



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN TDM CONVERTIDOS A  
SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE VOZ SOBRE IP**

**Jorge Mario Gabriel Illescas Cabrera**

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN TDM CONVERTIDOS A  
SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE VOZ SOBRE IP**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JORGE MARIO GABRIEL ILLESCAS CABRERA**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMÁN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |  |
|------------|--|
| DECANO     | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco     |
| VOCAL I    | Ing. Angel Roberto Sic García          |
| VOCAL II   | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa    |
| VOCAL IV   | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos       |
| VOCAL V    | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz          |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López      |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|             |                                     |
|-------------|-------------------------------------|
| DECANO      | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos    |
| EXAMINADORA | Inga. María Magdalena Puente Romero |
| EXAMINADOR  | Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  |
| EXAMINADOR  | Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo |
| SECRETARIO  | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez     |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN TDM CONVERTIDOS A SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE VOZ SOBRE IP**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 11 de febrero del 2015.

  
**Jorge Mario Gabriel Illescas Cabrera**

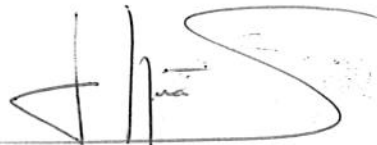
Guatemala, 13 de mayo de 2015

Señor  
Coordinador Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Coordinador:

Me dirijo a usted por este medio para informarle que he concluido la asesoría y revisión del trabajo de graduación del estudiante **Jorge Mario Gabriel Illescas Cabrera**, número de carné 2008-15154, titulado DISEÑO DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN TDM CONVERTIDOS A SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE VOZ SOBRE IP. Y el mismo cumple con los objetivos que se propuso, por lo que, doy por **APROBADO** del mismo. Tanto el señor Illescas Cabrera como el suscrito somos responsables del contenido del trabajo de graduación.

Un atento saludo,



Carlos Guzmán Salazar  
Ingeniero Electricista  
**Asesor Nombrado**

**CARLOS GUZMAN SALAZAR**  
Ingeniero Electricista  
Col. No. 2762



Ref. EIME 26. 2015  
Guatemala, 18 de mayo 2015.

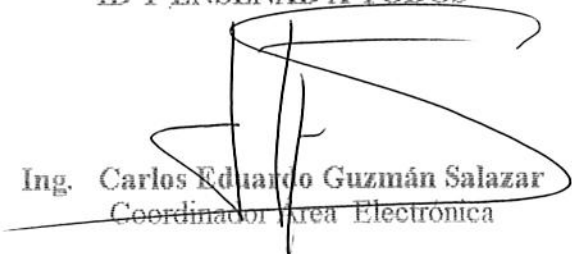
Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
DISEÑO DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN TDM  
CONVERTIDOS A SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE VOZ  
SOBRE IP, del estudiante Jorge Mario Gabriel Illescas  
Cabrera, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador Área Electrónica



STO



REF. EIME 26. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **JORGE MARIO GABRIEL ILLESCAS CABRERA** titulado: **DISEÑO DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN TDM CONVERTIDOS A SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE VOZ SOBRE IP**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 2 DE JUNIO 2,015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN TDM CONVERTIDOS A SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE VOZ SOBRE IP**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Mario Gabriel Illescas Cabrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, 2 de julio de 2015

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

|                   |  |
|-------------------|--|
| <b>Dios</b>       | Por iluminar mi camino en todo el trayecto de mi carrera universitaria.          |
| <b>Mi madre</b>   | Roxana Illescas, por ser un ejemplo de vida y mi razón del luchar cada día.      |
| <b>Mi familia</b> | Evelyn, Ana Lucia y Clary Illescas, por el apoyo brindado a lo largo de mi vida. |

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Facultad de Ingeniería**

Por darme las herramientas necesarias para formarme como profesional.

**Amigos y compañeros  
de proyectos**

Por compartir todos los conocimientos y apoyo grupal, en la buenas y en las malas.

**Empresa Atel  
Communications**

Por dejarme implementar y poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera.

# ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....                     | V    |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                          | VII  |
| GLOSARIO .....                                   | IX   |
| RESUMEN.....                                     | XIII |
| OBJETIVOS.....                                   | XV   |
| DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....                   | XVII |
| INTRODUCCIÓN .....                               | XIX  |
| <br>   |      |
| 1. FUNDAMENTOS DE SISTEMAS COMUNICACIÓN TDM..... | 1    |
| 1.1. Telefonía tradicional .....                 | 1    |
| 1.1.1. Marcación por tonos DTMF .....            | 1    |
| 1.1.2. Central telefónica.....                   | 1    |
| 1.2. Transmisión por múltiples accesos.....      | 2    |
| 1.2.1. Acceso por división de tiempo (TDMA)..... | 2    |
| 1.2.2. Medios de transmisión.....                | 3    |
| 1.2.2.1. Medios guiados.....                     | 3    |
| 1.2.2.2. Medios no guiados.....                  | 4    |
| 1.2.3. Portadora-E .....                         | 5    |
| 1.3. Sistemas de señalización .....              | 5    |
| 1.3.1. Sistema de señalización R2.....           | 5    |
| 1.3.2. Sistema de señalización ISDN.....         | 6    |
| 1.3.3. Sistemas de señalización SS7.....         | 6    |
| 1.4. Códec de audio .....                        | 6    |
| 1.4.1. Códec G.711.....                          | 7    |
| 1.4.1.1. Códec a-law.....                        | 7    |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 1.4.1.2. | Códec $\mu$ -law .....   | 7  |
| 1.5.     | Erlangs .....  | 7  |
| 1.6.     | Ventajas y desventajas .....                                     | 8  |
| 1.6.1.   | Ventaja de sistemas TDM .....                                    | 8  |
| 1.6.2.   | Desventaja de sistemas TDM.....                                  | 8  |
| 1.7.     | Modelo y dominio de red.....                                     | 8  |
| 1.7.1.   | Modelo OSI .....   | 9  |
| 1.7.2.   | Capa física .....  | 9  |
| 1.7.3.   | Capa de enlace de datos.....                                     | 10 |
| 1.7.4.   | Capa de red.....   | 10 |
| 1.7.5.   | Capa de transporte.....  | 10 |
| 1.7.6.   | Capa de sesión .....   | 11 |
| 1.7.7.   | Capa de presentación .....                                       | 11 |
| 1.7.8.   | Capa de aplicación.....  | 12 |
| 1.8.     | Dominios público y privado de red .....                          | 12 |
| 1.9.     | Topologías de red .....  | 13 |
| 1.10.    | Red de área local (LAN).....                                     | 14 |
| 1.11.    | Red de área amplia (WAN) .....                                   | 14 |
| 1.12.    | Internet.....  | 15 |
| 2.       | FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE VOZ<br>SOBRE IP ..... | 17 |
| 2.1.     | Tipos de comunicación voz sobre IP .....                         | 17 |
| 2.1.1.   | Adaptador telefónico análogo.....                                | 17 |
| 2.1.2.   | Teléfonos IP .....   | 18 |
| 2.1.3.   | <i>Softphone</i> .....   | 19 |
| 2.2.     | Protocolos de señalización de voz sobre IP .....                 | 20 |
| 2.2.1.   | SIP .....  | 20 |
| 2.2.2.   | IAX .....  | 21 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 2.2.3.     | H.323 .....  | 21 |
| 2.2.4.     | RTP .....  | 22 |
| 2.3.       | Códec de compresión de voz sobre IP .....                        | 23 |
| 2.3.1.     | G.729.....   | 23 |
| 2.4.       | Ventajas y desventajas.....                                      | 24 |
| 2.4.1.     | Ventajas de sistemas voz sobre IP .....                          | 24 |
| 2.4.2.     | Desventajas de sistemas voz sobre IP .....                       | 24 |
| 3.         | PROPUESTA DEL DISEÑO DE LA SOLUCIÓN Y EVALUACIÓN DE COSTOS ..... | 25 |
| 3.1.       | Sistema operativo y de servicios .....                           | 25 |
| 3.1.1.     | Sistema operativo .....  | 26 |
| 3.1.2.     | Servicios .....  | 26 |
| 3.1.2.1.   | Asterisk.....  | 26 |
| 3.1.2.1.1. | Dahdi .....  | 27 |
| 3.1.2.1.2. | Wanpipe .....  | 27 |
| 3.2.       | Detalle de servidores y tarjetas .....                           | 27 |
| 3.2.1.     | Servidores.....  | 28 |
| 3.2.2.     | Tarjetas sangoma .....   | 28 |
| 3.3.       | Conversión sistemas TDM a sistema voz sobre IP .....             | 29 |
| 3.3.1.     | Origen .....   | 30 |
| 3.3.2.     | Celda telefónica .....   | 30 |
| 3.3.3.     | Convertidor TDM sobre IP .....                                   | 31 |
| 3.3.4.     | Red IP.....  | 31 |
| 3.3.5.     | Convertido de IP a TDM .....                                     | 32 |
| 3.3.6.     | Destino .....  | 32 |
| 3.4.       | Conversión de TDM sobre IP .....                                 | 32 |
| 3.5.       | Evaluación de costos.....  | 33 |

CONCLUSIONES.....37  
RECOMENDACIONES .....39  
BIBLIOGRAFÍA.....41

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|    |                            |    |
|----|----------------------------|----|
| 1. | <i>Multiplexing</i> .....  | 2  |
| 2. | Topologías de red .....    | 13 |
| 3. | Teléfono IP .....          | 18 |
| 4. | <i>Softphone</i> .....     | 19 |
| 5. | Tarjeta sangoma .....      | 28 |
| 6. | TDM o IP .....             | 29 |
| 7. | TDM hacia una red IP ..... | 33 |

### TABLAS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| I.    | Medios guiados .....   | 3  |
| II.   | Medios no guiados .....  | 4  |
| III.  | Protocolos y servicios.....  | 12 |
| IV.   | IP privadas .....  | 14 |
| V.    | IP públicas.....   | 15 |
| VI.   | Costo implementación TDM o IP .....  | 34 |
| VII.  | Costo de construcción de torre y arrendamiento de equipo para sistemas TDM ..... | 34 |
| VIII. | Costo de arrendamiento de equipo e infraestructura de sistemas TDM.....          | 35 |





## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolos</b> | <b>Significado</b>   |
|-----------------|----------------------|
| <b>Gbps</b>     | Gigabits por segundo |
| <b>GHz</b>      | Gigahertz            |
| <b>Kbps</b>     | Kilobits por segundo |
| <b>Km</b>       | Kilómetros           |
| <b>Mbps</b>     | Megabits por segundo |
| <b>MHz</b>      | Megahertz            |



## GLOSARIO

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>Códec</b>         | Codificador-decodificador con software o hardware que no pierde la calidad al comprimirse.   |
| <b>Demultiplexar</b> | Técnica que permite la recepción una señal en un medio y direccionarla a varias señales.   |
| <b>DTMF</b>          | Marcación por tonos ( <i>Dual-tone multi-frequency signaling</i> , en inglés). Utilizado para la señalización en sistemas de comunicación. |
| <b>E1</b>            | Grupo de circuitos que tiene un ancho de banda máximo de 2048 kbps, utilizado para la comunicación entre centrales telefónicas.            |
| <b>Erlang</b>        | Unidad a dimensional para medio, volúmenes de tráfico.   |
| <b>H.323</b>         | Protocolo que provee sesiones audiovisuales.   |
| <b>IAX</b>           | <i>Inter-AsteriskXchange Protocol</i> , en inglés.   |
| <b>IP</b>            | Protocolo de internet.   |

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>ISDN</b>         | Red Digital de Servicios Integrados ( <i>Integrated Services for Digital Network</i> , en inglés) sistema de señalización que facilita la interconexión de origen a destino. |
| <b>ISP</b>          | Proveedor de servicio de internet. Organización que provee servicio de internet.   |
| <b>Kernel</b>       | Encargado de brindar un modo seguro de comunicación del software al hardware.  |
| <b>MAC</b>          | Dirección física y única de todo equipo de red.  |
| <b>Multiplexar</b>  | Técnica que permite transmitir varias señales en un solo medio.  |
| <b>Peer</b>         | Es un extremo en la telefonía IP que recibe la llamada para finalizarla.   |
| <b>R2</b>           | Sistema de señalización análogo que transmite señales por medio de troncales.  |
| <b>RTP</b>          | <i>Real-time Transport Protocol</i> , en inglés.   |
| <b>Señalización</b> | Se refiere a las comunicaciones que se dan de una central telefónica hacia otra.   |
| <b>SIP</b>          | Protocolo de inicio de sesiones ( <i>Session Initiation Protocol</i> , en inglés).   |

|                |   |
|----------------|---|
| <b>SS7</b>     | <i>SignallingSystem No. 7</i> , en inglés sistema de señalización que separa las troncales de voz con la troncal de señalización.                                       |
| <b>TCP</b>     | Protocolo de control de transferencia; protocolo confiable que crea conexiones seguras.   |
| <b>TDM</b>     | Multiplexación por división de tiempo ( <i>Time división multiplexing</i> , en inglés). Utilizado para intercambiar varias señales por un solo medio en un tiempo dado. |
| <b>Tramas</b>  | Bloques de bits.  |
| <b>Troncal</b> | Término de telecomunicaciones utilizado para interconectar llamadas o referirse a señalización.   |
| <b>UDP</b>     | Protocolo de control de datagrama; protocolo no confiable y que no crea conexiones.   |
| <b>Wi-Fi</b>   | Protocolo de comunicación sin cable que comunica dispositivos a una red de datos.   |



## **RESUMEN**

En el presente trabajo de graduación se muestra cómo pueden congeniar sistemas de comunicación TDM y sistemas de comunicación de voz sobre IP.

En el primer capítulo se desarrolla una introducción a los sistemas de comunicación TDM, que se basan en los inicios de la telefonía, los medios en que se transportan las tramas, proceso de señalización de paquetes y ventajas y desventajas de los sistemas de comunicación TDM. En el primer capítulo también se resaltan fundamentos básicos de una red IP, en los cuales se detallan las capas del modelo OSI, topologías y dominios de red.

El segundo capítulo está conformado por los tipos de comunicación de voz sobre IP existentes, los protocolos de señalización más utilizados, los métodos de comprensión de audio y las ventajas-desventajas de los sistemas de voz sobre IP.

El tercer capítulo describe el proceso de vinculación de los dos sistemas de comunicación; se abordan temas tales como detalles de software y hardware. También se describe el proceso que tiene una llamada, vinculando los sistemas e incluyendo la conversión de sistemas TDM y voz sobre IP y un plano comparativo de costos utilizando la solución y sin utilizarla.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar un diseño de conversión de sistemas de comunicación TDM a sistemas de comunicación de voz sobre IP.

### **Específicos**

1. Presentar los fundamentos de los sistemas de comunicación TDM.
2. Dar a conocer los fundamentos de los sistemas de comunicación de voz sobre IP.
3. Exponer la propuesta del diseño y la evaluación de costo que influyen en la conversión de los sistemas de comunicación.



## **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Por la demanda de conectividad y la exigencia de los usuarios por conectarse en cualquier lugar en cualquier momento, la telefonía tradicional se quedó corta en la demanda de usuarios. Para ello fue necesario crear una comunicación con menor costo y con niveles de anchos de banda más rápidos y estables.

Pero para cambiar la tecnología completa de una red de telecomunicación se necesita una inversión grande y un tiempo muy extenso de migración. Para ello fueron creados métodos que realizan de manera puntual una relación de los sistemas de comunicación, ya sean tradicionales o actuales; estos métodos entrelazan los sistemas de telefonía tradicional con los de telefonía actual, para que convivan de manera paralela y así regresar en la expansión de su red de telefonía, sin incrementar costos y provocar problemas con los usuarios que utilicen el servicio.



## INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones son una infraestructura en constante crecimiento, ya que la demanda de usuarios ha crecido exponencialmente y a su vez exige de confiabilidad, flexibilidad, capacidad y una alta exigencia de velocidad de transmisión. La telefonía tradicional se basaba en protocolos análogos y digitales para transportar la voz y así soportar la demanda que conllevaba su crecimiento.

En este caso el equipo encargado de resolverlo sería un enrutador o servidor, para que cumplan la función de enrutar y transportar tramas de los sistemas convencionales como la *Public Switched Telephone Network* (PSTN o red telefónica conmutada), que también es nombrada como sistemas de comunicación TDM. Existen parámetros que se tienen que tomar en cuenta al momento de interconectar ambos sistemas para que convivan en un sistema único; uno de ellos es relacionar los protocolos de comunicación ya sean análogos, digitales o de IP.

Los protocolos de comunicación son conjuntos de reglas, estándares y normas utilizadas para que dos dispositivos o entidades se comuniquen entre sí. Una parte importante para relacionar estos sistemas es la señalización, los protocolos de señalización son los encargados de iniciar y finalizar una comunicación en este caso alguna llamada telefónica.

Algunos protocolos de señalización de telefonía tradicional son R2, ISDN y SS7. En el ámbito de sistemas nuevos también existe la señalización cuando se utilizan las tramas Ethernet; para transportar voz se suelen utilizar los protocolos

de señalización H.323, SIP y RTP, en el cual actualmente SIP es el más utilizado a nivel mundial. Ha esto es llamado voz sobre IP y para que ambos sistemas convivan en una sola red son utilizados equipos servidores y enrutadores con características, parámetros y configuraciones que colaboran para lograr la mayor calidad de la voz y el menor retardo posible.

# **1. FUNDAMENTOS DE SISTEMAS COMUNICACIÓN TDM**

Con el fin de acentuar algunas bases sobre los sistemas de comunicación TDM es necesario describir algunos fundamentos y protocolos sobre este medio convencional medio de transmisión de señales.

## **1.1. Telefonía tradicional**

La telefonía tradicional se basa en un proceso de comunicación por conmutación de circuitos; el método conmutación se refiere a que sea cerrado un circuito por un tiempo determinado, para así contener la comunicación; esto es realizado en 2 puntos: un origen y otro llamado destino para que sea realizada una comunicación en ambas direcciones.

### **1.1.1. Marcación por tonos DTMF**

Es un sistema también conocido como multifrecuencial que consiste en relacionar cada tecla del equipo de comunicaciones y enviar un pulso eléctrico cada vez que sea presionada la tecla hacia alguna central de telecomunicaciones. En esto se basa la señalización de los equipos de telecomunicaciones.

### **1.1.2. Central telefónica**

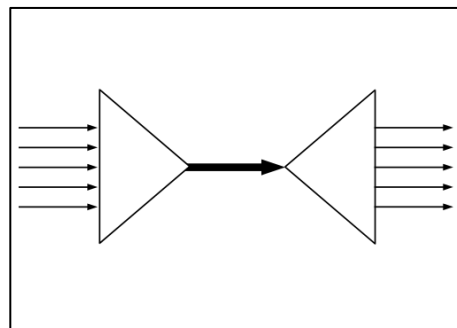
La central telefónica es el lugar físico donde se reciben todas las solicitudes de comunicación; es la encargada de realizar la conmutación de circuitos y así entrelazar comunicaciones de origen hacia su destino y

viceversa. La central telefónica alberga todo el equipo de comunicación que recibe las solicitudes, como también interconecta otras centrales telefónicas.

## 1.2. Transmisión por múltiples accesos

La transmisión por múltiples accesos consiste en enviar señales, ya sea análogas o digitales, por un solo medio en común. Estas señales pueden compartir el medio en radio frecuencia, cable o fibra óptica. El equipo encargado de multiplexar las señales es llamado multiplexor y el equipo encargado de recibir la señal y revertir el proceso es llamado demultiplexor.

Figura 1. ***Multiplexing***



Fuente: Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Multiplexing>. Consulta: 31 de marzo de 2015.

### 1.2.1. Acceso por división de tiempo (TDMA)

Esta es una técnica de acceso múltiple por división de tiempo; es la más utilizada en los medios de telecomunicaciones para el envío de señales digitales, ya que la demanda de enviar señales, tramas o paquetes en un único medio arrendado llamado también E1 es demasiado costoso. La manera de optimizar dicho canal es realizar una multiplexación por tiempo de acceso en la



cual se combinan varias señales para que sean enviadas por lapsos de tiempo diferentes y así no interponer la información de cada señal.

## 1.2.2. Medios de transmisión

Dependiendo de la manera de transmisión de señales, paquetes y tramas, los medio de transmisión y recepción puede clasificarse en dos grupos: medios guiados o alámbricos y no guiados inalámbricos.

### 1.2.2.1. Medios guiados

Cuando se habla de medio guiado se generaliza a un cable, del cual existe una variedad de tipos; este medio es necesario para enviar los paquetes de un punto A hacia un punto B. Existe una variedad de medios guiados; la más utilizada es por alambre de cobre, pero con la demanda de anchos de banda ha disminuido el costo de la fibra óptica; los más utilizados son:

- Cable coaxial
- Par trenzado
- Fibra óptica

Tabla I. **Medios guiados**

| Medio de Transmisión | Razón de datos total | Ancho de Banda | Separación entre repetidores |
|----------------------|----------------------|----------------|------------------------------|
| Par Trenzado         | 4 Mbps               | 3 Mhz          | 2 a 10 km                    |
| Cable Coaxial        | 500 Mbps             | 350MHz         | 1 a 10 km                    |
| Fibra Óptica         | 2Gbps                | 2GHz           | 10 a 100 km                  |

Fuente: Wikipedia. [http://es.wikipedia.org/wiki/Medio\\_de\\_transmisi%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Medio_de_transmisi%C3%B3n). Consulta: 31 de marzo de 2015.

### 1.2.2.2. Medios no guiados

Los medios no guiados o inalámbricos son referidos a las antenas que utilizan energía electromagnética para la transmisión y recibe ondas electromagnéticas para la recepción de la información en el medio. La clasificación de los medios no guiados son los siguientes:

- Terrestres
- Satelitales
- Luz

Tabla II. Medios no guiados

| Banda de Frecuencia | Nombre                         | Modulación    | Razón de datos | Aplicaciones principales                          |
|---------------------|--------------------------------|---------------|----------------|---|
| 30-300 kHz          | LF (low frequency)             | ASK, FSK, MSK | 0,1-100 bps    | Navegación  |
| 300-3000 kHz        | MF (medium frequency)          | ASK, FSK, MSK | 10-1000 bps    | Radio AM Comercial                                |
| 3-30 MHz            | HF (high frequency)            | ASK, FSK, MSK | 10-3000 bps    | Radio de onda corta                               |
| 30-300 MHz          | VHF (very high frequency)      | FSK, PSK      | Hasta 100 kbps | Television VHF, Radio FM                          |
| 300-3000 MHz        | UHF (ultra high frequency)     | PSK           | Hasta 10 Mbps  | Television UHF, Microondas Terrestres             |
| 3-30 GHz            | SHF (super high frequency)     | PSK           | Hasta 100Mbps  | Microondas terrestres y por satélite              |
| 30-300 GHz          | EHF (extremely high frequency) | PSK           | Hasta 750 Mbps | Enlaces cercanos con punto a punto experimentales |

Fuente: Wikipedia. [http://es.wikipedia.org/wiki/Medio\\_de\\_transmisi%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Medio_de_transmisi%C3%B3n). Consulta: 31 de marzo de 2015.

### **1.2.3. Portadora-E**

La portadora-E más conocida como E1 es un grupo de circuitos que consta de 32 troncales con tamaño o ancho de banda de 64 kbps cada uno, con un total de ancho de banda de 2048 kbps por E1, es utilizada para el envío de señales digitales ya sea en voz o datos, como también para la interconexión de líneas arrendadas entre centrales telefónicas. El E1 convencional consta de 30 canales digitales, uno para señalización y el otro lo utiliza un tren de pulsos para lograr una sincronización de una central telefónica hacia la otra.

### **1.3. Sistemas de señalización**

Los sistemas de señalización son usados generalmente para lograr una sincronía de una central telefónica hacia otra; en la comunicación TDM existen tres principales sistemas de señalización los cuales son:

- Sistema R2
- Sistema ISDN
- Sistema SS7

#### **1.3.1. Sistema de señalización R2**

El sistema de señalización R2 permite lograr la transmisión de información sobre un grupo de circuitos llamados E1's con un arreglo distintivo en la troncal 16 y tomando la troncal 0 o 1 para sincronizar desde una central a otra. Este sistema congenia de manera ideal con los tonos DTMF, ya que en sus inicios utilizaban para la transmisión equipos electromecánicos que percibían dichos tonos como pulsos eléctricos.

### **1.3.2. Sistema de señalización ISDN**

Este sistema de señalización totalmente digital brinda una serie de servicios, los cuales integran video, voz y datos. Con ella son posibles las conexiones de extremo a extremo, incluyendo datos y voz en la misma línea. Como ya se comentó el sistema de señalización ISDN no es limitado solamente para la voz, también puede ser utilizado para transmitir paquetes y así lograr una conmutación de paquetes a través de una interconexión de equipo de red.

### **1.3.3. Sistemas de señalización SS7**

Los sistemas de señalización SS7 fueron la sustitución de los sistemas R2 con la funcionalidad de separar las troncales de voz con la troncal de señalización; este sistema tiene la característica de poder hacer un tren de E1's utilizando solo una troncal para señalar el E1 y los E1 siguientes, solo tiene la sincronización en lugar de su predecesor el R2 que se sacrificaba 2 troncales por cada E1 colocado.

Este sistema es más completo ya que también soporta el intercambio de voz y datos, teniendo una estructura de mantenimiento y seguridad más sólida, siendo el más utilizado para telefonía móvil.

## **1.4. Códec de audio**

Es un conjunto de algoritmos que permite codificar y decodificar paquetes de audio para poder transmitirlos con menor tamaño en una trama o paquete sin perder su calidad. En los sistemas de comunicación TDM el formato más utilizado es G.711.

### **1.4.1. Códex G.711**

El códec g.711 es el más utilizado en la telefonía siendo un estándar de codificación para simular señales de audio en frecuencia de la voz humana. Del tamaño de 8 bits y 8000 muestras por segundo.

Existen dos métodos principales utilizados para la codificación y decodificación del estándar G.711, los cuales son a-law y  $\mu$ -law.

#### **1.4.1.1. Códex a-law**

Sistema de algoritmos utilizado con fines de compresión en aplicaciones para la voz humana mayormente usados en Europa y algunos países de Latinoamérica.

#### **1.4.1.2. Códex $\mu$ -law**

Sistema de algoritmos utilizado con fines de compresión en aplicaciones para la voz humana, mayormente empleado en Estados Unidos y Japón.

### **1.5. Erlangs**

En la telefónica es una unidad adimensional que es utilizada para medición estadística de volumen de tráfico sobre el tiempo que fue empleado un único canal; existe una variedad de tipos de Erlangsen, entre los cuales se pueden incluir el Erlang B y Erlang C. El Erlang B es llamado la fórmula de pérdida.

## **1.6. Ventajas y desventajas**

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de los sistemas TDM.

### **1.6.1. Ventaja de sistemas TDM**

Los sistemas TDM iniciaron el proceso de comunicación de extremo a extremo, lo hicieron de manera análoga hasta poder transmitir tramas de manera digital. También fue posible el envío de datos, video y voz utilizando códec de compresión y sistemas de señalización para tener una manera estable y segura de comunicación.

### **1.6.2. Desventaja de sistemas TDM**

Con el incremento de la demanda de sistemas de telecomunicación y el desarrollo de la tecnología de algunos sistemas, protocolos y códec son menos utilizados hoy en día, con la finalidad de dar más calidad de servicio a los usuarios y lograr una conexión en cualquier lugar del mundo.

Los costos para tener una línea arrendada o E1 en distancias muy largas se incrementan demasiado dejando por un lado esta opción de comunicación.

## **1.7. Modelo y dominio de red**

Existen fundamentos básicos de las redes de datos y voz, los cuales serán detallados en este capítulo.

### **1.7.1. Modelo OSI**

Modelo de interconexión de sistemas abiertos en inglés, *open system interconnection*. Es un modelo que consta de 7 capas o niveles; se rige en la transmisión de paquetes entre sistemas informáticos, donde cada capa o nivel tiene el papel de ejecutar algún proceso, ya sea colocar o quitar tramas en el proceso de envío o recepción del paquete.

Las 7 capas que conforma el modelo OSI son las siguientes:

- Capa física
- Capa enlace de datos
- Capa de red
- Capa de transporte
- Capa de sesión
- Capa de presentación
- Capa de aplicación

### **1.7.2. Capa física**

Es la capa más baja o capa uno del modelo OSI y generalizando es el medio de transporte por el cual se realiza el envío o recepción de trenes de bits; normalmente es utilizado en medios guiados siendo cobre o fibra óptica, pero para distancias sumamente largas es posible utilizar un medio no guiado. Algunos puntos importantes que realiza la capa física son los siguientes.

- Maneja los pulsos eléctricos de transmisión de datos
- Asigna frecuencia, ancho de banda y potencia para equipos no guiados
- Contiene las distintas topologías de red

### **1.7.3. Capa de enlace de datos**

Capa de enlace de datos o también llamada capa dos, es la encargada de mantener una conexión directa entre dos equipos. Siendo una capa lógica asegura el intercambio de flujo de tramas, detección y correcciones de errores.

### **1.7.4. Capa de red**

Capa de red o también llamadas capa tres se encarga del intercambio de paquetes entre dos equipos que no estén conectados directamente. Para que sea posible realizar dicho intercambio esta capa utiliza los llamados *routers*, equipos de frontera de redes que tienen la habilidad de alojar una o más redes y así obtener la comunicación de equipos que se encuentran en lugares geográficamente diferentes.

### **1.7.5. Capa de transporte**

Capa de transporte o también llamada capa cuatro, es la encargada del transporte seguro y no seguro entre un emisor y receptor; en esta capa se encuentran dos protocolos los cuales son UDP y TCP, uno no confiable y el otro confiable, respectivamente.

Las capas tres y cuatro están ligadas y para el envío de un paquete utilizan lo llamado *socket*, que consiste en unir una dirección o paquete de red con un puerto lógico de la capa de transporte.

Los protocolos TCP o confiables son llamados así porque cuando es enviado un paquete, el equipo receptor tiene que reenviar un paquete de recibido para indicar a su emisor que el mismo llegó sin errores. Por otro lado,



existen los paquetes no confiables que son los del protocolo UDP, mayormente utilizados en telefonía; estos no tienen una respuesta de que el paquete fue recibido.

### **1.7.6. Capa de sesión**

Ya establecida la comunicación entre dos o más equipos se encarga de que si existen interrupciones en el medio, no expire la comunicación; sus funciones son las siguientes:

- Agrupamiento
- Recuperación
- Control del diálogo

### **1.7.7. Capa de presentación**

La capa de presentación se rige en que cualquier equipo pueda entender lo enviado por el otro equipo, es decir, que esta capa se encarga de controlar los aspectos estructurales de la información para que cualquier dispositivo pueda presentarlos al recibirlos de otro dispositivo.

Las funciones de la capa de presentación son las siguientes:

- Compresión de datos
- Cifrado de datos
- Formato de datos

### 1.7.8. Capa de aplicación

Esta capa interactúa con la variedad de servicios que pueden utilizar las capas anteriores; el usuario no interactúa directamente con la capa siete, la variedad de servicios que contiene esta capa son muchos por lo cual solo se detallará en la siguiente tabla un pequeño listado que incluye los puertos propios de cada servicio.

Tabla III. **Protocolos y servicios**

| SERVICIO | PROTOCOLO | PUERTO  |
|----------|-----------|---------|
| FTP      | TCP       | 20 y 21 |
| DNS      | TCP y UDP | 53      |
| SSH      | TCP       | 22      |
| HTTP     | TCP       | 80      |
| HTTPS    | TCP       | 443     |
| SIP      | UDP       | 5060    |
| IAX      | UDP       | 4569    |
|          |           |         |

Fuente: elaboración propia.

### 1.8. Dominios público y privado de red

El dominio público es una estructura física y lógica donde se conforma la red; esta puede ser privada o pública; a continuación se describirán más detalles respecto de los tipos de redes que existen.

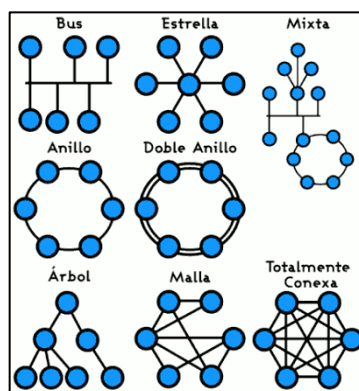
## 1.9. Topologías de red

Las topologías de red son arreglos y diseños utilizados por un conjunto de dispositivos para lograr el intercambio de paquetes y tramas.

Existen varios tipos de topologías, de las cuales se pueden enlistar las siguientes:

- Topología bus
- Topología estrella
- Topología mixta
- Topología anillo
- Topología doble anillo
- Topología árbol
- Topología malla
- Topología totalmente conexa

Figura 2. Topologías de red



Fuente: Wikipedia. [http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa\\_de\\_red](http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa_de_red). Consulta: 04 de abril de 2015.

### 1.10. Red de área local (LAN)

La red local es un conjunto de dispositivos o equipos que están unidos por el mismo nivel geográfico; en la mayoría de casos es un área geográfica pequeña, pero en algunos casos una red de área local puede alcanzar hasta 1000 usuarios. Las redes de área local junto con algún arreglo de topología son utilizadas en empresas desde microempresas hasta macroempresas.

Normalmente al utilizar una LAN se aplican las direcciones lógicas privadas, que corresponden a tres clases; se detallan las clases y los rangos de IP que contienen:

- Clase A
- Clase B
- Clase C

Tabla IV. IP privadas

| CLASE | RANGO DE IP                   |
|-------|-------------------------------|
| A     | 10.0.0.0 - 10.255.255.255     |
| B     | 172.16.0.0 - 172.31.255.255   |
| C     | 192.168.0.0 - 192.168.255.255 |

Fuente: elaboración propia.

### 1.11. Red de área amplia (WAN)

La red de área amplia tiene el mismo funcionamiento que una red local, solo que con un nivel geográfico mucho más grande; estas conexiones pueden extenderse por muchos kilómetros y países, están entrelazadas por cual sea el

medio; actualmente la fibra óptica puede cubrir varios kilómetros de distancia con pérdidas mínimas.

Cuando se trata de usar las redes como medio de comunicación como voz, datos o video, la redes WAN son las más utilizadas, ya que a través de internet se puede viajar entre varias redes amplias hasta llegar a su destino.

### 1.12. Internet

El internet también llamado la red de redes; es el conjunto de redes descentralizadas más grande del mundo que interconecta todas las capas del modelo OSI. Para conectarse a internet es necesario tener IP públicas o un proveedor de servicio de internet (ISP).

Tabla V. **IP públicas**

| CLASE | RANGO DE IP                 |
|-------|-----------------------------|
| A     | 1.0.0.1 - 126.255.255.254   |
| B     | 128.0.0.1 - 191.255.255.254 |
| C     | 192.0.0.1 - 223.255.255.254 |

Fuente: elaboración propia.

El internet revolucionó la manera de comunicación, ya que utilizándolo es posible compartir datos y realizar llamadas a un menor costo.



## **2. FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE VOZ SOBRE IP**

En el siguiente capítulo se dan a conocer conceptos básicos de la evolución de la telefonía tradicional; esta evolución es llamada voz sobre IP.

### **2.1. Tipos de comunicación voz sobre IP**

Existen varios tipos de comunicación de voz sobre IP, ya que al transcurrir los avances tecnológicos y la alta demanda del servicio se ha logrado integrar mejoras. A continuación se enumeran algunos de los equipos utilizados para abarca la demanda de voz sobre IP:

- Adaptador telefónico análogo (ATA)
- Teléfonos IP
- Softphone

#### **2.1.1. Adaptador telefónico análogo**

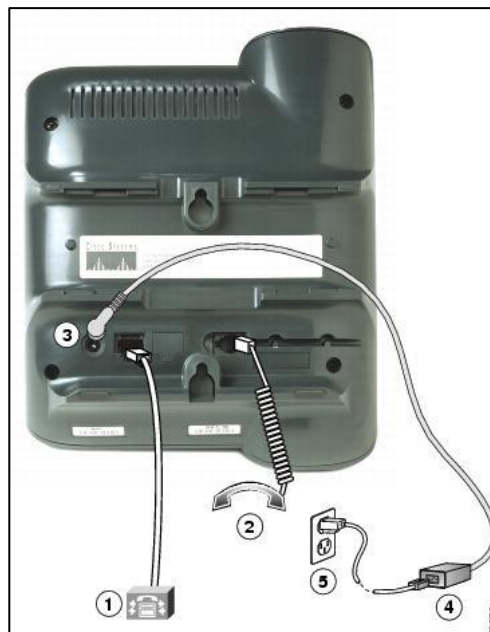
Al comienzo de la evolución de red de datos y comunicación IP fueron creados dispositivos que realizan la conversión de señales análogas hacia pulsos digitales; esta es la manera básica de conectar un teléfono convencional a la red de datos o hacia internet. Estos adaptadores análogos se encuentran preconfigurados de fábrica para el uso inmediato y así realizar llamadas.

### 2.1.2. Teléfonos IP

Los teléfonos IP son dispositivos de red que físicamente son iguales a un teléfono convencional con la diferencia que contiene un puerto RJ-45, este puerto comunica el dispositivo a otro dispositivo de red. Los teléfonos IP de fábrica ya contienen el software y hardware necesario para que puedan interactuar los *router* y *switch* en una topología de red privada o pública.

En los teléfonos IP también son incluidos los celulares ya que con WI-FI o paquetes de datos se pueden realizar llamadas de voz sobre IP a través del internet, abarcando así una generalidad en el uso del mismo.

Figura 3. Teléfono IP



Fuente: Cisco.

[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/voice\\_ip\\_comm/cuipph/7906g\\_7911g/8\\_0/english/administration/guide/11adm80/11setup.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/voice_ip_comm/cuipph/7906g_7911g/8_0/english/administration/guide/11adm80/11setup.html). Consulta: 08 de abril de 2015.



### 2.1.3. Softphone

Un *softphone* es software programado para realizar llamadas a través de un dispositivo; en este se incluyen las computadoras y *smarthphones*. Existe una gran variedad de aplicaciones, las cuales realizan la función y en ellas despliegan un teclado, un registro de las llamadas realizadas, recibidas y algunas otras aplicaciones incluyen mensajería instantánea.

Figura 4. **Softphone**



Fuente: Android SIP Client. <http://androidversion.country/android/android-sip-client.html>.

Consulta 08 de abril de 2015.

## **2.2. Protocolos de señalización de voz sobre IP**

Los protocolos de señalización de voz sobre IP son los encargados de iniciar, mantener y finalizar una llamada de voz sobre IP. Entre los protocolos más utilizados resaltan los siguientes.

- SIP
- IAX
- H323
- RTP

### **2.2.1. SIP**

SIP o protocolo de inicio de sesiones es el encargado de iniciar, modificar y finalizar la llamada; dicho en otras palabras es el que indica a los paquetes hacia dónde tiene que dirigirse y por cuánto tiempo tiene que hacerlo. Este protocolo busca ser el estándar de elementos de media, tales como voz, video y datos para las llamadas de voz sobre IP en el internet.

SIP interactúa con otra variedad de protocolos y sistemas de comunicación, ya que para la transmisión recepción y modificación de la sesiones utiliza IP, puertos y códec.

La funcionalidad del protocolo SIP recae en la cliente-servidor, debido a que utiliza una serie de peticiones con la cuales, dependiendo del estado, responderá o rechazará dicha sesión. SIP puede tener conexiones seguras e inseguras o TCP y UDP, respectivamente; para ello utiliza el puerto 5060 por *default*, si se requiere que la paquetería SIP sea encriptada, se utiliza el puerto 5061.

### **2.2.2. IAX**

Este protocolo de voz sobre IP utilizado para centrales telefónicas, fue creado por Digium. Siendo un código abierto es usado por servidores con servicio Asterisk. Este protocolo ha tenido una evolución al crear el IAX2, dejando la versión uno obsoleta.

El funcionamiento de IAX es bastante similar a SIP ya que también crea, controla y termina sesiones, siendo así un protocolo muy flexible para el flujo de datos, voz y video. La mejora IAX2 utiliza el puerto 4569 para señalización y comunicación final entre puntos.

IAX2 está creado para dar prioridad a los paquetes de voz sobre un red de datos IP, minimizar la carga y el ancho de banda en el flujo del tráfico sobre un puerto UDP.

### **2.2.3. H.323**

Protocolo que provee sesiones audiovisuales, donde es más utilizado para la señalización de videoconferencias. Siendo un protocolo un poco fiable para la voz y video, ya que no garantiza calidad de servicio. Este protocolo pertenece a la ITU-T (International Telecommunication Union), y hace referencia a otra lista de protocolos donde algunas funciones son los siguientes:

- H.225.0
  - Señalización, empaquetamiento y sincronía
- H.245
  - Control de multimedia
- H.450

- Suplementos
- H.235
  - Seguridad del protocolo
- H.239
  - Doble trama para videoconferencias

#### **2.2.4. RTP**

Protocolo de transporte de tiempo real es un protocolo a nivel de sesión utilizado para el transporte de multimedia ya sea audio y video, en conjunto con SRTP (*secure real-time transport protocol*, en inglés); tiene la funcionalidad de crear video-conferencias, el SRTP es más confidencial, autentica los mensajes y la seguridad de envío.

RTP fue diseñado para transportar la multimedia por redes IP, muy popular en plataformas VOIP y directamente relacionado con los protocolos SIP y H.323, teniendo así como función agregar números de secuencia a todos los paquetes IP dirigidos hacia el destino, y de ese modo controlar y rearmar la secuencia puesta en el origen.

RTP no tiene solo un puerto específico UDP, incluye una variedad de puertos disponibles para el transporte RTP, en los cuales se tienen del 1024 hasta 65335, pero en los servidores Asterisk son utilizados por *default* del 10000 al 20000.

### **2.3. Códex de comprensión de voz sobre IP**

Como fue mencionado en el apartado de códec de audio, los códec son conjunto de algoritmos que permiten codificar y decodificar paquetes de audio; para tramas TDM o IP tienen el mismo funcionamiento.

Para tramas y paquetes TDM los que más resaltan son G.711 que se desglosan en: a-law y  $\mu$ -law. Esto también puede ser utilizado en plataformas de voz sobre IP. Pero el códec de audio más utilizado es el G.729.

#### **2.3.1. G.729**

El códec G.729, siendo un algoritmo de compresión de datos de audio, comprime audio en trozos de 10 milisegundos, los tonos DTMF y el fax no es posible transmitirlos en códec G7.29.

El G.729 es utilizado en su mayoría para la voz sobre IP, teniendo una tasa de 8 kbit/s es posible realizar extensiones para mejorar o empeorar la calidad de voz algunas extensiones son de 6,4 kbits/s o 11,8 kbit/s.

Derivado de G.729 existe G.729a que es compatible en todo sentido, pero con menor procesamiento de cómputo afectando la calidad de conversación.

## **2.4. Ventajas y desventajas**

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de sistemas voz sobre IP.

### **2.4.1. Ventajas de sistemas voz sobre IP**

- Al implementar la telefonía de voz sobre IP, es reducido el costo de enlaces dedicados, ya que la paquetería viaja por internet.
- Al utilizar códec es posible tener una reducción muy significativa del ancho de banda, optimizando así el tráfico de llamadas concurrentes.
- La demanda crece, ya que es posible realizar llamadas de voz sobre IP en teléfonos inteligentes, dando comodidad para el uso del servicio.
- Incluyen más servicios como videoconferencias y mensajería.

### **2.4.2. Desventajas de sistemas voz sobre IP**

- La desventaja más sobre saliente de voz sobre IP, es que para utilizar el servicio es necesario tener una conexión de paquetes de datos o WI-FI para poder lograr comunicación.
- El costo de los equipos de conmutación es más elevado.
- Se incrementa el entrecorte y retraso al utilizar el servicio.

### **3. PROPUESTA DEL DISEÑO DE LA SOLUCIÓN Y EVALUACIÓN DE COSTOS**

El siguiente capítulo se centrará en la manera en que pueden congeniar los dos sistemas: los de comunicación TDM y los de comunicación VOIP.

Se hace énfasis en los equipos, sistemas operativos y servicio que pueden tener un impacto en la funcionalidad de los mismos, como también los posibles puntos de falla que se puedan tener en el proceso de conversión TDM hacia IP, ya que la conversión surge de un equipo digital hacia un equipo de red *Ethernet* en el cual se desenvuelven factores de pérdida y retrasos.

Se entrará en detalle a la descripción de las ventajas de la conversión, ampliar el cuello de botella que tendrá la paquetería, las maneras de monitoreo de tráfico en tiempo real y los incontables alcances que son posibles, utilizando redes IP para el tráfico de llamadas de voz.

Se detallará la estructura de conversión de TDM, viajando por una red IP con el fin de proporcionar un enlace menos costo y estable.

#### **3.1. Sistema operativo y de servicios**

Ya que el procesamiento de llamadas requiere de una gran exigencia de recursos de hardware y software, se detallarán algunos requisitos para poder tener un tráfico aceptable de llamadas.

### **3.1.1. Sistema operativo**

Los sistemas operativos Linux server LTS tienen la habilidad de soportar la exigencia del procesamiento de paquetería UDP. Es posible conocer cuál sea el distro, pero en este documento se recomienda Debian.

Cualquiera de versiones de Debian que se desee utilizar es soportada por plataformas de voz sobre IP, en donde las versiones antiguas tengan limitaciones como la incompatibilidad de kernel; esto se refiere a que algunos servicios utilizan cierta relación software-hardware para la conversión de llamadas.

Otra ventaja de utilizar un sistema operativo como Debian es que hay una basta documentación en internet y foros dedicados a la conectividad de llamadas por medio de plataformas de voz sobre IP.

### **3.1.2. Servicios**

La plataforma de llamadas es un conjunto de software y hardware que interactúa para procesar una llamada.

#### **3.1.2.1. Asterisk**

Es una plataforma de software libre utilizada para interconectar llamadas; en algunos casos llamadas como PBX Asterisk tiene la funcionalidad de iniciar, transferir y finalizar una llamada sea desde la PSTN o de un proveedor de voz sobre IP. Asterisk tiene una gran gama de funcionalidades entre ellas tiene protocolos de comunicación propios como lo es IAX; también puede utilizar SIP y RTP.



Asterisk contiene varias características que en software pagado son demasiado caras; entre ellas están: el buzón de voz, IVR y conferencias.

Como fue mencionado con anterioridad, Asterisk y otros servicios tienen la capacidad de convertir y transportar llamadas desde una red digital PSTN hacia una red IP, utilizando los siguientes servicios:

- Dahdi
- Wanpipe

#### **3.1.2.1.1. Dahdi**

Este servicio es el encargado de hacer congeniar los puertos de las tarjetas, donde en algunos archivos de configuración se encontrará la manera como se desea que sean los canales; ahí se respetarán los protocolos de señalización digital y los 32 canales por E1. En las posibles configuraciones de Dahdi es posible incluir algunos módulos que son openR2 y Libpri, que son utilizados para la comunicación de protocolos análogos como R2 y protocolos digitales que son ISDN.

#### **3.1.2.1.2. Wanpipe**

Wanpipe es el encargado de controlar las tarjetas; es el *firmware* de ellas; ahí es posible configurar el orden de cada puerto de las tarjetas.

### **3.2. Detalle de servidores y tarjetas**

Un servidor es una súper computadora que por ende tiene alto procesamiento y rendimiento; son creados con una tolerancia a fallas alta.

### 3.2.1. Servidores

El servidor tiene como fin cumplir con los rendimientos que sean sometidos; para un servidor de llamadas de voz sobre IP es necesario tener un servidor, ya que un tráfico alto de llamadas oscila entre 1000 a 5000 llamadas concurrentes. Para el caso de servicios de multimedia, que es paquetería UDP, también son utilizados para otros procesamientos de paquetes TCP.

### 3.2.2. Tarjetas sangoma

Como fue mencionado con anterioridad es necesario tener tarjetas que se acoplen a la tecnología R2 e ISDN; para ello son utilizadas las tarjetas Sangomas que son controladas por el módulo Winpipe.

Estas tarjetas son las encargadas de recibir las tramas digitales, conducirlas y enviarlas al procesamiento para luego entregarlas de manera IP a un puerto ethernet.

Figura 5. **Tarjeta sangoma**



Fuente: TelephonyCards. <http://www.sangoma.com/products/>. Consulta: 30 de abril de 2015.

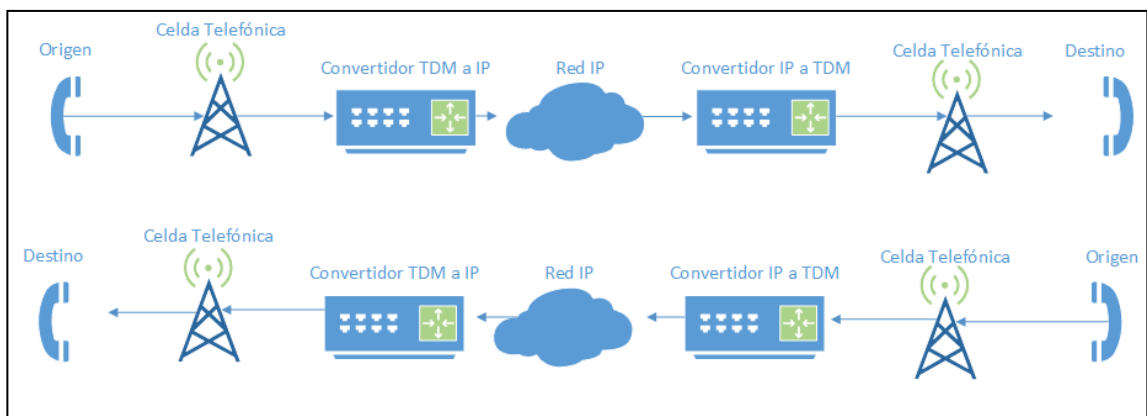
Existen varias gama de tarjetas Sangomas de 4 puertos hasta 16, las cuales en cada puerto es posible configurar un E1 y por ende realizar un arreglo.

### 3.3. Conversión sistemas TDM a sistema voz sobre IP

Para que pueda realizarse una conversión de los dos sistemas es necesario contemplar un equipo que tenga la funcionalidad de enrutador de llamadas TDMoIP; esto quiere decir que debe tener la capacidad de recibir una trama digital y convertirla a un paquete IP, tomando en cuenta que este paquete IP viajará por la red para luego regresar la trama digital.

La figura 5 indicará el proceso, realizando una llamada de origen en la red TDM y viceversa, utilizando como medio la red IP para finalizar la llamada en una red TDM.

Figura 6. TDM o IP



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio.

A continuación se detallará el proceso y los pasos a seguir de una llamada generada desde la PSTN, utilizando un ducto IP para luego finalizar la llamada TDM.

- Origen
- Celda telefónica
- Convertidor TDM sobre IP
- Red IP
- Convertidor IP a TDM
- Destino

### **3.3.1. Origen**

Usuario origen es el que tiene la capacidad de generar llamadas a cualquier destino por medio de los operadores existentes en la PSTN. El usuario de origen puede realizar una llamada TDM o una llamada IP, según más convenga.

### **3.3.2. Celda telefónica**

Una celda telefónica en esta parte del trayecto de la llamada es la encargada de desmodular la señal de radio frecuencia recibida por el usuario origen, separando la frecuencia de la portadora como también la de mensaje, para luego ser muestreada y tramar la llamadas en un E1; en esta parte del trayecto de la llamada se les asigna el protocolo R2, ISDN o SS7, el cual le proporcionará la señalización a las tramas para que pueda ser transmitida con un método llamado TDM (multiplexación por división de tiempo) sobre algún medio, ya sea fibra óptica, radio frecuencia o simplemente cable.

### **3.3.3. Convertidor TDM sobre IP**

Esta parte es la encargada de tomar la trama o tramas de E1's y empaquetarla para que la trama convencional de E1 que consta de 2048 kbps, que es el ancho de banda de E1 y empaquetarla de manera IP.

Para ello se necesita servidores que son computadores con alta capacidad de procesamiento, teniendo un sistema operativo Linux con un software libre llamado Asterisk, que es el encargado de empaquetar como también asignar protocolos de comunicación que es posible mencionar el SIP o IAX2 que son acompañados con algunos códec; uno de ellos es G.729 que es el encargado de empaquetar cada canal que consta de 64 kbps a un ancho de banda de 8 kbps; como se mencionaba, cada trama E1 es transmitida TDM por tramas IP, dando cabida que la trama TDM pueda viajar por conexiones de una red LAN o WAN y así dar más estabilidad a la compresión y multiplexación que tenían los sistemas convencionales.

Otra característica que falta mencionar es que no solo se puede empaquetar un solo E1, sino varios, ya que estos servidores contienen tarjetas llamadas Sangomas que puede tener 4, 8 y 16 E1's.

### **3.3.4. Red IP**

Es el medio por el cual se interconectan los dos convertidores; dichos convertidores puede tener un medio como radio frecuencia; este bus LAN da la herramienta para poder comunicarse entre sí dichos equipos, actualizar bases de datos, verificar estatus entre equipos, consumos y también ayuda a escalar falla entre ellos, ya que la comunicación pasó a ser ethernet; se puede realizar

un simple test llamando a realizar un *ping* entre equipos, para saber si el medio se encuentra a la perfección o quizás esté teniendo pérdidas.

### **3.3.5. Convertido de IP a TDM**

Toda transmisión se necesita un multiplexor como un demultiplexor este paso es el encargado de demultiplexar nuevamente los E1's transmitidos en el medio. Esta parte toma los paquetes que viajan por Ethernet de manera desordenada y los ordena y vuelve nuevamente tramas de E1, limpios de compresión; como se mencionó en el paso 3 puede demultiplexar 16 E1's que serán recibidos en la central telefónica para motivos de conmutación hacia otros operadores o la red interna de la compañía.

### **3.3.6. Destino**

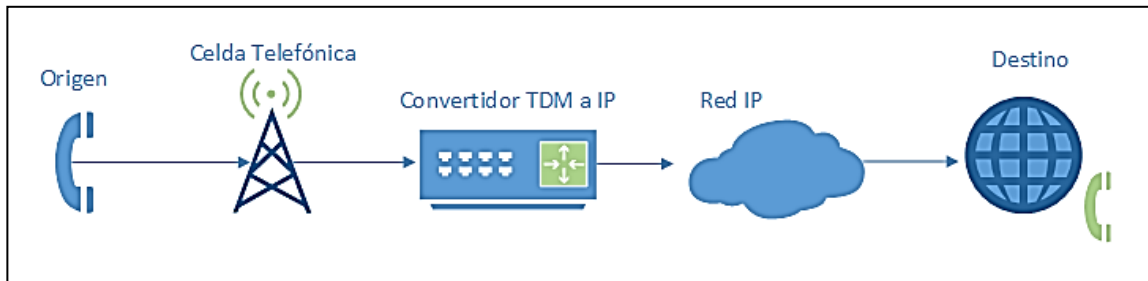
En esta fase del proceso la llamada llega a su destino, siendo totalmente transparente para el usuario.

## **3.4. Conversión de TDM sobre IP**

Este proceso es similar al anterior con la única diferencia que es recibido TDM, pero lo envía hacia una red IP.

Esta modalidad es muy utilizada para que un sistema TDM pueda reducir sus costos de llamadas de larga distancia, ya que solo es necesario un puente ancho de banda para poder enviar la llamada a un proveedor incluido en el servicio Asterisk.

Figura 7. TDM hacia una red IP



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio.

### 3.5. Evaluación de costos

En el siguiente apartado se colocará la evaluación de costos que se pueda tener al implementar o no esta solución. Es válido aclarar que en los costos iniciales que se tendrán, serán recuperados a largo o mediano plazo.

Se detallarán 3 costos, en los cuales se incluye lo siguiente:

- Utilizando la solución de sistemas TDM convertido a sistemas de voz sobre IP.
- Un sistema TDM donde se arrenda el equipo que incluye transmisión, potencia; se construirá un torre de transmisión y se incluirá materiales.
- Un sistema TDM donde se arrendará el equipo que incluye equipo de transmisión, potencia y la torre de transmisión.

Cada evaluación de costo incluye el lado de transmisión como el de recepción de tráfico, aunque también solo se podría necesitar la transmisión cuando se refiere a sistemas de TDM.

Tabla VI. Costo implementación TDM o IP

| Cant. | Descripción  | Costo unidad | Costo total        |
|-------|--|--------------|--------------------|
| 2     | SUPER Server 6025B-8R+V /6025B-8R+B  | \$ 1 599,99  | \$ 3 199,98        |
| 2     | INTEL / 2.66Ghz Xeon dual-core   | \$ 420,36    | \$ 840,72          |
| 2     | 4GB 2RX4 , DDR2 SDRAM  | \$ 176,40    | \$ 352,80          |
| 2     | FUJITSU Enterprise MBA3300NC - Hard drive - 300 GB Ultra320 SCSI - 15000 rpm | \$ 174,50    | \$ 349,00          |
| 2     | Sangoma A104E QuadT1/E1 AFT Interface card - Asterisk Interoperable with PCI | \$ 1 395,70  | \$ 2 791,40        |
| 1     | Plataforma Dahdi, Winpipe, Open R2 y Asterisk                                | Gratuito     | Gratuito           |
| 1     | Sistemas operativos, Linux Ubuntu  | Gratuito     | Gratuito           |
| 2     | Monitor  | \$ 50,00     | \$ 100,00          |
| 2     | Teclado  | \$ 15,00     | \$ 30,00           |
| 1     | Materialesvarios   | \$ 100,00    | \$ 100,00          |
| 1     | Enlace de internet/renta mensual   | \$ 50,00     | \$ 50,00           |
|       | <b>TOTAL.</b>  |              | <b>\$ 7 813,90</b> |

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Costo de construcción de torre y arrendamiento de equipo para sistemas TDM

| Cant. | Descripción   | Costo unidad | Costo total        |
|-------|---|--------------|--------------------|
| 1     | Materialesvarios                                      | \$ 1 000,00  | \$ 1 000,00        |
| 1     | Enlace dedicado/renta mensual por E1                  | \$ 300,00    | \$ 300,00          |
| 2     | Torre de transmisión una sección                      | \$ 3 000,00  | \$ 6 000,00        |
| 2     | Arrendamiento de equipo de transmisión /renta mensual | \$ 250,00    | \$ 500,00          |
|       | <b>TOTAL.</b>   |              | <b>\$ 7 800,00</b> |

Fuente: elaboración propia.



**Tabla VIII. Costo de arrendamiento de equipo e infraestructura de sistemas TDM**

| <b>Cant.</b> | <b>Descripción</b>                                    | <b>Costounidad</b> | <b>Costo total</b> |
|--------------|---|--------------------|--------------------|
| 1            | Materialesvarios                                      | \$ 100,00          | \$ 100,00          |
| 1            | Enlace dedicado/renta mensual por E1                  | \$ 300,00          | \$ 300,00          |
| 2            | Torre de transmisión /renta mensual                   | \$ 800,00          | \$ 1 600,00        |
| 2            | Arrendamiento de equipo de transmisión /renta mensual | \$ 250,00          | \$ 500,00          |
|              | <b>TOTAL.</b>   |                    | <b>\$2 500,00</b>  |

Fuente: elaboración propia.



## **CONCLUSIONES**

1. Definidos los fundamentos de los sistemas de comunicación TDM es posible una convergencia de ambos sistemas.
2. Definidos los fundamentos de voz sobre IP se logra fomentar los ilimitados alcances que pueden ser logrados al implementar el sistema.
3. Expuesta la propuesta del diseño y la evaluación de costos, se logra una optimización de tráfico y reducción de costos a mediano plazo.



## RECOMENDACIONES

1. El personal encargado del monitoreo debe tomar en consideración la pérdida que habrá en la recepción y transmisión del tramado TDM.
2. El personal encargado de la planificación y monitoreo debe tomar en cuenta las múltiples herramientas que se pueden utilizar cuando el tráfico transita de manera IP.
3. El personal administrativo debe considerar que la implementación del sistema tendrá un retorno a mediano y largo plazo.



## BIBLIOGRAFÍA

1. *E1*. [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/E1>>. [Consulta: 30 marzo de 2015].
2. *Erlangs*. [en línea]. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Unidad\\_Erlang](http://es.wikipedia.org/wiki/Unidad_Erlang)>. [Consulta: 6 abril de 2015].
3. *G.729*. [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/G.729>>. [Consulta: 21 abril de 2015].
4. *IAX2*. [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/IAX2>>. [Consulta: 21 abril de 2015].
5. *Modelo OSI*. [en línea]. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_OSI](http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_OSI)>. [Consulta: 5 abril de 2015].
6. *Protocolo IP*. [en línea]. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Internet\\_Protocol](http://es.wikipedia.org/wiki/Internet_Protocol)>. [Consulta: 5 abril de 2015].
7. *Protocolos RTP/RTCP*. [en línea]. <<http://es.kioskea.net/contents/278-protocolos-rtp-rtcp>>. [Consulta: 20 abril de 2015].
8. *Tipos de comunicación en telefonía la IP*. [en línea]. <<http://www.telefoniavozip.com/voip/tipos-de-comunicacion-en-la-telefonía-ip.htm>>. [Consulta: 20 abril de 2015].

9. *Señalización*. [en línea]. <<http://wikitel.info/wiki/Se%C3%B1alizaci%C3%B3n>>. [Consulta: 30 abril de 2015].