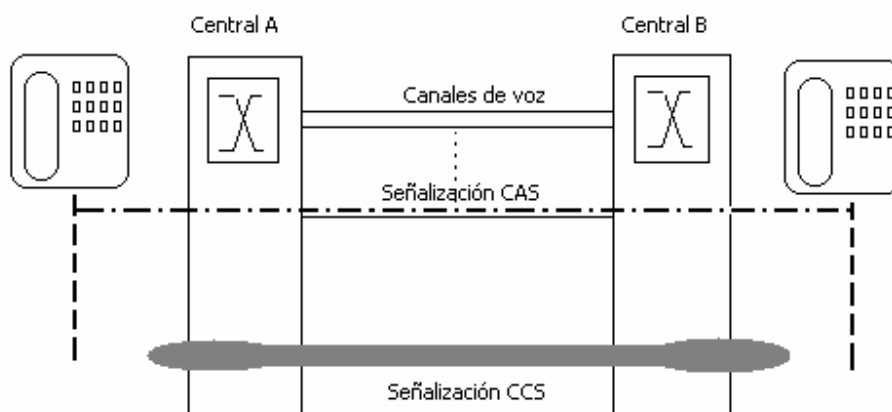
- Señales de Supervisión: Detectan cambios de estado en la línea telefónica
- Señales de Direccionamiento: Se trata de los dígitos marcados.

- Señales de Aviso: Indican tonos de llamado o de ocupado.

De los principales protocolos de señalización se puede nombrar: Señalización E&M, señalización CAS, señalización CCS, señalización SS7, señalización QSIG.

#### 1.2.2.4.1 Señalización CAS.

La señalización asociada al canal (CAS: *Channel Associated Signaling*), consiste en transmitir la información de señalización por los mismos canales por donde se envía la voz, por lo que se le denomina señalización en banda. Ejemplos de esta señalización es el protocolo E&M (*Ear & Mouth: Habla & Escucha*) y la recomendación G.732 para PCM-30. La figura 1.5 muestra la señalización CAS y la señalización CCS en un ejemplo de funcionamiento.



**Figura 1.5** En la señalización CAS la voz viaja por los mismos circuitos que la señalización, mientras que por Canal Común (CCS), viaja por circuitos independientes. [6]

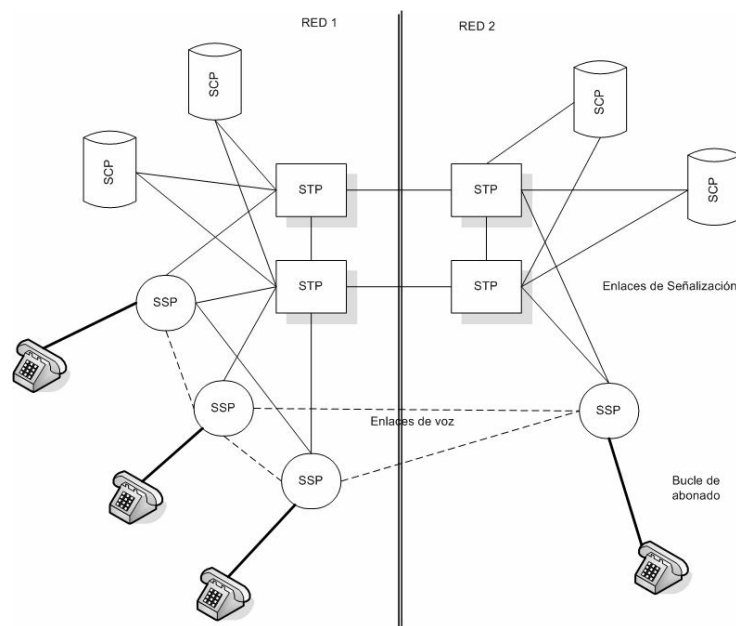
#### 1.2.2.4.2 Señalización CCS.

La señalización por canal común (CCS: *Common Channel Signaling*) consiste en transmitir la información de señalización por un canal diferente a los que se transmite la voz, por lo que se la conoce como señalización fuera de banda. Ejemplos de este tipo de señalización es el protocolo QSIG y SS7.

#### 1.2.2.4.3 Señalización SS7.

Este sistema lleva una señalización fuera de banda por canal común, creado por el ITU-T y denominado "Sistema de señalización No. 7". La red de señalización SS7 está compuesta por una serie de elementos interconectados que se indican a continuación:

- Puntos de conmutación de la señalización (SSP, *Signal Switching Points*).
- Puntos de transferencia de la señalización (STP, *Signal Transfer Points*).
- Puntos de control de la señalización (SCP, *Signal Control Points*).



**Figura 1.6 Interconexión de elementos básicos de una red SS7. [6]**

La figura 1.6 muestra un diagrama de interconexión de los elementos de una red de señalización SS7, donde se observa que un bloque SSP es el encargado de la conmutación, la misma que es controlada por el bloque SCP, y en la transferencia de información de una red a otra actúan los bloques STP.

#### 1.2.2.4.4 Señalización QSIG.

El protocolo QSIG es un sistema de señalización diseñado específicamente para servicios de comunicación avanzados y asegura la compatibilidad con la red de servicios integrados (RDSI). Es un protocolo de señalización inteligente que ofrece gran flexibilidad en términos de arquitectura de red; por lo que, la información de usuario con la de señalización, no necesariamente se transmite por el mismo enlace físico.

### 1.3 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS TCP/IP. [20]

La arquitectura de protocolos TCP/IP es el resultado de la investigación y desarrollo realizados en la red experimental de conmutación de paquetes ARPANET, financiada por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada para la Defensa (DARPA: *Defense Advanced Research Projects Agency*), y consiste en una extensa colección de protocolos que se han especificado como estándares de Internet por parte del grupo de trabajo IAB (*Internet Architecture Board*).

#### 1.3.1 LAS CAPAS DE TCP/IP.

El modelo TCP/IP estructura la comunicación en cuatro capas, donde la primera capa no está definida, pero por propósitos explicativos se considera cinco capas relativamente independientes entre sí:

- Capa Física.
- Capa de Acceso a la Red.
- Capa de Internet.
- Capa transporte o de extremo a extremo.
- Capa de aplicación.

### **1.3.1.1 Capa Física.**

La capa física define la interfaz física entre el dispositivo de transmisión de datos y el medio de transmisión o red. Esta capa se encarga de la especificación de las características mecánicas, eléctricas y funcionales del medio de transmisión, la naturaleza de las señales, la velocidad de datos, etc. Su unidad de información es el bit.

### **1.3.1.2 Capa de Acceso a la Red.**

La capa de acceso a la red se encarga del intercambio de datos entre el sistema final y la red a la cual está conectado. Transforma un medio de transmisión común en una línea sin errores de transmisión para la capa red. El emisor debe proporcionar a la red la dirección de destino, para que se pueda encaminar los datos al destinatario apropiado. En esta capa existen diversos estándares para la conmutación de circuitos, la conmutación de paquetes (ejemplo Frame Relay, X.25) y para las redes de área local (LAN: *Local Area Network*, ejemplo Ethernet).

En redes LAN la capa de acceso a la red se divide en dos subcapas que son: La subcapa control de enlace lógico (LLC: *Logical Link Control*), que es la encargada de mantener una interfaz con las capas superiores, y realizar control de flujo. Y la subcapa control de acceso al medio (MAC: *Medium Access Control*), encargada de la topología de red, direccionamiento físico, control de errores y método de acceso al medio.

#### *1.3.1.2.1 Ethernet.*

En la capa de acceso a la red se definen estándares para redes LAN, como por ejemplo Ethernet, Token Ring, Token Passing; las cuales poseen sus propias características de funcionamiento y topología de red. A continuación se trata el estándar Ethernet y algunas de sus versiones mejoradas.

El estándar 10BaseT especificado por la recomendación IEEE 802.3, está basado en Ethernet II y fue desarrollado posteriormente con ligeras diferencias. Es un



estándar de la capa de acceso a la red que define una topología física tipo estrella y una topología lógica tipo bus, e implica el uso de un medio de transmisión compartido o conmutación compartida, logrando velocidades de datos altas para distancias cortas.

Como medio de transmisión emplea dos pares de cable trenzado no apantallado (UTP: *Unshielded Twisted Pair*) para una distancia máxima de 100 [m] por cada equipo terminal de datos (DTE: *Data Terminal Equipment*) conectado a la red. Las estaciones se conectan a la red por medio de un concentrador de cableado denominado HUB, a velocidad nominal de transmisión de 10 [Mbps]. Utiliza como método de acceso al medio el mecanismo de contención de acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones (CSMA/CD: *Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*). La transmisión se realiza en banda base con codificación "Manchester"<sup>2</sup> y opera en el modo de transmisión de un solo sentido alternado denominado "*half duplex*". La figura 1.7 muestra el formato de trama para IEEE 802.3.



**Figura 1.7 Formato de trama para IEEE 802.3. [4]**

Donde:

- **Preámbulo:** Es una secuencia inicial de 1's y 0's lógicos alternados, para sincronización y recuperación de reloj.
- **Delimitador del comienzo de trama (SFD: *Start Frame Delimiter*):** Consiste en la secuencia de bits 10101011, e indica el comienzo real de la trama y posibilita al receptor localizar el primer bit del resto de la trama.

<sup>2</sup> La Codificación Manchester es una codificación de línea que consiste en realizar una transición a mitad del intervalo de bit entre dos niveles +A y -A. El 1L tiene transición negativa y el 0L tiene transición positiva.

- **Dirección de destino:** Especifica la estación o estaciones a las que va dirigida la trama. Esta dirección puede ser una única dirección física, una dirección de grupo o una dirección global.
- **Dirección de origen:** especifica la estación que envió la trama.
- **Longitud:** Contendrá la longitud del campo de datos expresado en octetos. El tamaño máximo de la trama, excluyendo el preámbulo es 1518 bytes. En la trama Ethernet II en lugar de este campo se utiliza el campo "Tipo", para indicar el tipo de protocolo que está sobre la capa enlace.
- **Datos:** Unidad de datos en un rango de 46 a 1500 bytes.
- **Secuencia de comprobación de trama (FCS, *Frame Check Sequence*):** Comprobación redundante cíclica de 32 bits, para detección de errores, calculada teniendo en cuenta todos los campos excepto el de preámbulo, el SFD y FCS.

La especificación IEEE 802.3u a 100 [Mbps], denominada Fast Ethernet, es similar al estándar anterior de 10 [Mbps], pero además optimiza el canal de comunicaciones operando en el modo de transmisión full duplex (La comunicación se efectúa en los dos sentidos de manera simultánea) utilizando conmutación Ethernet, lo cual es implementado en switches. Se utiliza como medio de transmisión cable UTP categoría 5e, y además se agrega como medios de transmisión: la fibra óptica y una especificación sobre cuatro pares de cable UTP de categoría 3. La codificación de línea especificada en el caso de utilizar como medio de transmisión cable UTP es MLT-3<sup>3</sup>, y para fibra óptica es 4B5B, NRZI<sup>4</sup>.

Uno de los estándares para redes LAN que también es utilizado en redes de área metropolitana (MAN: *Metropolitan Area Network*), es Gigabit Ethernet, definido en la especificación IEEE 802.3z, que posee una velocidad de datos nominal de

---

<sup>3</sup> La codificación de línea MLT-3 (Multi Level Transmit) produce una salida que tiene una transición secuencial de tres estados para cada 1L (+A, 0, -A, 0, +A, ...) mientras que para un 0L mantiene el nivel del estado anteriormente codificado.

<sup>4</sup> La codificación de línea 4B5B tiene 16 símbolos para representar 16 datos binarios, 8 símbolos para control, y 8 símbolos de violación; en condiciones normales no permite tener 4 ceros consecutivos. EL Código NRZI puede ser unipolar o polar (de dos niveles), un 1L cambia el nivel anterior y el 0L mantiene el nivel anterior.

1Gbps, principalmente usado para enlaces troncales de alta velocidad de datos. Se introducen mejoras respecto del esquema CSMA/CD básico en lo que se refiere al funcionamiento de los concentradores. Utiliza la técnica de codificación de línea 8B10B, y se define las siguientes alternativas para la capa física:

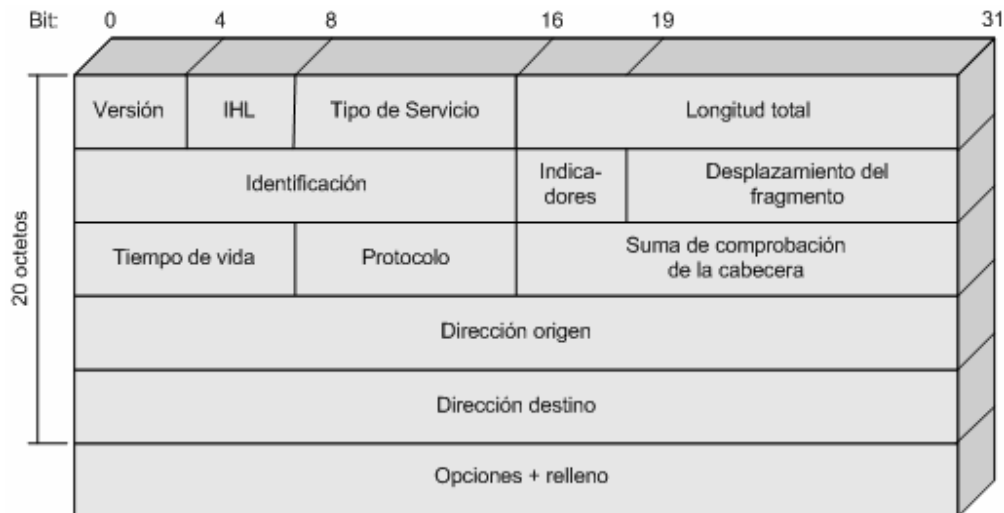
- **1000BASE-SX:** Proporciona enlaces dúplex de 275 [m] usando fibras multimodo de 62,5 [μm] o hasta 550 [m] con fibras multimodo de 50 [μm], en la ventana de transmisión de 850 [nm].
- **1000BASE-LX:** Proporciona enlaces de 550 [m] con fibras multimodo de 62.5 [μm] o hasta 5 o 10 [Km] con fibras monomodo de 10 [μm], en la ventana de transmisión de 1310 [nm].
- **1000BASE-CX:** Proporciona enlaces de 1 [Gbps] entre dispositivos localizados dentro de una habitación, a una distancia de hasta 25 [m], utilizando cables de cobre de dos pares apantallados.
- **1000BASE-T:** Esta opción utiliza cuatro pares no apantallados UTP categoría 5 para conectar dispositivos separados hasta 100 [m].

10 Gigabit Ethernet se encuentra estandarizado por el IEEE 802.3ae, el cual soporta únicamente una comunicación full dúplex y es implementado sobre fibra óptica. Utiliza mecanismos de adaptación de velocidad y control de flujo. Generalmente es más utilizada en aplicaciones de redes WAN o MAN, ya que soporta distancias de hasta 65 [m] con fibra multimodo de 50 [μm] en la ventana de 850 [nm], hasta 10 [Km] con fibra monomodo en la ventana de 1310 [nm] y hasta 40 [Km] con fibra monomodo en la ventana de 1550 [nm].

### 1.3.1.3 Capa Internet.

La capa internet se encarga de conectar sistemas finales a través de redes diferentes, mediante direccionamiento lógico, que permite que los datos atraviesen las distintas redes interconectadas. El protocolo Internet (IP: *Internet Protocol*) es utilizado en esta capa para ofrecer el servicio de encaminamiento a través de varias redes.

El protocolo IP versión 4 (IPv4) se describe mejor mediante la referencia al formato de cabecera del datagrama IP que se muestra en la figura 1.8:



**Figura 1.8 Formato de cabecera IPv4. [20]**

Donde:

- **Versión:** Indica el número de la versión del protocolo para permitir la evolución del protocolo. En este caso es la versión 4 (IPv4).
- **Longitud de la cabecera Internet (IHL, *Internet Header Length*):** Es la longitud de la cabecera expresada en palabras de 32 bits. El valor mínimo es 5 para una cabecera mínima de 20 octetos.
- **Tipo de servicio (ToS: *Type of Service*):** Especifica parámetros de seguridad, prioridad, retardo y rendimiento.
- **Longitud total:** Expresa la longitud total del datagrama en octetos.
- **Identificación:** Es un número entero que permite identificar un datagrama.
- **Indicadores:** Sólo 2 bits de los 3 bits disponibles están actualmente utilizados. El primer bit no se utiliza; el segundo bit *DF* (Datagram Fragment), indica si un datagrama puede o no ser fragmentado; el tercer bit *MF* (More fragments), indica si un fragmento es o no el final de un datagrama.

- **Desplazamiento del Fragmento:** Indica el lugar donde se sitúa el fragmento dentro del datagrama original, medido en unidades de 64 bits.
- **Tiempo de vida (TTL: *Time To Live*):** Especifica cuanto tiempo, en segundos, se le permite a un datagrama permanecer en la red. En la práctica se lo utiliza como una cuenta de saltos descendente por cada dispositivo de encaminamiento que atraviesa.
- **Protocolo:** Contiene el código numérico asignado por el organismo de asignación de números de autoridad para internet (IANA: *Internet Assigned Numbers Authority*), de un protocolo de capa superior que en el destino final deberá recibir los paquetes de datos contenidos en el campo de datos del datagrama.
- **Suma de comprobación:** Es un código de detección de errores aplicado solo a la cabecera.
- **Dirección origen:** Contiene la dirección IP de la máquina origen.
- **Dirección destino:** Contiene la dirección IP de la máquina destino.
- **Opciones:** Contiene las opciones solicitadas por el usuario que envía los datos.
- **Relleno:** Se usa para asegurar que la cabecera del datagrama tenga una longitud múltiplo de 32 bits.
- **Datos:** El campo de datos debe tener una longitud múltiplo de 8 bits. La máxima longitud de un datagrama es de 65535 octetos.

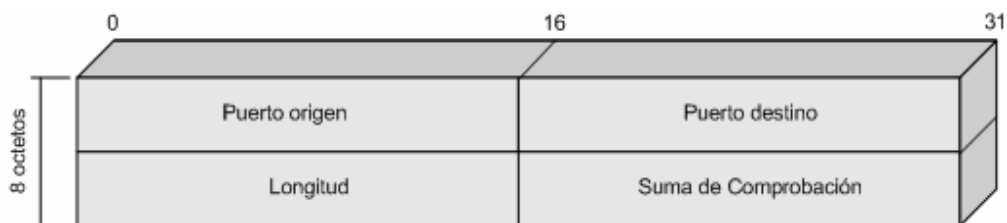
#### 1.3.1.4 Capa Transporte.

La capa transporte o capa extremo a extremo se encarga de que los datos se transfieran de forma fiable independientemente de las aplicaciones, y lleguen al destino en el mismo orden que fueron enviados.

Los protocolos de capa transporte más conocidos son el protocolo de control de transmisión (TCP: *Transmission Control Protocol*) y el protocolo de datagrama de usuario (UDP: *User Datagram Protocol*) que se trata a continuación:

El protocolo de transporte TCP, es usado por la mayor parte de aplicaciones, ya que proporciona una conexión fiable para transferir los datos entre aplicaciones. Una conexión es una asociación lógica temporal entre dos entidades de sistemas distintos. Cada unidad de datos de protocolo (PDU: *Protocol Data Unit*) de TCP, se denomina segmento TCP, y contiene en la cabecera la identificación de los puertos origen y destino correspondientes a una aplicación en cada entidad. Los números de puerto de capa transporte son asignados por la IANA. Durante la conexión, cada entidad seguirá la pista de los segmentos TCP que vengan y vayan hacia la otra entidad, para así regular el flujo de segmentos y recuperar aquellos que se pierdan o dañen.

El protocolo de transporte UDP no garantiza la entrega, la conservación del orden secuencial, ni la protección frente a datagramas duplicados. UDP posibilita el envío de mensajes entre aplicaciones con la complejidad mínima. Un ejemplo de la utilización de este protocolo se tiene en aplicaciones de gestión de red (SNMP: *Simple Network Management Protocol*). A continuación la figura 1.9 muestra el formato de trama para el protocolo UDP.



**Figura 1.9 Cabecera UDP. [20]**

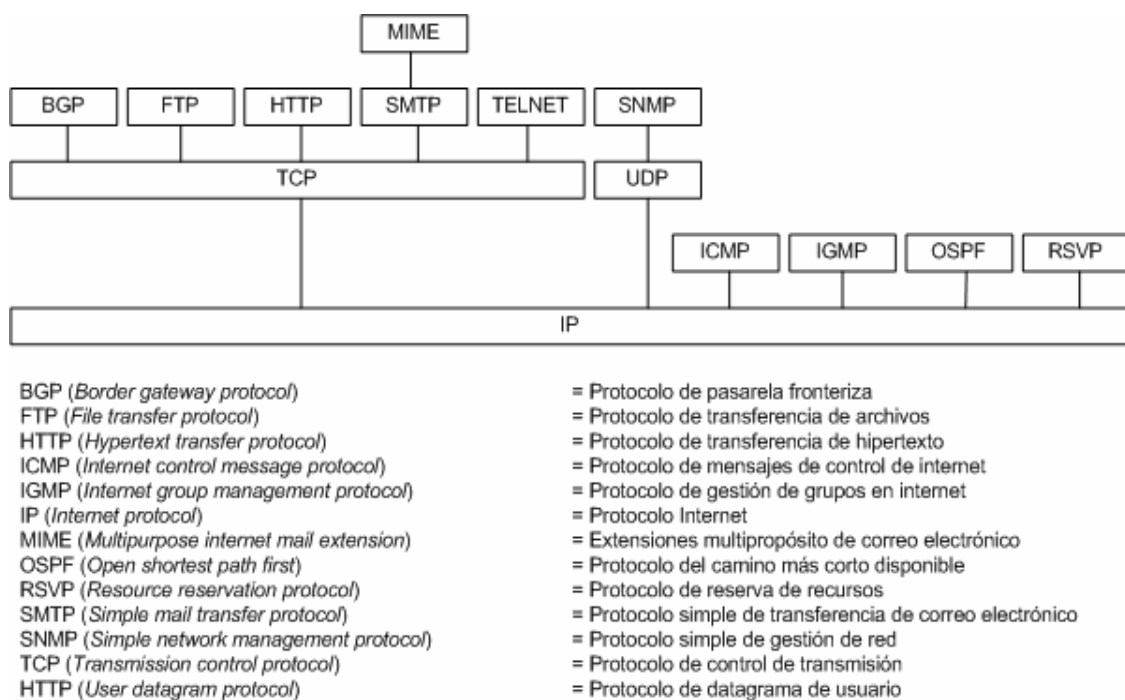
La cabecera UDP incluye un puerto de origen y un puerto de destino. El campo de longitud contiene la longitud del segmento UDP entero, incluyendo la cabecera y los datos. La suma de verificación sirve para detectar errores en el segmento, en caso de existir errores, el segmento se descarta sin tomar ninguna medida adicional.

#### 1.3.1.5 Capa Aplicación.

La capa aplicación contiene toda la lógica necesaria para posibilitar las distintas aplicaciones de usuario. Provee la interfaz que una persona usa para interactuar

con la aplicación, la misma que puede ser: línea de comandos e interfaz gráfica. Esta capa se refiere a aplicaciones de tipo network-aware, que son aquellas que pueden transmitir información a través de la red. Como ejemplo de estas aplicaciones se tiene telnet, FTP, navegadores WEB, correo electrónico, etc.

En la figura 1.10 se muestra algunos protocolos de la arquitectura TCP/IP con el significado de sus siglas.



**Figura 1.10 Algunos protocolos de la familia de protocolos TCP/IP. [20]**

### 1.3.2 MODELO JERARQUICO DE RED. [10]

En el modelo TCP/IP se definen los protocolos que operan en una red de computadores. El fabricante Cisco Systems plantea un modelo jerárquico de tres capas para simplificar el diseño, la implementación y la administración de las redes de gran escala, donde interactúa la familia de protocolos TCP/IP. Este modelo define tres capas: Core, distribución y acceso.

### **1.3.2.1 Capa Core.**

La capa core es el backbone de la red, la cual provee altas velocidades de transmisión entre los diferentes dispositivos de la capa de distribución. El core consiste de switches de altísima velocidad, y típicamente no implementa ningún tipo de manipulación de paquetes o de tramas como filtrado o calidad de servicio. El tráfico que cruza el *core* es típicamente de acceso a recursos corporativos como: conexiones a internet, puertas de enlace (gateways), servidores de correo electrónico y aplicaciones corporativas.

### **1.3.2.2 Capa Distribución.**

La capa de distribución implementa la mayoría de las tareas de conectividad. En redes grandes, se usan ruteadores para conectar las capas de acceso al core, para redes más pequeñas se utilizan switches. La responsabilidad de esta capa incluye lo siguiente:

- Contención de broadcast entre capas,
- Aseguramiento del tráfico de la red,
- Proveer jerarquía mediante direccionamiento lógico de capa 3 (Internet) y sumarización de rutas.
- Traducir entre diferentes tipos de tecnología de capa 2 (Acceso a la red).

### **1.3.2.3 Capa de acceso.**

La capa de acceso es la periferia de la red, y está separada de la capa de core por la capa de distribución. La función principal de esta capa es la de proveer conexión inicial a los usuarios mediante un concentrador (hub), un switch o un ruteador.

El modelo jerárquico de tres capas es una representación lógica, no física. Por ejemplo, muchas veces el dispositivo de la capa distribución puede ser a la vez un switch y un ruteador, como es el caso de switches multicapa.



### 1.3.3 EL PROTOCOLO IPv6. [5]

Es una nueva versión del protocolo IP, sus especificaciones se encuentran en el RFC<sup>5</sup> 2460. El paso de IPv4 hacia IPv6 es una evolución que introduce mejoras sustanciales, modificando ciertos campos y eliminando otros, por presentar redundancias innecesarias.

El protocolo IPv6 brinda autenticación para las transacciones de comercio electrónico (*e-commerce*), garantiza la integridad de los datos y su confidencialidad mediante mecanismos de seguridad IP (IPsec: *IP Security*); permite ofrecer calidad de servicio (QoS: *Quality of service*) y Clases de servicio (CoS: *Class of Service*), ya que el formato del paquete IPv6 tiene un nuevo campo de identificación de flujo que puede ser utilizado para este fin.

#### 1.3.3.1 Formato de cabecera del protocolo IPv6.

IPv6 presenta un formato de cabecera totalmente flexible cuya longitud es de 40 bytes (en IPv4 se tiene 20 bytes de cabecera), la cual incluye información de control del paquete, tales como clase de tráfico y etiqueta de flujo; además de otras opciones que no están disponibles en IPv4, como son el envío de un mismo paquete a un grupo de receptores (*Multicast*) o el envío de un paquete a un receptor dentro de un grupo (*Anycast*). A continuación la figura 1.11 muestra el formato de cabecera para el protocolo IPv6.

---

<sup>5</sup> RFC (Request for Comments): Petición de comentarios, serie de documentos que describe el conjunto de protocolos de Internet.

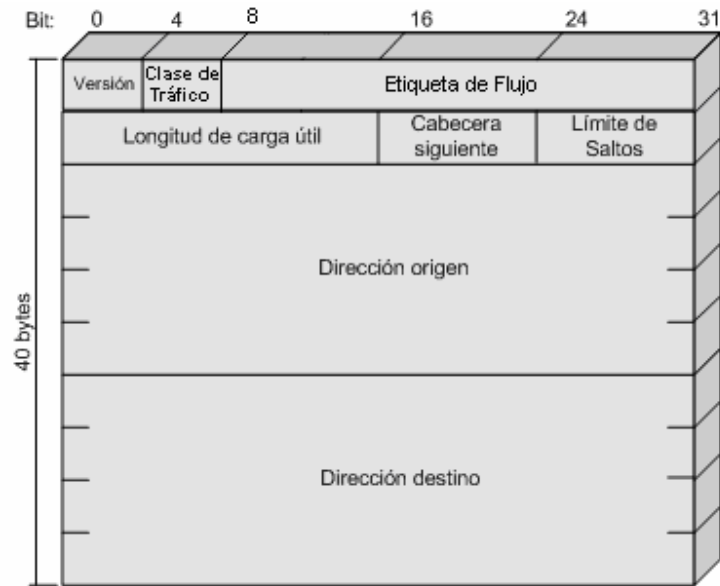


Figura 1.11 Formato de cabecera del protocolo IPv6. [5]

Donde:

- **Versión:** Describe la versión del protocolo IP que se usa. Para IPv6 el valor es 6.
- **Clase de Tráfico:** Disponible para su uso por el emisor y dispositivos de encaminamiento para diferenciar entre clases o prioridades de paquete IPv6.
- **Etiqueta de flujo:** Permite identificar paquetes pertenecientes al mismo flujo de tráfico, con el fin de que la red les ofrezca el mismo tratamiento, común y diferenciado del que proporciona a otros paquetes.
- **Longitud de carga útil:** Longitud en bytes del paquete IPv6 excluida la cabecera común.
- **Cabecera siguiente:** Identifica a la cabecera que sigue a la cabecera común de IPv6 (cabecera de extensión o cabecera de nivel de transporte).
- **Límite de saltos:** Indica el número restante de saltos permitidos para un paquete en la red. Su valor disminuye en una unidad por cada salto que realiza el paquete para llegar al destino, o hasta que toma el valor cero con lo cual el paquete es descartado.
- **Dirección de Origen:** Contiene la dirección de la máquina de origen.

- **Dirección de Destino:** Contiene la dirección de la(s) máquina(s) de destino.

En la figura 1.11 se observa que el protocolo IPv6 utiliza un campo de 128 bits para cada dirección, a diferencia de IPv4 que utiliza únicamente 32 bits. Esta asignación permite tener  $2^{128}$  direcciones diferentes, lo que permitirá a futuro conservar el protocolo IP, el cual se ha convertido en la base de muchas comunicaciones.

A diferencia de IPv4, IPv6 no realiza la fragmentación de los paquetes cuando estos están en camino hacia su destino, lo que disminuye la carga de enrutamiento en la red; esto significa que IPv6 puede soportar el crecimiento exponencial de tráfico en Internet con un costo efectivo menor.

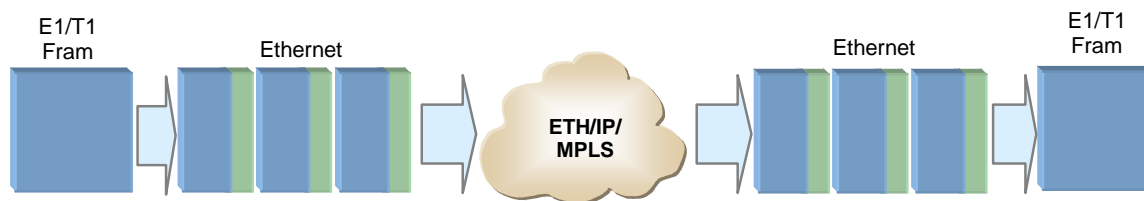
## **1.4 TDM SOBRE IP (TDMoIP). [26]**

El crecimiento de las redes IP de alto rendimiento genera un problema tecnológico, que consiste en cómo conectar la variedad de circuitos conmutados existentes a redes de conmutación de paquetes IP. Como solución a esto surge la propuesta de la tecnología TDMoIP (Multiplexación por División de Tiempo sobre el Protocolo Internet), que permite migrar a una infraestructura basada en conmutación de paquetes el tráfico telefónico, que está convencionalmente transportado sobre conexiones sincrónicas o sobre redes plesiócronicas.

### **1.4.1 CONCEPTO DE TDMoIP.**

TDMoIP básicamente consiste en el encapsulamiento de tramas TDM dentro de paquetes IP añadiendo cabeceras apropiadas para el transporte de TDM sobre una red de conmutación de paquetes. Para el propósito, TDMoIP emula circuitos T1, E1, T3, E3, y enlaces de  $n \times 64$  Kbps adaptando y encapsulando el tráfico TDM al ingreso de la red. La adaptación modifica la carga útil para obtener una apropiada restauración (señalización y sincronismo) de TDM a la salida de la red

de paquetes. La calidad de voz es similar a la existente en las redes de conmutación de circuitos y todas las características de señalización son preservadas.



**Figura 1.12 Empaquetado de tramas TDM sobre redes IP. [13]**

La figura 1.12 muestra una referencia general del funcionamiento de la técnica TDMoIP, mediante la cual, se segmenta una secuencia de tramas TDM en paquetes de cierta longitud de bytes, para ser transmitidos sobre una red de conmutación de paquetes basada en IP, Ethernet o MPLS<sup>6</sup>.

Una trama T1 consiste en 24 ranuras de tiempo (24 bytes) más un bit de sincronización, a si mismo una trama E1 consta de 32 ranuras de tiempo (32 bytes), donde un byte se utiliza para sincronización y un byte para señalización. Las dos tramas se transmiten 8000 veces por segundo.

Una implementación simple de TDMoIP encapsularía cada trama T1/E1 dentro de un paquete IP asegurándolos con la apropiada cabecera. Después de que los paquetes proveen la segmentación de tramas, el bit o byte de sincronización no necesita ser incluido, consecuentemente la longitud de la carga útil sería de 24 o 31 bytes para un T1 o E1 respectivamente. Para servicios orientados a conexión confiables se podría utilizar TCP/IP, el cual usaría 20 bytes de cabecera TCP y 20 bytes de cabecera IP. Otra alternativa es el uso del protocolo RTP (*Real-time Transport Protocol*: Protocolo de transporte en tiempo real) con una cabecera de 12 bytes (mínimo), al que se agrega una cabecera UDP (*User Datagram Protocol*:

<sup>6</sup> Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (MPLS: *Multiprotocol Label Switching*)

Protocolo de Datagrama de Usuario) de 8 octetos y 20 bytes de cabecera IP que resulta el mismo tamaño de cabecera, los dos casos no ayudan mucho ya que serían poco eficientes.

De las soluciones para este problema podemos nombrar dos: Para retardos cortos en conexiones punto a punto se puede utilizar compresión de cabecera que reduce la longitud de la cabecera a 3 bytes. La segunda solución, consiste en agrupar múltiples tramas en una súper-trama antes de encapsular. Por ejemplo, agrupando ocho tramas T1/E1 resulta una carga útil (payload) de 192 bytes para el caso de tener tramas T1 mientras que para tramas E1 tenemos 248 bytes de carga útil, por lo tanto el porcentaje de cabeceras es de 17% para el agrupamiento de T1's y del 14 % en el caso de E1's. El agrupamiento incrementa un retardo en el tiempo de arribo de paquetes, que comparado con la duración de cada trama (125 [µs]), esto añade una latencia insignificante.

Para TDMoIP el transporte de la trama TDM es transparente sin hacer interpretaciones de los datos o de la estructura interna. Así a TDMoIP el tipo de datos de la trama TDM no le interesa, si está canalizado o a su vez transporta un tren de bits no estructurado, por lo que el tráfico es reducido y solo los bits necesarios para llevar la información son incluidos en el paquete IP.

#### **1.4.2 CLASIFICACIÓN DE TDMoIP.**

Existen dos variantes de TDMoIP: Emulación de Circuitos en TDMoIP (CE: Circuit Emulation) y Compresión de Voz en TDMoIP (CV: Compressed Voice).

##### **1.4.2.1 Emulación de Circuitos en TDMoIP (CE).**

Permite la emulación de circuitos T1/E1 o T3/E3 sobre redes IP/ethernet/MPLS. Esta tecnología es ideal cuando se requiere una baja latencia, una alta calidad en la voz, video y datos sobre IP. Los paquetes que se transportan por la red poseen alta prioridad y una estricta Calidad de Servicio (QoS: *Quality of Service*) para asegurar circuitos TDM libres de errores. TDMoIP (CE) es una buena tecnología

donde el ancho de banda no es limitado; por ejemplo, redes MAN con Fast – Ethernet o Gigabit Ethernet. TDMoIP mantiene la sincronización del reloj, posibilitando extender circuitos TDM sincrónicos sobre redes asincrónicas IP/Ethernet.

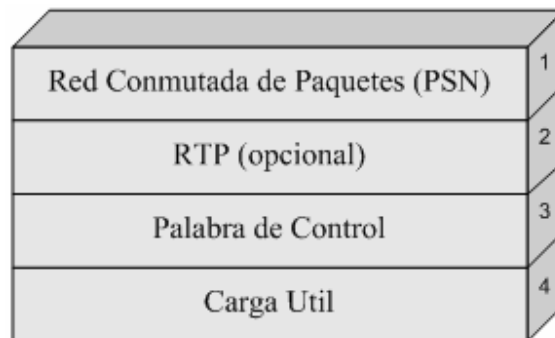
#### **1.4.2.2 Compresión de Voz en TDMoIP (CV).**

Esta tecnología es ideal para redes donde el ancho de banda es limitado; TDMoIP (CV) puede también ser utilizado para transparentar la voz ya que posee la mayoría de sus características, con un transporte transparente de señalización que utiliza menor ancho de banda y es más tolerante a la pérdida de paquetes. Estas ventajas resultan ya que TDMoIP mediante un único camino multiplexa varios canales de voz y señalización a través de un simple bundle (conexión lógica) IP, mientras que en VoIP se debe tener conexiones independientes para cada canal de voz. TDMoIP (CV) es ideal en aplicaciones sobre wireless, cable módems, xDSL, PLC, Internet.

TDMoIP (CV) optimiza el ancho de banda del canal utilizando algoritmos de compresión de voz, cancelación de eco, supresión de silencio, detección de actividad de la voz (VAD: *Voice Activity Detection*). Los algoritmos de cancelación de eco cumplen con la recomendación ITU-T G.168. Mientras que la supresión de silencio funciona junto con la detección de actividad de la voz, detectando la presencia o ausencia de señales de voz desde las muestras de audio antes de la codificación. Cuando existe ausencia de la voz, el transmisor indica de este hecho al receptor para no enviarle información innecesaria.

#### **1.4.3 ENCAPSULACIÓN TDMoIP.**

El modelo del protocolo usado por TDMoIP se resume en 4 capas y es presentado en la figura 1.13



**Figura 1.13 Modelo de capas utilizado en TDMoIP. [26]**

#### **1.4.3.1 Red Conmutada de Paquetes (PSN: *Packet Switched Network*).**

La Red Conmutada de Paquetes contiene toda la infraestructura necesaria para manejar su entorno, y puede consistir de UDP/IP, MPLS, Ethernet. Se asume que la PSN es bastante fiable y posee el ancho de banda necesario para permitir el transporte de los datos TDM requeridos.

Los dispositivos TDMoIP pueden manejar más de un circuito bundle a la vez. Un circuito bundle consiste en una fuente de bits originados desde una interfaz física o desde interfaces que comparten un reloj común los cuales son transmitidos desde un dispositivo fuente TDMoIP hacia un dispositivo destino TDMoIP. Por ejemplo, los circuitos bundles pueden comprender algún número de ranuras de tiempo (64kbps) originados desde un T1/E1 o un T3/E3 completo. Los circuitos bundles son flujos unidireccionales pero a la par con bundles en la dirección opuesta forman una conexión bidireccional.

La PSN es la responsable de proveer un identificador o número de circuito bundle (CBID: *Circuit Bundle Identifier*) para diferenciar múltiples circuitos lógicos para un mismo dispositivo TDMoIP.

Los tipos de PSN sobre los que se define la encapsulación TDMoIP son: UDP/IP, MPLS, Ethernet. A continuación se describe la encapsulación TDMoIP sobre una PSN UDP/IP.

#### 1.4.3.1.1 UDP/IP.

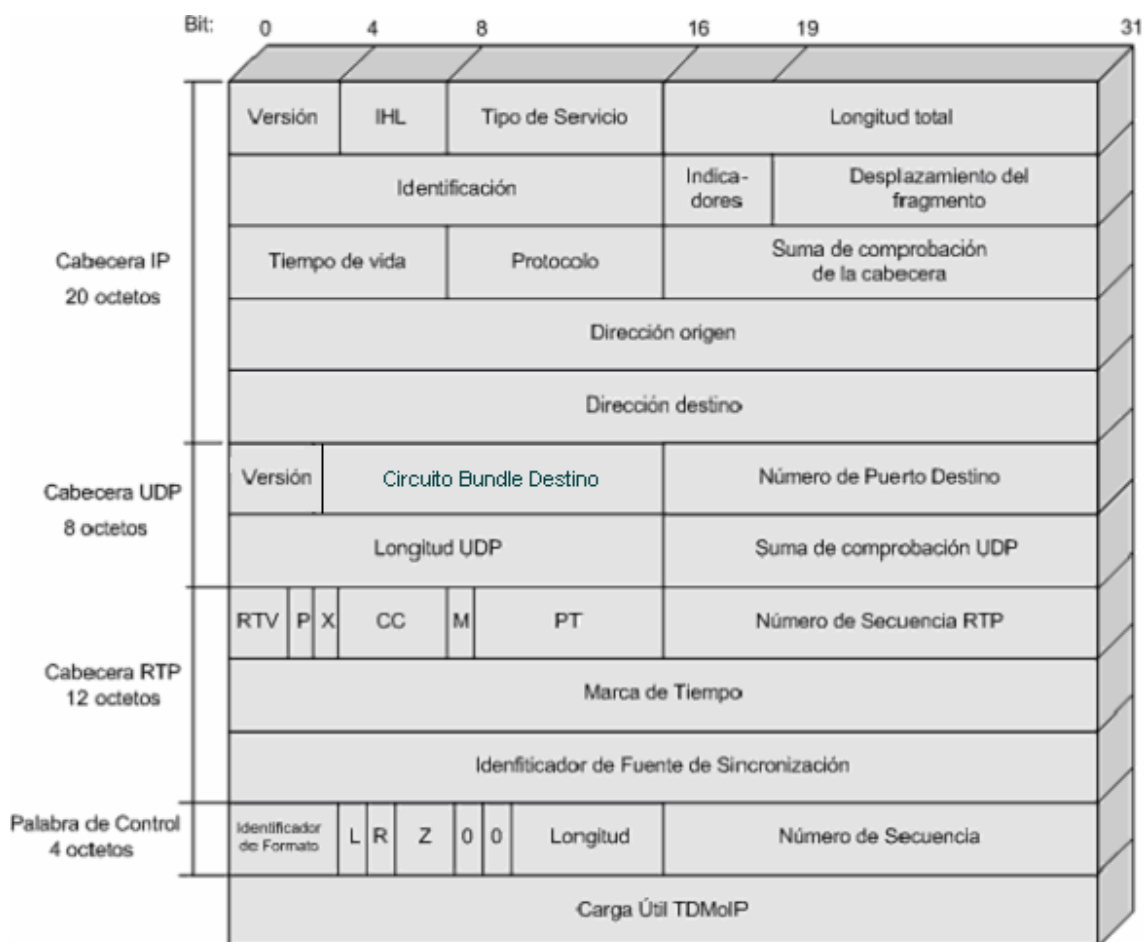
El encapsulamiento TDMoIP sobre una PSN UDP/IP, aprovecha las características del protocolo de transporte UDP, el cual permite un flujo continuo de información sin retransmisión de tramas, tal como se requiere para el transporte de tramas TDM. Este servicio no orientado a conexión permite el transporte de voz, video y datos dejando a capas superiores el control de errores y flujo en caso que se requiera.

La cabecera UDP/IP se antepone a la carga útil TDMoIP. La estructura del paquete TDMoIP se muestra en la figura 1.14 donde las primeras cinco filas son la cabecera IP, la fila sexta y séptima corresponden a la cabecera UDP. De la fila octava hasta la décima, corresponde a la cabecera opcional de protocolo de tiempo real (RTP: *Real-time Transport Protocol*), la fila siguiente es la palabra de control TDMoIP; las cuales se explicarán posteriormente.

La cabecera UDP para el caso TDMoIP difiere del original, únicamente en que en lugar del campo de puerto origen UDP, se tiene los campos versión y circuito bundle destino.

El campo versión consta de 3 bits, que sirven para identificar la versión de TDMoIP utilizada. La versión 1 de TDMoIP, la cual fue creada con propósitos experimentales, se representa con la secuencia 000. En la versión 2 de TDMoIP se diferencian dos casos: el primer caso con la secuencia 001 cuando el protocolo RTP no está presente, y el segundo caso con la secuencia 011 cuando el protocolo RTP está presente.





**Figura 1.14 Estructura del paquete TDMoIP con cabecera UDP/IP. [26]**

A continuación del campo versión se tiene el campo circuito bundle de destino para la conexión lógica en TDMoIP, que en el caso de la versión 1 este valor es aumentado en una unidad; por ejemplo, si el identificador de circuito bundle destino es 1, dicho campo tendrá el valor 2. En el caso de la versión 2 en este campo no se agrega ningún valor. Luego el campo correspondiente al número de puerto de destino es asignado por la IANA que en el caso de TDMoIP se fija al valor 2142 (0x085E).

Para el protocolo IPv6, como en el caso anterior, la cabecera UDP/IPv6 se antepone a los datos TDMoIP. La estructura de un paquete puede variar dependiendo de los valores que indica el campo de cabecera siguiente.

Los nuevos campos característicos de IPv6 como clase de tráfico y etiqueta de flujo, permiten brindar calidad de servicio QoS y un poderoso mecanismo de control de flujo, logrando asignar prioridades diferenciadas según los tipos de servicio.

#### 1.4.3.2 Protocolo de transporte en tiempo real (RTP: Real-time Transport Protocol).

El protocolo de transporte en tiempo real (RTP) es comúnmente utilizado para realizar comunicaciones como voz y video en tiempo real. RTP permite transmitir información de sincronización que necesita ser explícitamente transferida sobre la PSN, por lo que RTP es usado para estos propósitos. Cuando los dispositivos TDMoIP tienen relojes locales suficientemente precisos, RTP es opcional. La cabecera RTP cuyo tamaño es 12 bytes, se describe en la figura 1.14 y sus campos se detallan a continuación:

- **RTV (Real Time Version):** Este campo identifica la versión del protocolo RTP.
- **P (Padding):** Este bit indica que el paquete contiene octetos de relleno adicionales los cuales no son parte de la carga útil.
- **X (Extension):** Este bit indica si existe o no extensión de cabecera.
- **CC (CSRC<sup>7</sup> Count):** El contador CSRC contiene el número de identificadores CSRC que siguen a la cabecera fija, en el caso de TDMoIP su valor es 0 ya que no se utiliza múltiples fuentes CSRC debido a su naturaleza transparente.
- **M (Mark):** Indicador de marca, es usado para indicar el inicio y fin de una trama.
- **PT (Payload Type):** Este campo identifica el formato de la carga útil RTP, interpretando la aplicación que lleva.
- **Número de Secuencia RTP:** Está definido separadamente por cada circuito bundle y se incrementa uno por cada paquete TDMoIP que es enviado por éste circuito bundle.
- **Marca de tiempo:** Este campo señala el instante de tiempo exacto en el que se envió el paquete (en relación con la totalidad del flujo RTP). Toda esta

---

<sup>7</sup> CSRC (*Contributing Source*): Fuentes que contribuyen para la carga útil contenida en el paquete.

información ayuda a la estación receptora para adaptar sus propios parámetros enmascarando cualquier problema de red potencial, por ejemplo, el retraso, la fluctuación de fase (jitter) y la pérdida de paquetes.

- **Identificador de fuente de sincronización:** Este campo es un identificador único de la fuente de sincronización RTP de un circuito bundle.

La principal dificultad con el uso de RTP es el tamaño de cabecera de 12bytes, por esta razón TDMoIP permite que la cabecera RTP sea omitida cuando la información de temporización no necesita ser transmitida a través de la red.

#### 1.4.3.3 Palabra de Control TDMoIP.

Esta palabra de control es introducida a partir de versión 2 de TDMoIP con el objetivo de identificar cada paquete TDMoIP para permitir el reordenamiento de paquetes, identificación de carga útil y detección de paquetes perdidos.

La palabra de control TDMoIP consta de 32 bits y debe aparecer en cada paquete TDMoIP, el formato de la misma se indica en la figura 1.14 y sus campos se explican a continuación:

- **Identificador de formato (4 bits):** Este campo identifica el tipo de formato de carga útil. En la tabla 1.1 se muestra los tipos de formatos de carga útil para TDMoIP con sus respectivos códigos de bits, asignados por el fabricante que se analizarán más adelante.

Formato de carga útil en TDMoIP	Código de bits
AAL1 no estructurado	1100
AAL1 estructurado sin CAS	1101
AAL1 estructurado con CAS	1110
AAL2	1001
HDLC	1111

*Tabla 1.1. Formatos de tipo de carga TDMoIP. [26]*

- **L (Local Failure, 1 bit):** Indica una falla por pérdida de sincronismo local, que la fuente ha detectado en la capa física, afectando a los datos a ser transmitidos.
- **R (Remote Failure, 1 bit):** Indica que la fuente no está recibiendo paquetes TDM desde la red TDM remota, provocado por falla en la dirección de la conexión bidireccional. Esta señal puede ser usada como indicación de congestión u otras fallas relacionadas.
- **Z (2 bits):** Estos bits indican un formato de cabecera extendida.
- **Longitud (6 bits):** Es usado para indicar la longitud del paquete TDMoIP (palabra de control y carga útil). Empleado en caso de existir relleno, para encontrar la unidad de datos mínima requerida por la red conmutada de paquetes. Este campo debe ser usado si el tamaño total del paquete (incluyendo cabecera PSN, RTP opcional, Palabra de control y carga útil) es menor a 64 bytes; caso contrario este campo debe estar seteado a 0. [26]
- **Número de secuencia (16 bits):** El número de secuencia en TDMoIP debe estar presente cuando la cabecera RTP no sea usada y cumpla la misma función que el número de secuencia RTP. Es utilizado para la detección de paquetes perdidos y reordenamiento de paquetes.

#### 1.4.3.4 Tipo de Carga útil TDMoIP.

TDMoIP es una aplicación que transporta de manera continua cadenas de bytes TDM a través de una red conmutada de paquetes. Para esto, separa una cierta cantidad de bytes TDM, y luego los encapsula para adaptarlos a una PSN. TDMoIP utiliza dos algoritmos de adaptación, uno para el tráfico en tiempo real con una velocidad constante, y otro para tráfico en tiempo real con velocidad variable.

TDMoIP hace uso de las características proporcionadas por la familia de protocolos de capa adaptación AAL (AAL: *ATM Adaptation Layer*) del modo de transmisión asincrónica ATM (ATM: *Asynchronous Transmission Mode*), definidos en la recomendación ITU – T I.363; que permite emular tráfico TDM de velocidad

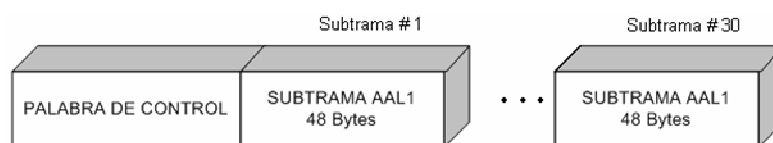
constante con el servicio AAL1 o de velocidad variable con el servicio AAL2 sobre redes conmutadas de paquetes.

Los 3 tipos de cargas útiles más utilizados en TDMoIP son: AAL1, AAL2, y HDLC, los cuales se detallan a continuación.

#### 1.4.3.4.1 Formato de Carga Útil AAL1.

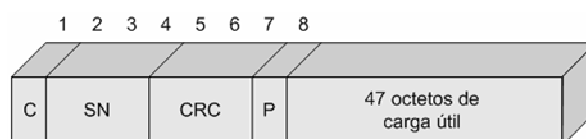
TDMoIP utiliza el formato de carga útil AAL1 para el transporte de tramas E1 o T1 en donde la asignación de las ranuras de tiempo es estática; la carga puede ser eficientemente codificada, utilizando una velocidad constante de adaptación AAL1.

En el modo AAL1 se tiene entre 1 y 30 subtramas de 48 octetos cada una (capacidad máxima de una trama ethernet), como se indica en la figura 1.15. El número de subtramas que puede ser deducido por el receptor, con la longitud total de paquete, se especifica en la cabecera PSN, lo cual es pre-configurado y escogido de acuerdo a la latencia y a la compresión de ancho de banda. Usando una simple subtrama AAL1, se reduce la latencia al mínimo, pero aumenta la cantidad de cabeceras; usando por ejemplo 8 subtramas AAL1, se reduce el porcentaje de cabeceras pero se incrementa la latencia en un factor de 8.



**Figura 1.15 Múltiples subtramas TDMoIP - AAL1 dentro de una trama TDMoIP.[26]**

El formato de la subtrama AAL1 se indica en la figura 1.16, donde se observa un byte de cabecera y 47 bytes de carga útil.



**Figura 1.16 Estructura de la subtrama AAL1.[26]**

Donde:

- **C (Convergence):** Indicación de la subcapa de convergencia. En TDMoIP su uso se limita a la indicación de la existencia de un puntero.
- **SN (Sequence Number):** El número de secuencia AAL1 se incrementa de una subtrama a una subtrama siguiente.
- **CRC (Cyclic Redundancy Code):** Es un código de redundancia cíclica de 3 bits para control de errores en los campos C y SN.
- **P (Parity):** Bit de paridad par sobre el primer octeto de la subtrama AAL1 para llevar a cabo un control de errores.

La estructura de los restantes 47 bytes depende del tipo de subtrama AAL1, los cuales pueden ser tres: emulación de circuito no estructurado, estructurado sin CAS y estructurado con CAS, indicados en el campo "indicador de formato" de la palabra TDMoIP.

La más simple de las subtramas es la no estructurada, la cual se usa para transportar tramas completas T1, E1, T3 o E3 transparentemente. Los 47 octetos subsiguientes contienen 376 bits TDM sin sincronización, y el entramado es responsabilidad del equipo de usuario final. En el caso de tramas T1 que poseen 193 bits, los 47 octetos transportan  $1\frac{183}{193}$  tramas T1; mientras que para el caso de tramas E1 que poseen 256 bits, se transporta  $1\frac{15}{32}$  tramas E1.

El servicio de emulación de circuito estructurado AAL1, consiste en transportar algunas ranuras de tiempo (circuitos de 64 Kbps), segmentando la trama E1 o T1. Este servicio considera a los datos como un circuito bundle conformado por ciertas ranuras de tiempo. En el caso que se use la señalización CAS, esta puede ser fácilmente manipulada, ya que dicha señalización puede ser transportada en uno de estos circuitos.

En el caso de emulación de circuito estructurado sin CAS, N octetos de las N ranuras de tiempo son transportados en el mismo orden, siguiendo la secuencia de la subtrama anterior. A esta secuencia de ranuras de tiempo se la denomina estructura. Así por ejemplo, una estructura puede estar formada por las ranuras de tiempo 2, 3, 5, 7 y 11; y, donde comienza y termina la secuencia es el límite de la estructura.

Para que no se pierda la secuencia de la estructura en el caso de pérdida de una subtrama AAL1, se utiliza un puntero (P: *Pointer*) de siete bits protegido por un bit de paridad par (E: *Even*), el cual indica la secuencia de la subtrama AAL1 anterior, señalando el inicio de la primera multitrama TDM, dentro de la presente subtrama AAL1. Así las subtramas que contengan este *puntero* tendrán 46 bytes de carga útil, y se denominan *subtramas de formato P*. La subtrama de formato P se muestra en la figura 1.17.



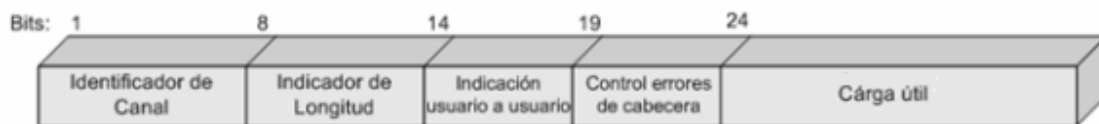
**Figura 1.17 Estructura de la subtrama de formato P. [26]**

La única diferencia entre la emulación de circuito estructurado sin CAS y estructurado con CAS, es la definición de la estructura. En el primer caso, está compuesta de N ranuras de tiempo; y en el caso de emulación circuito estructurado con CAS, la estructura consiste de 16 repeticiones de N ranuras de tiempo seguidos de los bits de señalización CAS de cada canal utilizado. Los bits CAS son empaquetados en octetos, representándose la señalización de cada canal en un nibble, y en el caso de tener un N impar, el nibble final se rellena con ceros. Para el caso de un E1 completo, los bits de señalización CAS son actualizados una vez cada supertrama (16 tramas).

#### 1.4.3.4.2 Formato de Carga Útil AAL2.

Cuando se requiere una asignación dinámica de ranuras de tiempo en una transmisión TDM, o cuando se necesita la detección de silencio para conservar el ancho de banda, o mecanismos de detección de congestión son requeridos; la carga útil puede ser eficientemente codificada usando un servicio de velocidad variable proporcionado por la adaptación AAL2.

En TDMoIP, una subtrama AAL2 no es segmentada a celdas ATM, sino que todas las ranuras de tiempo son concatenadas y un solo paquete es enviado sobre la red. La figura 1.18 muestra la cabecera básica de una subtrama AAL2 para TDMoIP.



**Figura 1.18 Cabecera básica de una subtrama AAL2 para TDMoIP. [26]**

Donde:

- **Identificador de Canal:** Es el Identificador de canal único para el bundle. Representado en 8 bits, donde los valores menores a 8 son reservados y los 248 valores siguientes son posibles canales.
- **Indicador de longitud:** Indica la longitud de la carga útil en octetos
- **Indicación usuario a usuario:** Es un indicador y contador para la capa más alta, en la aplicación entre usuarios.
- **Control de errores de cabecera:** Código de redundancia cíclica para chequeo de errores en la cabecera.
- **Carga útil:** Este campo corresponde a los bits de información de la subtrama AAL2. Se considera 2 tipos de carga útil:



- **Carga útil para voz:** Está compuesto por muestras de voz, para ser transportadas dentro de la subtrama AAL2, y su longitud se indica en el campo indicador de longitud.
- **Carga útil para señalización CAS:** Para señalización CAS, el campo de carga útil se lo trata de un modo totalmente protegido contra errores. La señalización posee el mismo identificador de canal de voz correspondiente y es enviada cada vez que el estado de los bits de señalización cambie.

#### *1.4.3.4.3 Formato de Carga HDLC.*

El objetivo de utilizar el protocolo de control de enlace de datos de alto nivel (HDLC: *High Level Data Link Control*) en TDMoIP, es para el transporte eficiente de señalización por canal común CCS (por ejemplo SS7), incluida en la cadena de bits TDM. Este mecanismo no es utilizado para el transporte de cualquier tipo de información en formato HDLC.

### **1.4.4 SEÑALIZACIÓN OAM.**

Debido a que TDMoIP no es absolutamente confiable, se requiere mecanismos de señalización de operación, administración y mantenimiento (OAM) para proveer regeneración dentro del ambiente de comunicaciones. Además, dicha señalización puede ser usada para llevar estadísticas acerca del funcionamiento de una red conmutada de paquetes (PSN: Packet Switched Network).

Si la PSN tiene un adecuado mecanismo de señalización, entonces éste será utilizado, pero si no lo tiene, procedimientos como el protocolo de mensajes de control de internet (ICMP) serán utilizados.

#### **1.4.4.1 Mensajes de Chequeo de Conectividad.**

En la mayoría de aplicaciones IP convencionales, un servidor envía alguna cantidad finita de información sobre la red, mediante una petición explícita de un

cliente. Con TDMoIP la fuente envía un continuo flujo de paquetes al destino desconociendo si el dispositivo destino está listo, lo que podría inundar la PSN.

El problema podría ocurrir cuando el dispositivo del otro extremo falla o está desconectado. Después de cierto tiempo el destino desaparece de las tablas de ruteo y los enrutadores intermedios pueden inundar la PSN con paquetes TDMoIP en un esfuerzo por encontrar un nuevo camino. La solución a este problema es la reducción del número de paquetes TDMoIP transmitidos por segundo cuando la falla es detectada, y retomar la transmisión normal cuando la conectividad es restablecida. La detección y restauración de la falla es posible por el intercambio periódico de mensajes de chequeo de conectividad de una vía.

La conectividad se prueba periódicamente enviando mensajes OAM desde la fuente hacia el destino, esperando respuestas a este mensaje. Debido a que los dispositivos TDMoIP usualmente operan en modo Full Dúplex, los dos sitios deben ser configurados adecuadamente para evitar la sobre carga en el flujo.

#### **1.4.5 FACTORES DE IMPLEMENTACIÓN.**

En esta sección se consideran factores importantes para que una implementación de TDMoIP sea exitosa.

##### **1.4.5.1 Calidad de Servicio.**

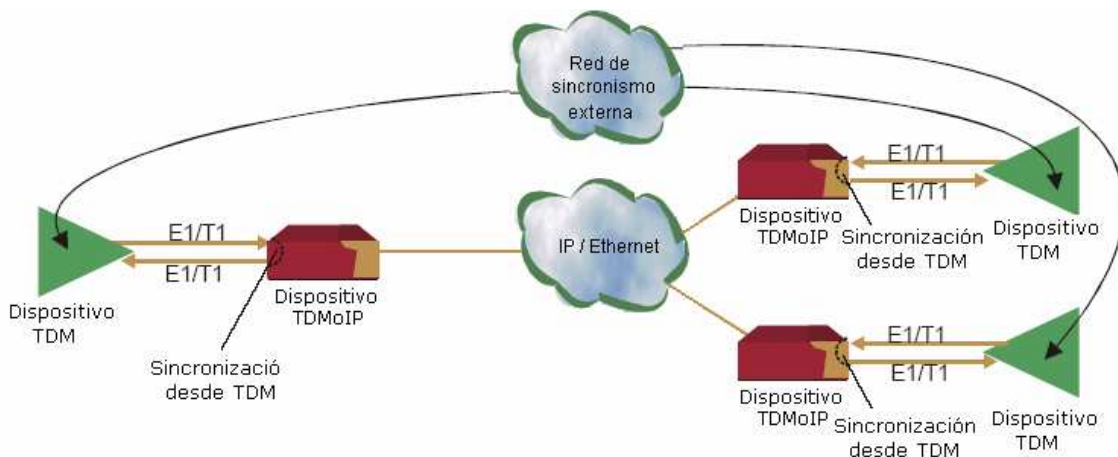
TDMoIP no provee mecanismos para garantizar calidad de servicio; por lo cual se requiere que servicios de capa más baja lo hagan. Se puede conceder prioridad de capa 2 a un flujo TDMoIP usando el campo de prioridad en la cabecera VLAN. En la capa 3 (Internet) la prioridad es controlable usando el campo de tipo de servicio (ToS: *Type of Service*) del protocolo IP. Dispositivos como switches y enrutadores por los cuales el flujo TDMoIP circula, deberían ser configurados con estas prioridades.

### 1.4.5.2 Sincronización.

Las redes TDM son inherentemente sincrónicas, así por ejemplo: En las redes conmutadas de telefonía pública (PSTN: *Public Switched Telephony Network*), existe un nodo principal o de primer orden que provee la señal de reloj a los nodos de segundo orden llamados esclavos, y estos a su vez a los nodos de tercer orden y así sucesivamente. En alguna parte en la red habrá siempre por lo menos un reloj de referencia primario extremadamente exacto.

Existen dos modelos de sincronización para integrar redes TDMoIP con redes TDM: La sincronización proveída por una fuente externa y la sincronización por recuperación de la señal de reloj a través de la red conmutada de paquetes.

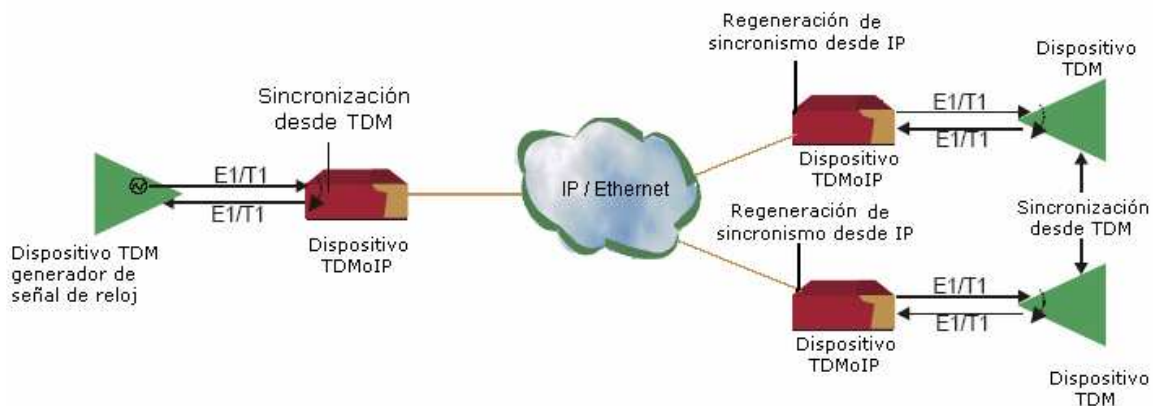
- En La sincronización proveída por una fuente externa, los dispositivos TDMoIP reciben la misma referencia de tiempo de la oficina central a la que están conectados, tal como se muestra en la figura 1.19.



**Figura 1.19 Sincronización proveída por una red externa. [26]**

- Mientras que en la sincronización por recuperación de la señal de reloj a través de la red conmutada de paquetes, se emplea un método de sincronización de tiempo, debido a que la infraestructura primaria es reemplazada por redes TDMoIP. Las redes IP pueden obtener reloj utilizando el protocolo de tiempo en la red (NTP: *Network Time Protocol*), pero si es un enlace dedicado TDMoIP no

se obtiene esta característica, por lo que es necesario utilizar un mecanismo de sincronización de tiempo independiente en los equipos TDMoIP, así la red IP no necesita transportar información de sincronización TDM. La figura 1.20 muestra lo descrito anteriormente.



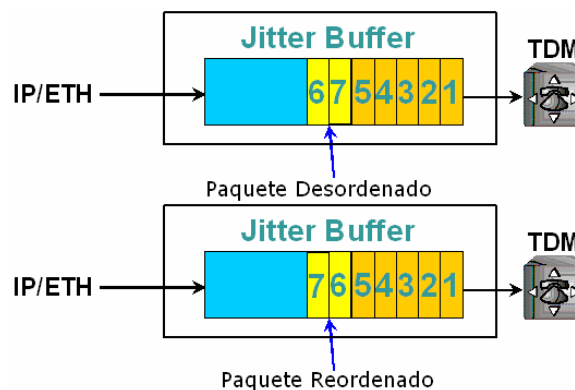
**Figura 1.20 Sincronización por regeneración y recuperación de reloj en la red. [26]**

### 1.4.5.3 Jitter y Pérdida de Paquetes.

Los paquetes en redes IP alcanzan su destino con un retardo al azar, conocido como "jitter". Al emular TDM en una red IP, es posible superar esta aleatoriedad usando un "jitter buffer" en todos los datos entrantes, asumiendo un tiempo disponible apropiado. Existe un problema debido a que la cantidad de almacenamiento en este buffer es limitado. El tamaño de este buffer debe ser configurable y puede ser dinámico (Podría crecer como contraer su tamaño de acuerdo a las estadísticas de la variación de retardo).

Para manejar las pérdidas y desordenamiento infrecuente de paquetes, se debe proveer un mecanismo para mantener la integridad y orden de los paquetes. Este mecanismo debe rastrear los números de secuencia de los paquetes en el buffer de Jitter y tomar las acciones apropiadas cuando los errores son detectados. Cuando la pérdida de paquetes es detectada, el mecanismo de interpolación de paquetes a la salida debe ser implementado para mantener el sincronismo TDM.

Los paquetes con números de secuencia incorrectos u otro error de cabecera deben ser descartados. Los paquetes que llegan desordenadamente deben ser ordenados. Siempre que sea posible, la interpolación de paquetes debería asegurar la apropiada sincronización de bits que son enviados a la red TDM. La figura 1.21 muestra el mecanismo de jitter buffer con el cual se reordena los paquetes que llegan en desorden desde la red IP para transmitirlos hacia la red TDM.



**Figura 1.21 Ordenamiento de paquetes en el Jitter Buffer. [26]**

#### 1.4.5.4 Overhead vs. Latencia.

TDMoIP está diseñado para aprovechar el ancho de banda de la red, para lograr esta meta, se unen múltiples subtramas en un solo paquete para ocupar una sola cabecera. Por ejemplo, para carga útil de tipo AAL1, existen  $n$ -subtramas, donde  $n$  es un parámetro configurable. Mientras mayor es el valor de  $n$ , el número de cabeceras (overhead) se reduce, pero se incrementa el retardo por tiempo de procesamiento entre el ingreso de una muestra TDM y su transmisión sobre la PSN. Este retardo se debe añadir al retardo de propagación de la red junto con otros retardos que experimentan los paquetes. El tiempo de latencia se considera aceptable dependiendo de la aplicación; es necesario que exista un método para manejar esta relación entre eficiencia y latencia. La figura 1.22 muestra que en el proceso de encapsulación TDMoIP, mientras mayor sea la longitud de la carga útil, menor será el número de cabeceras incluidas en el paquete.

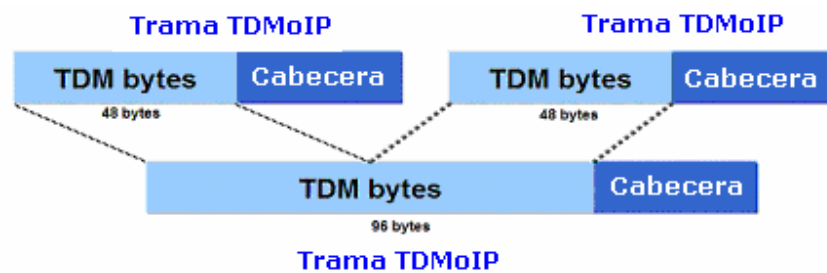


Figura 1.22 Overhead vs. Latencia. [26]

#### 1.4.5.5 Consideraciones de Seguridad.

TDMoIP no mejora ni disminuye el desempeño en la seguridad de la PSN, sino que cuenta con los mecanismos propios de la PSN como encriptación, integridad y autenticación de los datos, en caso en que se requiera. TDMoIP no provee protección contra usuarios maliciosos que utilizan espionaje o inyección de paquetes durante la instalación y operación.

Los identificadores de circuito bundle deben ser seleccionados de manera impredecible en lugar de una forma secuencial.

#### 1.4.5.6 Consideraciones de la IANA.

Cuando se usa UDP/IP el puerto de destino debe estar seteado a 0x085E (2142), que es el número de puerto asignado por la IANA para TDMoIP.

### 1.5 ALGORITMOS DE COMPRESION DE VOZ [19]

El campo de la codificación de la voz comprende más que una digitalización de señales analógicas de voz, ya que además, el objetivo es el desarrollo de códecs de audio que brinden una aceptable calidad de conversación con una baja utilización de ancho de banda para su transmisión.

“La palabra códec se deriva de la combinación de codificador y decodificador. La función del codificador, es el proceso de codificación de una señal digitalizada en una forma más eficaz para la transmisión o el almacenamiento, mientras que la función del decodificador es restaurar la señal a la forma original.”

Existen 3 tipos de algoritmos de codificación de voz:

- Códecs de forma de onda.
- Códecs fuente.
- Códecs híbridos.

### 1.5.1 CÓDECS DE FORMA DE ONDA

Este tipo de códecs reconstruyen una señal de entrada sin modelar el proceso que creó la señal de entrada. La señal de salida recrea la forma de onda de la señal de entrada. Los códecs de forma de onda son los tipos de códec menos complejos. Un ejemplo de este tipo es el códec de modulación por impulsos codificados (PCM), especificado en la recomendación G.711 de la ITU-T, descrito anteriormente, el cual se transmite a 64kbps con 8 bits por muestra.

El códec modulación por impulsos codificados diferencial y adaptable (AD-PCM: *Adaptable Differential Pulse Coded Modulation*), especificado en la recomendación G.726 de la ITU-T, es un códec más avanzado que el anterior, ya que en lugar de transmitir valores reales PCM de la forma de onda; éste, transmite una señal de error que es la diferencia entre la entrada real y la estimada. La ecuación 1.2 resume el proceso del codificador:

$$[\text{entrada\_original}] - [\text{entrada\_estimada}] = [\text{señal\_error}] \quad \text{ec. 1.2}$$

La entrada estimada es una función de muestras sucesivas de señales de error que se obtienen a partir de la cuantización PCM. El codificador usa valores sucesivos de su propia salida para predecir la entrada actual. Como la señal

estimada cambia en función de las características de la señal de entrada este esquema es adaptable.

En el proceso del decodificador, la entrada estimada se obtiene del mismo modo que en el codificador, por lo tanto, la salida del decodificador debe coincidir con la entrada original del codificador. La ecuación 1.3 resume el proceso del decodificador:

$$[\text{señal\_error}] + [\text{entrada\_estimada}] = [\text{entrada\_original}] \quad \text{ec 1.3}$$

AD-PCM especifica cuatro tasas de bits diferentes que corresponden al número de bits usados en la cuantificación de la señal de error, descritas en la tabla 1.2.

Tasa de bits (kbps)	Bits por muestra de señal de error	Número de niveles de cuantificación
40	5	31
32	4	15
24	3	7
16	2	4

**Tabla 1.2. Bits por muestra y número de niveles de cuantificación a diferentes tasas de bits para la recomendación G.726 AD-PCM. [19]**

En la tabla 1.2 se observa que conforme la tasa de bits disminuye, el número de niveles de cuantificación en la señal de error también disminuye; esto se ve reflejado en una pérdida de calidad en la conversación, por lo tanto, es poco práctico tener un decodificador AD-PCM que trabaje a menos de 16 [kbps], ya que existe mucho ruido provocado por la cuantificación en la señal de error. Esto se debe a que la señal de error también es usada para derivar la señal de entrada estimada, y no hay mucho espacio para la compresión bajo una señal de error con solo 4 estados. Los códecs PCM y AD-PCM operan en el dominio del tiempo.



### **1.5.2 CÓDECS DE FUENTE**

Estos códecs están diseñados para tipos de entrada específicos (ejemplo la conversación humana), y hacen uso de una entrada predecible para modelar la fuente de la señal. Este tipo de códecs intentan replicar el proceso físico de la creación del sonido.

Los códecs de fuente emulan la función de la señal de estímulo y el filtro de tracto vocal. Las muestras de audio que introduce el codificador son agrupadas en tramas, las cuales son analizadas para determinar el tipo de la señal de estímulo y la forma del filtro. El tipo de señal de estímulo puede ser sonoro o sordo, dependiendo de cierto nivel de señal, y para diferenciar entre los dos estados se utiliza un bit dentro de la trama. En estímulos sordos, el codificador solo necesita identificar que el estímulo es sordo, para que luego, el decodificador en la salida use una señal aleatoria (sonido blanco) como señal de estímulo. En estímulos sonoros, el codificador determina la frecuencia de impulso de la modulación de las cuerdas vocales, y luego envía la información codificada al decodificador.

Los códecs de fuente producen señales de muy baja tasa de bits, pero tienen un potencial limitado de calidad de voz. Estos códecs han sido utilizados en comunicaciones militares por motivos de seguridad.

### **1.5.3 CÓDECS HÍBRIDOS**

Los códecs híbridos brindan mayor calidad de conversación con tasas de bits más bajas que los códecs anteriores, para lo cual usan una combinación de modelado de fuente y análisis de forma de onda; por lo que estos algoritmos tienden a ser bastante complejos.

Los códecs híbridos más comunes operan en el dominio del tiempo usando técnicas de predicción lineal de análisis por síntesis (utilizado en códecs de forma de onda). Al igual que los códecs de fuente, estos modelan una señal de estímulo

y un filtro. Existen 3 métodos para la codificación de la señal de estímulo descritos a continuación:

#### **1.5.3.1 Estímulo multi-impulso (MPS: *Multi - Pulse Stimulate*)**

El modelo de estímulo multi-impulso MPS codifica la señal de estímulo como una serie de señales de impulsos no-cero que pueden variar en posición y en amplitud; agrupando la información codificada en subtramas, dependiendo del algoritmo del códec se determina el número de impulsos (4 a 6 impulsos) que pueden flotar dentro de una subtrama (de duración aprox. 5 [ms]).

Un ejemplo de este modelo se tiene en la recomendación G.723.1 de la ITU-T, la cual especifica un códec que codifica un canal de voz a una velocidad de transmisión de 6.3 [kbps].

#### **1.5.3.2 Estímulo de impulso regular (RPS: *Regular Pulse Stimulate*)**

Al igual que MPS, RPS representa la señal de estímulo como una serie de impulsos, especificando únicamente la amplitud de cada uno de ellos. RPS reduce el número de bits requerido para representar un número dado de impulsos. Un códec RPS típico puede usar de 10 a 12 impulsos por subtrama. Por ejemplo el estándar de telefonía GSM usa un códec RPS que opera a 13 [kbps].

#### **1.5.3.3 Predicción lineal de código estimulado (CELP: *Code stimulated by Lineal Prediction*).**

Este tipo de códecs utilizan un método diferente a los códecs anteriores para codificar los impulsos. Para identificar las diferentes combinaciones de amplitudes y posiciones de impulsos, CELP (*Code stimulated by Lineal Prediction*) utiliza un libro de código, donde cada una de estas combinaciones se representa por un índice en dicho libro. Tanto el codificador como el decodificador hacen referencia al mismo libro de código. Por cada subtrama, la parte del codificador transmite el valor del bit del índice de libro de código correspondiente a la señal de estímulo

que produce la mejor coincidencia con la señal de entrada original. El decodificador usa el índice para identificar la señal de estímulo de su propia copia del libro de código.

El rendimiento de los códigos CELP depende del número de entradas del libro de código y la eficacia de los algoritmos de búsqueda en el libro de código. Este método de libro de código permite transmitir una gran cantidad de información en muy pocos bits.

Para simplificar este proceso de búsqueda algunos libros de código tienen entradas solo para las posiciones de los impulsos, mientras que las amplitudes deben determinarse por separado. En ciertas ocasiones se usan libros de códigos simplificados (sin amplitud de información y solo unos pocos impulsos), por lo que pueden emplearse técnicas algebraicas para simplificar la búsqueda del libro de código (ACELP: *Algebraic CELP*).

La recomendación G.728 de la ITU-T corresponde a un códec CELP de bajo retardo a 16 [kbps] (LD-CELP: *Low Delay - CELP*); la recomendación G.729 corresponde a una estructura conjugada algebraica ACELP (CS-ACELP: *Conjugated Structure ACELP*) a 8 [kbps]; y la recomendación G.723.1 también usa la técnica ACELP y opera a 5.3 [kbps].

#### **1.5.4 MEDIDA DE LA CALIDAD DE LA VOZ.**

La ITU-T plantea dos métodos para medir la calidad de la voz que son: el método subjetivo que depende de la opinión del público y el método objetivo que se realiza mediante procesos computacionales.

Una medida subjetiva de la calidad de la voz es la puntuación media de opinión (MOS: *Medium Opinion Score*) que es el resultado de una prueba de escala de categoría absoluta, donde los sujetos escuchan grupos de muestras de conversación, e indican el nivel de calidad de la conversación que perciben de

cada muestra, de acuerdo a una escala de calidad de escucha del 1 al 5 o a la escala de esfuerzo de escucha; como se indica en la tabla 1.3.

Puntuación MOS	Escala de calidad de escucha	Escala de esfuerzo de escucha.
5	Excelente	Relajación completa posible; no se necesita esfuerzo.
4	Buena	Atención necesaria; no se necesita esfuerzo apreciable.
3	Media	Se necesita esfuerzo moderado.
2	Pobre	Se necesita esfuerzo considerable.
1	Mala	No se entiende el significado con cualquier esfuerzo factible.

*Tabla 1.3 Escalas de evaluación para MOS. [19]*

La tabla 1.4 muestra la puntuación MOS y la escala de calidad de escucha que se tiene para 3 estándares de códecs diferentes.

Códec	Tasa de bits (kbps)	Puntuación MOS	Escala de calidad de escucha
G.711	64	4.1	Bueno
G.729 (CS-ACELP)	8	3.9	Media
G.723.1 (ACELP)	5.3	3.61	Media

*Tabla 1.4 Medida de la calidad de voz para algunos códecs. [19]*

### 1.5.5 CANCELACIÓN DE ECO. [1]

El eco en comunicaciones de voz se manifiesta al oír la propia voz mientras se está hablando después de un retraso de aproximadamente 25 [ms], el cual provoca interrupciones y puede romper el ritmo de la conversación. Las redes telefónicas en aquellas partes del mundo donde se utiliza principalmente la voz analógica emplean supresores de eco, que eliminan el eco producido por un desajuste en la impedancia de un circuito.

En las redes actuales basadas en paquetes, se puede construir canceladores de eco en códecs de velocidad de transmisión baja, la cual puede realizarse mediante software; esta táctica reduce drásticamente los beneficios de la cancelación de

eco, sin embargo la supresión de eco es mejor cuando es realizada mediante hardware.

### **1.5.6 DETECCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA VOZ. [1]**

Las redes de telefonía actuales contienen canales bidireccionales de 64 [Kbps], con independencia de si alguien está hablando o no, esto quiere decir que en una conversación normal se pierde, por lo menos, el 50% del total del ancho de banda. En realidad, la cantidad de ancho de banda puede ser mayor si se toma un muestreo estadístico, de las interrupciones y pausas de los patrones normales de voz de una persona.

La detección de actividad de voz (VAD: *Voice Activity Detection*) funciona detectando la magnitud de la voz y decidiendo cuando debe dejar la voz de ser empaquetada. La VAD padece determinados problemas inherentes a la hora de determinar cuando finaliza y empieza la voz, y a la hora de distinguir la voz de un ruido de fondo. Esto significa que si se está en un espacio ruidoso, la VAD es incapaz de distinguir entre la voz y el ruido de fondo.

## **1.6 MEDIOS DE TRANSMISIÓN. [8]**

Una red de telecomunicaciones permite comunicar a distancia dos o más usuarios para el intercambio de información (voz, texto, imágenes o video), mediante el empleo de señales eléctricas u ópticas, a través de un medio de transmisión apropiado.

Los medios de transmisión se los suele clasificar en *guiados* (par trenzado, coaxiales, fibra óptica) y en *no guiados* (microondas, ondas de radio, luz)

### **1.6.1 MEDIOS DE TRANSMISIÓN GUIADOS.**

Este tipo de medio de transmisión, hace uso de un medio físico encaminado para la propagación de la señal, el cual determina las limitaciones de la transmisión.

### 1.6.1.1 Par Trenzado.

Consiste en un par de hilos de cobre recubiertos de aislamiento para su protección y enrollados entre ellos en forma helicoidal a lo largo de toda su longitud. El trenzado, disminuye la interferencia electromagnética entre pares adyacentes de un cable. Típicamente varios pares son agrupados juntos en un “cable” y cubiertos por una chaqueta protectora exterior, para largas distancias dichos cables suelen contener cientos de pares.

Es muy utilizado en telefonía, Línea digital de suscriptor asimétrica (ADSL: *Asymmetric Digital Subscriber Line*), en redes de datos de área local, etc.

En redes de área local se utilizan principalmente dos tipos de cables con pares trenzados: UTP y STP.

#### 1.6.1.1.1 UTP (*Unshielded Twisted Pair*).

Es un cable de pares trenzados y sin recubrimiento metálico externo (no blindado), lo que lo hace muy sensible a la interferencia electromagnética. Es un cable barato, flexible y fácil de instalar. Tiene una impedancia característica en el orden de los 100 a 120  $[\Omega]$ . Un cable UTP contiene entre 2 y 4200 pares trenzados.

De acuerdo al estándar EIA/TIA 568-A se clasifica al cable UTP en categorías, tales como:

- Categoría 3: Cuatro pares trenzados agrupados en un solo cable. Utilizado para telefonía analógica o digital. Tiene un ancho de banda de 16 [MHz] a distancias limitadas de 100 [m]; con un retardo de propagación del orden de 5.5 [ $\mu$ s/Km].
- Categoría 4: Ancho de banda de 20 [MHz] para una distancia de 100 [m].
- Categoría 5: Ancho de banda de 100 [MHz] para una distancia de 100 [m].
- Categoría 5e: Ancho de banda de 100 [MHz] para una distancia de 100 [m].
- Categoría 6: Ancho de banda de 250 [MHz] para una distancia de 100 [m].

#### 1.6.1.1.2 STP (Shielded Twisted Pair).

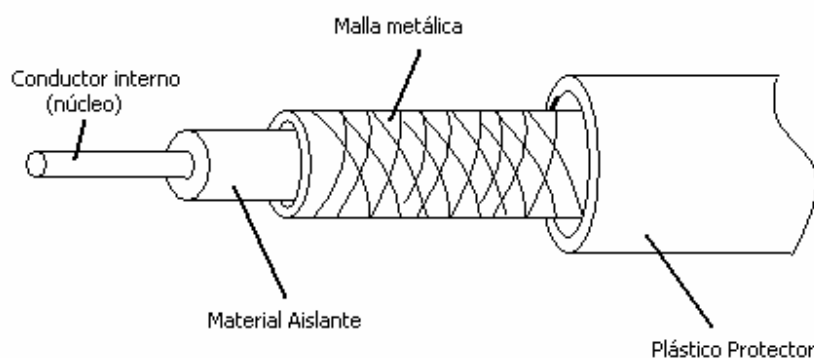
Es un cable blindado que posee un recubrimiento metálico para evitar las interferencias externas, por lo que resulta más pesado, difícil de manipular y más costoso que el cable UTP. La impedancia característica de un cable STP es de 150  $[\Omega]$ .

En cualquier cable, sea UTP o STP, existirá atenuación de la señal, y esta atenuación va en aumento respecto a la frecuencia.

#### 1.6.1.2 Cable Coaxial.

Consiste de un cable conductor interno (sólido o multifilar) que forma el núcleo, separado de otro cable conductor cilíndrico en forma de malla de tejido trenzado por un aislante macizo; todo esto, recubierto por una capa de plástico protectora (Ver figura 1.23)

Este cable se lo utiliza para transmitir a frecuencias más altas, velocidades de transmisión superiores y a más larga distancia que el par trenzado.



**Figura 1.23 Estructura de un cable coaxial. [8]**

Sus principales inconvenientes son: atenuación, ruido térmico y ruido de intermodulación, por lo que está siendo reemplazado en donde sea posible por fibra óptica. Existen dos categorías de cable coaxial:

**Cable Coaxial Banda Base:** Tiene una impedancia característica de 50 [ $\Omega$ ]; utilizado para transmisión de datos en banda base, en redes LAN.

**Cable Coaxial Banda Ancha:** Tiene una impedancia característica de 75 [ $\Omega$ ], apto para transmitir señales analógicas. Cubre mayores distancias que los de banda base. Es muy utilizado en aplicaciones de televisión por cable.

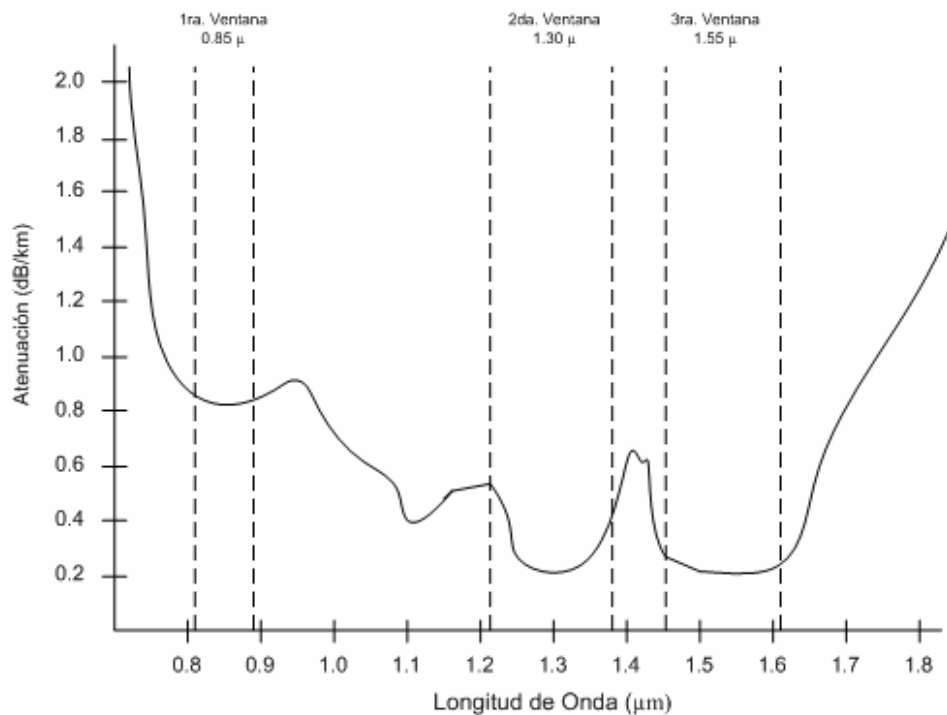
### 1.6.1.3 Fibra Óptica.

Es un medio de transmisión muy fino y flexible, que transmite la información mediante la conducción de energía de naturaleza lumínica (pulsos de luz). La fibra óptica está constituida por un núcleo (*core*) de plástico o vidrio de un alto índice de refracción, sobre el que se monta un revestimiento (*cladding*) de plástico o vidrio de menor índice de refracción; todo este conjunto se recubre con una chaqueta protectora.

El índice de refracción del revestimiento es menor que el del núcleo, esto permite que la luz quede atrapada dentro del núcleo y pueda viajar por él. Así, cuando un rayo de luz pasa de un medio con determinado índice de refracción, a otro medio con diferente índice de refracción, el rayo es refractado en el límite de los dos materiales.

Para la transmisión por fibra óptica se utiliza la parte alta del espectro correspondiente al infrarrojo, específicamente, se tienen tres ventanas de transmisión en las que las respectivas longitudes de onda presentan un mínimo de atenuación, tal como se puede observar en la figura 1.24.





**Figura 1.24. Ventanas de transmisión que se utilizan con fibra óptica. [8]**

La fibra óptica tiene un gran ancho de banda, además es inmune al ruido, a la interferencia electromagnética y a la carga estática. Su atenuación es casi nula, estando en el orden de las décimas de [dB/Km].

#### 1.6.1.3.1 Tipos de fibra óptica.

Dependiendo de cuantos rayos de luz a la vez se propagan en el interior del núcleo de la fibra, se tienen dos tipos de fibra óptica: Multimodo y monomodo.

- **Fibras ópticas Multimodo:** En este tipo de fibra, múltiples rayos de luz son transmitidos al interior de la fibra. El diámetro del núcleo de la fibra multimodo es de aproximadamente 50 [μm]. Trabaja en las ventanas de longitudes de onda de 850 y 1300 [nm]. Se tiene dos tipos de fibra multimodo:

- *Fibra óptica multimodo de índice escalonado*: Se caracteriza por tener los índices de refracción tanto del núcleo como del revestimiento constante pero diferentes entre si, lo que provoca que las componentes de frecuencia del pulso de luz de entrada viajen a diferentes velocidades en el interior del núcleo y lleguen a diferentes tiempos, por lo que el pulso de salida llega disperso.
  - *Fibra óptica multimodo de índice gradual*: El índice de refracción del núcleo disminuye gradualmente a medida que se aleja del eje de la fibra óptica y se acerca al revestimiento, mientras que el índice de refracción del revestimiento se mantiene constante; lo que provoca que en el interior del núcleo se produzcan múltiples refracciones, reduciendo así el fenómeno de dispersión. Por lo que el pulso de salida llega mejor conformado, permitiendo alcanzar mayores velocidades de transmisión que con fibras de índice escalonado.
- **Fibras ópticas Monomodo**. Este tipo de fibra óptica permite que sólo un rayo de luz se propague en línea recta (sin rebotar) en el interior del núcleo, debido a que el diámetro del núcleo de fibra es alrededor de los 8 a 10 [µm]. Trabaja en las ventanas de longitud de onda de 1300 y 1550 [nm]. Permite alcanzar mayores velocidades a mayores distancias que las fibras multimodo.

#### *1.6.1.3.2 Componentes de un sistema óptico.*

Un sistema óptico consta de tres partes: la fuente de luz, el medio de transmisión y el detector de luz.

La fuente de luz puede ser un diodo emisor de luz (LED: *Light Emitter Diode*) que es una fuente de luz dispersa, debido a que genera muchos rayos de luz de diferentes longitudes de onda, y el diodo de inyección láser (ILD: *Injection Laser*

*Diode*) que es una fuente de luz coherente monocromática, que reduce la dispersión cromática<sup>8</sup>.

Como detectores de luz tenemos diodos PIN (*tipo P – tipo N Intrínseco*) y APD (*Avalanche Photodiode*), siendo éste último más sensible por lo que requiere menos amplificación.

Con la intención de aprovechar aún más las bondades de las fibras ópticas, investigaciones han conducido a la invención de un amplificador de fibra dopada con “erbio” (un elemento perteneciente a las tierras raras), que trabaja con un diodo láser a 1480 o 980 [nm]. El láser de bombeo excita los iones de erbio, obteniéndose la amplificación de la señal transmitida. Las fibras dopadas de erbio suelen ser de unos 1020 [m], y pueden alcanzar ganancias de varias decenas de decibeles [dB] con una señal de bombeo de unos cuantos milivolts. Los amplificadores de fibra dopada con erbio, agrandan la señal sin necesidad de realizar conversiones ópticas a eléctricas, lo cual hace posible que se amplifiquen de manera simultánea todas las señales con diferentes longitudes de onda que viajen en el interior de la fibra.

Para aumentar la cantidad de información transportada en las fibras ópticas. Una mejora importante es la multiplexación por división de longitud de onda (WDM: *Wavelength Division Multiplexing*) y el WDM denso (DWDM: *Dense - WDM*) que permiten que más de dos señales con diferentes longitudes de onda viajen en la misma pieza de fibra; lo que acepta un mayor número de conexiones. DWDM permite más longitudes de onda, las que se encuentran menos espaciadas unas de otras; más de 200 longitudes de onda pueden ser multiplexadas en un flujo de luz en una pieza de fibra simple [10].

---

<sup>8</sup> Dispersión cromática: Es el arribo de la información por la fibra óptica a diferentes tiempos de lo esperado, con un ensanchamiento en los pulsos de bits.

## **1.6.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN NO GUIADOS. [8]**

Este tipo de medio de transmisión, hace uso de un medio físico inalámbrico (ejemplo: aire, vacío, etc.) para la propagación de la señal. Como medios no guiados se tiene:

### **1.6.2.1 Transmisión Inalámbrica.**

Apropiada cuando no se puede utilizar medios de transmisión guiados, ya sea por distancia o inaccesibilidad. Consiste en la radiación de energía electromagnética por medio de una antena, la cual es receptada por otra antena, originando en ella unos valores de tensión o de corriente eléctrica. Existen dos métodos para la emisión y recepción de esta energía: Direccional y Omnidireccional.

En el método direccional, toda la energía se concentra en un haz que se emite en una cierta dirección, por lo que tanto el emisor como el receptor deben estar alineados. En el método Omnidireccional, la energía se dispersa en múltiples direcciones, por lo que varias antenas (usuarios) pueden captarla, esto no implica que todos los usuarios receptorán iguales niveles y calidad de señal. Las características de propagación de las ondas electromagnéticas que viajan en medios de transmisión no guiados son altamente dependientes de la frecuencia.

### **1.6.2.2 Transmisión Infrarroja.**

En la transmisión infrarroja, el emisor y receptor, requieren estar bien direccionados; se descartan problemas de interferencia y las ondas infrarrojas no pueden atravesar objetos sólidos. Actualmente esta tecnología se implementa en ordenadores portátiles, móviles, cámaras digitales, control remotos para TV o equipos de sonido, etc.

### **1.6.2.3 Microondas Terrestres.**

Son muy utilizadas en servicios de telecomunicaciones a gran distancia, principalmente para comunicaciones de telefonía fija, móvil y de televisión. Las microondas, con frecuencias del orden de los Gigahertz, permiten un ancho de banda muy elevado, ya que la frecuencia de la portadora es muy alta. Las ondas electromagnéticas correspondientes a esta parte del espectro, viajan en línea recta y tienen un haz bastante directivo, por lo que requieren de línea de vista, lo cual da una mayor relación señal a ruido. Las distancias que se alcanzan varían entre 50 a 100 [Km] en transmisiones de microondas por la superficie terrestre, y suelen usar antenas parabólicas.

Las microondas no atraviesan edificios y pueden originarse varios trayectos para las ondas, llegando estas desfasadas a la antena receptora, provocando interferencia al recombinarse entre ellas, lo que origina el efecto denominado desvanecimiento por múltiples trayectorias.

### **1.6.2.4 Comunicaciones Satelitales.**

El satélite se encuentra a cientos o miles de kilómetros de la Tierra, el cual, recibe las señales, las amplifica y retransmite en la dirección adecuada mediante "*transponders*". Un satélite típicamente tiene de 12 a 20 transponders. Cada transponder "escucha" una determinada porción del espectro, amplificando la señal de entrada y luego retransmite en otra frecuencia para evitar interferencias; cada transponder maneja un ancho de banda de 36 a 50 [MHz]. El rango de frecuencias para la recepción del satélite suele llamarse enlace ascendente (uplink), mientras que el rango de frecuencias que el satélite emite se le llama enlace descendente (downlink).

Las bandas de frecuencia utilizadas en comunicaciones satelitales son: Banda P, Banda L, Banda S, Banda C, Banda X, Banda Ku, Banda K y Banda Ka.

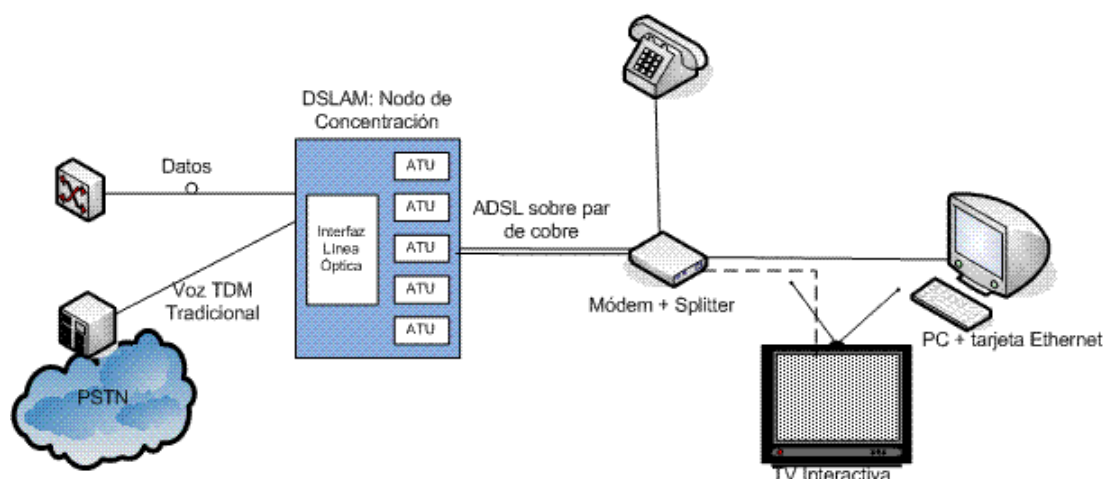
Existen satélites que se encuentran a una altura de 36.000 [Km]. sobre la línea ecuatorial, los cuales se les denomina *GEOESTACIONARIOS*. Su período orbital es de 24 horas y aparecen fijos respecto a la Tierra, lo cual simplifica su circuito de rastreo. Posteriormente se desarrollo los sistemas VSAT (Very Small Aperture Terminals), que consisten de estaciones de bajo costo (1 [m] de diámetro y 1 [W] de potencia). Generalmente, las microestaciones no tienen la suficiente potencia para comunicarse entre ellas, por lo que utilizan una estación maestra o HUB VSAT.

El mayor inconveniente que se tiene en comunicaciones satelitales, es el elevado costo que implica situar un satélite en el espacio y su mantenimiento, aparte de su corta vida útil (aproximadamente 10 años). Adicionalmente a esto, se suma el tiempo de propagación de unos 250 a 300 [ms]. En sistemas VSAT con HUB se tiene un tiempo de retardo de 540 [ms].

## **1.7 TECNOLOGÍAS XDSL. [5]**

La familia de tecnologías xDSL (*any Digital Subscriber Line*) permite a los operadores de redes telefónicas dar acceso de banda ancha a los usuarios sin tener que cambiar la infraestructura de red existente (el típico par de cobre que forma el bucle de abonado) y desviar el tráfico de datos que se genera fuera de la red telefónica (como se aprecia en la figura 1.25). Dado que cada línea digital pertenece a un usuario único (no se comparte), los canales que se proporcionan a los usuarios, son dedicados. Para ello se establece tres canales independientes:

- Un canal para la comunicación normal de voz (servicio telefónico básico).
- Dos canales de alta velocidad (uno de envío de datos y otro de recepción).



**Figura 1.25 Estructura de red del operador para ofrecer el servicio ADSL. [5]**

ADSL es una modalidad asimétrica dentro de la familia xDSL, donde los caudales de transmisión en los sentidos usuario-red alcanzan hasta 640 [Kbps] y red-usuario alcanza hasta 8 [Mbps], a una distancia máxima de 5400 [m] de la central, o algo más, por tanto son diferentes o asimétricos.

Algunas de las técnicas xDSL y sus características se presentan en la tabla 1.5:

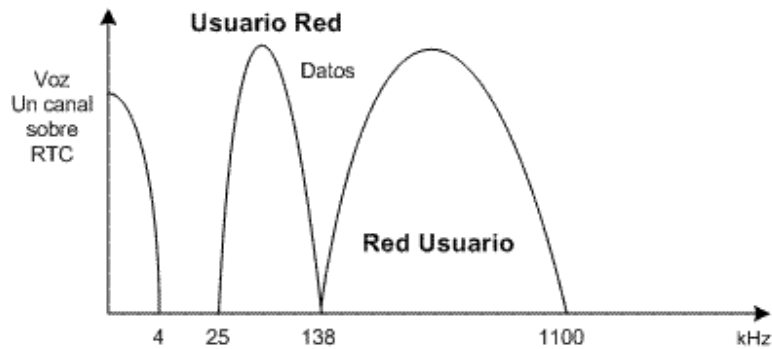
Nombre	Significado	Velocidad	Modo	Aplicación
HDSL	High data bit-rate Digital Subscriber Line	1544 y 2048 [Mbps]	Dúplex	Servicios T1/E1 Acceso LAN y WAN Conexión de PBX
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	1.5 a 8 [Mbps] 16 a 640 [Kbps]	Descendente Ascendente	Acceso a Internet, video bajo demanda, multimedia interactiva
UDSL ADSL Lite	Universal ADSL	0.5 a 1 [Mbps] 128 [Kbps]	Descendente Ascendente	Acceso a Internet, Videoconferencia
SHDSL	Symmetric High data bit-rate Digital	2.3 [Mbps] sobre 1 par 4.72 [Mbps] sobre 2 pares	Dúplex	Servicios simétricos Voz y datos
VDSL	Very high data bit-rate Digital Subscriber Line	25 a 52 [Mbps] ≤ 6 [Mbps]	Descendente Ascendente	Igual que ADSL, más TV de alta definición

**Tabla 1.5 Técnicas de acceso xDSL. [5]**

Cada una de estas técnicas se utiliza: en modo simétrico (dúplex) si en los dos sentidos de transmisión la velocidad es la misma, o asimétrico, si las velocidades son diferentes. También puede ser fija (no adaptativa), si la velocidad es siempre la misma, o adaptativa, si permite un rango de velocidades.

### 1.7.1 FUNCIONAMIENTO DE ADSL

El rango de frecuencias usadas en telefonía para el transporte de voz va desde 300 [Hz] hasta 3400 [Hz], mientras que ADSL además para transmisión de datos, emplea un rango de frecuencias mucho mas amplio que va desde los 25 [KHz] hasta 1.1 [MHz], como se indica en la figura 1.26.



**Figura 1.26 Espectro de frecuencia utilizado por la tecnología ADSL y la familia xDSL. [5]**

En ADSL se divide el espectro de frecuencias en tres partes: La primera porción del espectro va desde 300 a 3400 [Hz], y es utilizado para telefonía; luego se tiene un rango de frecuencia de 25 a 138 [KHz] para un canal de datos en sentido ascendente (usuario – red); por último, para un canal de datos descendente (red – usuario) se ocupa un mayor ancho de banda que va desde 138 hasta 1100 [KHz].



## **CAPÍTULO 2**

### **2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA EMPRESA INTEGRAL DATA.**

2.1 GENERALIDADES.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED DE ACCESO.

2.3 REQUERIMIENTOS Y EXPECTATIVAS.

## **2.1 GENERALIDADES.**

En el presente capítulo se describe la red de acceso TDM que dispone actualmente la empresa Integral Data, mediante un diagrama general de los nodos a los cuales se conecta la red de backbone la cual es propiedad de PORTA, y una descripción de la disposición de equipos para la interconexión, junto con las características principales de dichos equipos.

Además se detalla la capacidad de transmisión de la información ocupada en cada nodo, lo cual se toma como referencia para determinar los requerimientos en velocidad de transmisión que implica migrar la información TDM a una plataforma IP haciendo uso de la tecnología TDMoIP, considerando la necesidad que demanda la empresa Integral Data de mantener esta infraestructura y de ahí en adelante en lo posible, implementar servicios basados en el protocolo IP. Adicionalmente se obtienen los requerimientos en velocidad de transmisión que debe soportar la red a diseñarse, para utilizar TDMoIP con sistemas de compresión de voz.

Se considera además el requerimiento en capacidad de transmisión de la información que se necesitaría para que la red soporte los nuevos servicios IP de aquí a 10 años a partir de su puesta en marcha y funcionamiento, el cual se sumaría al requerimiento actual en TDMoIP.

## **2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED DE ACCESO.**

Integral Data es una empresa que ofrece servicios de telecomunicaciones de banda ancha y líneas dedicadas para servicios de Internet, transmisión de voz y datos, utilizando tecnología xDSL para sus redes de acceso en cobre y Espectro Ensanchado (Spread Spectrum) para las redes de acceso vía radio.

Integral Data actualmente no posee una infraestructura de red de backbone<sup>9</sup>, es por ello que se ve obligada a subcontratar este servicio a través de alianzas estratégicas con la empresa PORTA (CONECEL).

La empresa Integral Data arrienda circuitos E1 completos o E1 fraccionales bajo demanda a la empresa PORTA, la cual brinda un servicio TDM como backbone a nivel nacional.

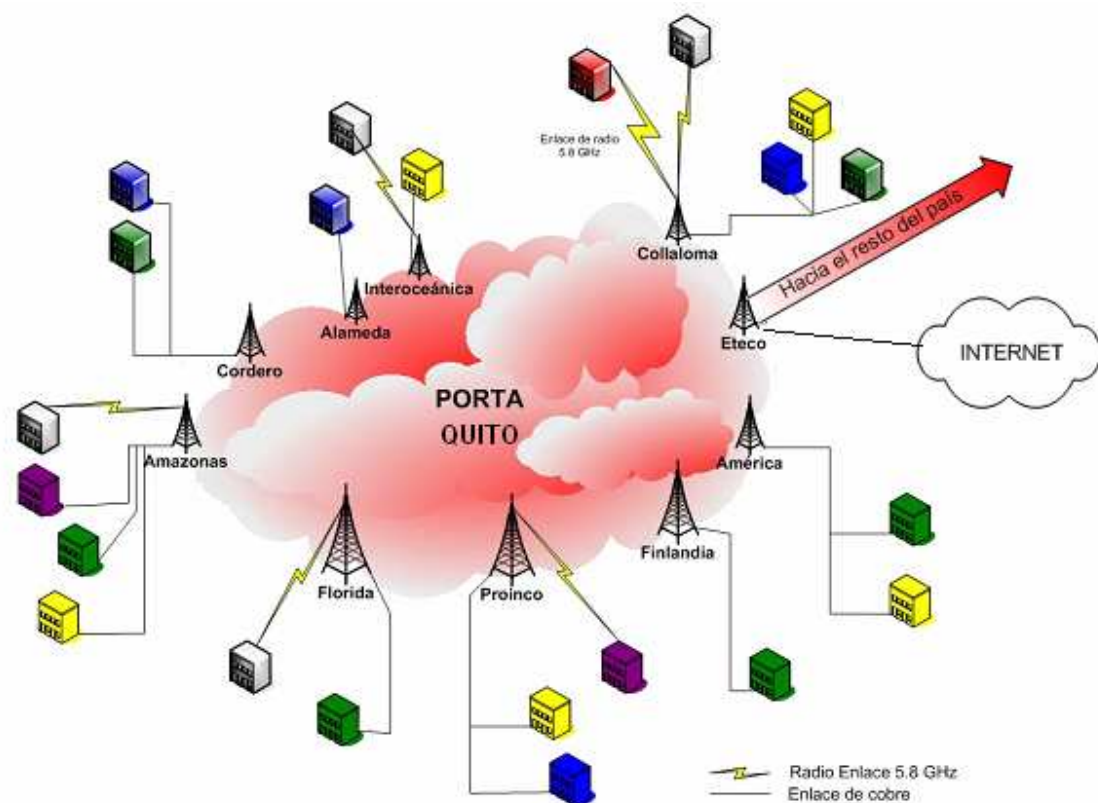
Con estos antecedentes y considerando la necesidad de implementar tecnologías actuales, en el presente proyecto se realizará el diseño de una red de backbone sobre plataforma IP conservando los sistemas TDM actuales, para introducir nuevos servicios de telecomunicaciones sin afectar a los ya existentes.

### **2.2.1 DIAGRAMA GENERAL DE LA RED DE ACCESO DE LA EMPRESA INTEGRAL DATA EN LA CIUDAD DE QUITO.**

Integral Data posee varios nodos de acceso ubicados estratégicamente a lo largo de la ciudad de Quito. A continuación se indica en la figura 2.1 un esquema de la red de acceso.

---

<sup>9</sup> Backbone: Red principal de comunicaciones de alta velocidad que une puntos separados geográficamente por distancias considerables.



**Figura 2.1 Diagrama general de la red de acceso actual de la empresa Integral Data.**

Como se observa en la figura 2.1 las redes de acceso utilizan enlaces de cobre o radio para la interconexión con la red de backbone en cada uno de los nodos correspondientes. El nodo ETECO es el punto concentrador de la red de backbone, en el cual se realiza la conmutación y donde se conectan de forma lógica los distintos nodos y que además sirve como puerta de enlace para enviar la información de usuario generada en Quito hacia el resto del país o hacia Internet, cuya capacidad de transmisión de esta información representa aproximadamente el 60% del total. Para la empresa Integral Data, el transporte de datos a través del backbone de PORTA es totalmente transparente.

Los equipos de radio empleados en la última milla se conectan al backbone mediante una interfaz serial V.35 a puertos DCE (DCE: *Data Circuit – Terminating*

*Equipment*) o puertos con capacidades E1 en G.703<sup>10</sup>, G704<sup>11</sup> proporcionados en el nodo para aplicaciones tipo TDM. En las redes de acceso vía radio, generalmente los equipos utilizados son marca RAD y están dispuestos en el siguiente orden: Equipos de Radio digital Airmux que operan en la banda de Spread Spectrum a 5.8 [GHz] y unidades de acceso FCDs - E1. Los dispositivos Airmux integran tráfico de voz y datos sobre un enlace inalámbrico full dúplex; cuando la aplicación requiere entregar un E1 fraccional, el dispositivo Airmux interno se conecta al equipo FCD - E1, el cual es utilizado como convertidor de interfaz del canal de datos (por ejemplo si el cliente requiere una interfaz del canal de datos V.35) y adicionalmente coloca los datos de usuario en la trama E1/T1 utilizando sólo el número necesario de ranuras de tiempo, cuya asignación se realiza según la velocidad del puerto de datos y puede ser consecutiva o aleatoria, comenzando en cualquier ranura de tiempo. Se tiene otro tipo de radios que operan en la banda de Spread Spectrum cuya marca es LYNXsc6, los cuales ya entregan una interfaz V.35 al cliente.

Las redes de acceso de cobre utilizan generalmente 1 o 2 pares para cada enlace de última milla. En los extremos del par de cobre, se conectan módems que utilizan tecnología xDSL para el regeneramiento de la señal, los cuales entregan una interfaz V.35, G.703 o ethernet hacia el cliente, dependiendo de los requerimientos del mismo. La empresa Integral Data utiliza módems marca TELLABS y RAD. Los equipos Tellabs se conectan hacia el nodo de comunicaciones, el mismo que consiste en un chasis (Tellabs) con ranuras de expansión, donde se insertan tarjetas de 8 puertos xDSL llamadas IUM (acepta velocidades hasta 128 [Kbps]) o de 4 puertos llamadas QMH (acepta velocidad hasta 2.048 [Kbps]) con interfaz propietaria. Los equipos RAD, para la interconexión entre la nube de comunicaciones y la red de acceso, se conectan al

---

<sup>10</sup> Recomendación G.703 del ITU-T – Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas.

<sup>11</sup> Recomendación G.704 del ITU-T – Estructura de trama síncrona utilizadas en los niveles jerárquicos 1544, 6312, 2048, 8448 y 44736 kbps.

nodo Tellabs mediante puertos V.35 proporcionados por tarjetas llamadas VCM (4 puertos V.35); y éste a su vez se conecta mediante puertos G.703 a la red de backbone propiamente dicha.

Los nodos Tellabs corresponden al modelo 8150 Basic Node, los cuales realizan las funciones de interconexión de E1's a nivel de PDH hasta 64 [Mbps], y además disponen de interfaces V.35, G.703 y xDSL.

La puerta de enlace de la red TDM de PORTA para la salida a internet se la tiene a través de un ruteador marca CISCO del modelo 7206 ubicado en el nodo ETECO, el cual posee 2 Interfaces Fastethernet y varias interfaces G.703 para E1, de los cuales algunos E1's se conectan hacia el nodo Tellabs, y otros E1's hacia el internet. Cabe señalar que los nodos Tellabs y el ruteador Cisco 7206 son propiedad de la empresa PORTA.

En la capa de enlace se utiliza protocolos como Frame Relay, Control de enlace de datos de alto nivel (HDLC: *High-level Data Link Control*), Protocolo punto a punto (PPP: *Point to Point Protocol*). Para la conectividad a capas superiores se utiliza por lo general un ruteador el cual se conecta mediante el interfaz serial V.35 proporcionado por el equipo de terminación del circuito de datos (DCE: *Data Circuit-Terminating Equipment*). Utilizando técnicas de ruteo estáticas o dinámicas se proporciona servicios de transmisión de datos a nivel nacional o de internet.

### **2.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS ACTUALMENTE.**

Los principales equipos empleados por la empresa Integral Data en las redes de acceso actuales y que se encuentran instalados en los diferentes nodos y sus correspondientes remotos en los clientes se detallan a continuación:

### 2.2.2.1 Radio digital de microondas.

Para el acceso del cliente al backbone a través de un enlace microonda, Integral Data emplea una conexión inalámbrica punto a punto que opera en la banda de Spread Spectrum (5.8 [GHz]). Los equipos de radio digitales utilizados se listan en la tabla 2.1 conjuntamente con sus principales especificaciones técnicas.

Los sistemas Airmux son multiplexores inalámbricos que soportan tanto circuitos TDM como Ethernet, que operan dentro del espectro de frecuencia de 5.725 [GHz] a 5.850 [GHz].

Características	Airmux 104	Airmux 200	Lynxsc6
Tecnología	Spread Spectrum	Spread Spectrum	Spread Spectrum
Banda de Frecuencia [GHz]	5.725 - 5.850	5.725 - 5.850	5.725 - 5.850
Velocidad de datos [Mbps]	2.6	48	0.512
Ancho de banda del canal [MHz]	10	20	20
Técnica de duplex	TDD	TDD	FDD
Modulación	QPSK	OFDM-BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	OQPSK
Potencia de Transmisión [dBm]	16	17	23
Ganancia de Antena [dBi]	Antena Integral: 23 Antena Externa: 28	Antena Integral: 22 Antena Externa: 28	29
Ancho del haz [ ° ]	Antena Integral: 9 Antena externa: 4.5	Antena Integral: 9 Antena externa: 4.5	6
Interfaz LAN 10/100 [Mbps]	1	1	-
Interfaz E1/T1	1	1 hasta 4	-
Interfaz V.35	-	-	2

*Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de los radios digitales utilizados.*

### 2.2.2.2 Unidades de acceso FCD – E1 / FCD – E1A / FCD – E1L.

El dispositivo FCD – E1 es una unidad de acceso para servicios de E1 fraccional o E1 completo; las velocidades de los puertos de datos son seleccionables en cualquier múltiplo de 64 [kbps] hasta 1984 [kbps]. La interfaz E1 soporta

G.703/G.704 balanceado y desbalanceado. La interfaz serial de datos es del tipo RS-530 y viene con cables adaptadores a V.35.

El dispositivo FCD – E1A se diferencia del FCD – E1, ya que tiene adicionalmente 2 puertos RS-530 y una interfaz ethernet. El FCD – E1L no tiene puerto ethernet, viene con una interfaz G.703/G.704 balanceado o desbalanceado ya definida por el modelo, es decir, no maneja los dos tipos de interfaz como en los casos anteriores.

### 2.2.2.3 Módems para línea de cobre.

La empresa Integral Data maneja dos marcas de equipos de módems, RAD y Tellabs. Los equipos RAD que se utiliza son: ASMi-31, ASMi-51 y HTU; mientras que en equipos Tellabs se maneja los modelos: STU-160, CTU-S, CTE-S y CTU-R. Las especificaciones técnicas de los mismos se resumen en la tabla 2.2.a y 2.2.b.

Características	ASMi - 51	ASMi - 31	HTU
Conector Cobre	RJ-45	RJ-45	RJ-45
# pares de cobre	2	2	4
Codificación de línea	2B1Q	2B1Q	2B1Q
Distancia máx. [Km]	3.0	7.0	4.8
Potencia de Salida [dBm]	13.5	13 - 14	13.5
Velocidad de datos [Kbps]	nx64 kbps; n = 1,2,...32	1.2, 2.4, 4.8, 9.6, 16, 19.2, 32, 38.4, 48, 64, 128.	2048
Tecnología xDSL	MSDSL	IDSL	HDSDL
Interfaz Datos	V.35, RS-530	V.35, RS-530	2 BNC coaxial

*Tabla 2.2.a Especificaciones técnicas de los módems digitales RAD utilizados.*



<b>Características</b>	<b>STU-160</b>	<b>CTU-S</b>	<b>CTE-S</b>	<b>CTU-R</b>
Conector Cobre	RJ-45	RJ-45	RJ-45	RJ-45
# pares de cobre	2	2	2	2
Codificación de línea	2B1Q	2B1Q	2B1Q	2B1Q
Distancia máx. [Km]	8.5	5.0	5.0	5.0
Velocidad de datos [Kbps]	1.2 – 128	64 – 4544	64 – 4544	64 – 4544
Tecnología xDSL	SDSL	HDSL	HDSL	HDSL
Interfaz Datos	2 V.35, RS-530	V.35, RS-530	2 mini BNC, DB-9	RJ-45

*Tabla 2.2.b Especificaciones técnicas de los módems digitales Tellabs utilizados.*

### **2.2.3 CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN OCUPADA ACTUALMENTE EN CADA NODO.**

La información que se presenta en la tabla 2.3, es proporcionada por la empresa Integral Data, donde se resume el número actual de clientes que transmiten datos (NCD), con su respectiva velocidad de transmisión de datos ocupada actualmente en cada nodo (VtxDA); así como el número actual de aquellos clientes que demandan el transporte de E1's completos de voz (NCV), para unir sus centrales telefónicas PBX separadas geográficamente, con la velocidad de transmisión de voz ocupada actualmente en cada uno de los nodos (VtxVA). Finalmente se presenta el total de la velocidad de transmisión actual ocupada en cada nodo (TOTAL VtxAN).

<b>NODO</b>	<b>NCD</b>	<b>VtxDA [Kbps]</b>	<b>NCV</b>	<b>VtxVA [Kbps]</b>	<b>TOTAL VtxAN [Kbps]</b>
Amazonas	14	12160	5	10240	22400
Florida	9	7232	1	2048	9280
Inteca	8	7296	3	6144	13440
Itchimbía	5	7168	2	4096	11264
Proinco	10	11840	6	12288	24128
Finlandia	11	12608	5	10240	22848
Cordero	9	6656	4	8192	14848
Collaloma	11	11392	4	8192	19584
Alameda	10	9152	2	4096	13248

América	14	11328	3	6144	17472
Interoceánica	10	8896	5	10240	19136
	<b>TOTAL VtxDA</b>	105728	<b>TOTAL VtxVA</b>	81920	

**Tabla 2.3. Número total de clientes y capacidad de transmisión de información en cada nodo.**

Como se mencionó anteriormente, el nodo ETECO representa el punto de concentración y conmutación de red en la ciudad de Quito, que de acuerdo a la información proporcionada por la empresa se sabe que aproximadamente el 60% del tráfico que circula por la red, sale hacia el resto del país o hacia Internet, mientras que lo demás se conmuta y retorna hacia los diferentes nodos en Quito, por lo que la velocidad de transmisión de datos actual en el nodo ETECO ( $V_{txDA_{ETECO}}$ ) se obtiene con la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} V_{txDA_{ETECO}} &= 0.6 * \text{TOTAL } V_{txDA} [\text{Kbps}] \\ V_{txDA_{ETECO}} &= 0.6 * 105728 [\text{Kbps}] \\ V_{txDA_{ETECO}} &= 63437 [\text{Kbps}] \end{aligned} \quad \text{ec. 2.1}$$

Así mismo la velocidad de transmisión actual de canales de voz en el nodo ETECO ( $V_{txVA_{ETECO}}$ ) se obtiene con la expresión:

$$\begin{aligned} V_{txVA_{ETECO}} &= 0.6 * \text{TOTAL } V_{txVA} [\text{Kbps}] \\ V_{txVA_{ETECO}} &= 0.6 * 81920 [\text{Kbps}] \\ V_{txVA_{ETECO}} &= 49152 [\text{Kbps}] \end{aligned} \quad \text{ec. 2.2}$$

Mientras que la velocidad de transmisión total de canales de voz y datos en el nodo ETECO sería:

$$\begin{aligned} \text{TOTAL } V_{tx_{ETECO}} &= V_{txDA_{ETECO}} + V_{txVA_{ETECO}} [\text{Kbps}] \\ \text{TOTAL } V_{tx_{ETECO}} &= 63437 + 49152 [\text{Kbps}] \\ \text{TOTAL } V_{tx_{ETECO}} &= 112589 [\text{Kbps}] \end{aligned} \quad \text{ec. 2.3}$$

### **2.3 REQUERIMIENTOS Y EXPECTATIVAS.**

Dado que la empresa Integral Data no posee un sistema de backbone en la ciudad de Quito, necesita implementar uno lo suficientemente flexible, escalable, confiable y que ofrezca alta capacidad de transporte para aplicaciones de transmisión de voz y datos, como por ejemplo internet, líneas dedicadas entre redes privadas, etc. conservando además el transporte TDM que permite interconectar las tradicionales centrales telefónicas privadas (PBX: *Private Branch eXchange*) del cliente, y la infraestructura de la red de acceso que dispone actualmente la empresa Integral Data.

Para aprovechar la capacidad de la red de backbone se aspira brindar a futuro el transporte de nuevos servicios. Adicionalmente, la empresa pretende el arrendamiento de capacidad de canal a operadoras telefónicas y otras empresas que lo requieran.

Otro requerimiento de Integral Data es conservar la cobertura a nivel nacional que actualmente lo proporciona PORTA a través del nodo ETECO, ya que el 60 % de la capacidad de transmisión de la información que se genera en la ciudad de Quito sale hacia el resto del país o al Internet, mientras que el resto de dicha capacidad debe encaminarse entre los diferentes nodos nombrados anteriormente, sin centralizar la conmutación en dicho nodo, como se lo esta realizando actualmente.

Debido a que la demanda de clientes de la empresa se concentra en el norte y centro de la ciudad de Quito, se pretende en el diseño cubrir esta zona, sin dejar de lado la zona sur, donde existe una menor demanda, para lo cual se integraría este sector mediante un enlace de radio microonda que permita integrar el servicio fácilmente al backbone.

Para conservar la infraestructura TDM actual en la red de backbone IP a diseñarse se utilizará la tecnología TDMoIP, para lo cual es necesario el cálculo de la velocidad de transmisión necesaria para su implementación.

### 2.3.1 REQUERIMIENTOS DE LA RED PARA SOPORTAR TDMoIP.

Como se analizó en el capítulo anterior, la tecnología TDMoIP agrega cabeceras para acoplar tramas TDM sobre IP, por lo que es necesario determinar la velocidad de transmisión que se obtiene al aplicar TDMoIP sobre los datos y la voz a ser transmitidos.

#### 2.3.1.1 Requerimientos para utilizar TDMoIP con emulación de circuito (CE). [14]

La emulación de circuito de TDMoIP se la usa para la encapsulación de todo tipo de datos TDM dentro de un paquete IP, cuando se requiere alta calidad en la comunicación. A continuación se presenta los parámetros necesarios para calcular los requerimientos que debe soportar la red.

##### 2.3.1.1.1 Velocidad de Transmisión TDMoIP ( $V_{TxTDMoIP}$ ).

De acuerdo al estudio sobre el funcionamiento de TDMoIP realizado en el capítulo 1, se sabe que los bytes TDM son encapsulados en subtramas AAL1, las que a su vez son encapsuladas en una trama TDMoIP, donde el parámetro n es el número de subtramas AAL1 (de 48 bytes TDM cada una) que conforman la carga útil de la trama TDMoIP. Por lo tanto el parámetro n influye en la velocidad de transmisión TDMoIP necesaria para transmitir datos TDM sobre una red IP.

El parámetro n viene dado por la expresión:

$$n = \frac{\text{Total de bytes AAL1 encapsulados en una trama TDMoIP}}{48 \text{ bytes}} \quad \text{ec. 2.4}$$

Luego la velocidad de transmisión TDMoIP es:

$$V_{TxTDMoIP} [Kbps] = \left( \text{Tamaño Cabeceras} \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right] + \text{Carga total AAL1} \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right] \right) * \frac{\# \text{tramas TDMoIP}}{s} * \left[ \frac{8 \text{bits}}{1 \text{byte}} * \frac{1K}{1000} \right] \quad \text{ec. 2.5}$$

Donde:

- Tamaño de Cabeceras = Cabecera Ethernet + cabecera IP + Cabecera UDP  
+ Cabecera RTP(Opcional) + Palabra de control TDMoIP
- Carga total AAL1 =  $n * 48 \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right]$
- $\frac{\# \text{tramas TDMoIP}}{s} = \frac{\# \text{ranuras de tiempo en una trama TDM} [\text{bytes}]}{\text{Tiempo que dura una trama TDM} [s]} * \frac{1 \text{ trama TDMoIP}}{\text{Carga útil TDM} [\text{bytes}]}$

Para el formato de carga útil AAL1 no estructurado :

$$\begin{aligned} \frac{\# \text{tramas TDMoIP}}{s} &= \frac{32 [\text{bytes}]}{0.000125 [s]} * \frac{1 \text{ trama TDMoIP}}{47 * n [\text{bytes}]} \\ &= \frac{5447}{n} \left[ \frac{\text{tramas TDMoIP}}{s} \right]; \text{ para un E1 completo} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\# \text{tramas TDMoIP}}{s} &= \frac{24.125 [\text{bytes}]}{0.000125 [s]} * \frac{1 \text{ trama TDMoIP}}{47 * n [\text{bytes}]} \\ &= \frac{4107}{n} \left[ \frac{\text{tramas TDMoIP}}{s} \right]; \text{ para un T1 completo} \end{aligned}$$

Para el formato de carga útil AAL1 estructurado :

$$\begin{aligned} \frac{\# \text{tramas TDMoIP}}{s} &= \frac{k [\text{bytes}]}{0.000125 [s]} * \frac{1 \text{ trama TDMoIP}}{(47 * n - 1) [\text{bytes}]} \\ &= \frac{8000 * k}{(47 * n - 1)} \left[ \frac{\text{tramas TDMoIP}}{s} \right]; \text{ donde k es el número de ranuras de tiempo asignado.} \end{aligned}$$

De las expresiones anteriores es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- El término “Carga total AAL1” representa el tamaño total en bytes de las subtramas AAL1 que están encapsuladas en una trama TDMoIP. Mientras que el término “Carga útil TDM” representa la cantidad total de bytes TDM encapsulados en todas las subtramas AAL1 dentro de una trama TDMoIP.
- Para un formato de carga útil AAL1 no estructurado, en el caso de un T1 completo, el valor 24.125 [bytes] corresponden al tamaño de una trama T1 completa, es decir 193 bits.
- Para un formato de carga útil AAL1 estructurado, el término “Carga útil TDM” es igual a  $(47 * n - 1)$  [bytes], debido a la presencia del puntero P (1 byte) explicado en el capítulo anterior.

Además, debido a que cada trama TDMoIP es encapsulada en un paquete IP para su transmisión por la red, se tiene que:

$$\text{Paquetes por segundo [PPS]} = \frac{\text{\# de tramas TDMoIP}}{s} [\text{pps}] \quad \text{ec. 2.6}$$

#### 2.3.1.1.2 Retardo de Paquetización (RP).

El retardo de paquetización es el tiempo que demora construir una trama TDMoIP; su valor se obtiene del inverso de la cantidad de paquetes por segundo mediante la ecuación 2.7:

$$\text{Retardo de Paquetización [ms]} = \frac{1}{\text{PPS}}$$

Por lo tanto para el formato de carga útil AAL1 no estructurado se tiene :

$$\text{Retardo de Paquetización} = \frac{n}{5447} * 1000 [\text{ms}] \quad ; \text{ para un E1 completo} \quad \text{ec. 2.7}$$

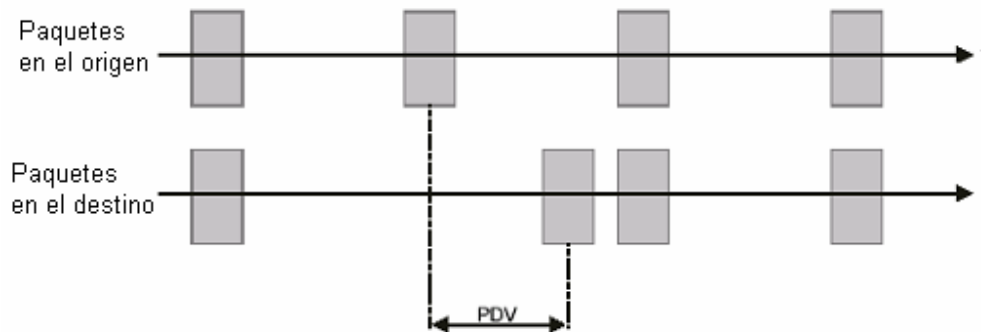
$$\text{Retardo de Paquetización} = \frac{n}{4107} * 1000 [\text{ms}] \quad ; \text{ para un T1 completo}$$

Mientras que para el formato de carga útil AAL1 estructurado se tiene :

$$\text{Retardo de Paquetización} = \frac{(47 * n - 1)}{8 * k} [\text{ms}]$$

#### 2.3.1.1.3 Variación de retardo de paquetes (PDV: Packet Delay Variation).

Es la máxima desviación de tiempo entre el instante que se esperaba que llegue el paquete y el instante en que realmente llega al equipo remoto, debido a retardos de la red. El equipo TDMoIP tiene una memoria de almacenamiento denominada "Jitter buffer", que sirve para compensar esta diferencia en el tiempo de arribo de paquetes. La figura 2.2 muestra la variación de retardo de paquetes.



**Figura 2.2 Variación de retardo de paquetes. [14]**

#### 2.3.1.1.4 Retardo de tiempo de ida y vuelta (RTD: Round Trip Delay).

El retardo de tiempo de ida y vuelta, es la sumatoria de tiempos de retardo que se tienen en una transmisión de datos, lo cual se cuantifica con la siguiente expresión:

$$RTD[\text{ms}] = 2 * (\text{RP} + \text{Jitter Buffer} + \text{PE}) + \text{Retardo de la red} \quad \text{ec. 2.8}$$

Donde:

- RP [ms]: Es el retardo de paquetización.
- “Jitter Buffer” [ms]: Es la cantidad de tiempo asignado por el usuario, para compensar la variación de retardo de paquetes.
- PE [ms]: Es el tiempo de procesamiento interno del equipo. Generalmente es igual a 1 [ms].
- Retardo de la red [ms]: Es la latencia provocada por el medio de transmisión y demás dispositivos que conforman la red.

#### 2.3.1.1.5 Reordenamiento de Paquetes.

El reordenamiento de paquetes permite ordenar los paquetes IP que llegan fuera de secuencia o duplicados provenientes de una red de paquetes. Y viene definido por la siguiente ecuación:

$$\text{Maximo \# de paquetes reordenados [paquetes]} = \frac{\text{Tiempo utilizado para reordenamiento}}{\text{Retardo de paquetización}}$$

Por lo tanto :

ec. 2.9

$$\text{Maximo \# de paquetes reordenados [paquetes]} = \frac{(\text{Jitter Buffer} - 1) [\text{ms}] * (\# \text{ de ranuras de tiempo TDM}) [\text{bytes}]}{0.125 [\text{ms}] * (47 * n) \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{paquete}} \right]}$$

Donde:

- El término “(Jitter Buffer - 1)” corresponde al tiempo que utiliza el equipo TDMoIP para el reordenamiento de paquetes. El cual se obtiene de la diferencia entre el “Jitter Buffer” y el tiempo de procesamiento del equipo.
- El término “# de ranuras de tiempo TDM” equivale al número de ranuras de tiempo TDM a ser transportadas a través de TDMoIP.
- El valor 0.125 [ms] es el tiempo de duración de una trama TDM.
- El término “47\*n” representa la carga útil TDM dentro de la trama TDMoIP.

#### 2.3.1.1.6 Eficiencia.

Un parámetro importante para determinar el comportamiento de TDMoIP es la eficiencia, la cual se obtiene mediante la expresión:

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\# \text{ bytes carga útil}}{\# \text{ bytes total de la trama}} * 100$$

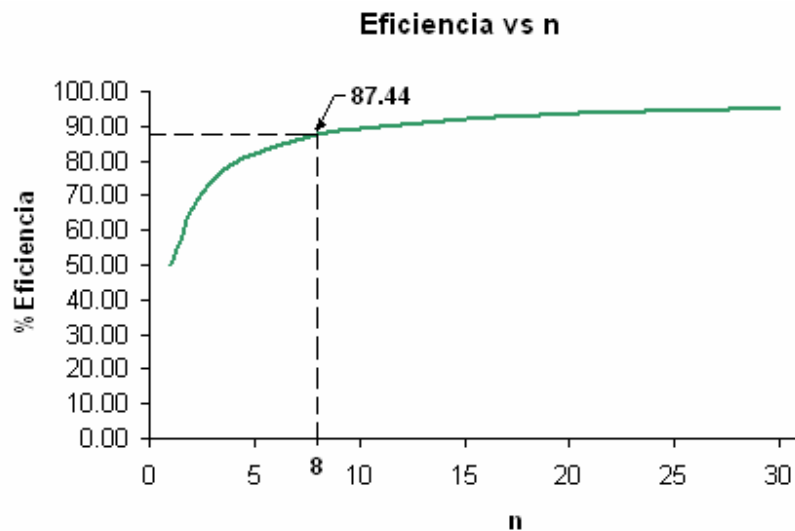
$$\% \text{Eficiencia} = \frac{47 * n}{\text{bytes de cabecera} + 48 * n} * 100 \quad ; \text{ para E1/T1 no estructurado} \quad \text{ec. 2.10}$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{47 * n - 1}{\text{bytes de cabecera} + 48 * n} * 100 \quad ; \text{ para E1/T1 estructurado}$$

La eficiencia indica el porcentaje de utilización del canal de comunicaciones, que para el caso de TDMoIP, se tiene que cuando n aumenta, la eficiencia también



aumenta y viceversa. Debido a que en el presente proyecto se manejará un tipo de carga E1 no estructurada en la red de backbone, y se deja a los equipos correspondientes a la red de acceso el fraccionamiento del E1 de ser necesario, la gráfica de eficiencia para este caso se muestra en la figura 2.3.

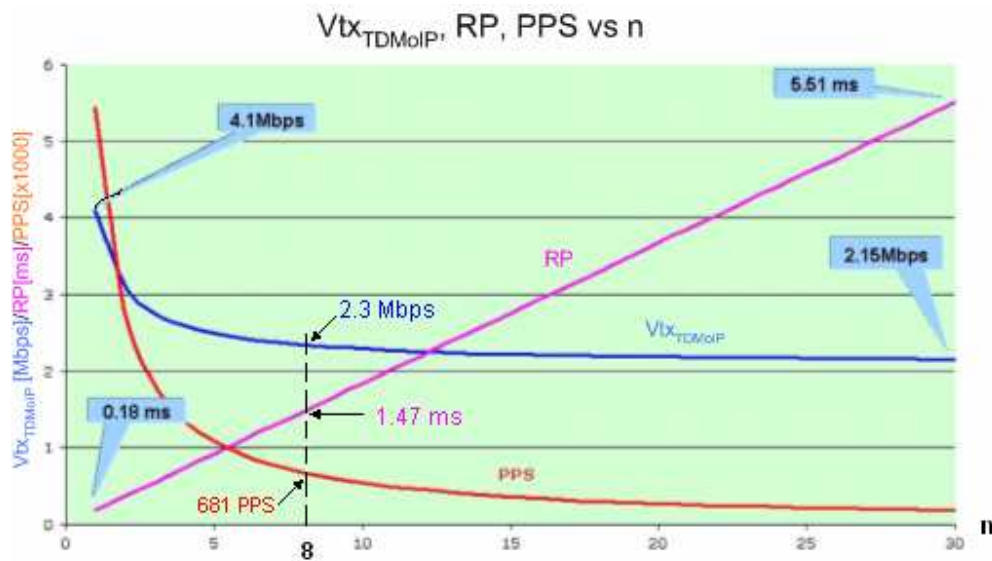


**Figura 2.3 Comportamiento de la eficiencia.**

#### *2.3.1.1.7 Determinación del valor óptimo para “n”.*

La figura 2.4 muestra los gráficos de los parámetros  $V_{txTDMoIP}$ , PPS, RP en función de “n” para un E1 completo con formato de carga útil AAL1 no estructurado, donde se observa el comportamiento de TDMoIP para diferentes valores de “n”.

Analizando la figura 2.4 se observa que los parámetros  $V_{txTDMoIP}$  y PPS, tienden a tomar un valor constante a partir de un valor de n igual a 8, mientras que el valor de RP tiende a seguir creciendo conforme n aumenta. Por lo tanto el valor de n igual a 8 es un valor óptimo para determinar los requerimientos necesarios de TDMoIP en el que la eficiencia tiende a ser máxima para un valor aceptable de RP.



**Figura 2.4 Comportamiento de TDMoIP. [13]**

#### 2.3.1.1.8 Cálculo de los requerimientos para la utilización de TDMoIP (CE).

A continuación se procede con el cálculo de  $V_{tx\_TDMoIP}$ , PPS necesarios que debe soportar la red a diseñarse; ilustrando con un ejemplo de cálculo los requerimientos que se necesita para el nodo Amazonas.

- Velocidad de transmisión TDMoIP:

Como se mencionó anteriormente, en el presente proyecto se manejará un tipo de carga E1 no estructurada (E1 completo) para la red de backbone, dejando a los equipos correspondientes a la red de acceso el fraccionamiento del E1. Además se toma en cuenta el valor óptimo de "n" ( $n=8$ ). Por lo que, para la ec 2.5 se tiene:

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Tamaño de Cabeceras} &= \text{Cabecera Ethernet} + \text{cabecera IP} + \text{Cabecera UDP} \\
 &\quad + \text{Cabecera RTP(0pcional)} + \text{Palabra de control TDMoIP} \\
 &= 18 [\text{bytes}] + 20 [\text{bytes}] + 8 [\text{bytes}] + 0 + 4 [\text{bytes}] \\
 &= 50 [\text{bytes}]
 \end{aligned}$$

$$2) \text{ Carga total AAL1} = n * 48 \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right] = 8 * 48 = 384 \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right]$$

$$3) \frac{\# \text{tramas TDMoIP}}{s} = \frac{5447}{n} = \frac{5447}{8} = 680.875 \left[ \frac{\text{tramas TDMoIP}}{s} \right]$$

Por lo tanto de acuerdo a la ec. 2.5 se tiene:

$$\begin{aligned}
 V_{tx_{TDMoIP}} [Kbps] &= \left( \text{TamañoCabeceras} \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right] + \text{Carga total AAL1} \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right] \right) * \frac{\# \text{tramas TDMoIP}}{s} * \left[ \frac{8 \text{bits}}{1 \text{byte}} * \frac{1K}{1000} \right] \\
 V_{tx_{TDMoIP}} [Kbps] &= \left( 50 \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right] + 384 \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right] \right) * 680.875 \left[ \frac{\# \text{tramas TDMoIP}}{s} \right] * \left( \frac{8 \text{bits}}{1 \text{byte}} * \frac{1K}{1000} \right) \\
 V_{tx_{TDMoIP}} &= 2363.99 [Kbps]
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la tabla 2.3, el nodo Amazonas tiene una  $V_{txAN} = 22400$  [Kbps], lo cual corresponde 10.94 E1's y debido que se manejará E1's completos se aproxima a su valor inmediato superior, es decir 11 E1's. Por lo tanto la velocidad de transmisión que se necesita para TDMoIP es:

$$\begin{aligned}
 V_{tx_{TDMoIP}} &= 2363.99 [Kbps] * 11 \\
 V_{tx_{TDMoIP}} &= 26004 [Kbps]
 \end{aligned}$$

- Paquetes por segundo (PPS).- De acuerdo a la ec 2.6 se tiene que:

$$PPS = \frac{5447}{n} = \frac{5447}{8} = 680.875 [PPS]$$

Por lo tanto, ya que en el nodo Amazonas se maneja un total de 11 E1's, se tiene que la cantidad total de PPS es:

$$PPS = 680.875 [PPS] * 11$$

$$PPS = 7489.63 [PPS]$$

Los valores de los parámetros anteriores correspondientes para cada uno de los diferentes nodos, se muestran en la tabla 2.4.a, 2.4.b.

NODO	DATOS				VOZ			
	VtxDA [Kbps]	E1'sD	VtxTDMoIP_D [Kbps]	PPS_D [pps]	VtxVA [Kbps]	E1'sV	VtxTDMoIP_V [Kbps]	PPS_V [pps]
Amazonas	12160	6	14184	4085	10240	5	11820	3404
Florida	7232	4	9456	2724	2048	1	2364	681
Inteca	7296	4	9456	2724	6144	3	7092	2043
Eteco	63437	31	73284	21107	49152	24	56736	16341
Itchimbía	7168	4	9456	2724	4096	2	4728	1362
Proinco	11840	6	14184	4085	12288	6	14184	4085
Finlandia	12608	7	16548	4766	10240	5	11820	3404
Cordero	6656	4	9456	2724	8192	4	9456	2724
Collaloma	11392	6	14184	4085	8192	4	9456	2724
Alameda	9152	5	11820	3404	4096	2	4728	1362
América	11328	6	14184	4085	6144	3	7092	2043
Interoceánica	8896	5	11820	3404	10240	5	11820	3404

**Tabla 2.4.a Requerimientos de Vtx<sub>TDMoIP</sub> y PPS para datos y voz.**

NODO	DATOS + VOZ		
	TOTAL E1's	TOTAL Vtx <sub>TDMoIP</sub> [Kbps]	TOTAL PPS <sub>TDMoIP</sub> [pps]
Amazonas	11	26004	7490
Florida	5	11820	3404
Inteca	7	16548	4766
Eteco	55	130020	37448
Itchimbía	6	14184	4085
Proinco	12	28368	8171
Finlandia	12	28368	8171
Cordero	8	18912	5447
Collaloma	10	23640	6809
Alameda	7	16548	4766
América	9	21276	6128
Interoceánica	10	23640	6809

**Tabla 2.4.b Requerimientos de Vtx<sub>TDMoIP</sub> y PPS total que debe soportar la red.**

Para las tablas 2.4 anteriores se emplea la siguiente terminología:

- VtxDA [Kbps]: Velocidad de transmisión de datos actuales.
- E1'sD: Cantidad de E1's contenidos en VtxDA.
- Vtx<sub>TDMoIP\_D</sub> [Kbps]: Velocidad de transmisión TDMoIP para datos.
- PPS\_D [pps]: Paquetes por segundo correspondiente a datos.
- VtxVA [Kbps]: Velocidad de transmisión de canales de voz actual.
- E1'sV: Cantidad de E1's contenidos en VtxVA.
- Vtx<sub>TDMoIP\_V</sub> [Kbps]: Velocidad de transmisión TDMoIP para canales de voz.
- PPS\_V [pps]: Paquetes por segundo correspondiente a canales de voz.

### **2.3.1.2 Requerimientos para utilizar sistemas de compresión de voz en TDMoIP (CV). [15]**

Para sistemas de compresión de voz TDMoIP (CV) la ocupación del canal de comunicaciones es menor que en TDMoIP (CE) analizado anteriormente, debido a que se utiliza algoritmos de compresión de voz definidos en las normas de la G.723.1, G.729 y G.711 de la ITU-T, descritas en el capítulo 1, y a la vez aprovecha las características propias de TDMoIP, por lo que es ideal para transmitir voz en formato TDM transparentemente a través de una red IP.

TDMoIP (CV) encapsula la información comprimida de cada canal de voz proveniente de un CODEC, en subtramas del tipo AAL2, añadiendo una cabecera de 3 bytes por cada canal de voz comprimido, dichas subtramas son concatenadas para conformar la carga útil de una trama TDMoIP, a la cual a su vez se le añade las cabeceras (Ethernet, IP, UDP, TDMoIP) necesarias para su transmisión por la red.

#### *2.3.1.2.1 Velocidad de Transmisión TDMoIP (CV) ( $V_{txTDMoIP_{cv}}$ ).*

TDMoIP (CV) tiene una velocidad de transmisión variable, la cual es limitada en función del compresor utilizado y de dos parámetros adicionales: El tamaño máximo en bytes de carga útil (Ps) por trama TDMoIP, cuyo valor está en el rango

permitido por la trama Ethernet (100 – 1500 bytes); y el tiempo máximo en milisegundos ( $T_p$ ) que puede durar dicha trama, cuyo valor debe mantener una eficiencia aceptable del sistema sin perder la fluidez en una comunicación de voz. Se considera un rango de valores adecuado para este parámetro entre 10 y 90 [ms].

TDMoIP (CV) para el envío de las tramas hacia su destino, considera cual de las condiciones que establecen los parámetros  $P_s$  o  $T_p$ , se cumple primero. Dichas condiciones son:

1. El tamaño de la carga útil alcanza el valor de  $P_s$  antes de que haya transcurrido  $T_p$ ,
2. El intervalo de tiempo  $T_p$  ha transcurrido antes de que el tamaño de la carga útil haya alcanzado el valor de  $P_s$ .

La expresión para obtener el requerimiento de velocidad de transmisión para TDMoIP (CV) se presenta a continuación:

$$V_{tx \text{ TDMoIP}_{CV}} [\text{Kbps}] = V_{tx \text{ cabecera}} + V_{tx \text{ carga útil}} \quad \text{ec. 2.11}$$

$$V_{tx \text{ TDMoIP}_{CV}} [\text{Kbps}] = \left[ \frac{H}{T_p} * P_{Tp} + \left( \frac{k * V_p}{I_{pv}} * \left( 1 - \frac{U_v}{100} \right) \right) \right] * \frac{8[\text{bits}]}{1[\text{byte}]} * \frac{1000[\text{ms}]}{1[\text{s}]} * \frac{1K}{1000}$$

Donde:

- $P_{Tp}$  [tramas] =  $\left\lceil \frac{T_p * k * V_p}{I_{pv} * P_s} * \left( 1 - \frac{U_v}{100} \right) \right\rceil$ ; Es el número entero inmediato superior de tramas que se forman antes de que se cumpla una de las condiciones de  $P_s$  o  $T_p$ .
- $H$  [bytes]: Es el tamaño total de cabeceras (ethernet (18) + IP (20) + UDP (8) + TDMoIP (4) = 50 [bytes]).
- $T_p$  [ms]: Tiempo máximo que puede durar una trama TDMoIP (CV).
- $k$ : Número de canales de voz.
- $V_p$  [bytes]: Tamaño de la subtrama AAL2 que contiene la voz comprimida.

- $I_{pv}$  [ms]: Intervalo de tiempo que se demora el CODEC en construir un paquete de voz comprimida.
- $U_v$  [%]: Factor de silencio. Indica el porcentaje de supresión de silencio. “Estudios realizados sobre la ocupación de un canal de voz han demostrado que un usuario telefónico utiliza únicamente el 40% del canal de voz, ya que el 50 % del tiempo escucha y existe un 10 % de silencio entre frases”, por lo que se considera un factor de silencio aceptable del 60%.

Los parámetros  $V_p$  e  $I_{pv}$  dependen del tipo de compresor utilizado en el sistema TDMoIP (CV). La tabla 2.5 muestra estos valores para diferentes compresores.

<b>Compresor</b>	<b><math>V_p</math> [bytes]</b>	<b><math>I_{pv}</math> [ms]</b>
G.723.1 (5.3 [Kbps])	27	30
G.723.1 (6.4 [Kbps])	31	30
G.729 (8 [Kbps])	17	10
G.711 (64 [Kbps])	47	5

**Tabla 2.5. Valores de  $V_p$  e  $I_{pv}$  para los compresores utilizados en TDMoIP (CV). [15]**

#### 2.3.1.2.2 Cálculo de los requerimientos para la utilización de TDMoIP (CV).

A continuación se procede con el cálculo de  $V_{txTDMoIPcv}$ , necesario que debe soportar la red a diseñarse; ilustrando con un ejemplo de cálculo los requerimientos que se necesita para el nodo Amazonas.

Considerando que las centrales telefónicas privadas de los diferentes clientes (PBX) utilizarán señalización CAS, se transportará 30 canales de voz ( $k = 30$ ) por cada E1 de voz a transmitirse en cada circuito lógico bundle, empleando un codec de compresión según la recomendación G.723.1 para comprimir un canal de voz de 64 [Kbps] a 6.4 [Kbps]. Adicionalmente se asigna un valor para  $T_p$  de 90 [ms], con la finalidad de fijar un valor adecuado de  $P_s$  igual a 500 bytes, para cumplir con la condición No. 1 descrita anteriormente y conservar la fluidez en la comunicación, se tiene que:

$$P_{Tp} = \left\| \frac{Tp * k * Vp}{Ipv * Ps} * \left(1 - \frac{Uv}{100}\right) \right\| = \left\| \frac{90[ms] * 30 * 31[bytes]}{30[ms] * 500[bytes/trama]} * \left(1 - \frac{60}{100}\right) \right\| = \|2.23\| = 3[\text{tramas}]$$

$$V_{tx \text{ TDMoIP}_{cv}} [\text{Kbps}] = \left[ \frac{H}{Tp} * P_{Tp} + \left( \frac{k * Vp}{Ipv} * \left(1 - \frac{Uv}{100}\right) \right) \right] * \frac{8[bits]}{1[byte]} * \frac{1000[ms]}{1[s]} * \frac{1K}{1000}$$

$$V_{tx \text{ TDMoIP}_{cv}} [\text{Kbps}] = \left[ \frac{50 [\text{bytes/trama}]}{90[ms]} * 3[\text{tramas}] + \left( \frac{30 * 31[bytes]}{30[ms]} * \left(1 - \frac{60}{100}\right) \right) \right] * \frac{8[bits]}{1[byte]} * \frac{1000[ms]}{1[s]} * \frac{1K}{1000}$$

$$V_{tx \text{ TDMoIP}_{cv}} = 112.53 [\text{Kbps}]$$

De acuerdo a la tabla 2.3, el nodo Amazonas tiene una  $V_{txVA} = 10240$  [Kbps], lo cual corresponde 5 E1's Por lo tanto la velocidad de transmisión que se necesita para TDMoIP(CV) es:

$$V_{tx \text{ TDMoIP}_{cv}} = 112.53[\text{Kbps}] * 5$$

$$V_{tx \text{ TDMoIP}_{cv}} = 562.65[\text{Kbps}]$$

Los valores de  $V_{txTDMoIP}_{cv}$  para cada uno de los diferentes nodos, se muestran en la tabla 2.6.

NODO	VOZ		
	$V_{txVA}$ [Kbps]	E1'sV	$V_{txTDMoIP}_{cv}$ [Kbps]
Amazonas	10240	5	562.65
Florida	2048	1	112.53
Inteca	6144	3	337.59
Eteco	49152	24	2700.72
Itchimbía	4096	2	225.06
Proinco	12288	6	675.18
Finlandia	10240	5	562.65
Cordero	8192	4	450.12
Collaloma	8192	4	450.12
Alameda	4096	2	225.06
América	6144	3	337.59
Interoceánica	10240	5	562.65

**Tabla 2.6 Requerimientos de  $V_{txTDMoIP}_{cv}$  que debe soportar la red en caso de utilizar TDMoIP(CV).**

### 2.3.2 REQUERIMIENTO QUE DEBE SOPORTAR LA RED A FUTURO.

La empresa Integral Data requiere de una red que le permita seguir creciendo con proyección por lo menos a 10 años, tomando en cuenta que según datos



proporcionados por la empresa, se espera un crecimiento anual de un 20%; donde se brindaría servicios basados en el protocolo internet IP. Considerando que uno de los requerimientos de Integral Data es mantener la red de acceso actual junto con su infraestructura, migrando la información TDM actual a una plataforma IP y de ahí en adelante en lo posible, manejar información netamente IP.

La ecuación 2.12, basada en la fórmula del crecimiento anual, permite obtener el valor de la capacidad de transmisión de la información adicional ( $V_{txFN}$ ), que se espera tener para una cantidad de años, a partir de la capacidad de transmisión de la información ocupada actualmente en cada nodo ( $V_{txAN}$ ) mostrada en la tabla 2.3.

$$V_{txFN} [\text{Kbps}] = V_{txAN} [(\gamma + 1)^t - 1] \quad \text{ec. 2.12}$$

Donde:

- $V_{txFN}$ : Velocidad de transmisión adicional que se espera tener a futuro, medida en [Kbps].
- $V_{txAN}$ : Velocidad de transmisión actual ocupada en cada nodo, medida en [Kbps].
- $\gamma$ : Factor de crecimiento anual.
- $t$ : Tiempo en años, en este caso 10 años.

Para el ejemplo de cálculo en el nodo Amazonas se tiene:

$$V_{txFN} = 22400 [\text{Kbps}] * [(0.20 + 1)^{10} - 1] = 116295 [\text{Kbps}]$$

A continuación se muestra en la tabla 2.7 la velocidad de transmisión actual en cada uno de los nodos ( $V_{txAN}$ ), así como la velocidad de transmisión correspondiente al tipo de información que se espera a futuro ( $V_{txFN}$ ), la velocidad de transmisión que se necesita para implementar TDMoIP ( $V_{txTDMoIP}$ ) y el

requerimiento total en velocidad de transmisión (TOTAL Vtx) a 10 años, obtenido de la ecuación 2.13.

$$\text{TOTAL Vtx [Kbps]} = \text{VtxFN} + \text{VtxTDMoIP} \quad \text{ec. 2.13}$$

<b>NODO</b>	VtxAN [Kbps]	VtxFN [Kbps]	VtxTDMoIP [Kbps]	TOTAL Vtx [Kbps]
Amazonas	22400	116295	26004	142299
Florida	9280	48179	11820	59999
Inteca	13440	69777	16548	86325
Eteco	112589	584532	130020	714552
Itchimbía	11264	58480	14184	72664
Proinco	24128	125266	28368	153634
Finlandia	22848	118621	28368	146989
Cordero	14848	77087	18912	95999
Collaloma	19584	101675	23640	125315
Alameda	13248	68780	16548	85328
América	17472	90710	21276	111986
Interoceánica	19136	99349	23640	122989

**Tabla 2.7 Requerimiento total en velocidad de transmisión (TOTAL Vtx) que debe soportar la red.**

Cabe recalcar que este requerimiento ha sido obtenido considerando la utilización de TDMoIP (CE) con emulación de circuito, ya que es el caso en donde se tiene mayor ocupación del canal, en comparación con TDMoIP (CV) utilizando sistemas de compresión de voz.

Otro parámetro importante que se debe determinar es la cantidad de paquetes por segundo para los nuevos servicios IP ( $\text{PPS}_{\text{FN}}$ ), lo cual se obtiene considerando un tamaño promedio de paquete de 500 bytes, utilizado en la mayor parte de aplicaciones IP. El valor de  $\text{PPS}_{\text{FN}}$  se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{PPS}_{\text{FN}} [\text{pps}] = \text{VtxFN} [\text{Kbps}] * \frac{1[\text{byte}]}{8[\text{bits}]} * \frac{1 \text{ Paquete}}{500 \text{ bytes}} * \frac{1000}{1K} \quad \text{ec. 2.14}$$

La tabla 2.8 muestra el valor de  $\text{PPS}_{\text{FN}}$ ,  $\text{PPS}_{\text{TDMoIP}}$  (tabla 2.4.b) y el total de PPS que se obtiene al sumar estos valores en cada nodo.

<b>NODO</b>	$PPS_{FN}$ [pps]	$PPS_{TDMoIP}$ [pps]	TOTAL PPS [pps]
Amazonas	29074	7490	36564
Florida	12045	3404	15449
Inteca	17444	4766	22210
Eteco	146133	37448	183581
Itchimbia	14620	4085	18705
Proinco	31317	8171	39488
Finlandia	29655	8171	37826
Cordero	19272	5447	24719
Collaloma	25419	6809	32228
Alameda	17195	4766	21961
América	22678	6128	28806
Interoceánica	24837	6809	31646

*Tabla 2.8 Valor de requerimiento de paquetes por segundo.*

## CAPÍTULO 3

### **3 DISEÑO DE LA RED DE BACKBONE SOBRE ANILLOS DE FIBRA OPTICA EN LA CIUDAD DE QUITO QUE SOPORTE SISTEMAS DE COMPRESIÓN DE VOZ (CVS) EN TDMoIP.**

- 3.1 GENERALIDADES.
- 3.2 LA FIBRA ÓPTICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN A UTILIZARSE.
- 3.3 TRAZADO DE LA RUTA DE FIBRA ÓPTICA.
- 3.4 EQUIPAMIENTO DE LA RED DE FIBRA OPTICA.
- 3.5 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN PARA LOS ENLACES DE FIBRA ÓPTICA.
- 3.6 INTERCONEXIÓN DE LA RED DE BACKBONE CON EL NODO EL COMERCIO.
- 3.7 RESUMEN GENERAL DEL DISEÑO.

### **3.1 GENERALIDADES.**

Este capítulo presenta el diseño de una red de backbone IP sobre anillos de fibra óptica que requiere la empresa Integral Data en la ciudad de Quito con la finalidad de ofrecer una red multiservicios basados en IP y conservar todos los servicios tradicionales TDM que posee actualmente; para ello, el presente diseño utiliza la tecnología TDMoIP patentada por el fabricante de RAD Data Communications.

Para el diseño de la red en anillos de fibra óptica se realiza la selección del tipo de fibra óptica, tipo de tendido, etc. Luego se realiza la ubicación geográfica de los diferentes nodos y trazado de rutas del cable de fibra óptica por las diferentes calles de la ciudad de Quito.

Mediante un proceso de selección, se escogen los equipos de conmutación a utilizarse en la sección de backbone junto con los transmisores y receptores ópticos para luego determinar los parámetros de atenuación y ancho de banda en los diferentes tramos y así comprobar la factibilidad de la red de fibra óptica. A continuación se eligen los equipos de acceso a la red, considerando los requerimientos del diseño provistos anteriormente; donde se incluye la opción de equipos que utilizan tecnología TDMoIP, para la migración de TDM hacia IP.

Finalmente, se diseña un enlace de radio microonda desde el nodo Itchimbia hasta el nodo Comercio con la finalidad de extender la cobertura hacia la zona sur de la ciudad.

### **3.2 LA FIBRA ÓPTICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN A UTILIZARSE.**

Para la selección del medio de transmisión a utilizarse en el diseño de la red de backbone, se considera el requerimiento en velocidad de transmisión que debe soportar dicha red para un período de tiempo de 10 años, que se obtuvo en el capítulo anterior.

Debido a esto, tanto los equipos como el medio de transmisión deberán contar con las características de versatilidad, escalabilidad, modularidad y seguridad necesarias para garantizar una futura migración con nuevos y mejores servicios.

De acuerdo a la tabla 2.7, los valores de la velocidad de transmisión que se espera tener en 10 años, varían en un rango de 60 [Mbps] hasta 715 [Mbps], correspondiente a la capacidad de transmisión de la información que debe soportar el medio de transmisión a utilizarse.

Para determinar el medio de transmisión adecuado se considera las características de medios de transmisión guiados como el par trenzado, el cable coaxial y los tipos de fibra óptica multimodo y monomodo, así como los enlaces de comunicación inalámbricos vía microonda, explicados en el capítulo 1.

Una comunicación inalámbrica vía microonda permite transportar considerables volúmenes de información, dependiendo del ancho de banda que se tome del espectro de frecuencia, hasta distancias de 100 [Km]; pero debido a que no existe línea de vista entre los nodos a interconectarse, por obstáculos que se tiene en zonas urbanas como por ejemplo edificios, este medio queda descartado.

El par trenzado de cobre, es utilizado en redes de acceso, el cual presenta características propias del material en las que el ancho de banda está directamente relacionado con la distancia, debido a la alta atenuación y diafonía,

por lo que cuanto mayor es la distancia, menor será el ancho de banda que se dispone. Un ejemplo de este medio es el cable UTP cuyo ancho de banda para la categoría 6 es 250 [MHz], con una longitud máxima de 100 [m]. El requerimiento en capacidad de transmisión para el caso de ciertos nodos sería el suficiente, pero con el inconveniente de la longitud que se limita a 100 [m], por lo que no puede ser utilizado ya que como se verá más adelante la distancia entre nodos es superior y se necesitaría demasiados repetidores.

En el caso del cable coaxial, ofrece un mayor ancho de banda, pero al igual que en el cable UTP, la distancia es limitada debido a la dependencia de la atenuación del cobre respecto a la distancia. Este medio de transmisión alcanza distancias de hasta 1 [Km] sin repetidores.

La fibra óptica tiene sus ventajas sobre los medios presentados anteriormente, como son: la capacidad de transmisión del orden de los Gigabit por segundo que se puede alcanzar, la cual solo depende del equipo de transmisión; inmunidad a interferencias electromagnéticas, lo cual garantiza la integridad de la información; cubre mayores distancias que los medios de transmisión anteriores, que están en el orden de 100 [m] hasta 100 [Km]. Además la materia prima utilizada para su fabricación es básicamente el sílice, el cual es abundante en la naturaleza, lo cual lleva los costos a la baja según mejoran los procesos tecnológicos, a diferencia del cobre, cuyo precio depende fundamentalmente de las reservas.

Debido a las mejores características que presenta la fibra óptica frente a los demás medios de transmisión, y cumple con los requerimientos planteados en el presente proyecto, tanto en la capacidad de transmisión necesaria, distancias a ser cubiertas (las cuales se presentan más adelante), seguridad y escalabilidad (en el caso de requerir a futuro una mayor capacidad de transmisión, únicamente se necesita cambiar el equipo o la interfaz de transmisión), es el medio de transmisión escogido para el diseño de la red de backbone.

### 3.2.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE FIBRA ÓPTICA. [24]

Las distancias existentes entre cada uno de los nodos que se muestra más adelante supera en algunos casos a 1 [Km] pero no sobrepasan los 10 [Km], por lo que se debe considerar una fibra que permita cubrir esa distancia conservando características de un ancho de banda lo suficientemente adecuado.

Los tipos básicos de fibra óptica son: la fibra óptica multimodo de índice escalonado, la fibra óptica multimodo de índice gradual y la fibra óptica monomodo. Las fibras ópticas multimodo de índice escalonado e índice gradual, tienen una capacidad de transmisión de hasta 1 [Gbps] para una distancia de hasta 440 [m] y 550 [m] respectivamente; las cuales son descartadas para este diseño, ya que se desea cubrir distancias que están sobre 1 [Km], y se necesitaría algunos repetidores.

La fibra óptica monomodo brinda una capacidad de transmisión superior a 1[Gbps] para distancias de hasta 10 [Km] en la ventana de 1310 [nm] y hasta 100 [Km] en la ventana de 1550 [nm], cuyo ancho de banda se ve limitado por el equipo de transmisión. Debido a que en el presente proyecto se desea cubrir distancias menores a 10 [Km] se escoge la fibra óptica monomodo que trabaja en la ventana de 1310 [nm], que cumpla con las características indicadas por la recomendación de la ITU-T G.652 (Anexo B).

La tabla 3.1 indica las principales características del cable de fibra óptica monomodo de tres fabricantes, presentando mejores características en atenuación y dispersión cromática, el cable de fibra óptica del fabricante 4SGroup, por lo que dicho cable es seleccionado para el presente diseño, con cuyas características se realizará el cálculo del enlace de fibra óptica en los diferentes tramos.



CARACTERÍSTICAS	ITU-T G.652	4SGroup	OFS	Fujikura
Diámetro del núcleo ( $\mu\text{m}$ )	8.6-9.5 ( $\pm 10\%$ )	8.3	9.2	9.2
Diámetro del Revestimiento ( $\mu\text{m}$ )	125 ( $\pm 2$ )	125 $\pm 1$	125 $\pm 1$	Nd
Diámetro externo del revestimiento ( $\mu\text{m}$ )	250	250	250	250
Longitud de onda de dispersión Nula (nm)	1310	1300-1324	1302-1322	1300-1320
Soporte para $\lambda=1550$ [nm]	Si	Si	Si	Si
Máximo coeficiente de dispersión cromática [ps/(nm.Km)]				
1310 [nm]	3.5	3.2		3.5
1550 [nm]	20	18.0	Nd	18.0
Coefficiente de Atenuación [dB/Km]				
1310 [nm]	0.5	0.10	0.34	0.35
1550 [nm]	0.4	0.05	0.23	0.21

*Tabla 3.1 Características ópticas de la fibra óptica proporcionadas por 3 fabricantes.*

### 3.2.2 TIPOS DE TENDIDO Y CONEXIÓN DE FIBRA ÓPTICA. [12]

Para realizar el diseño de la red de fibra óptica se debe considerar el tipo de infraestructura disponible para el tendido del cable, este factor permite determinar el tipo de cable que se utilizará en el diseño.

El tendido o cableado de fibra óptica se lo puede realizar de tres formas: Aérea, subterránea y subacuática.

**Tendido aéreo:** Se realiza haciendo uso de los postes de alumbrado público, a los cuales se va atando el cable de fibra óptica con un sujetador de acero a lo largo del trayecto, manteniendo una distancia de guarda entre los cables de alta tensión y el de fibra. Resulta ser un método rápido y efectivo.

**Tendido subterráneo:** Esta técnica consiste en enterrar el cable de fibra óptica directamente bajo tierra o a través de un conducto enterrado con protecciones contra roedores, fuego y humedad.

**Tendido subacuático:** Este tipo de instalaciones exige requerimientos especiales, como la resistencia a la presión del agua a cierta profundidad.

Debido a que la red a diseñarse se realizará para una zona urbana, los tipos de tendido que se pueden utilizar son: el aéreo y subterráneo.

Un tendido subterráneo de fibra óptica implica costos elevados de instalación así como un tipo de cable que cumpla con las características para dicho tendido, además requiere de permisos necesarios para realizar la obra civil dentro de la zona urbana. Mientras que un tendido aéreo aprovecha la infraestructura de postes ya instalados en la ciudad, generalmente propiedad de la Empresa Eléctrica; por lo que, la utilización de estos postes requiere un arrendamiento de acuerdo a los requerimientos y permisos para uso de los bienes del dominio público descritos en el anexo C. El tendido aéreo representa un costo mucho menor al que se invierte en un tendido subterráneo; por lo cual, el tendido aéreo es la alternativa más adecuada para la instalación de la fibra óptica en el presente diseño.

### **3.2.2.1 Cable para tendido aéreo de fibra óptica. [2]**

Para el tendido aéreo en zonas urbanas se considera dos tipos de cables: cable óptico autoportante y cable óptico tipo “figura 8” con mensajero externo.

El cable óptico tipo “figura 8” con mensajero externo consiste de un material dieléctrico que en su interior transporta hilos de fibra óptica; se sujeta exteriormente a un cable de acero para tensión mecánica entre postes utilizando sujetadores especiales. Mientras que el cable óptico autoportante no requiere un alambre de sustentación (mensajero) para la tensión entre postes, por lo que para

su instalación se utiliza abrazaderas que lo sujetan, ejerciendo fuerzas mecánicas exteriores directamente a todo el cable.

El cable óptico tipo “figura 8” con mensajero externo es la mejor opción para el presente proyecto, ya que brinda mayor seguridad para su instalación.

El cable de fibra óptica para exteriores es de estructura holgada (*Loose Tube Cables*), el cual consta de varios tubos de fibra, rodeando un miembro central de refuerzo, y una cubierta de protección. Cada tubo lleva varias fibras ópticas que descansan holgadamente en él, los tubos pueden ser huecos o rellenos de un gel para la protección de los hilos de fibra.

Para la transmisión y recepción de las comunicaciones en el presente proyecto es necesario 2 hilos de fibra, además se considera 2 hilos de fibra adicional para reserva del sistema. En el mercado existen cables de fibra óptica con 4 hilos, lo cual se adapta a este requerimiento.

#### **3.2.2.2 Técnicas de conexión. [12]**

Al momento de implementar un sistema de comunicaciones utilizando como medio de transmisión la fibra óptica, se debe tener en cuenta factores como la cantidad de empalmes, conectores y curvaturas utilizados a lo largo del cableado de fibra para cubrir la longitud total de la red, los cuales introducen pérdidas que limitan la distancia entre equipos terminales.

Las técnicas de conexión para la fibra óptica pueden ser de dos tipos: conexiones permanentes y conexiones desmontables (llamadas conectores).

La técnica de conexión permanente consiste en unir permanentemente dos fibras ópticas a bajas pérdidas para lo cual se emplean los siguientes métodos: Empalmes mecánicos y empalmes por fusión.

- Los empalmes mecánicos acomodan dos extremos de fibra cortados con cuidado uno junto a otro, sujetándolos y asegurándoles en su lugar mecánicamente a través de un conector de fibra monomodo o multimodo. Este tipo de empalmes representan pérdidas de luz del 10% o 0.5 [dB] de atenuación.
- Como segundo método, se pueden fusionar dos tramos de fibra a través de un arco eléctrico para formar una conexión sólida; para ello se utiliza un dispositivo denominado empalmadora de fusión. Esta técnica produce pérdidas menores a 0.1 [dB].

La unión o conexión desmontable entre dos fibras ópticas o entre una fibra y el dispositivo activo, se obtiene mediante el empleo de conectores ópticos. El conector se compone de una férula (es la que contiene a la fibra), un cuerpo, una cápsula o corona y un mango sujetador.

Existen varios tipos de conectores disponibles en el mercado, como por ejemplo ST, SC, FC y LC los cuales introducen al sistema pérdidas de 0.5 [dB] de atenuación.

Adicionalmente se tiene la técnica de conexión denominada terminación con latiguillo, la cual no es más que un "patch cord" de fibra con conector en el un extremo, y en el otro extremo, se empalma a la fibra óptica proveniente del sitio remoto para terminarla en el panel de conexiones.

### **3.3 TRAZADO DE LA RUTA DE FIBRA ÓPTICA.**

En el diseño de una red de comunicaciones con fibra óptica es necesario el trazado de una ruta a seguir, ubicando los nodos a unir y las calles por las que debe pasar la fibra óptica en base a una determinada topología física. A continuación se detalla estos puntos para el diseño de la red de fibra óptica.

### 3.3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE NODOS

El presente proyecto permite interconectar los diferentes nodos descritos en el capítulo anterior a través de una red en anillos de fibra óptica; y desde el nodo Itchimbía, mediante un enlace de radio microonda hacia el nodo Comercio, extender la cobertura de la red multiservicios que pretende brindar la empresa Integral Data hacia el sur de la ciudad de Quito. A continuación la tabla 3.2 presenta la ubicación de cada uno de los nodos:

<i>Item</i>	<i>NODO</i>	<i>Ubicación Geográfica</i>	<i>Dirección</i>
1	Amazonas	S 00° 10' 22.8'' W 78° 31' 14.4''	José Villalengua y Av. Amazonas
2	Florida	S 00° 08' 19.2'' W 78° 29' 33.6''	Río Alao N-5532 y Av. la Prensa
3	Proinco	S 00° 12' 18.0'' W 78° 29' 42.0''	Gral. Robles E4-136 y Av. Amazonas
4	Finlandia	S 00° 10' 40.8'' W 78° 28' 48.0''	Finlandia N36-168 y Suecia
5	Cordero	S 00° 12' 00.0'' W 78° 29' 30.0''	Cordero E4-301 y Av. Amazonas
6	Collaloma	S 00° 07' 14.4'' W 78° 28' 24.6''	Las Higueras N64-288
7	Alameda	S 00° 12' 42.0'' W 78° 30' 06.0''	Luis Felipe Borja y Sodiro
8	América	S 00° 11' 54.0'' W 78° 30' 00.0''	Av. América N22-150 y Antonio Marchan
9	Inteca	S 00° 10' 22.8'' W 78° 29' 14.4''	Av. 10 de Agosto N37-288 y José Villalengua
10	Eteco	S 00° 09' 36.0'' W 78° 28' 54.0''	Av. Amazonas y Río Coca
11	Interoceánica	S 00° 11' 24.0'' W 78° 28' 48.0''	Boussingaugtt y Av. 6 de Diciembre
12	Itchimbía	S 00° 13' 06.0'' W 78° 30' 06.0''	José María Aguirre y Antonio Elizalde
13	Comercio	S 00° 16' 01.3'' W 78° 31' 35.6''	Av. Pedro Vicente Maldonado y Pusir.

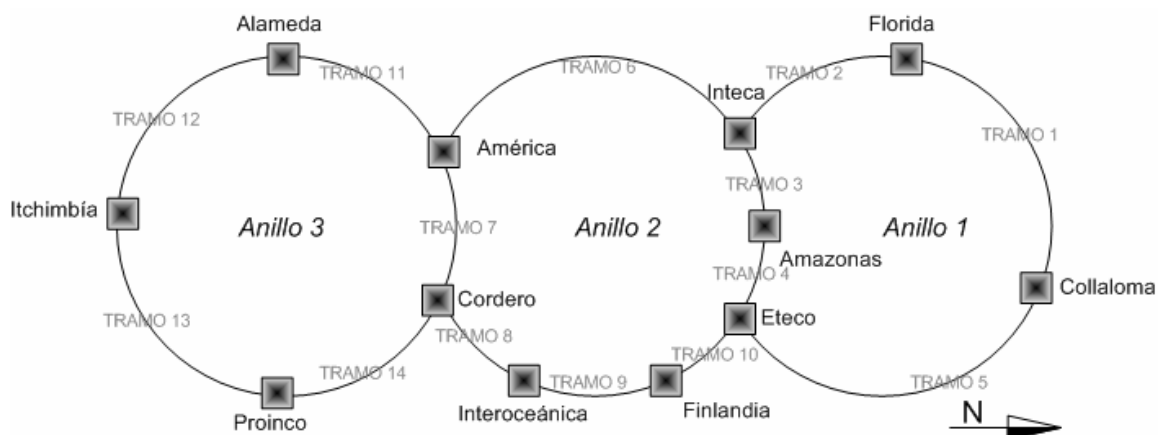
**Tabla 3.2 Ubicación geográfica de nodos.**

En el anexo A se puede observar la ubicación geográfica de los nodos mencionados en el plano de la ciudad Quito.

### 3.3.2 TOPOLOGÍA DE LA RED DE BACKBONE

Debido a que se requiere en lo posible descentralizar el nodo ETECO, con la finalidad de que la conmutación se la realice independientemente en cada nodo, es decir que un cliente encuentre la ruta más corta para encontrar su destino dentro de Quito, sin la necesidad de pasar por el nodo ETECO; y además disponer de una red que brinde redundancia.

La mejor opción de redundancia se tiene en una topología física en anillos, ya que si ocurre un fallo en el cable o nodo, otra ruta estará trabajando normalmente, permitiendo un fácil enrutamiento de los datos e inserción de rutas lógicas a través de la red. Y a la vez que permite cumplir con la condición de descentralizar el nodo ETECO al dividir la zona que se desea cubrir en la ciudad de Quito, en sectores de menor dimensión, formando anillos, los que a su vez son interconectados en nodos comunes.



**Figura 3.1 Esquema de red de anillos de fibra óptica.**

La figura 3.1 muestra los nodos pertenecientes a cada uno de los anillos que se trata de diseñar en el presente proyecto junto con los tramos a trazar.

### **3.3.3 TRAYECTO DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA.**

A continuación se indica el recorrido por el que debe tenderse la fibra óptica para cada tramo con sus respectivas distancias; considerando un 5% de reserva para posibles cruces o acometidas de edificios:

#### **Tramo 1:** Collaloma – Florida

Este tramo tiene una longitud de 5734 [m] y utilizará 147 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Las Higueras, Manuel Ambrosi, Juncal, De los Eucaliptos, Av. Galo Plaza Lasso, Sabanilla, Av. Real Audiencia, Av. Del Maestro, Av. De la Prensa.

#### **Tramo 2:** Florida – Inteca

Este tramo tiene una longitud de 4075 [m] y utilizará 119 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Av. De la Prensa, Edmundo Carvajal, Brasil, Juan Diguja, Av. 10 de Agosto.

#### **Tramo 3:** Inteca – Amazonas

Este tramo tiene una longitud de 365 [m] y utilizará 10 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: José de Villalengua.

#### **Tramo 4:** Amazonas – Eteco

Este tramo tiene una longitud de 1464 [m] y utilizará 42 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Ayora, Israel, Av. Río Amazonas.

**Tramo 5:** Eteco – Collaloma

Este tramo tiene una longitud de 6056 [m] y utilizará 158 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Av. Río Amazonas, Av. El Inca, Av. 6 de Diciembre, De los Pinos, Av. Eloy Alfaro, De las Higueras.

**Tramo 6:** Inteca – América

Este tramo tiene una longitud de 3885 [m] y utilizará 111 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles: Av. 10 de Agosto, José Villalengua, Veracruz, Av. De la República, Ulloa, Marchena, Av. América.

**Tramo 7:** América – Cordero

Este tramo tiene una longitud de 1233 [m] y utilizará 38 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Av. América, Marchena, Versalles, Mercadillo, Av. 10 de Agosto, Cordero.

**Tramo 8:** Cordero – Interoceánica

Este tramo tiene una longitud de 1975 [m] y utilizará 62 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Cordero, Juan León Mera, Av. Francisco Orellana, Diego de Almagro, Whimper, Av. 6 de Diciembre, Boussingaugtt.

**Tramo 9:** Interoceánica – Finlandia

Este tramo tiene una longitud de 2124 [m] y utilizará 68 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Av. 6 de



Diciembre, Diego de Almagro, Av. Eloy Alfaro, Av. Naciones Unidas, Av. República del Salvador.

**Tramo 10:** Finlandia – Eteco

Este tramo tiene una longitud de 2773 [m] y utilizará 79 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Finlandia, Suecia, Av. De los Shirys, Río Coca, Av. Río Amazonas.

**Tramo 11:** América – Alameda

Este tramo tiene una longitud de 1903 [m] y utilizará 57 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Av. América, Ramírez Dávalos, Versalles, Av. Pérez Guerrero, Manuel Larrea, Pablo Arenas, Luis Felipe Borja.

**Tramo 12:** Alameda – Itchimbía

Este tramo tiene una longitud de 1221 [m] y utilizará 32 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Luis Felipe Borja, Luis Sodiro, Av. Gran Colombia, Iquique.

**Tramo 13:** Itchimbía – Proinco

Este tramo tiene una longitud de 2494 [m] y utilizará 61 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Iquique, Av. Gran Colombia, Queseras del Medio, Av. 12 de Octubre, Jorge Washington, Juan León Mera, Gral. Francisco Robles.

**Tramo 14:** Proinco – Cordero

Este tramo tiene una longitud de 913 [m] y utilizará 27 postes para el tendido del cable de fibra óptica, siguiendo el recorrido de las calles y avenidas: Gral. Francisco Robles, Juan León Mera, Cordero.

**3.4 EQUIPAMIENTO DE LA RED DE FIBRA OPTICA. [7]**

El diseño de redes IP se basa en el modelo TCP/IP, por cuanto, en lo que se refiere a capa física, se seleccionó anteriormente que el medio de transmisión es fibra óptica monomodo, por lo que el transmisor debería ser del tipo láser, y el receptor del tipo fotodiodo de avalancha (APD: *Avalanche photo diode*), ya que posee alta sensibilidad; los dos, para pasar señales digitales. Comúnmente los equipos de conmutación ya poseen interfaces denominadas convertidores o “tranceivers”, que realizan la función de transmisor/receptor y a su vez convierten las señales ópticas a eléctricas y viceversa.

Como se presentó en el capítulo 1, TDMoIP puede implementarse utilizando en la capa de acceso a la red (capa 2) el protocolo ethernet, la misma que puede ser mejorada mediante técnicas de ethernet conmutada y opciones de redes virtuales (VLAN: *Virtual Local Area Network*) para el enrutamiento de las comunicaciones, mediante “switches” que permiten dividir en tantos dominios de colisión como puertos ethernet tenga el dispositivo; considerando que se desea cubrir un área metropolitana, se obtiene la denominada “Metro Ethernet”.

Actualmente existen switches de gran capacidad los cuales integran interfaces Ethernet, FastEthernet, 1Gigabit Ethernet para UTP y fibra óptica, y 10Gigabit Ethernet para fibra óptica, los mismos que logran conmutación a gran velocidad.

Los switches pueden conectarse entre si, mediante interfaces de uplink<sup>12</sup> para 1Gigabit o 10 Gigabit Ethernet, con fibra óptica monomodo.

Los dominios de broadcast de capa 2 pueden ser separados mediante VLAN's (*virtual LAN*), las que se utilizan para la conexión lógica de capa 2 entre nodos. Así mismo los lazos de capa 2 causados por la función puente (bridge) entre switches, son eliminados mediante el protocolo spanning tree<sup>13</sup>, empleado en cada VLAN.

En capa Internet (capa 3) se manejan direcciones lógicas y es posible separar dominios de broadcast de capa 2 mediante la extracción e inserción de cabeceras Ethernet. Los protocolos de enrutamiento son implementados también en esta capa, los cuales pueden ser protocolos de vector distancia, estado del enlace o híbridos.

En la actualidad existen switches que manejan capa 2, capa 3 y hasta capa 4 (capa transporte) denominados switches multicapa. Con este tipo de equipos se puede implementar seguridades tales como restricción de direcciones MAC, direcciones IP's y puertos lógicos de capa transporte, a manera de un cortafuegos<sup>14</sup> (firewall). Por lo tanto en el presente diseño se utilizará en cada nodo este tipo de dispositivos.

La estructura de interconexión de la red a diseñarse, se basa en el modelo jerárquico propuesto por CISCO Systems, analizado en el capítulo 1; por lo que los equipos que conforman la sección de "backbone" o "core", deben tener la capacidad de conmutación (backplane) suficiente capaz de soportar los requerimientos de la red a diseñarse, además proporcionar opciones de redundancia. En la sección de distribución, se controla y monitorea el tráfico de la red, además se implementa seguridad y autenticación de usuarios registrados;

---

<sup>12</sup> Uplink: enlace ascendente y Downlink: enlace descendente.

<sup>13</sup> Protocolo Spanning Tree: estándar IEEE 802.1d, proporciona mecanismos para eliminar lazos de capa 2.

<sup>14</sup> Cortafuegos o firewall, es un dispositivo de hardware o software que controla el acceso a la red.

que dependiendo del tamaño de la red, se la puede integrar junto con la sección de backbone en un solo equipo.

La red de acceso actual se conserva, pero para su integración a la red de backbone a diseñarse en el presente proyecto, se necesita equipamiento que realice TDMoIP de forma eficiente. Adicionalmente, para futuros clientes es necesario que la red de acceso se acople directamente a la de backbone y distribución, lo cual se logra fácilmente con equipos de última milla que manejen Ethernet/IP, los cuales pueden ser DSLAM's (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*), módems ADSL y radios Ethernet con capacidad de puente o ruteo. En la red de acceso también pueden ser implementadas seguridades como redes privadas virtuales (VPN: *Virtual Private Network*) entre equipos terminales.

#### **3.4.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BACKBONE.**

En la tabla 2.7 y 2.8 del capítulo anterior, se presenta el requerimiento de velocidad de transmisión (TOTAL Vtx) y cantidad de paquetes por segundo (TOTAL PPS), en donde el valor máximo que se tiene para TOTAL Vtx es igual a 714552 [Kbps] y para TOTAL PPS es de 183581 [pps], valores que se toman como referencia para seleccionar el switch, el cual debe cumplir como mínimo con estas características de capacidad de conmutación; por lo que el switch debe tener interfaces para fibra óptica que manejen 1 Gigabit Ethernet, y permitan cubrir las distancias entre nodos, cuyo valor máximo es de 6056 [m] correspondiente al tramo Collaloma – Eteco.

Otro punto importante es la cantidad de puertos y tipos de interfaces que deben tener los equipos de conmutación. Hay que considerar una capacidad de crecimiento a futuro y a la vez integrar la sección de backbone con la sección de distribución en un solo equipo, por lo que es recomendable una cantidad de al menos 24 puertos fastEthernet 10/100 [Mbps] y 4 interfaces 1 Gigabit ethernet para fibra óptica monomodo, de las cuales 2 son utilizadas para tener conexión

redundante entre nodos de acuerdo al diagrama de la figura 3.1 y dos adicionales para futuro crecimiento o para conectar a otros equipos que requieran interfaz de fibra óptica.

A continuación en la tabla 3.3 se presenta un cuadro con las características de equipos de conmutación (switches) de dos fabricantes:

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>3COM</b>	<b>CISCO SYSTEMS</b>
Modelo	3824	Catalyst 3750G-24TS
Puertos RJ-45 10/10/1000 [Mbps]	24	24
Puertos uplink SFP (Interfaces de fibra óptica)	4	4
Soporte para capa 3	Si	Si
Protocolos de enrutamiento	No indica	RIP v1/v2, BGP-4, EIGRP, OSPF.
Soporte para listas de Acceso	Si	Si
Máximo Backplane [Gbps]	48	32
Máximo PPS [Mpps]	35.7	38.7
Máx. No. de VLANs	255	1005
Memoria DRAM [MB]	128	128
Memoria Flash [MB]	32	16

***Tabla 3.3 Características técnicas de dos fabricantes de Switches multicapa.***

De acuerdo a las características de los equipos presentados en la tabla 3.3, se observa que los dos fabricantes cumplen con los requerimientos que necesita la red diseñada en cuanto a capacidad de conmutación, pero, se escoge el switch Catalyst 3750G-24TS del fabricante CISCO SYSTEMS, ya que ofrece mejores características funcionales en lo referente al número de VLAN's y protocolos de enrutamiento que soporta, en comparación al equipo del fabricante 3Com.

### 3.4.1.1 Selección de la interfaz de fibra óptica.

Una vez escogido el equipo de conmutación, se necesita que la interfaz para interconexión entre nodos, sea para fibra óptica monomodo que trabaje en la ventana de 1310 [nm], permitiendo cubrir distancias de al menos 6056 [m] y soporte tecnología 1Gigabit Ethernet. Las opciones que presenta el fabricante Cisco Systems y que soportan el equipo seleccionado anteriormente, se muestran en la tabla 3.4.

SFP	Longitud de Onda [nm]	Tipo de Fibra	Diámetro del núcleo [μm]	Ancho de Banda [MHz/Km]	Máximo alcance [m]	Potencia TX [dBm]	Potencia RX [dBm]
1000Base-SX	850	Multimodo Escalonado	62.5 62.5 50.0 50.0	160 200 400 500	220 275 500 550	Max -4 Min -9.5	Max 0 Min -17
1000Base-LX/LH	1300	Multimodo Gradual	62.5 50.0	500 400	550 550	Max -3 Min -9.5	Max - 3 Min -19
		Monomodo	50.0 9-10	500 -	550 10000		
1000Base-ZX	1550	Monomodo	9-10	-	100000	Max 5 Min 0	Max - 3 Min -23

**Tabla 3.4 Especificaciones para el conector SFP de Cisco.**

Las interfaces que soporta el switch CISCO Catalyst 3750G-24TS son del tipo SFP<sup>15</sup>, de las cuales, se escoge la interfaz 1000Base-LX<sup>16</sup> para fibra monomodo de 9 – 10 [μm], la misma que alcanza distancias de hasta 10 [Km], cuyo transmisor tiene una potencia de salida mínima de -9.5 [dBm] y máxima de -3 [dBm] y el receptor tiene una potencia de recepción mínima de -19 [dBm] y máxima de -3 [dBm]; datos que se utilizarán posteriormente en el cálculo del enlace de comunicaciones de fibra óptica.

<sup>15</sup> SFP (Small Form-factor Pluggable): Es un transmisor-receptor óptico compacto que usa conectores LC. Alcanza velocidades hasta de 2,5 [Gbps].

<sup>16</sup> Especificación de la IEEE 802.3z, que define una tecnología Gigabit Ethernet con conector LC/SC para distancias superiores a 5 [Km].

### 3.4.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA RED DE ACCESO IP/ETHERNET.

Para la red de acceso lo más conveniente es utilizar una tecnología xDSL, específicamente ADSL, por la versatilidad de los equipos existentes en el mercado que soportan aplicaciones tanto simétricas como asimétricas. Los componentes de una red de acceso ADSL son DSLAM's que concentran en un nodo diferentes puntos de acceso, a los que se conectan a través del par de cobre, equipos módem-router ADSL ubicados en el sitio del usuario, los cuales tienen capacidad de realizar ruteo básico y en algunos casos implementar redes virtuales privadas (VPN's) y calidad de servicio (QoS: *Quality of service*).

Para la selección de equipos DSLAM's se ha tomado como referencia las especificaciones técnicas proporcionadas por dos fabricantes que se presentan en la tabla 3.5.

CARACTERÍSTICAS	DSLAM	
FABRICANTE	Corecess	Paradyne
MODELO	7224	4929-A1-520
Puertos ADSL	24	24
Puertos Uplink Ethernet 10/100 Mbps	2	1
Servicios que soporta.	QoS IGMP VLAN DHCP Filtrado de: puertos, MAC's, IP's y DHCP ADSL: Annex A/B/C. Multicast Gestión tráfico ATM SNMP.	QoS IGMP VLAN ADSL: Annex A.
Interfaces Ethernet que soporta	2 x 100 Base FX, 2 x 100 Base TX.	100 Base FX, 10/100 Ethernet
Velocidad de subida (Upstream) [Mbps]	1	No indica
Velocidad de bajada (Downstream) [Mbps]	24	24
Núm. máx. de PVC por ADSL	7	No indica
Velocidad procesamiento de paquetes [Kpps]	310	No indica
Número máximo de VLAN's	128	No indica
Distancia Máxima [km]	1.5	7.5

*Tabla 3.5 Características técnicas de dos fabricantes de DSLAMs.*

El DSLAM modelo 7224 de marca Corecess posee capacidad para 24 puertos ADSL y 2 puertos de uplink FastEthernet, en los que se puede implementar QoS, DHCP, VLAN's, seguridades como filtrado de puertos, direcciones MAC e IP's, etc.; su comportamiento es el de un switch de acceso. La distancia que cubren estos DSLAM's es de 1.5 [Km], con una velocidad nominal de uplink desde 64 [Kbps] hasta de 1 [Mbps] y 24 [Mbps] de downlink. En comparación con el DSLAM Paradyne Zhone modelo 4929-A1-520, Corecess presenta mejores características en cuanto a servicios que soporta y cantidad de puertos para uplink, con lo que se obtiene opciones de escalamiento y mayor capacidad de transmisión, aunque el otro fabricante tenga mejor alcance en la potencia de la interfaz ADSL.

Los equipos terminales de usuario son módem-router ADSL. Existen fabricantes como D-LINK con su equipo DSL-500G, el cual es compatible con el equipo DSLAM.

Para la red de acceso inalámbrica se aprovechará los radios Airmux de marca RAD que posee la empresa, los cuales tienen un puerto Ethernet, que facilita una conexión directa hacia un puerto ethernet de un switch en cada nodo.

### **3.4.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA TDMoIP.**

Para dar servicio a los clientes actuales que utilizan tecnología TDM, en el transporte de E1's de datos, sobre la red de backbone IP/Ethernet planteada en este diseño, se recomienda el uso de equipos IPMUX, los cuales hacen uso de la tecnología TDMoIP, la cual es patentada por el fabricante RAD Data Communications. Estos equipos realizan TDMoIP con emulación de circuitos (CE) para capacidades de 1, 4, 8, 16 y 192 E1's, de acuerdo a los modelos IPMUX-11, IPMUX-14, IPMUX-8, IPMUX-16, GMUX-2000 respectivamente, cuyas hojas de especificaciones se muestran en el anexo E.



Considerando el requerimiento de E1'sD de datos de la tabla 2.4.b del capítulo anterior, se selecciona el equipo TDMoIP (CE) adecuado para cada nodo, lo cual se indica en la tabla 3.6.

NODO	E1'sD	Equipo TDMoIP (CE)
Amazonas	6	IPMUX-8
Florida	4	IPMUX-14
Inteca	4	IPMUX-14
Eteco	31	GMUX-2000 (2 tarjetas 28 E1's)
Itchimbía	4	IPMUX-14
Proinco	6	IPMUX-8
Finlandia	7	IPMUX-8
Cordero	4	IPMUX-14
Collaloma	6	IPMUX-8
Alameda	5	IPMUX-8
América	6	IPMUX-8
Interoceánica	5	IPMUX-8

**Tabla 3.6 Equipo TDMoIP (CE) para cada uno de los nodos.**

Los equipos IPMUX poseen las siguientes características principales:

- Transporte de servicios TDM sobre cualquier red de conmutación de paquetes.
- Aplicaciones punto – punto o punto – multipunto.
- Transporte transparente para protocolos de señalización sobre E1 o T1.
- Uno o dos puertos 10/100 BaseT para conexión con la red de conmutación de paquetes o un puerto 100 Base FX para fibra óptica.
- Soporte para calidad de servicio.
- Monitoreo mediante el software RADview en una plataforma SNMP (*Simple Network Management Protocol*).
- Puertos balanceados E1 de acuerdo a las recomendaciones G.703 y G.704.

El equipo GMUX-2000 posee características similares siendo totalmente modular con capacidad de albergar hasta 7 ranuras de expansión de 28 E1's cada una, con lo que se puede obtener un total de hasta 192 E1's, utilizando la tecnología TDMoIP sobre una interfaz Gigabit Ethernet, la cual se conecta a la red conmutada de paquetes IP/Ethernet.

En el caso en que se requiera implementar TDMoIP con sistemas de compresión de voz (CV), se recomienda los equipos VMUX del fabricante RAD Data Communications, que tienen la capacidad de llevar hasta 16 E1's de voz por una red de conmutación de paquetes ocupando una capacidad de transmisión de datos menor a 2048 [Kbps], utilizando algoritmos de compresión de voz tales como: G.723.1, G.729 y G.711. Los modelos que se recomiendan para el presente proyecto son el VMUX-110 y el VMUX-2100 los cuales poseen capacidad para comprimir 1 E1's en el primer caso y hasta 16 E1's en el segundo caso insertando 4 tarjetas para 4 E1's cada una. Considerando el requerimiento de E1's de voz (E1'sV) necesarios de la tabla 2.6 del capítulo anterior, se selecciona el equipo VMUX adecuado para cada nodo, lo cual se indica en la tabla 3.7.

<b>NODO</b>	<b>E1'sV</b>	<b>Equipo VMUX</b>
Amazonas	5	VMUX-2100 (2 tarjetas)
Florida	1	VMUX-110
Inteca	3	VMUX-2100 (1 tarjetas)
Eteco	24	1 VMUX-2100 (4 tarjetas) 1 VMUX-2100 (2 tarjetas)
Itchimbía	2	VMUX-2100 (1 tarjetas)
Proinco	6	VMUX-2100 (2 tarjetas)
Finlandia	5	VMUX-2100 (2 tarjetas)
Cordero	4	VMUX-2100 (1 tarjetas)
Collaloma	4	VMUX-2100 (1 tarjetas)
Alameda	2	VMUX-2100 (1 tarjetas)

América	3	VMUX-2100 (1 tarjetas)
Interoceánica	5	VMUX-2100 (2 tarjetas)

*Tabla 3.7 Equipo VMUX para cada uno de los nodos.*

#### **3.4.4 DIAGRAMA DE INTERCONEXIÓN DE EQUIPOS EN NODOS.**

En la figura 3.2 se resume el método de interconexión entre equipos en los nodos; en la sección de backbone se encuentran switches multicapa (CISCO Catalyst 3750G-24TS) de gran capacidad de conmutación que se conectan a través de fibra óptica; la sección de acceso corresponde a la última milla y está compuesta por equipos como módems, enrutadores, radios microonda, DSLAM's. En esta sección se puede implementar redes privadas virtuales (VPN) entre oficinas y además ruteo de tipo estático o dinámico. Para la interconexión de los usuarios con el nodo (última milla), se utiliza como medios de transmisión par trenzado, fibra óptica o radio enlace punto – punto, de acuerdo a las necesidades del cliente. Adicionalmente para integrar los servicios TDM actuales a la red IP se utilizan equipos que realicen TDMoIP, como pueden ser IPMUX o VMUX según sea el caso, estos equipos se conectan al nodo Tellabs existente en cada nodo para recibir los E1's correspondientes.

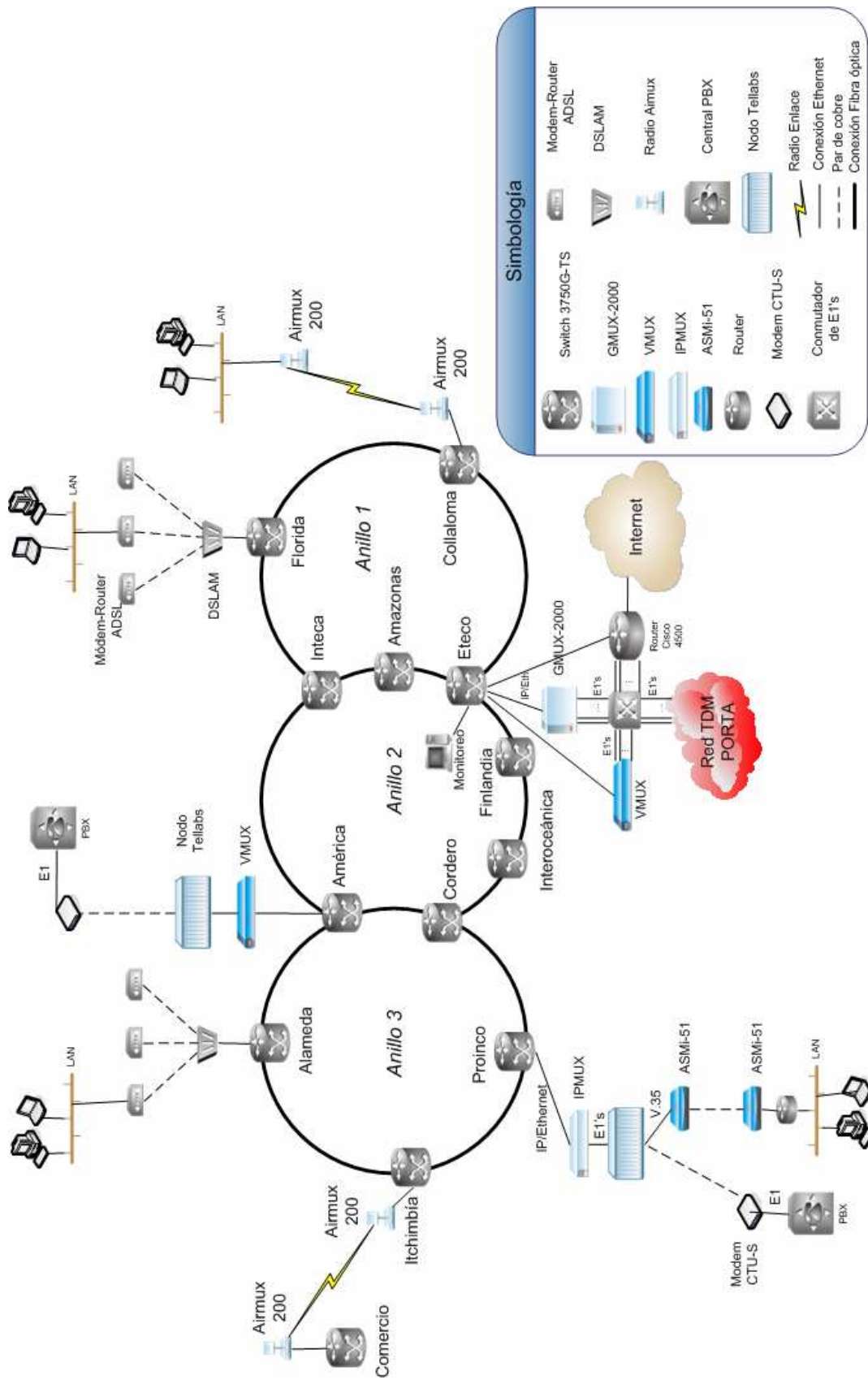


Figura 3.2. Diagrama de interconexión de equipos en nodos.

### **3.5 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN PARA LOS ENLACES DE FIBRA ÓPTICA.**

En el diseño de un enlace de fibra óptica se considera también dos factores importantes que son: el cálculo de las pérdidas totales y el máximo ancho de banda del enlace. Estos parámetros determinan el alcance de un enlace de fibra óptica.

Las pérdidas totales del enlace, son las pérdidas de potencia de luz introducidas en los elementos que intervienen en el mismo, que pueden ser: atenuación de la fibra, conectores, empalmes, curvaturas de cables, pérdidas en el transmisor y receptor.

El máximo ancho de banda del enlace es la máxima ocupación del espectro de frecuencia que se puede alcanzar para el transporte de información con un mínimo de distorsión de la señal. Este parámetro depende de las características de la fibra óptica y las propiedades de los equipos ópticos. La máxima atenuación, máxima distancia y máximo ancho de banda especificadas por el fabricante no deben ser excedidas para la correcta utilización del enlace de fibra óptica. Para superar limitaciones de distancia se puede recurrir a elementos adicionales como regeneradores de la señal óptica.

#### **3.5.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DEL ENLACE DE FIBRA ÓPTICA. [12]**

El cálculo de pérdidas o atenuación total es la suma de las atenuaciones parciales que se introducen en todos los elementos que intervienen en el enlace, que se detallan a continuación:

- ***Pérdidas ocasionadas por la fibra óptica ( $A_{FO}$ ):*** La fibra óptica presenta pérdidas intrínsecas debido a las propiedades del material, las mismas que se incrementan de acuerdo a la longitud del cable de fibra óptica. Estas pérdidas se calculan mediante el producto entre el coeficiente de atenuación

(proporcionado por el fabricante, expresado en [dB/km] a la longitud de onda de trabajo) y la longitud total del cable a instalarse.

Para el presente diseño se toma como ejemplo de cálculo, el tramo *Collaloma – Eteco*:

Longitud (L) = 6.056 [km]

Coefficiente de Atenuación ( $C_{At}$ ) a 1310 [nm] = 0.1 [dB/km]

$$\begin{aligned} A_{FO} &= L \times C_{At} \\ &= 6.056 [\text{Km}] \times 0.1 [\text{dB/Km}] && \text{ec. 3.1} \\ &= 0.6 [\text{dB}] \end{aligned}$$

- **Pérdidas en los empalmes ( $A_E$ ):** Son pérdidas introducidas en los empalmes mecánicos o de fusión. Los empalmes de fusión tienen pérdidas menores a 0.1 [dB] mientras que los empalmes mecánicos alrededor de los 0.5 [dB]. En un tramo de fibra óptica se debe tomar en cuenta la cantidad de empalmes existentes y multiplicar por el valor unitario de atenuación de cada empalme para obtener la pérdida introducida por empalmes en el tramo.

Para el presente diseño se considera empalmes de fusión y bobinas de cable de fibra óptica de 4 [km]. Se tiene un mínimo de 2 empalmes en cada tramo debido a los latiguillos en las terminaciones y empalmes adicionales cada vez que la distancia entre tramos sobrepase la longitud de la bobina; por lo que para el tramo de ejemplo se tiene un total de 3 empalmes, lo que introduce pérdidas de 0.3 [dB].

- **Pérdidas en los conectores ( $A_C$ ):** En cada conector que interviene en un enlace de fibra óptica se tiene pérdidas de alrededor de 0.5 [dB]. La pérdida total por conectores se obtiene del producto entre número de conectores por el valor estimado de pérdida.

Las terminaciones de la fibra óptica luego de los latiguillos llegan a un panel de conexiones ópticas, y mediante un patch cord de fibra óptica se conecta al equipo de comunicaciones; por tanto se tiene cuatro conexiones en cada uno de los tramos, por lo cual se tiene 2 [dB] en pérdidas por conectores para cada tramo.

- **Margen de diseño (Md):** Es un margen de seguridad que se pone en el diseño del enlace de fibra óptica, anticipando posibles cambios a futuro en el cálculo de pérdidas. Un valor típico de margen de diseño es de 3 [dB].

La atenuación total del enlace para el ejemplo de cálculo se obtiene de la sumatoria de las atenuaciones anteriores y del margen de diseño, su resultado se muestra en la ecuación 3.2:

$$\begin{aligned}
 A_{TOTAL} &= A_{FO} + A_E + A_C + Md \\
 &= (0.6 + 0.3 + 2 + 3) [dB] && \text{ec. 3.2} \\
 &= 5.9 [dB]
 \end{aligned}$$

El cálculo de pérdidas para cada uno de los tramos involucrados en el diseño de la red de backbone de fibra óptica se resume en la tabla 3.8:

Tramo No.	Longitud [km]	A <sub>FO</sub> [dB]	No. Empalmes	A <sub>E</sub> [dB]	A <sub>C</sub> [dB]	Md [dB]	A <sub>TOTAL</sub> [dB]
1	5.734	0.57	3	0.3	2	3	5.87
2	4.075	0.41	3	0.3	2	3	5.71
3	0.365	0.04	2	0.2	2	3	5.24
4	1.464	0.15	2	0.2	2	3	5.35
5	6.056	0.61	3	0.3	2	3	5.91
6	3.885	0.39	2	0.2	2	3	5.59
7	1.233	0.12	2	0.2	2	3	5.32
8	1.975	0.20	2	0.2	2	3	5.40
9	2.124	0.21	2	0.2	2	3	5.41
10	2.773	0.28	2	0.2	2	3	5.48
11	1.903	0.19	2	0.2	2	3	5.39
12	1.221	0.12	2	0.2	2	3	5.32
13	2.494	0.25	2	0.2	2	3	5.45
14	0.913	0.09	2	0.2	2	3	5.29

*Tabla 3.8 Cálculo de pérdidas para cada uno de los tramos.*

### 3.5.1.1 Atenuación máxima permisible ( $A_{m\acute{a}x}$ ).

Es la diferencia de potencia existente entre el equipo transmisor ( $P_{Tx}$ ) y el equipo receptor ( $P_{Rxmin}$ ), medida en [dB]. Este parámetro indica el valor máximo de atenuación que puede alcanzar el cálculo de pérdidas. Se calcula mediante la ecuación 3.3:

$$A_{m\acute{a}x} [dB] = P_{Tx} - P_{Rxmin} \quad \text{ec. 3.3}$$

Según la hoja de especificaciones del equipo Cisco 3750G – 24 TS escogido en el presente diseño, la potencia de transmisión mínima es de -9.5 [dBm]; y la potencia de recepción mínima para un BER de  $10^{-12}$  es de -19 [dBm], por lo tanto:

$$A_{m\acute{a}x} = -9.5[dB] - (-19[dB]) = 9.5[dB] \quad \text{ec. 3.4}$$

Comparando el valor de  $A_{m\acute{a}x}$  con los valores de atenuación total de la tabla 3.7, se observa que todos los valores no sobrepasan el límite definido por la atenuación máxima permisible.

### 3.5.2 DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE BANDA (AB). [12]

El ancho de banda de la fibra óptica está determinado por la dispersión y la longitud del enlace.

La dispersión es el arribo de la información por la fibra óptica a diferentes tiempos de lo esperado, con un ensanchamiento en los pulsos de bits. En la fibra óptica monomodo, interviene la dispersión cromática o espectral, la cual es causada por la variación de la velocidad de la luz, a través de una fibra a una determinada longitud de onda. La dispersión cromática está formada por la suma de dos componentes: la dispersión del material, que es una característica intrínseca del material; y la dispersión de guía de onda que se origina por que la propagación de la luz en una guía de onda, depende de la longitud de onda así como de las dimensiones de la guía. [28]



El ancho de banda para enlaces de fibra óptica monomodo se determina con la ecuación 3.5:

$$AB \text{ [GHz]} = \frac{0.441}{D(\lambda) \times \Delta\lambda \times L} \quad \text{ec. 3.5}$$

Donde:

$D(\lambda)$ : Dispersión cromática de la fibra óptica expresada en [ps/(nm . Km)].

$\Delta\lambda$ : Anchura espectral de la fuente de luz utilizada, expresada en [nm].

L: Longitud del tendido del cable de fibra óptica.

Para el presente diseño y de acuerdo a las especificaciones del fabricante del cable de fibra óptica escogido, se tiene un  $D(\lambda) = 3.2$  [ps/(nm . Km)]; considerando un valor típico para una fuente de luz tipo láser de  $\Delta\lambda = 0.1$  [nm] y tomando en cuenta el tramo de mayor longitud Collaloma – ETECO (6.056 [km]), se aplica la ecuación 3.5, obteniendo el resultado que se presenta en la expresión 3.6:

$$AB = \frac{0.441}{3.2 \times 0.1 \times 6.056} \quad \text{ec. 3.6}$$

$$AB = 227 \text{ [GHz]}$$

Este resultado corresponde al ancho de banda máximo proporcionado por la fibra óptica utilizada para el presente proyecto, el cual está limitado por las características de transmisión del equipo de comunicaciones, que en este caso, los switches Cisco Catalyst 3750G-25TS utilizados, tienen interfaces 1 Gigabit ethernet para fibra óptica monomodo. El estándar IEEE 802.3z, describe la tecnología 1 Gigabit ethernet e indica la utilización de una codificación de línea 8B10B; por lo que se tiene una velocidad de señal de  $\frac{5}{4}$  respecto a la velocidad de transmisión, que aplicando el teorema de Nyquist, se tiene un ancho de banda igual a  $\frac{5}{8}$  de la velocidad de transmisión; por lo que, en 1 Gigabit ethernet el ancho de banda que se tiene es 625 [MHz]. Como se indica en la tabla 2.7, el mayor

requerimiento en velocidad de transmisión de datos se encuentra en el nodo ETECO, con un valor de 714.6 [Mbps], que corresponde a un ancho de banda de 446.6 [MHz], lo cual es un valor menor al ancho de banda máximo calculado que permite el enlace de fibra óptica, por lo que el diseño es viable.

### **3.6 INTERCONEXIÓN DE LA RED DE BACKBONE CON EL NODO EL COMERCIO.**

Con la finalidad de extender la cobertura hacia la zona sur de la ciudad de Quito, se ubicará un nodo en el sector El Comercio, que se integrará a la red de backbone en el nodo Itchimbía mediante un enlace de radio microonda utilizando la tecnología de espectro ensanchado.

#### **3.6.1 DISEÑO DEL RADIO ENLACE MICROONDA. [21]**

Un radio enlace microonda consiste en la radiación de ondas electromagnéticas de frecuencia desde 300 [MHz] hasta 30 [GHz], mediante antenas directivas. Las ondas electromagnéticas correspondientes a esta parte del espectro, viajan en línea recta, es decir requieren de línea de vista, y además soportan condiciones atmosféricas y de terreno.

#### **Zonas de Fresnel:**

La zona de Fresnel es una zona cónica elíptica formada de la energía que propaga la antena que transmite, a la antena que recibe, ensanchándose dicha zona en el centro de la trayectoria entre las dos antenas. Este fenómeno es variable con la frecuencia.

El radio de la n-ésima elipsoide de la zona de Fresnel en un punto específico del trayecto, viene dado por la expresión 3.7.

$$R_n = \sqrt{\frac{n \times L_A \times L_B \times \lambda}{L}} [m] \quad \text{ec. 3.7}$$

Donde:

$R_n$ : Radio de la n-ésima región del elipsoide de Fresnel.

$L_A$ : Distancia desde el punto de estudio al terminal A.

$L_B$ : Distancia desde el punto de estudio al terminal B.

$L$ : Longitud total del trayecto.

$\lambda$ : Longitud de onda.

En la primera zona de Fresnel se concentra la mayor parte de la energía radiada, por lo que es importante que se asegure que al menos el 60% del radio de Fresnel, no tenga obstáculos entre los dos terminales, caso contrario, se producen atenuaciones provocadas por difracción o sombra, que si son elevadas, el enlace no es viable.

Para determinar la viabilidad del enlace desde el punto de vista de las zonas de Fresnel, es necesario el trazado del perfil topográfico para determinar si la primera zona se encuentra libre de obstáculos.

#### **3.6.1.1 Trazado del Perfil Topográfico.**

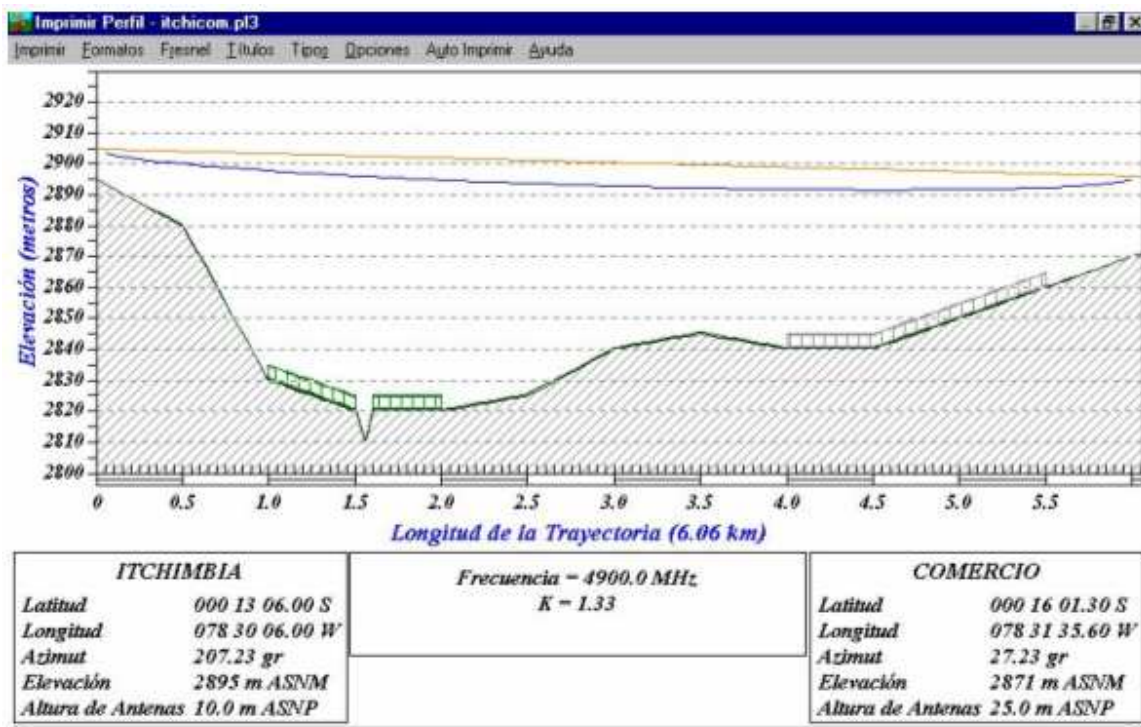
El perfil topográfico se realiza ubicando las alturas del terreno obtenidas de los mapas cartográficos, a distintas distancias entre los puntos extremos, y se lo dibuja en un plano de referencia con corrección del terreno denominado plano 4/3, teniendo como datos la ubicación geográfica de los puntos extremos, que se presentan en la tabla 3.2.

Una vez realizado el perfil topográfico se añade la altura de las antenas en los extremos, y se traza una línea recta entre los dos puntos indicando si existe línea de vista, donde también se grafica la primera zona de Fresnel para observar si se garantiza las condiciones de Fresnel.

Para el trazado del perfil topográfico en el presente diseño, se utiliza la herramienta de software "Pathloss". En el diseño del enlace de radio se utiliza la

tecnología de espectro ensanchado que por tratarse de un enlace para backbone no es conveniente trabajar a una frecuencia de uso libre como por ejemplo 5.8 o 2.4 [GHz], razón por la que se escoge la frecuencia de asignación fija de 4.9 [GHz].

La figura 3.3 presenta el trazado de perfil entre los nodos Itchimbía y Comercio, en el que se observa la existencia de línea de vista (en color naranja) entre los dos puntos, garantizando el 60% de la primera zona de Fresnel (en color azul), por lo que desde este punto de vista, el enlace es viable.



**Figura 3.3 Perfil Topográfico del enlace microonda entre los nodos Itchimbía y El Comercio.**

### 3.6.1.2 Selección del Equipo de radio Microonda.

Para la integración fácil y funcional del equipo de radio microondas a la red, se necesita que el equipo de microonda tenga una interfaz Fastethernet de 10/100 [Mbps], y además utilice la tecnología de espectro ensanchado, debido a

que es menos susceptible a la interferencia por utilizar técnicas de codificación pseudoaleatoria en los datos que son transmitidos y los equipos que utilizan esta tecnología, no representan una inversión muy costosa.

A continuación en la tabla 3.9, se presenta tres modelos de radios de distintos fabricantes que soportan los requerimientos mencionados.

Características	RAD	Wireless SafeTLink	TechXact
Modelo	Airmux 200	LPN	TechXact Point-to-Point
Frecuencia de operación [GHz]	2.3, 2.4, 4.9, 5.5, 5.8	4.9	4.9, 5.4, 5.8
Potencia de transmisión [dBm]	Mínima 4 Máximo 16	No indica	4.9 GHz: 10 dBm (max) 5.4 GHz, ETSI: 7 dBm (max) 5.8 GHz: 17 dBm (max).
Potencia umbral de recepción [dBm]	48 [Mbps] -68 36 [Mbps] -74 18 [Mbps] -81 12 [Mbps] -84	No indica	No indica
Ganancia de las antenas [dBi]	22 antena integrada 28 antena externa	21, antena integrada	No indica
Alcance [Km]	40, antena integrada 80, antena externa	28	32, antena integrada 80, antena externa
Velocidad de Datos [Mbps]	12, 18, 36, 48	12.2	Hasta 48
Velocidad de datos modo Full duplex [Mbps]	18.3	12.2	No indica
Interfaz de datos	Ethernet y G.703	Ethernet	Ethernet
Sistema	IDU-ODU <sup>17</sup>	IDU-ODU	IDU-ODU

**Tabla 3.9 Equipos de Radio Microonda de tres fabricantes con características similares**

<sup>17</sup> ODU (Outdoor Unit), Unidad externa del equipo de radio. IDU (Indoor Unit), Unidad interna del equipo de radio que provee una interfaz de usuario hacia la ODU.

De los equipos de radio microonda que se muestra en la tabla 3.9 el equipo Airmux 200 de marca RAD es el que mejor se adapta a los requerimientos de velocidad, distancia y frecuencia de operación.

### 3.6.1.3 Ganancia del Sistema. [23]

Es la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor y la potencia mínima de entrada requerida por un receptor. La ganancia del sistema debe ser igual o mayor a la suma de todas las ganancias y pérdidas incurridas por una señal, conforme se propaga de un transmisor a un receptor. Matemáticamente viene dada por la ecuación 3.8:

$$G_S = P_{Tx} - P_{Rx} \geq L_p + L_f + L_b + L_{otras} - G_{Tx} - G_{Rx} \quad \text{ec. 3.8}$$

Donde:

- G<sub>S</sub>: Ganancia del sistema, medida en [dB].
- P<sub>Tx</sub>: Potencia de Transmisión de salida del transmisor, medida en [dBm].
- P<sub>Rx</sub>: Potencia de recepción a la entrada del receptor, medida en [dBm].
- L<sub>p</sub>: Pérdida de trayectoria en el espacio libre entre antenas, medida en [dB].
- L<sub>f</sub>: Pérdida del alimentador de guías de ondas entre la red de distribución y su antena respectiva, depende de la frecuencia pero generalmente su valor oscila alrededor de 6 [dB] por cada 100 [m], medida en [dB].
- L<sub>b</sub>: Pérdida de acoplamiento o ramificación en los circuladores, filtros y redes de distribución entre el equipo de radio y su alimentador, medida en [dB]. Para diversidad (redundancia) en frecuencia es 4 [dB] y en espacio es 2 [dB].
- L<sub>otras</sub>: Otras pérdidas son introducidas por repetidores pasivos, sombra, hidrometeoros (lluvia, neblina, humedad, granizo), etc, medidas en [dB].
- G<sub>Tx</sub>: Ganancia de la antena de Transmisión, medida en [dBi].
- G<sub>Rx</sub>: Ganancia de la antena de Recepción, medida en [dBi].

### 3.6.1.3.1 Pérdida de trayectoria de espacio libre.

Se define como la pérdida incurrida por una onda electromagnética conforme se propaga en una línea recta a través del vacío sin ninguna absorción o reflexión de energía de objetos cercanos. Para su cálculo se utiliza la ecuación 3.9.

$$L_p [dB] = 92.4 + 20 \log f [GHz] + 20 \log D [Km] \quad \text{ec. 3.9}$$

### 3.6.1.3.2 Confiabilidad del enlace.

Indica el grado de disponibilidad de un radio enlace, considerando un margen de desvanecimiento, que es un factor de corrección que considera las características no ideales y menos predecibles de la propagación de ondas de radio, como la propagación multitrayectoria y sensibilidad a superficies rocosas. Su valor numérico se obtiene con la ecuación 3.10.

$$R[\%] = 100 * (1 - 6 * 10^{-7} * A * B * D^3 * f * 10^{\frac{F_m}{10}}) \quad \text{ec. 3.10}$$

Donde:

R: Confiabilidad del enlace, expresada en [%].

D: Distancia, medida en [Km].

f: Frecuencia, medida en [GHz].

A: Factor de Rugosidad.

A = 4 sobre agua o un terreno muy parejo.

A = 1 sobre un terreno normal.

A = 0.25 sobre un terreno montañoso muy disparejo.

B: Factor para convertir una probabilidad del peor mes a una probabilidad anual.

B = 0.5 para áreas calientes y húmedas.

B = 0.25 para áreas normales tierra adentro

B = 0.125 para áreas montañosas o muy secas.

$F_m$ : Margen de desvanecimiento, medido en [dB]. Se calcula con la expresión 3.11.

$$F_m = P_{Rx} - P_{Rx\min} \quad \text{ec. 3.11}$$

Donde:

$P_{Rx}$ : Potencia de recepción a la entrada del receptor, medida en [dBm]

$P_{Rx\min}$ : Potencia de Recepción mínima a la entrada del receptor, medida en [dBm].

De acuerdo a los datos correspondientes del equipo Airmux 200 presentados en la tabla 3.9 y de las expresiones anteriores, en la tabla 3.10, se muestra el resultado obtenido del cálculo del enlace, donde se presenta factores importantes como la potencia recibida y la disponibilidad del enlace.

	ITCHIMBIA	COMERCIO
Elevación (m)	2895.00	2871.00
Latitud	0° 13' 6.0" S	0° 16' 1.3" S
Longitud	78° 30' 6.0" W	78° 31' 35.6" W
Azimut	207.23°	27.23°
Modelo del Equipo	AIRMUX 200	AIRMUX 200
Tipo de Antena	Arreglo Dipolos	Arreglo Dipolos
Altura de Antena [m]	10.00	25.00
Ganancia de Antena [dBi]	22.00	22.00
Tipo de Línea de TX	Coaxial	Coaxial
Longitud de Línea de TX [m]	0.20	0.20
Frecuencia [GHz]	4.9	
Longitud de la Trayectoria [km]	6.06	
Tipo de Diversidad	Espacio	
Pérdida de Espacio Libre [dB]	121.85	
Perdida por Acoplamiento [dB]	2	
Pérdida Neta en Trayectoria [dB]	79.85	
Potencia de Transmisión [dBm]	16.00	
Criterio de Umbral de Recepción	BER 1 E-8	
Nivel de Umbral [dBm]	-68.00	
Nivel de Señal RX [dBm]	-63.85	
Margen de Desvanecimiento [dB]	4.15	
Confiabilidad Anual [%]	99.995	

**Tabla 3.10 Resultados de cálculo del enlace de Radio Frecuencia.**



Los resultados obtenidos en la tabla 3.10 muestran que la potencia en la entrada del receptor (-63.85 [dBm]) no supera el nivel de umbral de recepción (-68 [dBm]), obteniendo un margen de desvanecimiento de 4.15 [dB], que permite brindar al enlace, una confiabilidad de 99.995%, que junto con el trazado del perfil topográfico de la figura 3.7, indican que el enlace de radio microonda es factible desde el punto de vista técnico para las condiciones señaladas.

### **3.7 RESUMEN GENERAL DEL DISEÑO.**

La red de backbone se establece por medio de enlaces con fibra óptica monomodo que interconectan los diferentes nodos en una configuración en anillos. Para el tendido del cable de fibra óptica se utilizará la técnica de tendido aéreo, por las diferentes calles de la ciudad de Quito, de acuerdo a la ruta trazada en el plano del anexo A.

Se han presentado varias opciones de cables de fibra óptica disponibles en el mercado, de las cuales, el cable que cumple con los requerimientos planteados pertenece al fabricante 4SGroup.

La planificación de un sistema de transmisión por fibra óptica requiere la consideración de varios aspectos. Las especificaciones técnicas del equipamiento óptico, permitieron realizar el cálculo de la atenuación total introducida por los diferentes elementos del sistema, y el ancho de banda de la fibra óptica, para de esta manera, comprobar que la red diseñada de fibra óptica es viable desde el punto de vista técnico.

Los equipos seleccionados para cada nodo y que constituyen la sección de backbone, son switches Cisco Catalyst 3750G-24TS, que permiten conmutar varias comunicaciones sobre un enlace de dos fibras ópticas. Para la integración de los servicios TDM actuales a la red de backbone IP diseñada, se utilizará equipos IPMUX del fabricante RAD, que utilizan la tecnología TDMoIP con

emulación de circuitos. Mientras que para satisfacer necesidades de transporte de E1's de voz transparentemente sobre la red IP, utilizando compresión, se selecciona equipos VMUX del fabricante RAD que hacen uso de la tecnología TDMoIP.

El cuarto de telecomunicaciones debe disponer de accesorios que permitan: la terminación del cable de fibra óptica y la conexión del equipo óptico al panel de conexiones, tales como patch cords, latiguillos, conectores, etc.

Con la finalidad de extender la cobertura hacia la zona sur de la ciudad de Quito, se establecerá un nodo en el sector El Comercio, que se integra a la red de fibra óptica mediante un enlace de radio microonda hacia el nodo Itchimbía, el cual operará en la banda de frecuencia de 4.9 [GHz], utilizando radios Airmux 200 del fabricante RAD, los mismos que disponen de una interfaz Fastethernet que permite la fácil integración a la red de backbone.

## **CAPÍTULO 4**

### **4 SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE DATOS UTILIZANDO TDMoIP.**

- 4.1 GENERALIDADES.
- 4.2 APLICACIONES EN TDMoIP.
- 4.3 TIPOS DE SIMULACIÓN A REALIZARCE.
- 4.4 PROCEDIMIENTOS DE SIMULACIÓN.

## 4.1 GENERALIDADES

El presente capítulo consiste en la simulación de una aplicación para TDMoIP con emulación de circuito (CE), en la cual se transporta a través de una red IP/Ethernet, información de usuario de naturaleza TDM, utilizando los diferentes tipos de formato de carga útil AAL1 que utiliza TDMoIP.

También se hace una diferenciación entre las dos versiones que posee TDMoIP, analizando e identificando el contenido de sus tramas, utilizando la herramienta de software “Ethereal”, la cual permite a un computador, capturar las tramas que cursan por la red.

Adicionalmente se realiza mediciones para obtener el comportamiento de los parámetros velocidad de transmisión, paquetes por segundo y retardo de tiempo ida y vuelta, en el funcionamiento de esta tecnología, comparándolos con valores teóricos que se obtienen de las respectivas ecuaciones.

Además en este capítulo, se describe un proceso de configuración básico de los diferentes equipos que intervienen en las distintas simulaciones.

## **4.2 APLICACIONES EN TDMoIP.**

Las aplicaciones que brinda la tecnología TDMoIP pueden ser punto – punto o punto – multipunto. Además se puede utilizar para el transporte de E1/T1's completos o fracción de estos, mediante emulación de circuitos (CE) o compresión de voz (CV) según las necesidades de ancho de banda. Con TDMoIP se puede transportar voz o datos de una red TDM, encapsulando transparentemente datos y señalización en paquetes para el transporte sobre una red IP, la misma que puede estar implementada sobre una red Ethernet, Gigabit Ethernet o MPLS.

Mediante TDMoIP una red de telefonía puede ser fácilmente implementada sobre una red IP uniendo las diferentes bases celulares o centrales telefónicas. Otra aplicación importante se tiene para la comunicación entre centrales telefónicas PBX tradicionales, instaladas en diferentes lugares del mundo, sobre una moderna red de conmutación de paquetes IP. Otro tipo de aplicaciones que permite la tecnología TDMoIP, es la migración de los servicios tradicionales de líneas arrendadas E1/T1 para el transporte de datos, a una plataforma IP.

## **4.3 TIPOS DE SIMULACIÓN A REALIZARSE.**

La presente simulación se trata de una aplicación TDMoIP (CE) punto a punto, en la que se transporta voz y datos sobre una red IP/Ethernet, empleando un formato de carga útil AAL1 para una velocidad de transmisión estática, utilizando las versiones 1 y 2 para TDMoIP.

Para la versión 1, se realizará un análisis del contenido de la trama correspondiente a los siguientes tipos de carga útil TDMoIP:

- AAL1 no estructurado,
- AAL1 estructurado sin CAS y
- AAL1 estructurado con CAS.

Para la versión 2 se identificará la incorporación de la palabra de control TDMoIP, en el formato de trama, para el tipo de carga útil AAL1 no estructurado.

El análisis de la trama TDMoIP se realiza con la ayuda de un programa computacional que hace la función de un “sniffer<sup>18</sup>”, para la captura de tramas que circulan por la red.

#### **4.4 PROCEDIMIENTOS DE SIMULACIÓN.**

Estas simulaciones son una prueba de laboratorio, en las cuales se analiza el comportamiento de la tecnología TDMoIP, y constan de los siguientes pasos:

- Esquema de simulación,
- Selección de Equipos,
- Armado y Configuración de la Red,
- Obtención y Análisis de resultados,

##### **4.4.1 SIMULACIÓN TDMoIP VERSIÓN 1 CON FORMATO AAL1 NO ESTRUCTURADO.**

Para esta simulación, se identificará el contenido de la trama y se analizará la eficiencia de TDMoIP obteniendo mediciones de los diferentes parámetros que indican el comportamiento de la red.

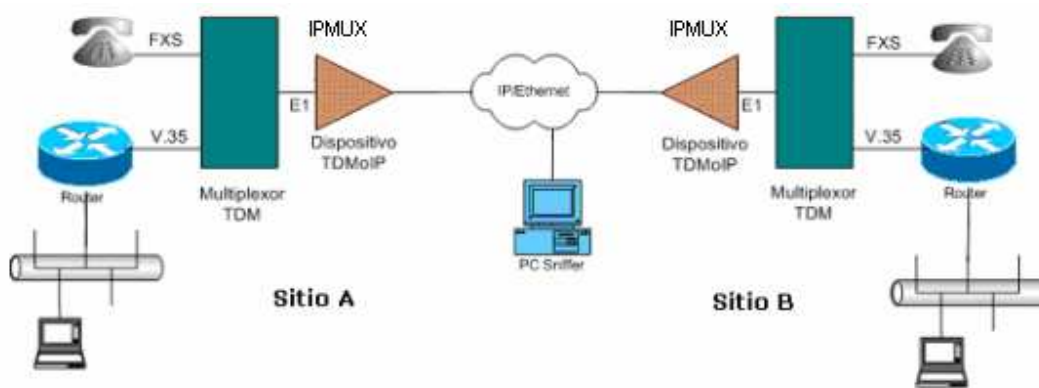
###### **4.4.1.1 Esquema de simulación.**

Dentro de un sistema de comunicaciones, donde se utiliza la tecnología TDMoIP, se puede tener tanto comunicaciones de voz como comunicaciones de datos, transmitiéndose simultáneamente sobre una red IP, tal como se muestra en el

---

<sup>18</sup> Sniffer: Es un programa computacional que hace posible que un computador capture las tramas que circulan en la red, y es generalmente utilizado con fines maliciosos, para gestión de red o con finalidad didáctica.

esquema de simulación de la figura 4.1, donde la comunicación se realiza desde el sitio A hacia el sitio B y viceversa.



**Figura 4.1 Esquema de Simulación.**

Una vez determinado el esquema de red a simularse, a continuación se procede con la selección de equipos que permitan realizar esta aplicación.

#### 4.4.1.2 Selección de equipos para la simulación.

Los equipos disponibles para la simulación han sido proporcionados por cortesía de las empresas Iseyco C.A. e Integral Data, los cuales se listan a continuación:

- Un switch capa 2 marca CISCO modelo Catalyst 2950, de 24 puertos fastEthernet.
- Dos dispositivos TDMoIP que utilizan la versión 1, marca RAD Data Communications, modelo IPMUX-1, con chasis PROXYM, que constan de dos puertos fastEthernet y un puerto para E1 con interfaz balanceada.
- Dos equipos IPMUX-14 que constan de 4 puertos fastEthernet y un puerto serial V.35. Estos equipos utilizan la versión 2 de TDMoIP.
- Dos multiplexores de E1's marca RAD, modelo FCD - E1M; donde cada uno consta de un puerto V.35 para datos, un puerto para E1 en interfaz balanceada y desbalanceada, y una tarjeta VC6/FXS para 6 canales telefónicos.
- Dos teléfonos analógicos.

- Un ruteador marca Cisco modelo 1600, con una interfaz serial V.35 y puerto ethernet.
- Un ruteador marca Cisco modelo 1720, con una interfaz serial V.35 y puerto Ethernet.
- Un medidor de BER marca RAD modelo HBT.

Las características de cada dispositivo utilizado están descritas en las hojas de especificaciones técnicas del fabricante, que se adjuntan en el anexo E.

Para esta simulación, la red IP/Ethernet está representada por un switch, que permita monitorear el tráfico que pasa por los puertos para la captura de tramas y obtención de estadísticas, tales como velocidad de transmisión y cantidad de paquetes por segundo. Como equipos que manejan la tecnología TDMoIP versión 1, se utiliza dos IPMUX-1 y para la multiplexación de canales TDM de voz y datos se utiliza dos equipos FCD – E1M.

#### **4.4.1.3 Armado y configuración de la red.**

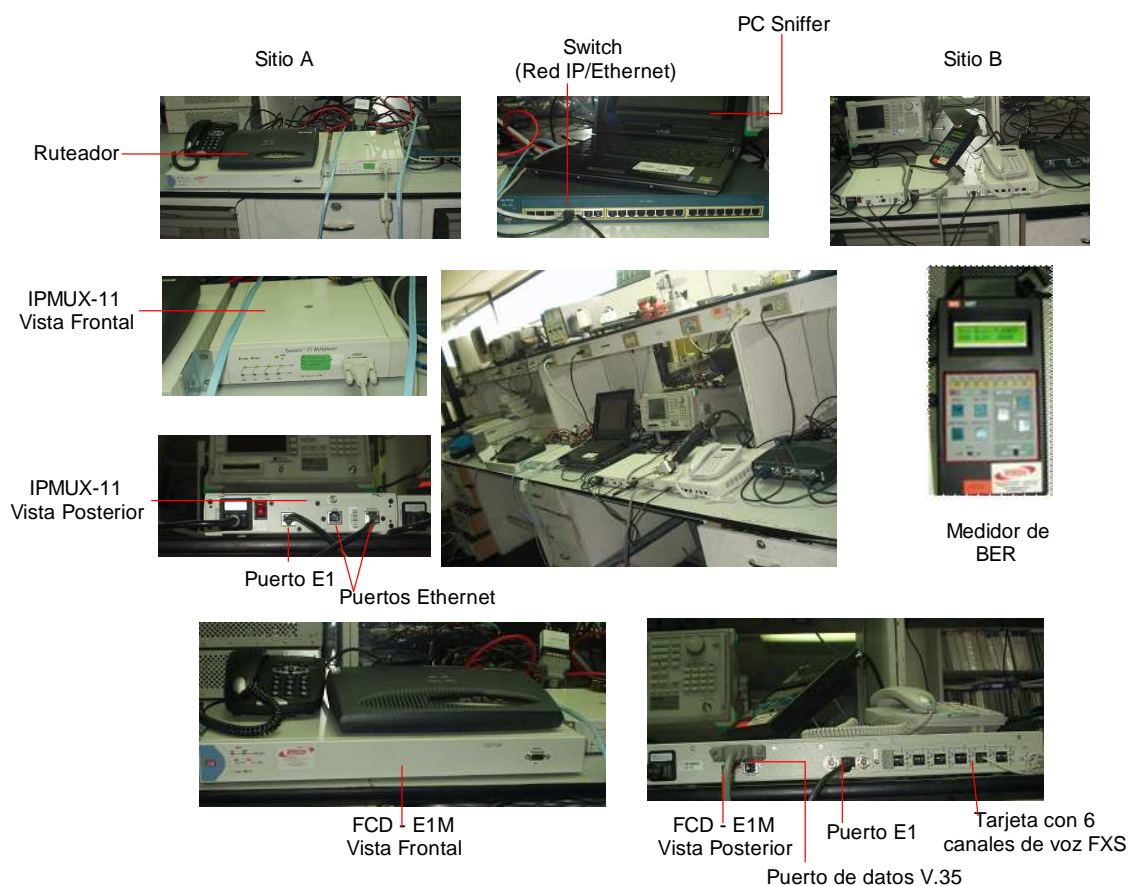
De acuerdo al esquema de simulación que se propone en la figura 4.1, se distinguen 3 segmentos que constituyen la red: El sitio A, la red IP/Ethernet y el sitio B. Tanto en el sitio A como en el sitio B se simula una red tradicional TDM donde se incluyen dispositivos como un ruteador, un teléfono, un FCD-E1M, y un IPMUX-1 el cual permite realizar TDMoIP.

En el sitio A, al multiplexor FCD – E1M se conecta un ruteador a través del puerto de datos V.35, así mismo en uno de los puertos FXS se conecta un teléfono analógico, representando las aplicaciones de usuario. El puerto para E1 en el multiplexor se conecta al puerto E1 del equipo IPMUX-1. Luego el puerto fastEthernet del IPMUX-1 se conecta a uno de los puertos del switch; para que los datos TDM sean transportados a través de la red IP. En el sitio B se tiene la misma conexión entre los equipos, como se muestra en la figura 4.1.



En el switch (red IP/Ethernet) se conectan en los puertos fastEthernet los dos equipos IPMUX-1 para el transporte de los datos entre los sitios A y B; junto con un computador, el cual se comporta como sniffer para capturar las tramas que se transmiten en la red.

El armado del esquema de red se presenta en el colage de fotografías de la figura 4.2, donde se observa la simulación de laboratorio realizada junto con los equipos que intervinieron en la misma, tanto en vista frontal como en vista posterior.



**Figura 4.2 Equipos utilizados en la simulación.**

#### 4.4.1.4 Configuración de equipos.

Una vez armado el esquema de simulación, se procede con la configuración de los equipos utilizados, haciendo énfasis en los equipos IPMUX-1, ya que éstos utilizan la tecnología TDMoIP en estudio.

La configuración del FCD – E1M, consiste básicamente de tres pasos:

1. *Configuración de los parámetros generales del sistema:* Consiste en configurar parámetros como la referencia de temporización del sistema y seleccionar el tipo de módulo instalado en la ranura de expansión.
2. *Configuración de los parámetros del enlace principal E1:* Consiste en configurar el tipo de multitrama para el enlace principal E1, tales como: G.732N<sup>19</sup>, G.732S<sup>20</sup> y no entramado.
3. *Configuración de los puertos de datos y voz:* Consiste en configurar la velocidad de transmisión del canal de datos junto con el tipo de asignación (voz o datos) de las ranuras de tiempo.

Para la simulación, la velocidad de transmisión del puerto de datos V.35 se configura a 1536 Kbps (que es lo máximo que soportan los ruteadores utilizados en la simulación), se asigna las ranuras de tiempo 1,2, 4 – 15, 17 – 26; lo que da un total de 24 ranuras de tiempo. También se ha configurado un canal de voz en la ranura de tiempo 3, el cual utiliza señalización CAS por la ranura de tiempo 16. La señalización utilizada por el FCD – E1M en la simulación es CAS (G.732S). La configuración de reloj utilizada en el sitio A por el FCD – E1M es Interno, es decir genera el reloj de la red, y en el FCD – E1M del sitio B se recupera la señal de sincronismo proveniente del IPMUX – 1 a través del puerto E1. La asignación de los diferentes modos de sincronismo para cada uno de los equipos se indica en la figura 4.3.

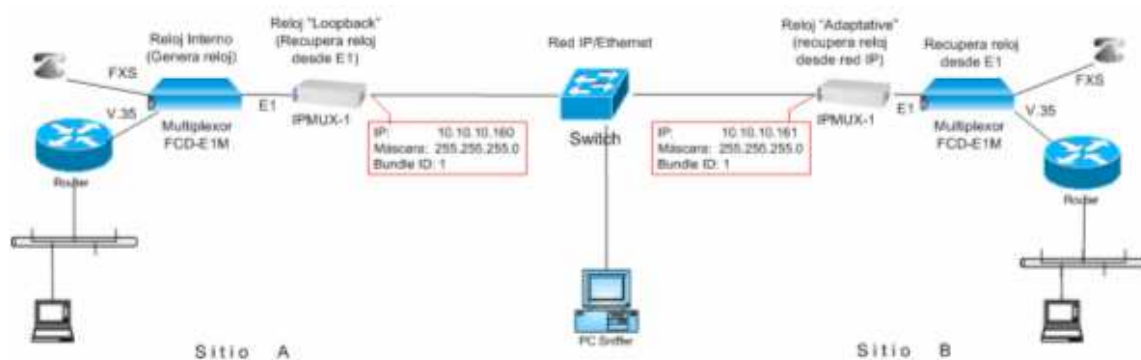
La configuración de los ruteadores consiste en asignar al puerto serial V.35 las direcciones IP: 10.10.10.10 para el sitio A y 10.10.10.11 para el sitio B con

---

<sup>19</sup> G.732N: Recomendación de la ITU-T que indica 2 tramas por multitrama; donde la ranura de tiempo 16 puede ser utilizada para llevar datos de usuario.

<sup>20</sup> G.732S: Recomendación de la ITU-T que indica 16 tramas por multitrama; donde la ranura de tiempo 16 lleva señalización CAS, y no puede ser utilizada para llevar datos de usuario.

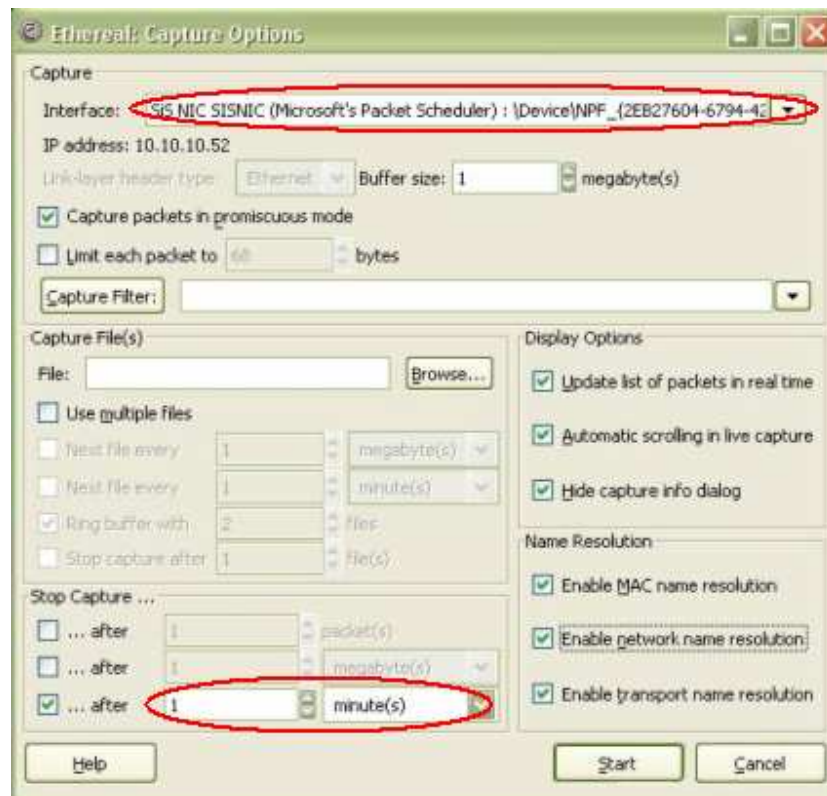
máscara de subred 255.255.255.0; utilizando en el enlace serial el protocolo HDLC.



**Figura 4.3 Disposición de los modos de sincronismo en los diferentes equipos que intervienen en la red simulada.**

El switch Catalyst 2950 es configurado de tal manera que permita monitorear desde un puerto fastEthernet, el tráfico que cursa por los puertos en los cuales se conectan los dispositivos que realizan TDMoIP (en este caso IPMUX-1).

El computador que está conectado al puerto del switch configurado para el monitoreo, posee la herramienta de software “Ethereal”, la cual permite “escuchar” el tráfico que cursa por un mismo dominio de colisión. La configuración de los parámetros básicos de dicho programa consiste en seleccionar la tarjeta de red desde la cual se va a realizar la captura de tramas; y establecer el tiempo de captura de tramas en 1 minuto, para evitar la saturación de memoria del computador. La figura 4.4 presenta la pantalla de configuración del programa Ethereal donde se recalca los parámetros básicos; cabe señalar que los demás parámetros están configurados por defecto.



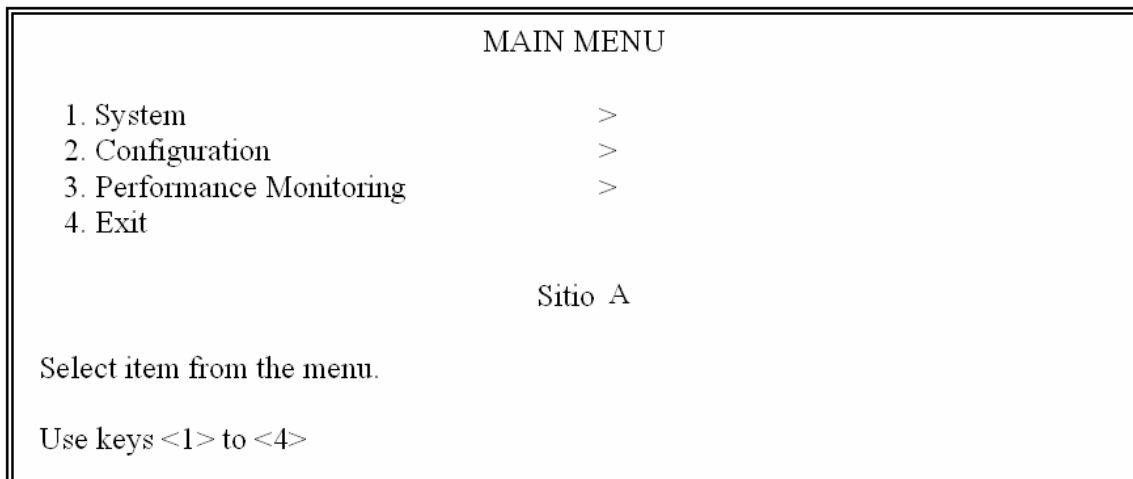
**Figura 4.4 Configuración del programa Ethereal.**

#### 4.4.1.4.1 Configuración de los equipos IPMUX-1.

La configuración del IPMUX-1 se lleva a cabo conectando al equipo a través de su puerto de control, un computador (PC), donde se ejecuta la aplicación de emulación de terminal. Los parámetros del puerto de control vienen configurados por defecto a **19200** baudios, **8** bits/caracter, **1** bit de parada, paridad **Ninguna**.

Al iniciar la configuración, se despliega un cuadro de diálogo que permite ingresar el nombre de usuario y contraseña, los cuales vienen asignados por defecto como "su" y "xxxxxxxx" respectivamente. Si la contraseña no es válida hasta el tercer intento consecutivo, el sistema se bloquea, haciéndolo inaccesible durante 15 minutos.

Una vez ingresado el nombre de usuario y contraseña correctamente, se despliega una pantalla con el menú principal de configuración denominada “Main Menu”, tal como se indica en la figura 4.5



**Figura 4.5 Pantalla de menú principal.**

La opción **System** del menú principal, permite ver y modificar los parámetros del sistema. La opción **Configuration**, define la configuración del sistema. La opción **Performance Monitoring**, realiza un monitoreo del desempeño del sistema. Y por último la opción **Exit**, permite salir del software de control.

Los parámetros a ser configurados en el equipo IPMUX-1, se resumen en los siguientes pasos:

1. Asignar una dirección IP al dispositivo IPMUX-1.
2. Configurar los parámetros del puerto E1 y los diferentes modos de sincronismo.
3. Seleccionar las ranuras de tiempo a ser transferidas extremo a extremo.
4. Configurar los parámetros del circuito lógico “bundle”.

El primer paso de configuración sirve para cualquier tipo de carga útil y consiste en asignar una dirección IP al equipo, junto con la máscara de subred y otros

parámetros como puerta de enlace, en caso de ser necesario. El cuadro de diálogo para la configuración de estos parámetros se muestra en la figura 4.6 y se obtiene siguiendo la ruta: **Main Menu>Configuration>General Configuration>Host IP.**

```

GENERAL CONFIGURATION

1. Host IP >
2. Default Gateway 0.0.0.0
3. Management Configuration >
4. ASCII Terminal Configuration >
5. Time/Date Update >
6. Software Download/Upload >
7. Set Default Parameters
8. System Name Sitio 1

ESC. Exit

Select item from the menu.
Use <ESC>-key or keys <1> to <8>

HOST IP
1. IP Address 10.10.10.160
2. IP Mask 255.255.255.0
ESC. Exit

```

**Figura 4.6 Configuración de la dirección IP y máscara de subred en el equipo IPMUX-1 correspondiente al sitio A.**

Al equipo IPMUX-1 del sitio A se ha asignado la dirección IP: 10.10.10.160, con máscara: 255.255.255.0; mientras que para equipo IPMUX-1 del sitio B, se ha asignado la dirección IP: 10.10.10.161, con máscara: 255.255.255.0.

Continuando con el paso 2 de configuración, y siguiendo la ruta en el software de control: **Main Menu>Configuration>E1/T1 Configuration**, se obtiene el cuadro de diálogo que se muestra en la figura 4.7, donde se configura los parámetros del puerto E1, la fuente de señal de sincronismo y el tipo de formato de carga útil AAL1.

En este menú, en la opción 1 (*channel status*), se habilita el puerto E1; en la opción 2 (*Transmit clock source*) se configura el sincronismo de reloj, donde se

presenta 3 opciones: “internal” (genera señal reloj), “loopback” (recibe sincronismo desde el E1) y “adaptative” (recupera sincronismo desde la red IP/Ethernet). Para este tipo de simulación, el equipo IPMUX-1 correspondiente al sitio A, debe tomar la señal de sincronismo del equipo TDM adyacente, por lo cual se escoge la opción de sincronismo “Loopback”; mientras que el equipo remoto en el sitio B, debe tomar la señal de sincronismo desde el lado de la red IP/Ethernet, lo que corresponde al modo de sincronismo “Adaptative”. El manejo de la señal de reloj de los equipos en la red simulada, se indica en la figura 4.3.

Para el caso de esta simulación, se escoge el formato de carga útil con el que el dispositivo TDMoIP realiza la encapsulación de los datos TDM con un formato de carga útil AAL1 E1 no entramado, configurando el parámetro “*Line Type*” del menú *E1/T1 Configuration* con la opción “*Unframed*”.

El paso 3 de configuración para este caso no es necesario, ya que en el formato de trama AAL1 no entramado, el transporte del E1 es transparente a los datos que se encapsulen con TDMoIP, razón por la cual la asignación de ranuras de tiempo no es necesaria, sino que se transporta la trama E1 completa.

E1/T1 CONFIGURATION		
1. Channel Status	Enable	<b>(Habilitación del puerto E1)</b>
2. Transmit Clock Source	Loopback	<b>(Fuente de señal de sincronismo)</b>
3. Loopback State	Disable	
4. Rx. Sensitivity	-10dB	
5. Line Type	UNFRAMED	<b>(Formato de carga útil AAL1)</b>
ESC. Exit		
Select item from the menu.		
Use <ESC>-key or keys <1> to <5>		

**Figura 4.7 Menú de configuración del E1/T1.**

Finalmente, como paso 4, se debe configurar los parámetros de conexión del circuito lógico *bundle* que se despliegan en el cuadro de diálogo de la figura 4.8, el

mismo que se obtiene siguiendo la ruta **Main Menu>Configuration>Bundle Connection Configuration**. Los parámetros utilizados para esta simulación son: Identificador del circuito lógico (*Bundle ID*), Número de bytes TDM en cada trama (*TDM Bytes in Frame*), Estado de la Conexión (*Connection Status*), Dirección IP de destino (*Destination IP Address*), circuito lógico de destino (*Destination Bundle*), y el almacenamiento temporal para contrarrestar la variación de retardo (*Jitter Buffer*).

BUNDLE CONNECTION CONFIGURATION	
1. Bundle ID	1
2. IP TOS	0
3. TDM Bytes in Frame	384
4. Connection Status	Enable
5. Destination IP Address	10.10.10.161
6. Next Hop	0.0.0.0
7. Destination Bundle	1
8. Jitter Buffer(x10usec).rounded up 1000usec steps!	300
9. VLAN Tagging	No
ESC. Exit      D. Delete	
Select item from the menu.	
Use <ESC>-key or keys <1> to <9>	

**Figura 4.8 Menú de configuración circuito bundle.**

El parámetro “*Bundle ID*” en el equipo IPMUX-1 permite configurar un solo circuito lógico, cuyo identificador toma el valor de 1. En el parámetro “*TDM Bytes in Frame*” se configura la cantidad de bytes TDM que son encapsulados en cada paquete, cuyo valor es de  $n \times 48$  bytes, donde  $n$  es un número entero. En el equipo IPMUX-1,  $n$  acepta valores de 1 a 8, presentando un rango de la cantidad de bytes TDM a encapsularse desde 48 hasta 384 bytes en cada paquete.

La dirección IP destino (*Destination IP Address*) se refiere a la dirección IP del equipo TDMoIP remoto que se debe alcanzar. El circuito lógico de destino (*Destination Bundle*), identifica al circuito lógico correspondiente en el dispositivo remoto; el equipo IPMUX-1 brinda de 1 hasta 496 circuitos lógicos de destino; en la presente simulación, este parámetro es seteado a 1, pues se trata de una



conexión punto a punto, y tanto el destino como el origen tienen como identificador de circuito lógico 1.

En redes IP, los paquetes alcanzan su destino con un retardo al azar, conocido como "jitter". Al emular TDM en una red IP, es posible superar esta aleatoriedad usando un dispositivo de almacenamiento temporal denominado "*Jitter buffer*" para todos los datos entrantes, asumiendo un tiempo disponible apropiado. El tamaño de este buffer es configurable, y en esta simulación se asigna un valor de 3 ms, ya que es el valor mínimo requerido que permite almacenar una trama completa para este tipo de formato de carga útil, sin que existan errores causados por el desbordamiento del "*Jitter Buffer*" en la transmisión.

Por último, el parámetro "*Connection Status*" se habilita (*Enabled*) una vez configurados los parámetros anteriores. En caso de realizar cambios en los parámetros antes mencionados, es necesario deshabilitar (*Disabled*) este parámetro; y después de guardar dichos cambios, el estado de la conexión debe ser nuevamente habilitado.

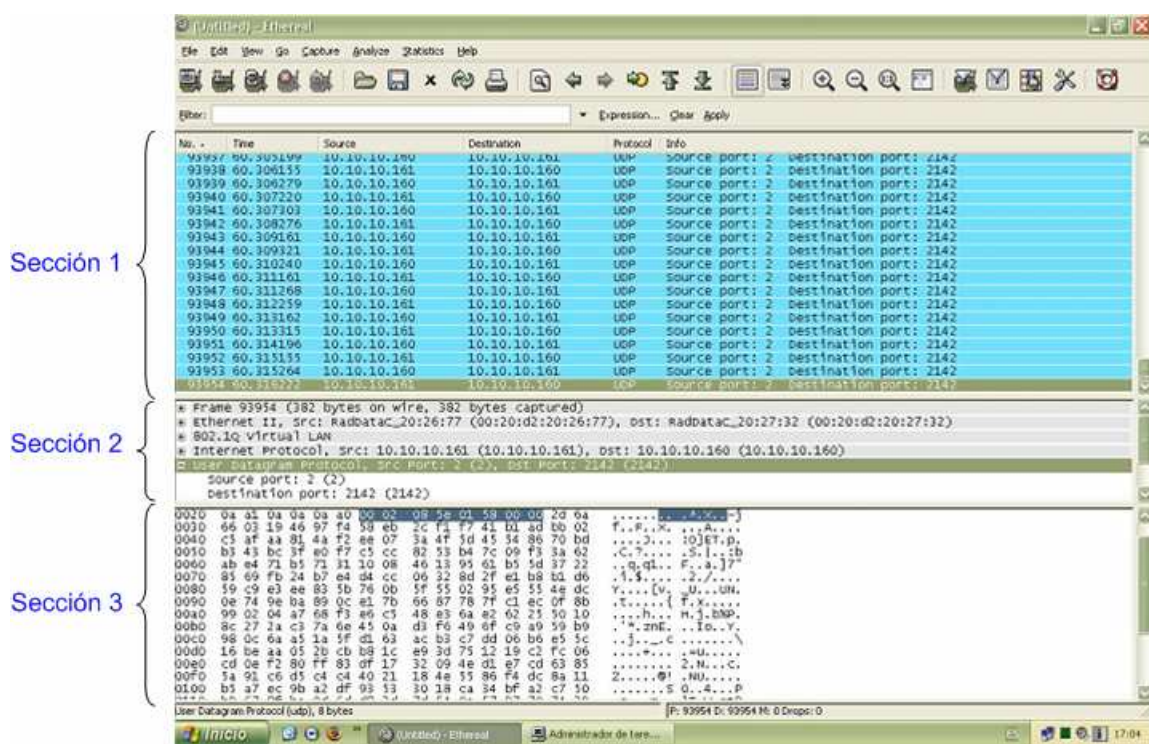
#### **4.4.1.5 Obtención y análisis de resultados.**

De la simulación se ha obtenido muestras de las tramas que cursan la red IP/Ethernet, para la identificación de los diferentes campos que conforman la trama TDMoIP. Adicionalmente se han realizado mediciones, tales como: Velocidad de transmisión de datos, cantidad de paquetes por segundo, y retardo de tiempo de ida y vuelta.

##### *4.4.1.5.1 Análisis de trama.*

Las muestras de tramas son obtenidas con ayuda de la herramienta de software Ethernet instalada en el computador que se encuentra conectado al switch. La interfaz gráfica que presenta este programa se indica en la figura 4.9, donde se puede observar que los datos son presentados en tres secciones:

La sección 1 muestra las tramas capturadas en tiempo real, identificando las direcciones IP de origen y destino, el protocolo de capa transporte utilizado con información respecto al puerto de origen y destino, junto con el orden y tiempo de muestreo. En la sección 2 se detalla la información de cabecera respecto a una trama específica, seleccionada en la sección anterior. La sección 3 de la pantalla presenta el contenido total de la trama en formato hexadecimal y su equivalente en código ASCII.



**Figura 4.9** Captura de tramas que cursan por la red IP/Ethernet con el programa Ethereal.

La trama capturada para el presente análisis se muestra en la figura 4.10, donde se identifica los campos de cabecera de los protocolos utilizados en las capas acceso a la red, internet y transporte.

En lo referente a la capa acceso a la red se observa en la figura 4.10, que se utiliza el protocolo Ethernet II, donde se indica la dirección MAC origen

(00:20:d2:20:27:32), la dirección MAC destino (00:20:d2:20:26:77) del fabricante RAD Data Communications, así como el número de protocolo de capa superior (este número es asignado por la IANA) identificado en el campo “Tipo” de la trama Ethernet II; que para este caso se tiene el número 0x0800, indicando que se tiene como protocolo superior, el Protocolo Internet (IP).

```

© 75:9.5.538805 10.10.10.160 10.10.10.161 UDP Source port: 2 Destination port: 2142
- Frame 7549 (426 bytes on wire, 426 bytes captured)
  Arrival Time: Jan  9, 2006 10:40:54.120626000
  [Time delta from previous packet: 0.001186000 seconds]
  [Time since reference or first frame: 5.538805000 seconds]
  Frame Number: 7549
  Packet Length: 426 bytes
  Capture Length: 426 bytes
  [Protocols in frame: eth:ip:udp:data]
- Ethernet II, Src: Raddatac_20:27:32 (00:20:d2:20:27:32), Dst: Raddatac_20:26:77 (00:20:d2:20:26:77)
  Destination: Raddatac_20:26:77 (00:20:d2:20:26:77)
  Source: Raddatac_20:27:32 (00:20:d2:20:27:32)
  Type: IP (0x0800)
- Internet Protocol, Src: 10.10.10.160 (10.10.10.160), Dst: 10.10.10.161 (10.10.10.161)
  version: 4
  Header length: 20 bytes
  Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00)
  Total Length: 412
  Identification: 0x0000 (0)
  Flags: 0x04 (Don't Fragment)
    0... = Reserved bit: Not set
    .1.. = Don't fragment: Set
    ..0. = More fragments: Not set
  Fragment offset: 0
  Time to live: 32
  Protocol: UDP (0x11)
  Header checksum: 0x2fffd [correct]
    [Good: True]
    [Bad : False]
  Source: 10.10.10.160 (10.10.10.160)
  Destination: 10.10.10.161 (10.10.10.161)
- User Datagram Protocol, Src Port: 2 (2), Dst Port: 2142 (2142)
  Source port: 2 (2)
  Destination port: 2142 (2142)
  Length: 392
  Checksum: 0x0000 (none)
  Data (384 bytes)

```

**Figura 4.10 Cabeceras Ethernet, IP y UDP de la trama en análisis.**

La cabecera correspondiente al protocolo IP indica que en la presente simulación se utiliza la versión IPv4; con un tamaño de cabecera igual a 20 bytes. En el campo “Tipo de Servicio” se tiene un valor de 0, indicando que el paquete tiene la prioridad más baja. El valor que indica la longitud total del paquete es igual a 0x19C, es decir la longitud total es de 412 bytes. El campo “Identificación” tiene un valor de 0, indicando que es un único fragmento, pues en las banderas siguientes se indica que el segmento NO puede ser fragmentado y por ende existe solamente un fragmento. Además en la cabecera IP se indica que el paquete tiene un tiempo de vida igual a 32 (# de saltos); que utiliza como protocolo de capa transporte el protocolo UDP (0x11). El valor de la suma de comprobación (0x2fffd)

indica que el paquete no tiene errores, es decir dicho paquete es correcto. Luego se indica la dirección IP origen (10.10.10.160) y la dirección IP de destino (10.10.10.161).

La cabecera del protocolo UDP indica que el puerto de origen es igual a 2 (0x0002), que de acuerdo a la cabecera UDP para TDMoIP, ésta simulación utiliza la versión 1 de TDMoIP (Campo Versión [3 bits] igual a 000), por lo tanto el circuito bundle de destino es igual a 1; y como puerto de destino se tiene el puerto 2142 (0x085E), verificando el número de puerto de destino asignado por la IANA para TDMoIP. También se indica una longitud de cabecera UDP más carga útil igual a 392 bytes. Adicionalmente se observa que el campo “Suma de comprobación” no es utilizado por los equipos IPMUX-1, por lo cual tiene un valor de 0x0000.

Finalmente se indica el campo de datos con un tamaño igual a 384 bytes, que es analizado en detalle a continuación con la figura 4.11, donde se presenta el contenido de la trama capturada, en la cual se identifica las diferentes cabeceras y carga útil AAL1.

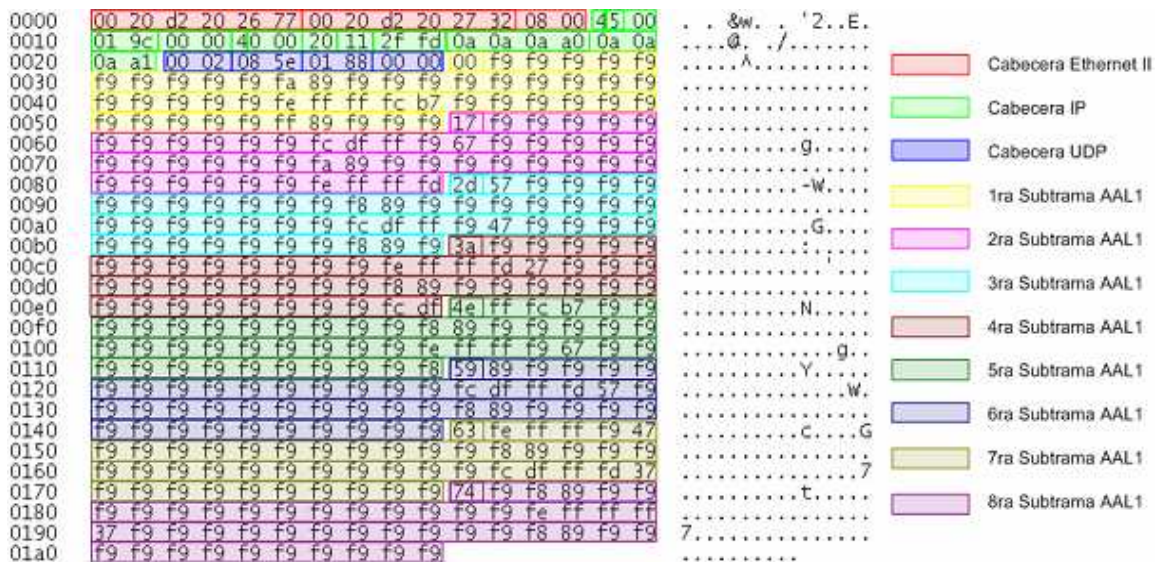


Figura 4.11 Contenido de la trama con E1 no entramado.

De acuerdo al análisis anterior, los equipos empleados en esta simulación utilizan la versión 1 de TDMoIP, la cual no implementa la palabra de control TDMoIP; y, la carga útil empieza directamente con la 1ra. subtrama AAL1 de 48 bytes, de los cuales el primer byte contiene la cabecera AAL1, cuya estructura se indica en el capítulo 1. De la trama capturada en la figura 4.11, el primer byte de la 1ra. subtrama AAL1 tiene un valor de 0x00 indicando la siguiente información:

El primer bit (C), está seteado en 0 e indica que la subtrama no contiene puntero (P); los tres siguientes bits pertenecen al campo número de secuencia, que para este caso tienen un valor de 000 e indican que se trata de la 1ra. subtrama AAL1, en la 2da. subtrama AAL1 este campo tiene el valor de 001 y así sucesivamente hasta la última subtrama AAL1. La carga útil TDMoIP tiene un tamaño de  $n \times 48$  bytes, que para la simulación en análisis se escogió un valor de  $n$  igual a 8, lo cual corresponde a las 8 subtramas AAL1 que se muestran en la figura 4.11 de la trama capturada. Luego sigue un control de errores de código de redundancia cíclica CRC, para los campos C y número de secuencia. Por último se tiene el bit de paridad par (P), para el control de errores en esta cabecera.

#### *4.4.1.5.2 Medición y análisis de velocidad de transmisión, paquetes por segundo y retardo de tiempo.*

En la presente simulación se realiza un análisis de la velocidad de transmisión, retardo de tiempo ida y vuelta, así como la cantidad de paquetes por segundo; parámetros importantes en una comunicación de datos, los cuales permiten determinar el comportamiento de la tecnología TDMoIP a diferentes valores de  $n$ .

La información respecto a la velocidad de transmisión y paquetes por segundo se obtiene de las estadísticas que proporciona el switch al ejecutar el comando *show interface fastethernet [# de puerto]*, mientras que el retardo de tiempo se obtiene al

ejecutar el comando *ping [dirección IP destino]*<sup>21</sup>, desde el ruteador del sitio A hacia el ruteador del sitio B.

Estos resultados experimentales son comparados más adelante con los resultados teóricos, los cuales se obtienen de las fórmulas siguientes, las mismas que fueron descritas en el capítulo 2.

Para esta simulación se dispone de los siguientes datos:

- ✓ TS = 32 ranuras de tiempo por E1,
- ✓ Jitter Buffer = 3 [ms],
- ✓ n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

El número de paquetes por segundo para el formato de carga útil AAL1 no estructurado viene dado por la expresión:

$$\text{Paquetes por segundo} = \frac{5447}{n} [\text{pps}] \quad \text{ec. 4.1}$$

Debido a que cada paquete es encapsulado en una trama para su transmisión por la red, se tiene que:

$$\text{Paquetes por segundo} = \frac{\# \text{ de tramas}}{s} \quad \text{ec. 4.2}$$

---

<sup>21</sup> Comando PING: Utilidad que comprueba el estado de la conexión con un equipo remoto por medio de los paquetes de solicitud de eco y respuesta de eco, definidos en el protocolo ICMP. Además se utiliza para medir la latencia o tiempo que tardan en comunicarse dos puntos remotos.

Por lo que la velocidad de transmisión TDMoIP viene expresada por:

$$\begin{aligned}
 V_{TX_{TDMoIP}} &= \left( \text{Tamaño Cabeceras} \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right] + \text{Carga total AAL1} \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right] \right) * \frac{\# \text{tramas}}{s} * \left[ \frac{8 \text{bits}}{1 \text{byte}} * \frac{1K}{1000} \right] \\
 &= \left( \frac{2004.5}{n} + 2091.8 \right) [Kbps] \quad ; \text{para } n \geq 1
 \end{aligned}
 \tag{ec. 4.3}$$

Donde:

- Tamaño de Cabeceras = Cabecera Ethernet + cabecera IP + Cabecera UDP  
 + Cabecera RTP(Opcional) + Palabra de control TDMoIP  
 = 18[bytes] + 20[bytes] + 8[bytes] + 0 + 0  
 = 46  $\left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right]$
- Carga total AAL1 =  $n * 48 \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{trama}} \right]$

Debido a que en esta simulación se está trabajando con la versión 1 de TDMoIP, en el tamaño total de cabeceras por trama, no interviene la cabecera RTP ni la palabra de control TDMoIP.

Otro parámetro importante para determinar el comportamiento de la tecnología TDMoIP es la latencia o retardo de tiempo de ida y vuelta (RTD: *Round Trip Delay*), que se tiene en la transmisión de datos, lo cual se cuantifica con la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 \text{RTD} &= 2 * (\text{Retardo de Paquetización} + \text{Jitter Buffer} + \text{Procesamiento del equipo}) + \text{Retardo de la red} \\
 &= 2 * \left( \frac{n * 1000}{5447} [\text{ms}] + 3 [\text{ms}] + 1 [\text{ms}] \right) + \text{Retardo de la red} [\text{ms}] \\
 &= (0.367 * n + 8 + \text{Retardo de la red}) [ms]
 \end{aligned}
 \tag{ec. 4.4}$$

Donde:

- Procesamiento del equipo = 1[ms] (Es el tiempo de procesamiento interno del equipo).
- Retardo de la red = Es la latencia provocada por el medio de transmisión y demás dispositivos que conforman la red.

En la tabla 4.1, se presentan valores teóricos y experimentales obtenidos para el parámetro velocidad de transmisión, para los diferentes valores de n permitidos por el equipo IPMUX-1; así como el respectivo cálculo de errores; de lo cual se tiene un porcentaje de error aceptable. Este error es introducido por la inexactitud en la medición de las estadísticas de puerto que proporciona el switch en un determinado instante de tiempo.

n	Vtx(TEORICO) [Kbps]	Vtx(EXPERIMENTAL) [Kbps]	% Error	%Eficiencia
1	4096	4068	0.68	50.00
2	3094	3095	0.03	66.20
3	2760	2813	1.92	74.21
4	2593	2573	0.77	78.99
5	2493	2511	0.72	82.17
6	2426	2404	0.91	84.43
7	2378	2382	0.17	86.13
8	2342	2312	1.28	87.44

**Tabla 4.1 Valores de velocidad de transmisión de datos teórica y experimental.**

Para el cálculo del porcentaje de error en las diferentes mediciones se utiliza la siguiente expresión:

$$\% \text{Error} = \left| \frac{\text{Valor Experimental} - \text{Valor Teórico}}{\text{Valor Teórico}} \right| \times 100 \quad \text{ec. 4.5}$$

Un parámetro importante para determinar el comportamiento de TDMoIP, es la eficiencia, la cual se obtiene mediante la expresión 4.6:



$$\begin{aligned} \% \text{Eficiencia} &= \frac{\# \text{bytes carga útil}}{\# \text{bytes total de la trama}} \times 100 \\ &= \frac{47 \times n}{46 (\text{bytes de cabecera}) + 48 \times n} \times 100 \end{aligned}$$

ec 4.6.

En la tabla 4.2, se muestran valores teóricos y experimentales correspondientes al parámetro paquetes por segundo para los diferentes valores de “n”, así como el respectivo cálculo de errores; de lo cual se tiene un porcentaje de error aceptable. Así mismo, este error es introducido por la inexactitud de medición en el switch.

n	PPS(TEORICO) [pps]	PPS(EXPERIMENTAL) [pps]	% Error
1	5447	5246	3.69
2	2724	2648	2.79
3	1816	1765	2.81
4	1362	1347	1.10
5	1089	1058	2.85
6	908	882	2.86
7	778	764	1.80
8	681	641	5.87

**Tabla 4.2 Valores teóricos y experimentales de paquetes por segundo.**

Los valores de retardo de tiempo de ida y vuelta, teóricos y experimentales mostrados en la tabla 4.3, difieren considerablemente, ya que en el cálculo del valor teórico no se ha incluido el retardo ocasionado por la red. Para obtener el valor de retardo ocasionado por la red, se realiza el cálculo de la recta de interpolación lineal de los valores experimentales mediante el método de ajuste de mínimos cuadrados, que se explica en el anexo D, para la forma  $y = m \cdot x + b$ , obteniendo como resultado:  $m = 0.405$  y  $b = 11.93$ .

El retardo de la red estimado se obtiene de la diferencia entre el valor de “y” y el valor de *RTD sin retardo de red* (ec. 4.4) cuando  $n=0$ , teniendo como resultado 3.93 [ms], tal como se indica en la expresión 4.7.

$$\begin{aligned}
 \text{Retardo de la red} &= y_{(n=0)} - \text{RTD}_{\text{sin retardo de red (n=0)}} \\
 &= (0.405 \times 0 [ms] + 11.93 [ms]) - \left( 2 \times \left( \frac{0 \times 1000}{5447} [ms] + 3 [ms] + 1 [ms] \right) \right) \text{ ec 4.7.} \\
 &= 3.93 [ms]
 \end{aligned}$$

El valor de retardo de red es añadido al valor  $RTD_{(TEORICO)}$  sin retardo de red y su resultado se presenta en la columna  $RTD_{(TEORICO)}$  con retardo de red de la tabla 4.3, con el que se procede al respectivo cálculo de errores respecto a  $RTD_{(EXPERIMENTAL)}$ . El porcentaje de error obtenido se encuentra dentro de un rango aceptable; este error es causado por la variación de retardo de la red y la inexactitud en la medición de los tiempos de respuesta ante el comando PING realizado en los ruteadores.

n	RTD(TEORICO) sin retardo de red [ms]	RTD(TEORICO) con retardo de red [ms]	RTD (EXPERIMENTAL) [ms]	% Error	Aproximación lineal de RTD(EXPERIMENTAL) [ms]
1	8.37	12.30	12	2.44	12.33
2	8.73	12.66	13	2.69	12.74
3	9.10	13.03	13	0.23	13.14
4	9.47	13.40	14	4.48	13.55
5	9.84	13.77	14	1.67	13.95
6	10.20	14.13	14	0.92	14.36
7	10.57	14.50	15	3.45	14.76
8	10.94	14.87	15	0.87	15.17

**Tabla 4.3 Valores teóricos y experimentales de retardo de tiempo de ida y vuelta.**

La figura 4.12 presenta las curvas de los tres parámetros analizados anteriormente respecto a “n”. Aquí se puede notar que TDMoIP tiene un comportamiento que depende de “n”, manteniendo una relación inversa respecto a la velocidad de transmisión y la cantidad de paquetes por segundo, así por ejemplo, si “n” aumenta, la velocidad de transmisión junto con la cantidad de paquetes por segundo disminuyen. Mientras que el parámetro de retardo de tiempo de ida y vuelta tiene una relación lineal directamente proporcional a n; es decir, si “n” aumenta, el retardo de tiempo de ida y vuelta también aumenta.

En la gráfica (f) de la figura 4.12, se muestra los puntos correspondientes al retardo de tiempo experimental en función de “n”, y la curva de aproximación lineal cuyos valores corresponden a la columna Aproximación lineal de  $RTD_{(EXPERIMENTAL)}$  de la tabla 4.3, obtenidos mediante la relación  $y = m \cdot x + b$

Las curvas experimentales obtenidas de la simulación que se muestran en la figura 4.12, nos indican un comportamiento similar entre lo experimental y lo que propone la teoría de TDMoIP.

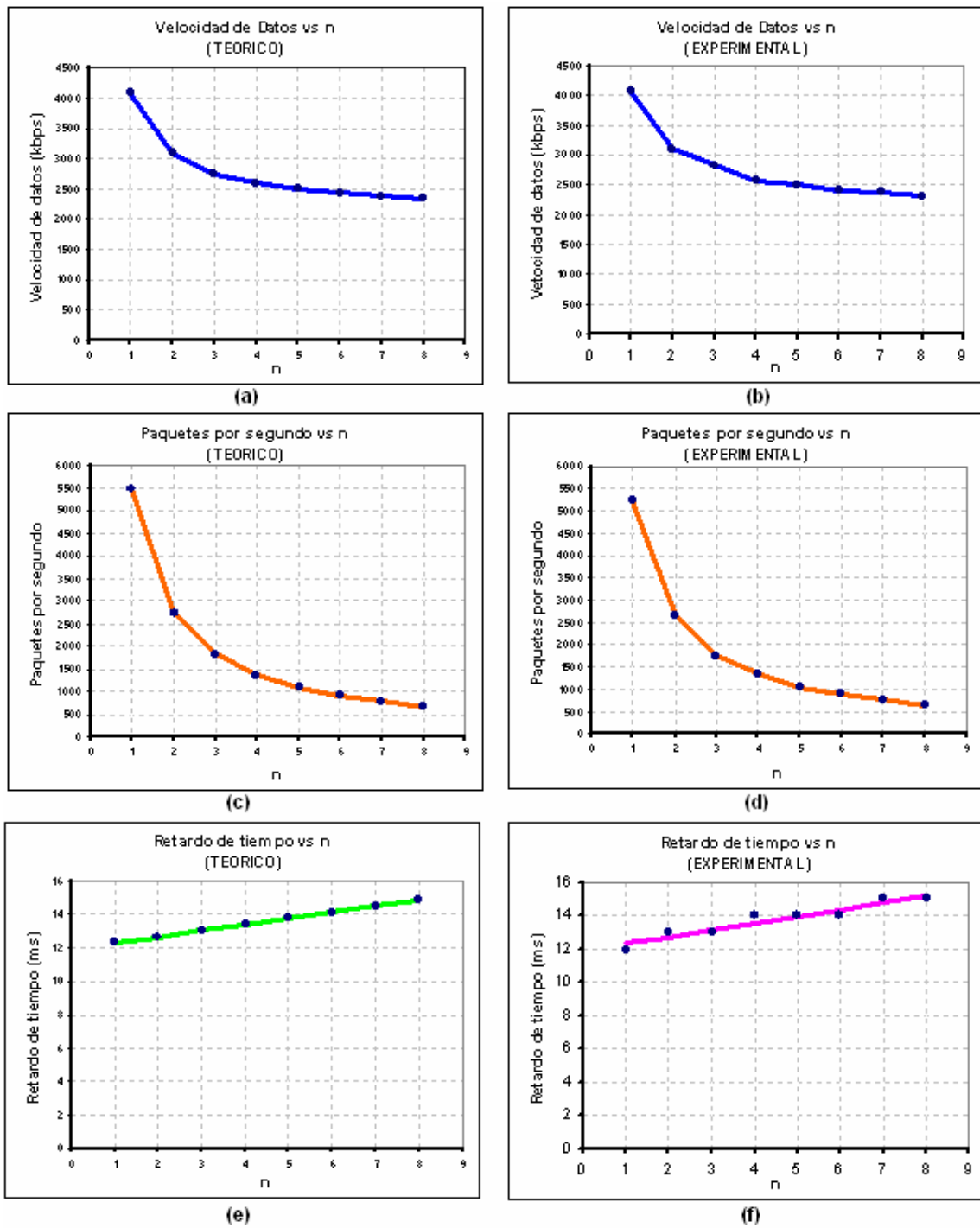


Figura 4.12 Curvas del comportamiento de TDMoIP, para valores teóricos y experimentales.

#### **4.4.2 SIMULACIÓN TDMoIP VERSIÓN 1 CON FORMATO AAL1 ESTRUCTURADO SIN CAS.**

Para el procedimiento de simulación en lo referente al esquema, equipos seleccionados y el armado de la red es básicamente el mismo, mientras que la configuración difiere en ciertos aspectos.

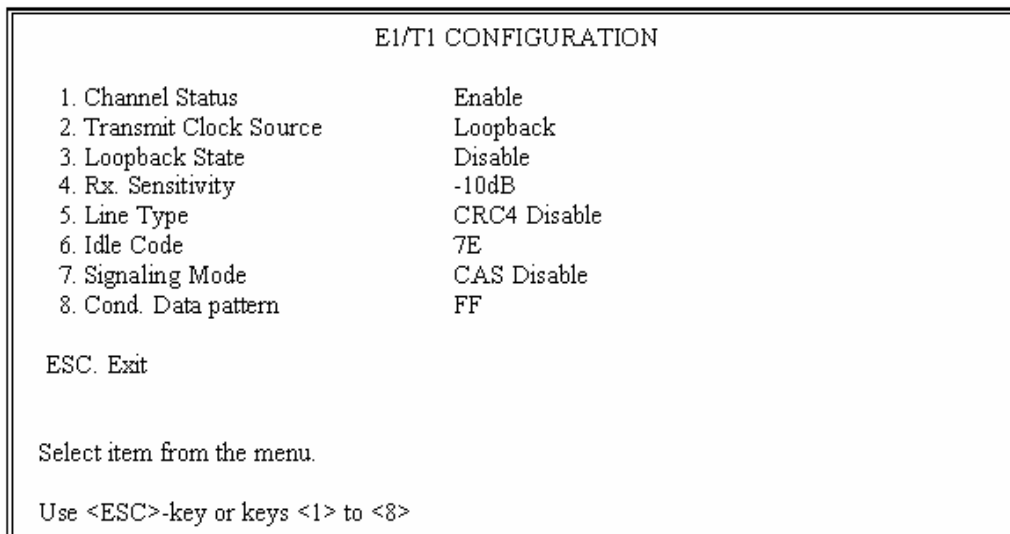
##### **4.4.2.1 Configuración de Equipos para la simulación.**

En esta simulación se ha configurado en los FCD - E1M, 5 ranuras de tiempo, siguiendo la secuencia 1, 2, 3, 4, 5, para una señalización con CAS deshabilitado.

En el puerto V.35 de uno de los FCD – E1M se ha colocado el equipo de pruebas HBT, mientras que en el FCD – E1M remoto se pone un lazo físico en el correspondiente puerto V.35, con la intención de cursar datos y comprobar el estado del enlace.

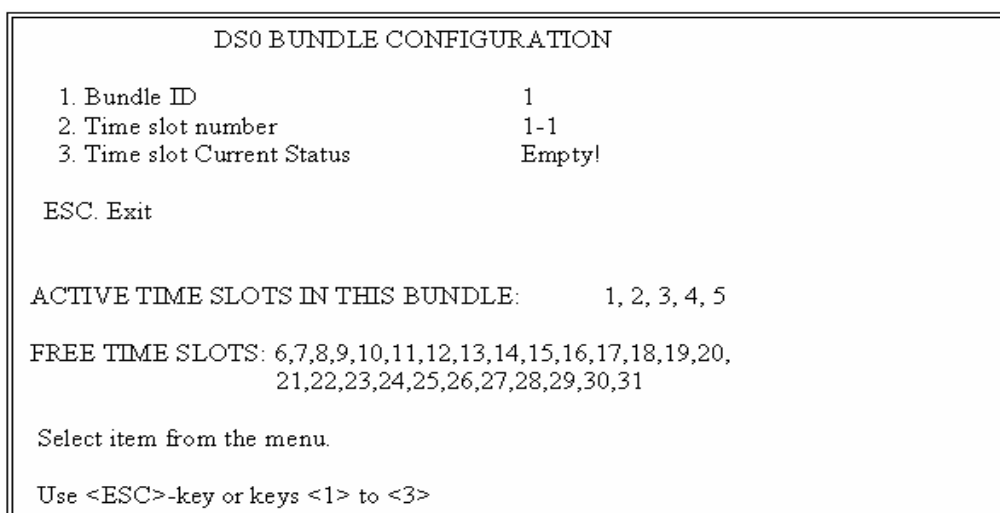
##### *4.4.2.1.1 Configuración equipo IPMUX-1.*

En la configuración de los equipos IPMUX-1 para el formato de carga útil AAL1 con E1 estructurado sin CAS, el paso 1 de configuración es el mismo que en el caso anterior. En el paso 2 de configuración, el modo de sincronismo se mantiene, mientras que para un formato de carga útil AAL1 con CAS deshabilitado, se escoge una de las opciones “*CRC4 Disable*” o “*CRC4 Enable*” del parámetro “*LineType*”, con lo que se despliega los parámetros 6, 7, 8 que se observan en la figura 4.13. El parámetro modo de señalización (*Signaling Mode*) es seteado como *CAS Disable*, mientras que los parámetros 6 y 8 conservan sus valores por defecto.



**Figura 4.13** Menú de configuración E1/T1 para el tipo CAS Deshabilitado.

Luego se continua con el paso 3 de configuración en el menú que se obtiene de la ruta *Main Menu>Configuration> DS0 Bundle Configuration* donde se selecciona las ranuras de tiempo a ser transferidas extremo a extremo en el circuito lógico. La figura 4.14 muestra este menú, donde se observa que las ranuras de tiempo 1, 2, 3, 4, 5 han sido activadas para ser transmitidas por el circuito lógico 1 (*bundle 1*) para esta simulación.



**Figura 4.14** Menú de configuración para activar las diferentes ranuras de tiempo a transmitirse en el circuito lógico (*bundle*).

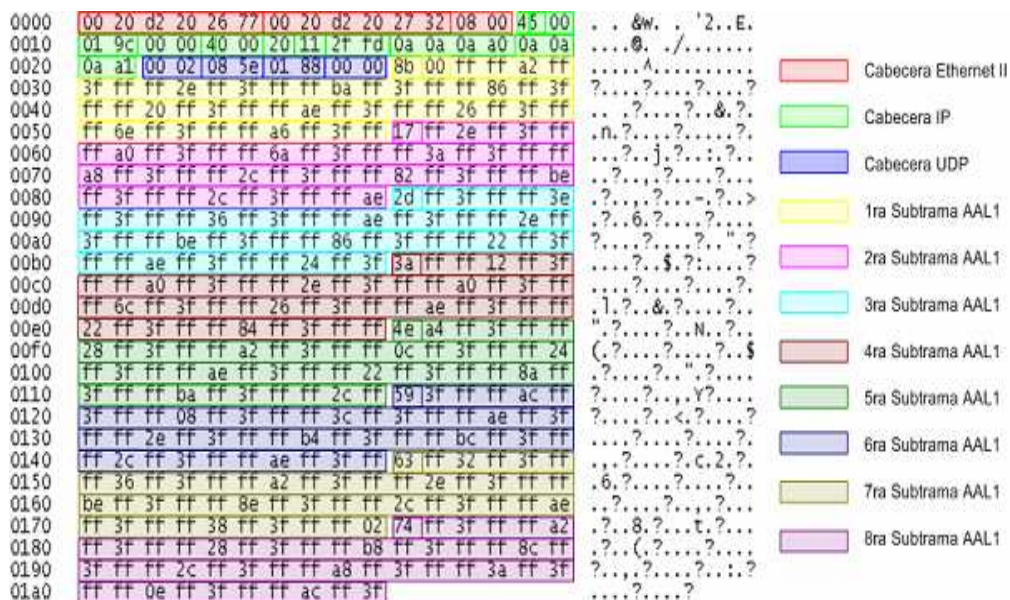
Cabe señalar que en equipos de modelos superiores al IPMUX-1, es posible asignar diferentes ranuras de tiempo para diferentes circuitos lógicos *bundle*.

El paso 4 de configuración difiere únicamente en el valor del “*Jitter Buffer*”, que para este caso es de 10 ms, ya que es el valor mínimo requerido que permite almacenar una trama completa sin que existan errores en la transmisión causados por desbordamiento del “*Jitter Buffer*”.

**4.4.2.2 Obtención y análisis de resultados.**

Para la simulación de TDMoIP con emulación de circuito, con formato de carga útil AAL1 con E1 entramado sin CAS, el análisis de las cabeceras Ethernet, IP y UDP es el mismo que en el caso anterior, por lo que se analizará directamente el contenido de la trama.

En la figura 4.15 se muestra el contenido de la trama capturada en formato hexadecimal y código ASCII, identificando cada cabecera que interviene en la trama.



**Figura 4.15 Contenido de la trama con carga útil AAL1 con E1 entramado sin CAS.**

De igual manera que en el caso anterior los equipos empleados en esta simulación utilizan la versión 1 de TDMoIP, por lo que la carga útil inicia con la cabecera de la 1ra. subtrama AAL1, la cual para la trama capturada se tiene un valor de 0x8B, que expresado en binario es: 1000 1011, donde el primer bit C (seteado a 1) indica que el byte siguiente es un puntero, por lo tanto, la 1ra subtrama AAL1 tiene 46 bytes de carga útil y se la denomina subtrama de formato P. Los tres bits siguientes 000 corresponden al número de secuencia, el cual indica en este caso que se trata de la 1ra subtrama AAL1. Luego se tiene los tres bits de CRC, junto con un bit de paridad par (P).

En este caso se transporta 5 ranuras de tiempo las cuales conforman la estructura a transmitirse en el siguiente orden 1, 2, 3, 4, 5, 1, 2, 3.... La trama capturada tiene un puntero P en el segundo byte de la 1ra subtrama AAL1, con un valor de 0x00, del cual el primer bit (E) es de paridad par y los 7 bits siguientes corresponden al puntero propiamente dicho, cuyo valor binario es 0000000 e indica la posición de la primera ranura de tiempo que conforma la primera estructura dentro de toda la carga útil, con el fin de tener un mecanismo para recuperar la secuencia de la estructura en caso de existir pérdidas de paquetes IP.

#### **4.4.3 SIMULACIÓN TDMoIP VERSIÓN 1 CON FORMATO AAL1 ESTRUCTURADO CON CAS.**

De igual manera que en la simulación anterior, el procedimiento de simulación en lo referente al esquema, equipos seleccionados y el armado de la red es básicamente el mismo, mientras que la configuración difiere en ciertos aspectos.

##### **4.4.3.1 Configuración de Equipos para la simulación.**

En esta simulación se configura en los FCD - E1M, las primeras 5 ranuras de tiempo, de las cuales, las ranuras 1, 2, 4, 5, se asignan para transportar datos y la ranura de tiempo 3 se asigna para transportar voz, adicionalmente se habilita la señalización CAS.



#### 4.4.3.1.1 Configuración equipo IPMUX-1.

Para la simulación con formato de carga útil AAL1 con E1 estructurado con CAS, los pasos de configuración son similares al caso anterior, con la diferencia que se escoge la opción “CAS Enable” en el parámetro modo de señalización (*Signaling Mode*) del menú de configuración E1/T1 (paso 2).

Adicionalmente, en este menú se presenta el parámetro “Cond. CAS (ABCD) pattern” el cual es un patrón de condicionamiento para informar al extremo remoto sobre la ocurrencia de falla en la parte TDM tales como pérdida de sincronismo, pérdida de tramas, etc. En la presente simulación este parámetro está seteado a su valor por defecto 01. La configuración de los parámetros para E1/T1 se presenta en la figura 4.16

E1/T1 CONFIGURATION	
1. Channel Status	Enable
2. Transmit Clock Source	Loopback
3. Loopback State	Disable
4. Rx. Sensitivity	-10dB
5. Line Type	CRC4 Disable
6. Idle Code	7E
7. Signaling Mode	CAS Enable
8. Cond. Data pattern	FF
9. Cond. CAS (ABCD) pattern	01
ESC. Exit	
Select item from the menu. Use <ESC>-key or keys <1> to <9>	

**Figura 4.16 Menú de configuración E1/T1 para el tipo CAS Habilitado.**

Así mismo se han configurado la utilización de 5 ranuras de tiempo en el circuito bundle.

### 4.4.3.2 Obtención y análisis de resultados.

De manera similar a los casos anteriores, los equipos utilizados emplean la versión 1 de TDMoIP, por lo que la carga útil inicia con la cabecera de la 1ra. subtrama AAL1.

En la figura 4.17 se muestra el contenido en formato hexadecimal y código ASCII de la trama capturada, identificando las diferentes cabeceras que interviene en dicha trama.

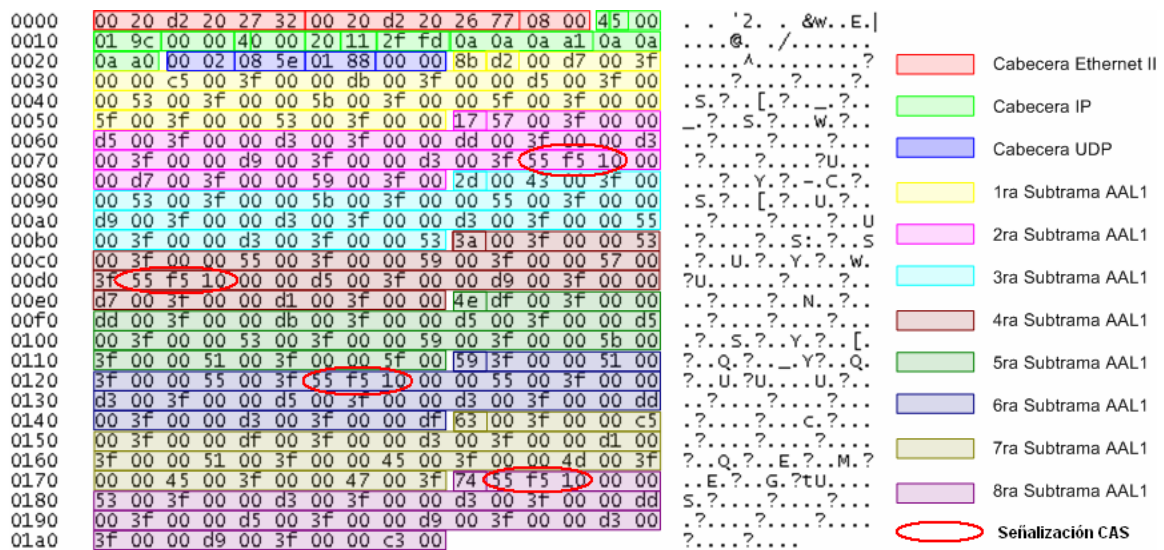


Figura 4.17 Contenido de la trama con carga útil AAL1 con E1 entramado con CAS.

La cabecera de la 1ra. subtrama AAL1, de la trama capturada tiene un valor de 0x8B, que expresado en binario es: 1000 1011, donde el primer bit C (seteado a 1) indica que el byte siguiente es un puntero. Los tres bits siguientes 000 corresponden al número de secuencia, el cual indica en este caso que se trata de la 1ra subtrama AAL1. Luego se tiene los tres bits de CRC, junto con un bit de paridad par (P).

A diferencia del caso anterior la estructura consiste de 16 repeticiones de 5 ranuras de tiempo seguidos de los bits de señalización CAS de cada canal

utilizado, y como el número de ranuras (5) es impar el último nibble es rellenado con ceros. El valor del puntero P es 0xD2, del cual el primer bit (E) es de paridad par y los 7 bits siguientes indican que el inicio de la primera estructura completa se encuentra en la posición 82 dentro de toda la carga útil; con el fin de tener un mecanismo para recuperar la secuencia de la estructura en caso de existir pérdidas de paquetes IP.

#### 4.4.4 SIMULACIÓN TDMoIP VERSIÓN 2 CON FORMATO AAL1 NO ESTRUCTURADO.

La trama TDMoIP para la versión 2 incluye la palabra de control TDMoIP, que como se indicó en el capítulo 1, es utilizada para identificar cada paquete TDMoIP permitiendo el reordenamiento de paquetes, la identificación de carga útil y detección de paquetes perdidos. Con la finalidad de analizar esta incorporación en la trama, se utiliza en la simulación un formato de carga útil AAL1 con E1 no entramado.

##### 4.4.4.1 Esquema de simulación.

La red a simularse para el análisis de la versión 2 de TDMoIP se muestra en la figura 4.18.

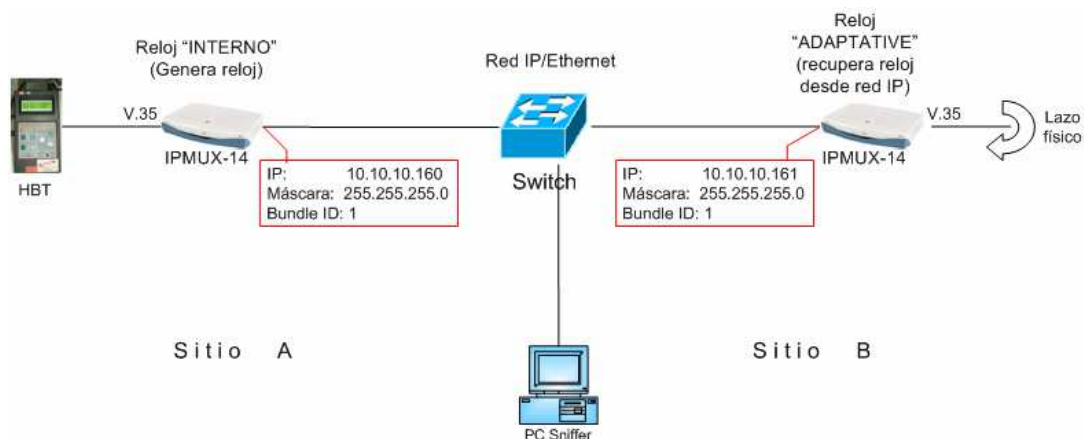


Figura 4.18 Red de simulación para TDMoIP versión 2.

#### **4.4.4.2 Selección de equipos para la simulación.**

Como se vio en las simulaciones anteriores, los equipos IPMUX-1 utilizan la versión 1 de TDMoIP, por lo tanto en la siguiente simulación se manejan unidades que trabajan con la versión 2 de TDMoIP, para lo cual se dispone de dos equipos IPMUX-14; que a diferencia de los equipos IPMUX-1, estas unidades disponen de 4 puertos fastEthernet y un puerto V.35.

De igual manera, la red IP/Ethernet está representada por el switch Cisco Catalyst 2950.

#### **4.4.4.3 Armado y configuración de la red.**

Los IPMUX-14 se conectan a los puertos fastEthernet del switch, junto con el computador de monitoreo, desde el cual se captura las tramas para el respectivo análisis.

En el puerto V.35 del equipo IPMUX-14 que pertenece al sitio A, se conecta un analizador de BER (HBT) y en el extremo remoto se realiza un lazo físico, con la finalidad de probar el canal de comunicación.

La configuración del equipo IPMUX-14 es básicamente similar al equipo IPMUX-1, con la diferencia que en lugar de configurar el puerto E1, se configura el puerto serial de datos V.35, con la asignación de las primeras 5 ranuras de tiempo para el circuito bundle. Además el IPMUX-14 utilizado, únicamente utiliza el tipo de formato de carga útil para TDMoIP, AAL1 no estructurado.

#### **4.4.4.4 Obtención y análisis de resultados.**

La figura 4.19 presenta el contenido de una trama capturada para esta simulación, donde se observa además de las cabeceras Ethernet, IP y UDP, la palabra de control TDMoIP.

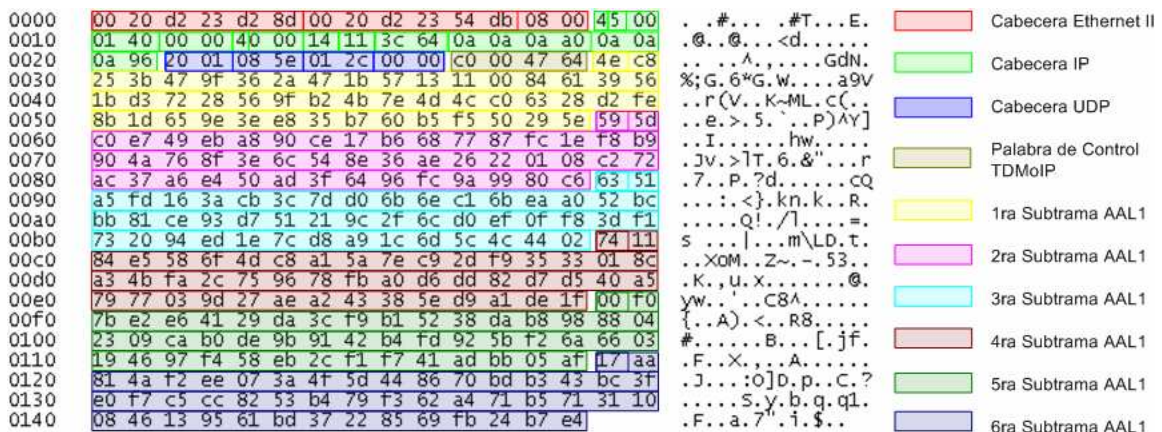


Figura 4.19 Contenido de la trama TDMoIP para la versión 2.

El tamaño de palabra de control es de 32 bits, donde los primeros 4 bits representan al identificador de formato, el cual indica que efectivamente en esta simulación se está utilizando el tipo de formato de carga útil AAL1 no estructurado, mediante la secuencia 1100. Los siguientes dos bits, de acuerdo a lo que se observa en la figura 4.19, están seteados a 0, lo que significa que no existen alarmas de pérdidas de sincronismo locales ni remotas respectivamente. Los siguientes dos bits son los bits “Z”, que para este caso tienen un valor de 0, indicando que no se trata de una cabecera extendida. De igual manera, el campo longitud tiene un valor de 0, lo cual indica que en ésta simulación no se está utilizando dicho campo. Los dos siguientes bytes corresponden al número de secuencia que identifican al paquete, que para la trama capturada tiene un valor igual a 0x4764, así la trama siguiente tendrá un numero de secuencia igual a 0x4765.

## CAPÍTULO 5

### **5 PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL PROYECTO.**

5.1 GENERALIDADES.

5.2 PRESUPUESTO DE LA FIBRA ÓPTICA.

5.3 PRESUPUESTO DEL EQUIPAMIENTO.

5.4 COSTO TOTAL DEL PROYECTO.

5.5 PRESUPUESTO ÚLTIMA MILLA.

5.6 ESTUDIO ECONÓMICO DE FACTIBILIDAD.

## **5.1 GENERALIDADES**

En el presente capítulo se realiza un estimativo de costos del cable de fibra óptica que se tomó como referencia para el diseño de la red de backbone, así como el costo por tendido e instalación del cable y demás accesorios que se utilizan para la implementación de capa física en una red de telecomunicaciones utilizando como medio de transmisión la fibra óptica.

También se presenta un listado de equipos a utilizarse en cada nodo y el costo unitario de los diferentes equipos, así como un presupuesto total referente a todo el equipamiento a utilizarse. Además el costo respecto a la ingeniería del presente proyecto (diseño total de la red de backbone), y los costos que representarían la capacitación del personal.

La integración de estos rubros constituyen el presupuesto referencial del proyecto, el cual puede variar, sin embargo establece una referencia del capital necesario para implementar la red de backbone sobre anillos de fibra óptica en la ciudad de Quito para unir las redes de acceso de la empresa Integral Data.

Adicionalmente se presenta un presupuesto de lo que implica la instalación y habilitación de la última milla.

## 5.2 PRESUPUESTO DE LA FIBRA ÓPTICA.

Para el diseño de la red de backbone de fibra óptica se considera inicialmente que el sistema emplea un cable óptico tipo “figura 8” con mensajero de 4 hilos de fibra óptica monomodo, para instalaciones aéreas. Sin embargo el costo de un cable de 4 fibras es relativamente similar a uno de 12 fibras, por lo tanto, para el cálculo del costo total se considerará un cable de 12 fibras ópticas de tal manera que Integral Data pueda arrendar hilos de fibra óptica, lo cual es uno de sus requerimientos a futuro.

También se debe tomar en cuenta el panel de conexiones ópticas (ODF: *Optical Distribution Fiber*), accesorios de fijación, instalación del cable aéreo, empalmes, cables de conexión interior (latiguillos) para todas las fibras del cable.

La instalación del cable de fibra óptica se realizará sobre postes ya existentes en la ruta descrita en el capítulo 3, y de ser necesario se instalará nuevos postes.

La prueba y certificación de los tramos de fibra óptica se efectúa una vez terminada la implementación de la red de fibra, para determinar las características ópticas del cable (atenuación, dispersión, etc.) que cumplan con los estándares.

La cantidad total de fibra óptica y demás accesorios a utilizarse por cada tramo se presenta en detalle en la tabla 5.1.a, en la cual los literales (A – J) están referenciados en la tabla 5.1.b.

En la tabla 5.1.b se presenta un resumen del costo total de la fibra óptica, sus accesorios e instalación. En este presupuesto no se toma en cuenta el bastidor o rack de 19”, ya que se utilizarían los existentes en cada nodo.



<b>TRAMOS</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>J</b>
Collaloma - Florida	5734	2	2	24	5734	1	147	24	1	24
Florida - Inteca	4075	2	2	24	4075	1	119	24	1	24
Inteca - Amazonas	365	2	2	24	365	1	10	24	0	24
Amazonas - Eteco	1464	2	2	24	1464	1	42	24	0	24
Eteco - Collaloma	6056	2	2	24	6056	1	158	24	1	24
Inteca - América	3885	2	2	24	3885	1	111	24	0	24
América - Cordero	1233	2	2	24	1233	1	38	24	0	24
Cordero - Interoceánica	1975	2	2	24	1975	1	62	24	0	24
Interoceánica - Finlandia	2124	2	2	24	2124	1	68	24	0	24
Finlandia - Eteco	2773	2	2	24	2773	1	79	24	0	24
América - Alameda	1903	2	2	24	1903	1	57	24	0	24
Alameda - Itchimbía	1221	2	2	24	1221	1	32	24	0	24
Itchimbía - Proinco	2494	2	2	24	2494	1	61	24	0	24
Proinco - Cordero	913	2	2	24	913	1	27	24	0	24
<b>CANTIDAD TOTAL</b>	<b>36215</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>336</b>	<b>36215</b>	<b>14</b>	<b>1011</b>	<b>336</b>	<b>3</b>	<b>336</b>

*Tabla 5.1.a Cantidad total de cable de fibra óptica y accesorios.*

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO [USD]</b>	<b>COSTO TOTAL [USD]</b>
<b>FIBRA ÓPTICA Y ACCESORIOS</b>					
A	Cable de Fibra óptica de 12 hilos monomodo autoportante	36215	m	2.15	77862.25
B	Panel de conexiones ópticas(ODF) con acopladores FC para 12 hilos	28	u	100	2800
C	Patch Cord de fibra óptica monomodo FC - LC, 1 [m].	28	u	40	1120
D	Latiguillo de fibra monomodo FC/PC 2 [m].	336	u	22	7392
<b>INSTALACIÓN</b>					
E	Instalación aérea de fibra óptica de 12 hilos.	36215	m	0.5	18107.5
F	Material para ingreso al sitio (Mangueras, abrazaderas, etc.).	14	u	200	2800
G	Elementos de sujeción en poste (herrajes)	1011	u	12	12132
H	Empalme de fusión eléctrica en ODF.	336	u	15	5040
I	Empalme de fusión eléctrica en ruta cada 4 [Km] (incluye manga de empalme)	3	u	200	600

PRUEBAS					
J	Medición y certificación de fibra	336	u	25	8400
<b>SUBTOTAL (no incluye IVA) =</b>					<b>136253.75</b>

*Tabla 5.1.b Presupuesto referencial de fibra óptica.*

### 5.3 PRESUPUESTO DEL EQUIPAMIENTO.

En cada uno de los nodos existentes en la red, se debe instalar un switch Catalyst 3750G-24TS con al menos dos módulos SFP para fibra óptica monomodo y en ciertos casos se requiere de tres módulos, lo cual constituye básicamente la red de backbone basada en el protocolo IP. Este equipo incluye el software de operación denominado SMI (*Standard Multilayer Software Image*), que realiza funciones multicapa como enrutamiento y filtrado.

La migración de los circuitos TDM hacia la red de backbone IP se realizará con equipos IPMUX, los cuales utilizan la tecnología TDMoIP; mientras que para la integración de nuevos clientes en cada nodo, se utilizará en la red de acceso el DSLAM CORECESS 7224, el cual opera directamente con el switch destinado para la red backbone. El transporte de E1's de voz se realiza con los equipos VMUX – 110 y VMUX – 2100, los cuales permiten el transporte de canales de voz (utilizando compresión) a través de una red IP utilizando TDMoIP.

El equipo de energía existente en la infraestructura actual de cada nodo entrega 110 VAC, el cual se utilizará para proporcionar energía de alimentación a los diferentes componentes de la red.

La cantidad total de equipos a utilizarse por cada nodo de la red se presenta en detalle en la tabla 5.2.a, en la cual los literales (A – J) están referenciados a la tabla 5.2.b.

En la tabla 5.2.b se presenta un resumen del costo total de equipos a utilizarse con sus respectivos módulos.

<b>NODOS</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>J</b>
Amazonas	1			1	1	2			1	2
Florida		1		1	1	2		1		
Inteca		1		1	1	3			1	1
Eteco			1	1	1	3			2	6
Itchimbía		1		1	1	2	1		1	1
Proinco	1			1	1	2			1	2
Finlandia	1			1	1	2			1	2
Cordero		1		1	1	3			1	1
Collaloma	1			1	1	2			1	1
Alameda	1			1	1	2			1	1
América	1			1	1	3			1	1
Interoceánica	1			1	1	2			1	2
Comercio				1	1		1			
<b>CANTIDAD TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>20</b>

*Tabla 5.2.a. Cantidad total de equipos y módulos en cada nodo.*

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>	<b>COSTO UNITARIO [USD]</b>	<b>COSTO TOTAL [USD]</b>
A	<p align="center"><b>IPMUX – 8</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS</b></p> <p><b>Descripción</b> Gateway TDMoIP modular, unidad básica chasis 1U, con sistema de indicador de estado en el panel frontal.</p> <p><b>Módulo E1</b> Módulos que utiliza: 2 Puertos E1 por módulo: 4 Conector: RJ-45</p> <p><b>Módulo Ethernet</b> Módulos que utiliza: 1 Puertos Ethernet 10/100 Base T por módulo: 1 Conector: RJ-45</p> <p><b>Fuente de Alimentación</b> Módulo de alimentación AC: 100VAC a 240VAC</p>	7	6750	47250

B	<p style="text-align: center;"><b>IPMUX – 14</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS</b></p> <p><b>Descripción</b> Gateway TDMoIP compacto, unidad básica para bandeja, con sistema de indicador de estado en el panel frontal.</p> <p><b>Puerto E1 estándar</b> Puertos E1 estándar: 4 Conector: RJ-45</p> <p><b>Puertos Ethernet</b> Puertos Ethernet 10/100 Base T : 3 Conector: RJ-45</p> <p><b>Fuente de Alimentación</b> Módulo de alimentación AC: 100VAC a 240VAC.</p>	4	3024	12096
C	<p style="text-align: center;"><b>GMUX – 2000</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS</b></p> <p><b>Descripción</b> Gateway TDMoIP modular, unidad básica chasis 6U, con sistema de indicador de estado en el panel frontal.</p> <p><b>Módulo E1</b> Módulos que utiliza: 2 Puertos E1por módulo: 28 Conector: RJ-45</p> <p><b>Módulo Gigabit Ethernet</b> Módulos que utiliza: 1 Puertos 1000 Base LX por módulo: 1 Conector: LC Longitud de onda: 1310 nm</p> <p><b>Fuente de Alimentación</b> Módulo de alimentación AC: 100VAC a 240VAC, con redundancia.</p>	1	24328	24328
D	<p style="text-align: center;"><b>CORECESS 7224</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS</b></p> <p><b>Descripción</b> Equipo DSLAM para ADSL. Chasis de 1U.</p>	13	3326	43238

	<p><b>Módulo ADSL</b> Módulos que utiliza: 1 Puertos ADSL por módulo: 24 Conector: TELCO (capacidad 50 pares)</p> <p><b>Módulo de Uplink</b> Módulos que utiliza: 1 Puertos Ethernet 10/100 Base T por módulo: 2 Conector: RJ-45</p> <p><b>Fuente de Alimentación</b> Módulo de alimentación AC: 88VAC a 264VAC</p>			
E	<p><b>SWITCH CATALYST 3750G-24TS</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS</b></p> <p><b>Descripción</b> Capacidad de software multicapa (SMI). Chasis modular de 1.5 U. Backplane de 32 [Gbps].</p> <p><b>Puertos 10/100/1000 Base T</b> Número de puertos: 24 Conector: RJ-45 Detección automática para conexiones directas o cruzadas.</p> <p><b>Ranuras para módulos SFP</b> Cantidad de ranuras: 4</p> <p><b>Fuente de Alimentación</b> Módulo de alimentación AC: 100VAC a 240VAC</p>	13	7990	103870
F	<p><b>MÓDULO CISCO SFP</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS</b></p> <p><b>Descripción</b> Interfaz Gigabit Ethernet 1000 Base – LX/LH SFP (Small Form-factor Pluggable), que opera sobre fibra óptica monomodo que cubre distancias de hasta 10 [Km]. Utiliza 2 conectores opticos LC.</p>	28	995	27860
G	<p><b>AIRMUX-200</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS</b></p> <p><b>Descripción</b> Sistema de banda ancha inalámbrico punto a</p>	2	1450	2900

	<p>punto, que consta de una unidad interna (IDU) y externa (ODU).</p> <p><b>Frecuencia de Operación</b> 4.9 [GHz] (4.940 – 4.990 [GHz]).</p> <p><b>Velocidad de Datos</b> Hasta 48 [Mbps] (Configurable por el usuario).</p> <p><b>Ancho de banda del canal</b> 20 [MHz].</p> <p><b>Interfaz LAN</b> Número de puertos: 1 Tipo: 10/100 Base T Conector: RJ-45.</p> <p><b>Fuente de Alimentación</b> Adaptador de voltaje AC/DC: 100 – 240 VAC/-48 DC.</p>			
H	<p style="text-align: center;"><b>VMUX - 110</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS</b></p> <p><b>Descripción</b> Dispositivo que permite comprimir tráfico de voz y transportarlo sobre un enlace IP. Chasis de 1U para bandeja.</p> <p><b>Módulo Compresión de voz</b> Módulos E1/T1 que utiliza: 1 (soporte 30 canales) Puertos E1/T1 por módulo: 1 Conector: RJ-45 Algoritmos de compresión: G.723.1 (5.3 o 6.4 [Kbps] por canal de voz) G.729A (8 [Kbps]) G.711 (64 [Kbps])</p> <p><b>Módulo Ethernet</b> Módulos que utiliza: 1 Puertos Ethernet 10/100 Base T por módulo: 1 Conector: RJ-45</p> <p><b>Fuente de Alimentación</b> Módulo de alimentación AC: 100VAC a 240VAC</p>	1	4410	4410

I	<p style="text-align: center;"><b>Chasis VMUX - 2100</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS</b></p> <p><b>Funciones Básicas</b> Dispositivo que permite comprimir tráfico de voz y transportarlo sobre un enlace IP. Permite realizar múltiples circuitos lógicos. Chasis de 1U para rack.</p> <p><b>Módulo Ethernet</b> Módulos que utiliza: 1 Puertos Ethernet 10/100 Base T por módulo: 1 Conector: RJ-45</p> <p><b>Fuente de Alimentación</b> Módulo de alimentación AC: 100VAC a 240VAC</p>	12	8540	102480
J	<p style="text-align: center;"><b>Tarjeta VMUX – 2100</b></p> <p><b>CARACTERÍSTICAS</b></p> <p><b>Módulo Compresión de voz</b> Puertos E1/T1 por módulo: 4 Conector: RJ-45 Algoritmos de compresión: G.723.1 (5.3 o 6.4 [Kbps] por canal de voz) G.729A (8 [Kbps]) G.711 (64 [Kbps])</p>	20	8950	179000
<b>SUBTOTAL (no incluye IVA) =</b>				<b>547432</b>

*Tabla 5.2.b. Presupuesto referencial de equipamiento de la red.*

En la tabla 5.3 se presenta el costo de ingeniería, diseño y documentación de la red; el costo de instalación, configuración y pruebas de los equipos para cada uno de los nodos; así como el costo de entrenamiento del personal para la operación y mantenimiento de los equipos a instalarse.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD TOTAL	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
A	INGENIERÍA			
	Diseño de la red	1	7000	7000
	Documentación técnica de equipos (Configuraciones)	1	100	100
B	INSTALACIÓN			
	Instalación de switch 3750G	13	200	2600
	Instalación de IPMUX - 8	7	68	476
	Instalación de IPMUX - 14	4	68	272
	Instalación de GMUX - 2000	1	200	200
	Instalación de CORECESS 7224	13	68	884
	Instalación de AIRMUX 200 (Enlace microonda)	1	600	600
	Instalación de VMUX – 110	1	68	68
	Instalación de VMUX – 2100	12	200	2400
C	CAPACITACIÓN			
	Capacitación de personal (3 personas)	3	400	1200
<b>SUBTOTAL (no incluye IVA) =</b>				<b>15800</b>

*Tabla 5.3 Costos de Ingeniería, instalación y capacitación del personal.*

#### 5.4 COSTO TOTAL DEL PROYECTO.

Con los resultados parciales obtenidos en las tablas anteriores se calcula el costo total del proyecto, que se presenta en la tabla 5.4, en la cual se describe el costo total de la fibra óptica, equipamiento, ingeniería, instalación y capacitación.

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL [USD]
A	SUBTOTAL FIBRA ÓPTICA	136253.75
B	SUBTOTAL EQUIPAMIENTO	547432.00
C	SUBTOTAL INGENIERÍA, INSTALACIÓN Y CAPACITACIÓN.	15800.00
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO (no incluye IVA) =</b>		<b>699485.75</b>

*Tabla 5.4 Costo total de Proyecto.*



Los valores de la tabla 5.4, representan un presupuesto referencial para llevar a cabo la implementación del presente proyecto, con un valor de inversión inicial de 699485.75 USD, el cual puede variar, sin embargo establece una referencia del capital necesario para implementar la red de telecomunicaciones con fibra óptica basada en el protocolo Internet (IP), capaz de soportar sistemas de compresión de voz y permita mantener la infraestructura TDM existente, mediante la tecnología TDMoIP.

### 5.5 PRESUPUESTO ÚLTIMA MILLA.

La empresa Integral Data ya posee sus redes de última milla de cobre, las cuales tienen capacidad para crecimiento a futuro, por lo que en este caso se presenta un estimativo del costo para cada última milla, la cual básicamente comprende del par trenzado desde las cajas de distribución existentes hasta el sitio del cliente junto con el equipo terminal de MODEM ADSL, que en el presente diseño se ha escogido el MODEM de marca D-LINK modelo DSL 500G. En la tabla 5.5 se presenta el costo referencial para una última milla.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD TOTAL	UNIDAD	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
<b>PAR TRENZADO Y ACCESORIOS</b>					
A	Par trenzado de cobre # 18 AWG	1000	m	0.23	230.00
B	Tensores tipo 8	40	u	0.10	4.00
C	Instalación par trenzado de cobre.	1000	m	0.75	750.00
<b>EQUIPAMIENTO</b>					
D	Módem ADSL D-LINK 500G	1	u	100.00	100.00
E	Instalación, configuración y pruebas	1	u	50.00	50.00
<b>TOTAL (no incluye IVA) =</b>					<b>1134.00</b>

*Tabla 5.5 Presupuesto última milla.*

## 5.6 ESTUDIO ECONÓMICO DE FACTIBILIDAD.

Del análisis de requerimientos técnicos respecto a capacidad de transmisión de la información realizado en el capítulo 2, de la tabla 2.3 se considera que la capacidad de transmisión vendida actualmente se aproxima a la mitad de la sumatoria de capacidad total en todos los nodos incluyendo el nodo ETECO, debido a que la capacidad de transmisión en un circuito se configura en cada punto extremo. Lo descrito anteriormente se resume en la tabla 5.6.

<b>TOTAL VtxDA [Kbps]</b>	105728
<b>TOTAL VtxVA [Kbps]</b>	81920
<b>TOTAL Vtx ETECO [Kbps]</b>	112589
<b>Vtx Vendida [Kbps]</b>	150118,5

*Tabla 5.6 Capacidad vendida actualmente.*

Tomando como referencia un servicio de transmisión de datos para un canal dedicado de 64 [Kbps], cuyo valor en el mercado está alrededor de USD 75, se obtiene mediante regla de tres, el valor por venta neta que representa la capacidad vendida actualmente.

64 [Kbps]	\$ 75
150118,5 [Kbps]	X
Venta Neta X=	\$ 175.920,12

Respecto al presupuesto referencial anteriormente descrito, este proyecto necesita una inversión inicial de capital de USD 700,000. Además se considera un tiempo de depreciación de los equipos en 3 años, ya que los equipos tecnológicos se los deprecia en ese periodo. En el anexo F se muestra los cálculos financieros de préstamo bancario a una tasa de 21%, amortización de capital y depreciación de equipamiento, lo cual se necesita para obtener el tiempo de retorno de la inversión, a través de los parámetros como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la tasa de costo – beneficio (BC).

Como resultados de los cálculos financieros realizados en el anexo F se obtiene para un tiempo de 5 años de operación un VAN de USD 2, 515,179.58 a una tasa de interés bancario de 12 %, lo que entrega un TIR de 78.60 % el cual demuestra la rentabilidad del proyecto. El tiempo de retorno de la inversión se obtiene a partir del VAN, en base al flujo de caja del primer año de operación; el cual indica que en un período aproximado de 15 meses, es posible recuperar la inversión, con lo que se demuestra la factibilidad económica del presente proyecto. Adicionalmente la tasa de costo – beneficio muestra un valor de 4.04, esto significa que por cada dólar invertido, el proyecto le devuelve USD 4.04 al año.

## **CAPÍTULO 6**

### **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

## 6.1 CONCLUSIONES.

- TDMoIP es apropiada tanto para los clientes como para la empresa Integral Data que utilizan actualmente servicios TDM, ya que los clientes que poseen sus centrales telefónicas privadas PBX, en TDMoIP tienen una alternativa para mantener totalmente la funcionalidad de sus equipos. Así mismo, para los proveedores de servicio como la empresa Integral Data, TDMoIP permite extender transparentemente circuitos T1 o E1 fraccionales o completos, sobre redes basadas en tecnologías de conmutación de paquetes de gran velocidad como Gigabit ethernet.
- TDMoIP permitirá a la empresa Integral Data migrar servicios TDM como líneas arrendadas, canales de voz, etc, hacia una red de conmutación de paquetes IP, proporcionando un mecanismo de transporte transparente, ya que no interpreta el contenido de la información TDM.
- Los sistemas TDMoIP permiten el transporte transparente de circuitos E1 o T1 fraccionales o completos sobre una red IP, que de acuerdo a la disponibilidad del ancho de banda en el canal, ofrece dos opciones: La emulación de circuito, cuando el recurso de ancho de banda no es limitado y existe baja latencia en la red; y los sistemas de compresión de voz, que son ideales para el transporte de voz y señalización, en redes con ancho de banda limitado.
- TDMoIP con sistemas de compresión de voz le permitirá a Integral Data ofrecer a sus clientes, la misma cantidad de circuitos E1 de voz a través de una red IP, con una calidad aceptable, a un menor ancho de banda, permitiendo que el ancho de banda restante puede ser empleado para brindar servicios a nuevos clientes.
- En la simulación realizada de un sistema TDMoIP con emulación de circuito, se pudo comprobar la estructura de la trama TDMoIP, donde se maneja dos versiones, de las cuales la segunda versión es mejor, ya que incluye en su

cabecera un campo denominado palabra de control TDMoIP, la cual permite el reordenamiento de los paquetes sin la necesidad de utilizar mecanismos como es el protocolo RTP, para el sincronismo de la información TDM.

- En TDMoIP mientras mayor es el tamaño de la carga útil, la eficiencia del sistema es mayor, pero a su vez el retardo en el arribo de la información también será mayor, lo cual constituye un problema para algunos servicios en tiempo real. Por esta razón es indispensable utilizar un tamaño de carga útil adecuado, dependiendo de la aplicación que se realice.
- En la actualidad se emplea cada vez más la fibra óptica en sistemas de comunicación debido a las grandes ventajas en versatilidad, seguridad, fiabilidad y capacidad, que ésta presenta frente a otros medios de transmisión. La necesidad de ofrecer nuevos servicios, que demandan una gran utilización de ancho de banda, ha impulsado a diversas compañías a renovar sus redes empleando fibra óptica.
- Los equipos seleccionados aún cuando deben manejar una tecnología 1 Gigabit ethernet, tienen la posibilidad de migrar sin cambios substanciales a 10 Gigabit ethernet para garantizar el aumento en la capacidad en la red.
- La topología física en anillos así como las configuraciones de protección virtuales que se pueden implementar permiten una alta disponibilidad de la red.
- La competitividad que en servicios de telecomunicaciones actualmente se da a nivel mundial, trae consigo la necesidad de disponer de una red, escalable, flexible, confiable y de gran capacidad como ésta, para brindar servicios de mejor calidad y a costos razonables.
- El enlace de radio servirá para integrar el sector El Comercio en la zona sur de la ciudad de Quito hacia el backbone principal en el nodo Itchimbía, para

extender la cobertura de la red hacia una zona que no ha sido explotada por la empresa Integral Data.

## **6.2 RECOMENDACIONES.**

- Se recomienda a la empresa Integral Data la implementación de este proyecto para satisfacer las necesidades de tener un backbone propio que permita la integración de nuevos servicios IP y migrar la red de acceso actual TDM hacia IP, optimizando el uso del canal sin tener que cambiar la infraestructura existente.
- Se recomienda que los equipos escogidos para la red cumplan como mínimo con cada una de las características básicas especificadas en el presente proyecto, dejando la libertad de optar por equipos con características adicionales presentes en el mercado.
- La instalación de los equipos descritos, así como el tendido del medio de transmisión deben ser realizados por personal calificado, para contar con los parámetros adecuados en el desempeño de la red.
- Debido a que la fibra óptica brinda gran capacidad de transmisión, se recomienda la explotación de nuevos mercados de servicios de telecomunicaciones, como por ejemplo videoconferencia, televisión sobre IP, servidores dedicados de video y música, etc. los cuales requieren un gran ancho de banda.
- Debido a la gran capacidad de la red diseñada, se recomienda inicialmente utilizar equipos IPMUX para el transporte de voz y datos, y posteriormente cuando se requiera optimizar la capacidad del canal, utilizar compresión de voz mediante equipos VMUX.

- Se recomienda seguir extendiendo la cobertura de la red backbone, utilizando enlaces de fibra óptica y radio, dependiendo de la demanda que exista tanto en nuevos clientes como en capacidad de transmisión.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CABRERA JARAMILLO, MANUEL EFRAÍN; Análisis de la tecnología emergente TDMoIP Multiplexación por división de tiempo sobre protocolo Internet y estudio comparativo frente a la ya existente VoIP. Proyecto de Titulación, Agosto 2003.
- [2] CHOMYCZ BOB, Instalaciones de Fibra Óptica, Editorial McGraw-Hill, Primera edición, año 1998, Madrid.
- [3] CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR, Ley especial de Telecomunicaciones, Ley No.184 Art. 8 RO -S 34: 13-mar-2000.
- [4] HIDALGO PABLO, Folleto Telemática, Octubre 2003, Quito.
- [5] HUIDOBRO JOSÉ, Tecnologías Avanzadas de Telecomunicaciones, Editorial Thomson, Primera edición, año 2003, Madrid.
- [6] HUIDOBRO JOSÉ, ROLDÁN DAVID, Integración de voz y datos, Editorial McGraw-Hill, Primera edición, año 2003, Madrid.
- [7] JASON SAUVIAC, Introduction to Metro, Editorial Cisco Systems, año 2005, USA.
- [8] JIMÉNEZ SOLEDAD, Folleto de Comunicación Digital, año 2003, Quito.
- [9] LEÓN GARCÍA ALBERTO, Redes de Comunicación, Editorial McGraw-Hill, Primera edición, año 2002, Madrid.
- [10] LOZA EDISON, Curso de preparación para Certificación Cisco CCNA, Renttec, año 2005.
- [11] MENDEZ DALTON, Diseño de una red troncal con fibra óptica para el sur del Ecuador, Proyecto de Titulación, Agosto 2001.
- [12] PALACIOS QUETTY, Diseño de una red de telecomunicaciones para PETROPRODUCCION, Distrito Quito con fibra óptica, Proyecto de Titulación, Nov. 2001.
- [13] RAD Data Communications Ltd, Internacional Technical Seminar, Mayo 2005, Tel Aviv - Israel.
- [14] RAD Data Communications Ltd, IPmux-8, IPmux-16, Installation and Operation Manual, Diciembre 2002.

- [15] RAD Data Communications Ltd, Vmux – 2100, Installation and Operation Manual, Diciembre 2004.
- [16] RAD Data Communications Ltd, TDMoIP & IPmux family Workshop, Mayo 2004, Tel Aviv - Israel.
- [17] RAD Data Communications Ltd, TDMoIP vs. VoIP, White Paper, Agosto 2003, Tel Aviv - Israel.
- [18] RUBIO BALTAZAR, Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica, Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, Primera edición, año 1994, USA.
- [19] SCOTT KEAGY, Integración de Redes de Voz y Datos, Editorial Cisco Systems, año 2001, USA.
- [20] STALLINGS WILLIAM, Comunicaciones y Redes de Computadoras, Editorial Prentice Hall, Séptima Edición, año 1998, Madrid.
- [21] SUXUY WILSON, Estudio de Factibilidad de una Red Inalámbrica de área metropolitana en base a la tecnología de espectro diverso, aplicable para una institución bancaria dentro de la ciudad de Quito, Proyecto de Titulación, Nov. 2001.
- [22] TANENBAUM ANDREW, Redes de Computadoras, Editorial Prentice-Hall, Cuarta Edición, año 2003, Madrid.
- [23] TOMASI WAYNE, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Editorial Prentice-Hall, Cuarta edición, año 2003, México.
- [24] RODRIGUEZ YURISAY, Fibra óptica, Monografía de <http://www.monografias.com>. Año 2003.
- [25] WIKIPEDIA, <http://www.wikipedia.com>.
- [26] YAAKOV STEIN, [internet-draft-anavi-tdmoip-05.txt](http://www.dspscsp.com/tdmoip/draft-anavi-tdmoip-05.txt), <http://www.dspscsp.com/tdmoip/draft-anavi-tdmoip-05.txt>, Marzo 2003.
- [27] <http://www.it.uniovi.es/material/telematica/conmutacion/teoria/SS7-Tecnica.pdf>
- [28] [http://www.portalgsm.com/documentacion\\_extendida/81\\_0\\_17\\_0\\_C/](http://www.portalgsm.com/documentacion_extendida/81_0_17_0_C/)

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. ANÁLISIS TÉCNICO DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS QUE PERMITEN UTILIZAR SISTEMAS DE COMPRESIÓN DE VOZ (CVS) EN TDMOIP Y DISTINTOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 GENERALIDADES.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 TRANSMISIÓN DIGITAL.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.1 MODULACIÓN DE PULSOS.....</b>	<b>13</b>
1.2.1.1 Modulación de Pulsos Codificados (PCM).....	14
<b>1.2.2 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO .....</b>	<b>16</b>
1.2.2.1 Multiplexación PCM-TDM de 30 canales (E1) .....	18
1.2.2.2 Multiplexación PCM-TDM de 24 canales (T1) .....	19
1.2.2.3 Jerarquía Digital Plesiócrona.....	19
1.2.2.4 Protocolos de Señalización.....	20
1.2.2.4.1 Señalización CAS.....	21
1.2.2.4.2 Señalización CCS.....	21
1.2.2.4.3 Señalización SS7. ....	22
1.2.2.4.4 Señalización QSIG. ....	23
<b>1.3 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS TCP/IP.....</b>	<b>23</b>
<b>1.3.1 LAS CAPAS DE TCP/IP.....</b>	<b>23</b>
1.3.1.1 Capa Física.....	24
1.3.1.2 Capa de Acceso a la Red.....	24
1.3.1.2.1 Ethernet.....	24
1.3.1.3 Capa Internet.....	27
1.3.1.4 Capa Transporte.....	29
1.3.1.5 Capa Aplicación.....	30
<b>1.3.2 MODELO JERARQUICO DE RED .....</b>	<b>31</b>
1.3.2.1 Capa Core.....	32
1.3.2.2 Capa Distribución.....	32
1.3.2.3 Capa de acceso.....	32

<b>1.3.3</b>	<b>EL PROTOCOLO IPv6 .....</b>	<b>33</b>
1.3.3.1	Formato de cabecera del protocolo IPv6. ....	33
<b>1.4</b>	<b>TDM SOBRE IP (TDMoIP).....</b>	<b>35</b>
<b>1.4.1</b>	<b>CONCEPTO DE TDMoIP.....</b>	<b>35</b>
<b>1.4.2</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE TDMoIP.....</b>	<b>37</b>
1.4.2.1	Emulación de Circuitos en TDMoIP (CE).....	37
1.4.2.2	Compresión de Voz en TDMoIP (CV).....	38
<b>1.4.3</b>	<b>ENCAPSULACIÓN TDMoIP.....</b>	<b>38</b>
1.4.3.1	Red Conmutada de Paquetes (PSN: <i>Packet Switched Network</i> ). ....	39
1.4.3.1.1	UDP/IP.....	40
1.4.3.2	Protocolo de transporte en tiempo real (RTP: Real-time Transport Protocol). ....	42
1.4.3.3	Palabra de Control TDMoIP.....	43
1.4.3.4	Tipo de Carga útil TDMoIP. ....	44
1.4.3.4.1	Formato de Carga Útil AAL1.....	45
1.4.3.4.2	Formato de Carga Útil AAL2.....	48
1.4.3.4.3	Formato de Carga HDLC.....	49
<b>1.4.4</b>	<b>SEÑALIZACIÓN OAM.....</b>	<b>49</b>
1.4.4.1	Mensajes de Chequeo de Conectividad. ....	49
<b>1.4.5</b>	<b>FACTORES DE IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>50</b>
1.4.5.1	Calidad de Servicio.....	50
1.4.5.2	Sincronización. ....	51
1.4.5.3	Jitter y Pérdida de Paquetes.....	52
1.4.5.4	Overhead vs. Latencia.....	53
1.4.5.5	Consideraciones de Seguridad.....	54
1.4.5.6	Consideraciones de la IANA.....	54
<b>1.5</b>	<b>ALGORITMOS DE COMPRESION DE VOZ .....</b>	<b>54</b>
<b>1.5.1</b>	<b>CÓDECS DE FORMA DE ONDA .....</b>	<b>55</b>
<b>1.5.2</b>	<b>CÓDECS DE FUENTE.....</b>	<b>57</b>
<b>1.5.3</b>	<b>CÓDECS HÍBRIDOS .....</b>	<b>57</b>

1.5.3.1	Estímulo multi-impulso (MPS: <i>Multi - Pulse Stimulate</i> ) .....	58
1.5.3.2	Estímulo de impulso regular (RPS: <i>Regular Pulse Stimulate</i> ) ..	58
1.5.3.3	Predicción lineal de código estimulado (CELP: <i>Code stimulated by Lineal Prediction</i> ). .....	58
<b>1.5.4</b>	<b>MEDIDA DE LA CALIDAD DE LA VOZ. ....</b>	<b>59</b>
<b>1.5.5</b>	<b>CANCELACIÓN DE ECO .....</b>	<b>60</b>
<b>1.5.6</b>	<b>DETECCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA VOZ.....</b>	<b>61</b>
<b>1.6</b>	<b>MEDIOS DE TRANSMISIÓN .....</b>	<b>61</b>
<b>1.6.1</b>	<b>MEDIOS DE TRANSMISIÓN GUIADOS. ....</b>	<b>61</b>
1.6.1.1	Par Trenzado. ....	62
1.6.1.1.1	UTP (Unshielded Twisted Pair). ....	62
1.6.1.1.2	STP (Shielded Twisted Pair).....	63
1.6.1.2	Cable Coaxial. ....	63
1.6.1.3	Fibra Óptica. ....	64
1.6.1.3.1	Tipos de fibra óptica. ....	65
1.6.1.3.2	Componentes de un sistema óptico. ....	66
<b>1.6.2</b>	<b>MEDIOS DE TRANSMISIÓN NO GUIADOS .....</b>	<b>68</b>
1.6.2.1	Transmisión Inalámbrica.....	68
1.6.2.2	Transmisión Infrarroja.....	68
1.6.2.3	Microondas Terrestres.....	69
1.6.2.4	Comunicaciones Satelitales.....	69
<b>1.7</b>	<b>TECNOLOGÍAS xDSL.....</b>	<b>70</b>
<b>1.7.1</b>	<b>FUNCIONAMIENTO DE ADSL.....</b>	<b>72</b>
<b>CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA EMPRESA INTEGRAL DATA. ....</b>		<b>73</b>
<b>2.1</b>	<b>GENERALIDADES. ....</b>	<b>74</b>
<b>2.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED DE ACCESO. ....</b>	<b>75</b>
<b>2.2.1</b>	<b>DIAGRAMA GENERAL DE LA RED DE ACCESO DE LA EMPRESA INTEGRAL DATA EN LA CIUDAD DE QUITO. ....</b>	<b>75</b>

<b>2.2.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS ACTUALMENTE.....</b>	<b>78</b>
2.2.2.1	Radio digital de microondas.....	79
2.2.2.2	Unidades de acceso FCD – E1 / FCD – E1A / FCD – E1L.....	79
2.2.2.3	Módems para línea de cobre.....	80
<b>2.2.3</b>	<b>CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN OCUPADA ACTUALMENTE EN CADA NODO.....</b>	<b>81</b>
<b>2.3</b>	<b>REQUERIMIENTOS Y EXPECTATIVAS.....</b>	<b>83</b>
<b>2.3.1</b>	<b>REQUERIMIENTOS DE LA RED PARA SOPORTAR TDMoIP.....</b>	<b>84</b>
2.3.1.1	Requerimientos para utilizar TDMoIP con emulación de circuito (CE).....	84
2.3.1.1.1	Velocidad de Transmisión TDMoIP ( $V_{tx_{TDMoIP}}$ ).....	84
2.3.1.1.2	Retardo de Paquetización (RP).....	86
2.3.1.1.3	Variación de retardo de paquetes (PDV: Packet Delay Variation).....	86
2.3.1.1.4	Retardo de tiempo de ida y vuelta (RTD: Round Trip Delay).....	87
2.3.1.1.5	Reordenamiento de Paquetes.....	87
2.3.1.1.6	Eficiencia.....	88
2.3.1.1.7	Determinación del valor óptimo para “n”.....	89
2.3.1.1.8	Cálculo de los requerimientos para la utilización de TDMoIP (CE).....	90
2.3.1.2	Requerimientos para utilizar sistemas de compresión de voz en TDMoIP (CV). [15].....	93
2.3.1.2.1	Velocidad de Transmisión TDMoIP (CV) ( $V_{tx_{TDMoIP_{cv}}}$ ).....	93
2.3.1.2.2	Cálculo de los requerimientos para la utilización de TDMoIP (CV).....	95
<b>2.3.2</b>	<b>REQUERIMIENTO QUE DEBE SOPORTAR LA RED A FUTURO</b>	<b>96</b>

<b>CAPITULO 3. DISEÑO DE LA RED DE BACKBONE SOBRE ANILLOS DE FIBRA OPTICA EN LA CIUDAD DE QUITO QUE SOPORTE SISTEMAS DE COMPRESIÓN DE VOZ (CVS) EN TDMoIP.....</b>		<b>100</b>
<b>3.1</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>101</b>
<b>3.2</b>	<b>LA FIBRA ÓPTICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN A UTILIZARSE.....</b>	<b>102</b>
<b>3.2.1</b>	<b>SELECCIÓN DEL tipo DE FIBRA ÓPTICA.....</b>	<b>104</b>
<b>3.2.2</b>	<b>TIPOS DE TENDIDO Y CONEXIÓN DE FIBRA ÓPTICA.....</b>	<b>105</b>
3.2.2.1	Cable para tendido aéreo de fibra óptica.....	106
3.2.2.2	Técnicas de conexión.....	107
<b>3.3</b>	<b>TRAZADO DE LA RUTA DE FIBRA ÓPTICA.....</b>	<b>108</b>
<b>3.3.1</b>	<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE NODOS.....</b>	<b>109</b>
<b>3.3.2</b>	<b>TOPOLOGÍA DE LA RED DE BACKBONE.....</b>	<b>110</b>
<b>3.3.3</b>	<b>TRAYECTO DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA.....</b>	<b>111</b>
<b>3.4</b>	<b>EQUIPAMIENTO DE LA RED DE FIBRA OPTICA.....</b>	<b>114</b>
<b>3.4.1</b>	<b>SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BACKBONE.....</b>	<b>116</b>
3.4.1.1	Selección de la interfaz de fibra óptica.....	118
<b>3.4.2</b>	<b>SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA RED DE ACCESO IP/ETHERNET.....</b>	<b>119</b>
<b>3.4.3</b>	<b>SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA TDMoIP.....</b>	<b>120</b>
<b>3.4.4</b>	<b>DIAGRAMA DE INTERCONEXIÓN DE EQUIPOS EN NODOS....</b>	<b>123</b>
<b>3.5</b>	<b>CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN PARA LOS ENLACES DE FIBRA ÓPTICA.....</b>	<b>125</b>
<b>3.5.1</b>	<b>CÁLCULO DE PÉRDIDAS DEL ENLACE DE FIBRA ÓPTICA....</b>	<b>125</b>
3.5.1.1	Atenuación máxima permisible (Amáx).....	128
<b>3.5.2</b>	<b>DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE BANDA (AB).....</b>	<b>128</b>
<b>3.6</b>	<b>INTERCONEXIÓN DE LA RED DE BACKBONE CON EL NODO EL COMERCIO.....</b>	<b>130</b>
<b>3.6.1</b>	<b>DISEÑO DEL RADIO ENLACE MICROONDA.....</b>	<b>130</b>
3.6.1.1	Trazado del Perfil Topográfico.....	131
3.6.1.2	Selección del Equipo de radio Microonda.....	132

3.6.1.3	Ganancia del Sistema.....	134
3.6.1.3.1	Pérdida de trayectoria de espacio libre.....	135
3.6.1.3.2	Confiabilidad del enlace.....	135
<b>3.7</b>	<b>RESUMEN GENERAL DEL DISEÑO.....</b>	<b>137</b>
<b>CAPÍTULO 4. SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE DATOS UTILIZANDO TDMoIP .....</b>		
<b>139</b>		
<b>4.1</b>	<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>140</b>
<b>4.2</b>	<b>APLICACIONES EN TDMoIP.....</b>	<b>141</b>
<b>4.3</b>	<b>TIPOS DE SIMULACIÓN A REALIZARSE .....</b>	<b>141</b>
<b>4.4</b>	<b>PROCEDIMIENTOS DE SIMULACIÓN .....</b>	<b>142</b>
<b>4.4.1</b>	<b>SIMULACIÓN TDMoIP VERSIÓN 1 CON FORMATO AAL1 NO ESTRUCTURADO.....</b>	<b>142</b>
4.4.1.1	Esquema de simulación.....	142
4.4.1.2	Selección de equipos para la simulación.....	143
4.4.1.3	Armado y configuración de la red. ....	144
4.4.1.4	Configuración de equipos.....	145
4.4.1.4.1	Configuración de los equipos IPMUX-1.....	148
4.4.1.5	Obtención y análisis de resultados. ....	153
4.4.1.5.1	Análisis de trama.....	153
4.4.1.5.2	Medición y análisis de velocidad de transmisión, paquetes por segundo y retardo de tiempo.....	157
<b>4.4.2</b>	<b>SIMULACIÓN TDMoIP VERSIÓN 1 CON FORMATO AAL1 ESTRUCTURADO SIN CAS.....</b>	<b>165</b>
4.4.2.1	Configuración de Equipos para la simulación.....	165
4.4.2.1.1	Configuración equipo IPMUX-1.....	165
4.4.2.2	Obtención y análisis de resultados.....	167
<b>4.4.3</b>	<b>SIMULACIÓN TDMoIP VERSIÓN 1 CON FORMATO AAL1 ESTRUCTURADO CON CAS.....</b>	<b>168</b>
4.4.3.1	Configuración de Equipos para la simulación.....	168
4.4.3.1.1	Configuración equipo IPMUX-1.....	169



4.4.3.2	Obtención y análisis de resultados. ....	170
<b>4.4.4</b>	<b>SIMULACIÓN TDMoIP VERSIÓN 2 CON FORMATO AAL1 NO ESTRUCTURADO .....</b>	<b>171</b>
4.4.4.1	Esquema de simulación.....	171
4.4.4.2	Selección de equipos para la simulación.....	172
4.4.4.3	Armado y configuración de la red .....	172
4.4.4.4	Obtención y análisis de resultados .....	172
<b>CAPÍTULO 5.</b>	<b>PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL PROYECTO .....</b>	<b>174</b>
<b>5.1</b>	<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>175</b>
<b>5.2</b>	<b>PRESUPUESTO DE LA FIBRA ÓPTICA .....</b>	<b>176</b>
<b>5.3</b>	<b>PRESUPUESTO del EQUIPAMIENTO .....</b>	<b>178</b>
<b>5.4</b>	<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO .....</b>	<b>184</b>
<b>5.5</b>	<b>PRESUPUESTO ÚLTIMA MILLA.....</b>	<b>185</b>
<b>5.6</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO DE FACTIBILIDAD .....</b>	<b>186</b>
<b>CAPÍTULO 6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>188</b>
<b>6.1</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>189</b>
<b>6.2</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>191</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>193</b>