UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
Urb. Montalbán - La Vega - Apartado 29068
Teléfono: 407-4493 Fax: 407-4590
Caracas, 1021 - Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones

ANALISIS TECNICO DE LA RED DE DATOS Y TELEFONICA DE LA UCAB PARA LA IMPLEMENTACION DE LA TECNOLOGIA DE VOZ SOBRE IP

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR: Luis Fernando Ascanio

TUTOR: Prof. Victor Nesterovsky

Caracas, 28 de febrero de 2008

ANALISIS TECNICO DE LA RED DE DATOS Y TELEFONICA DE LA UCAB PARA LA IMPLEMENTACION DE LA TECNOLOGIA DE VOZ SOBRE IP

Ascanio, Luís

ascanioluis@yahoo.com

Considerando el notable y creciente auge que desde hace ya varios años viene tomando la tecnología de voz sobre IP, o VoIP (*Voice over Internet Protocol)*, así como los frecuentes inconvenientes que se presentan en dichas redes paquetizadas, a la hora de implementar este tipo de tecnología, se planteó la realización de este Trabajo Especial de Grado, cuyo objetivo principal es estudiar, y analizar el comportamiento que presentarían las redes de Datos la UCAB-Antimano, al implementar servicios de VoIP.

Este estudio se llevó a cabo gracias a la utilización de la herramienta de *software* NetIQ Chariot la cual está especialmente diseñada para medir, estudiar y analizar el rendimiento de ésta, y otras tecnologías importantes, sobre redes IP. Mediante el uso de esta aplicación, fue posible llevar a cabo una serie de experiencias prácticas sobre las infraestructuras de Red de Datos de la Universidad Católica Andrés Bello con cede en Antimano. NetIQ Chariot, es una de las aplicaciones más robustas para realizar este tipo de pruebas, ya que permite generar tráfico de forma controlada que simula el establecimiento de llamadas dentro de una red IP, además al concluir la prueba proporciona una gran cantidad de información detallada; que permite al operador de la prueba estudiar, y analizar el comportamiento que tendría implementar VoIP en una plataforma de red específica, así como tomar medidas preventivas que aseguren el correcto funcionamiento de la aplicación en caso de que realmente se lleve a cabo la implementación.

Palabras Clave: VoIP, NetIQ Chariot, UCAB.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO 11

I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11

I.2 OBJETIVOS 13

I.2.1 Objetivo General 13

I.2.2 Objetivos Específicos 13

I.3 ALCANCES Y LIMITACIONES 14

CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL 15

II.1 LAS REDES TELEFONICAS 15

II.1.1 Redes de Conmutación de Circuitos 16

II.1.2 Redes de Conmutación de Paquetes 17

II.1.3 Central Telefónica Digital 18

II.2 VOICE OVER INTERNET PROTOCOL (VOIP) 18

II.2.1 Funcionamiento 20

II.2.2 Principales componentes de una red VoIP 21

II.2.3 Ventajas de la Tecnología de Voz sobre Ip 25

II.2.4 Calidad de Servicio 25

II.2.5 Protocolos VoIP 29

II.3 Herramientas de *software* de monitoreo y pruebas de servicios de VoIP .. 31

II.3.1 Chariot de NetIQ 32

CAPÍTULO III METODOLOGÍA 32

III.1 FASE 1: Desarrollo del marco referencial. 32

III.2 FASE 2: Definición de parámetros a medir 33

III.3 FASE 3: Descripción de la infraestructura de las redes de Datos y Telefónica de la UCAB con cede Antimano, sobre las cuales se realizarán las experiencias prácticas. 33

III.4 FASE 4: Definición de pruebas a realizar 34

III.5 FASE 5: Realización de experiencias prácticas en las instalaciones del CAI, UCAB cede Antimano 34

III.5.1 Caracterización del enlace 34

III.5.2 Pruebas de desempeño de VoIP. 35

III.6 FASE 6: Estudio técnico comparativo 35

CAPÍTULO IV RESULTADOS 37

IV.1 FASE 2: Definición de parámetros a medir 37

IV.1.1 Parámetros objetivos 37

IV.1.2 Parámetros subjetivos 37

IV.2 FASE 3: Descripción de la infraestructura de las redes de Datos y Telefónica de la UCAB con cede Antimano, sobre las cuales se realizarán las experiencias prácticas 39

IV.2.1 Descripción de la infraestructura de la Red de Datos de la UCAB. .. 41

IV.3 FASE 4: Definición de pruebas a realizar. 46

IV.3.1 Ubicación de los componentes del Chariot. 46

IV.3.2 Caracterización del enlace 47

IV.3.3 Pruebas de desempeño de VoIP 48

IV.4 FASE 5: Realización de experiencias prácticas en las instalaciones del CAI (Centro para la Aplicación de la Informática). 50

IV.4.1 Caracterización de los enlaces. 50

IV.4.2 Pruebas de desempeño de VoIP. 56

IV.5 FASE 6: Estudio técnico comparativo 56

IV.5.1 Sección 1: Comparación del MOS en función del tráfico de voz sin supresión de silencio. 57

IV.5.2 Sección 2: Comparación de resultados para cada *codec* en función del uso de supresión de silencio. 59

IV.5.3 Sección 3: Análisis comparativo entre *codecs*, en función del MOS y un sobredimensionamiento del tráfico de voz. 62

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 64

V.1 Conclusiones 64

V.2 Recomendaciones 65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. **Principales Componentes de una red VOIP. (Ledford, Jerri. Voz sobre IP, (http://www.cespa.es/ga/recetga/ proxrecet.html. 2006)** 21

Figura 2 **Esquema de Comunicación VoIP utilizando un ATA. (Ledford, Jerri. "*Cut the Cord!: The Consumer's Guide to VoIP*". 2006))** 24

Figura 3 **Teléfono IP Cisco 7941G. (Cisco Systems http://www.cisco.com. 2006.))** ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 4. Intercambio de Mensajes para el Establecimiento de una sesión mediante SIP de voz (Bhumip Khasnabish. "Implementing Voice Over Ip". 2003) 30

Figura 5. Descripción del acceso entre redes telefónicas privas y publicas . **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 6. **Descripción de la Red Telefónica UCAB. (Autor)¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7. Infraestructura y topología física de la red UCAB-Antimano (Autor). 42

Figura 8. Esquema de distribución de la Red UCAB-Antimano (Autor). 43

Figura 9. Ubicación de los componentes del Chariot dentro del escenario de pruebas (Autor) 46

Figura 10. Ubicación de los componentes del Chariot en el desarrollo de prueba. (Autor) 48

Figura 11. Trafico de la Red de Datos del día 16/01/08. (Autor). Herramienta RDTOOL. 52

Figura 12. Trafico de la Red de Datos semana del 14/01/08 al 18/01/08. (Autor). Herramienta RDTOOL. 52

Figura 13. Trafico de la Red de Datos mes de Diciembre del 2007. (Autor). Herramienta RDTOOL. 52

Figura 14. *Throughput* en el sentido del extremo A al extremo B (Autor). ... 53

Figura 15. *Throughput* VLAN Reserva -------VLAN AULAS viceversa.(Autor).55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recomendación ITU G.114. Tiempos de retardo extremo a extremo recomendados. (OEA: Comisión Interamericana De Telecomunicaciones "Carpeta Técnica: Estructura Del Estudio Sobre Características De La Voz Basadas En Redes Que Usan Ip". 2004) 26

Tabla 2. Escalas de Evaluación para Calidad de Servicio UIT P.800. (Hardy, William. *VoIP Service Quality*. 2003) 27

Tabla 3. Comparación técnica - Tipos de codec (Hardy, William. "*VoIP Service Quality*". 2003) 28

Tabla 4. Comparación de l MOS obtenido (Autor). 58

Tabla 5. Comparación del Throughput obtenido (Autor). 58

Tabla 5. Comparación del Throughput obtenido (Autor). 61

Tabla 7. Comparación de l MOS obtenido (Autor). 63

Tabla 8. Comparación de l MOS y Throughput obtenido (Autor). 63

INTRODUCCION

Con la finalidad de presentar de una manera clara, breve y precisa la labor que se llevó a cabo en la realización de este Trabajo Especial de Grado; se presenta el siguiente documento, describe detalladamente todas las fases del proyecto.

El documento está estructurado de la siguiente manera: una parte preliminar donde se encuentran la portadilla, la hoja de evaluación, así como también el resumen, la dedicatoria y agradecimientos, el índice general y de figuras, y finalmente la presente introducción. Seguidamente se presenta la parte central, donde se concentra la parte más importante del Trabajo Especial de Grado, y se divide en varios capítulos: El primero de ellos describe la presentación del proyecto, el problema planteado, los objetivos propuestos, así como los alcances y limitaciones del mismo. El segundo capítulo presenta la revisión bibliográfica realizada previamente a la realización del proyecto. El tercer capítulo establece la metodología utilizada para resolver el problema planteado, y describe en detalle todas las actividades realizadas para alcanzar los objetivos planteados. El capítulo cuatro, muestra los resultados obtenidos y su respectivo análisis. Finalmente el capítulo cinco incluye todas las conclusiones y recomendaciones luego de culminado el Trabajo Especial de Grado, y el séptimo y último capítulo las referencias bibliográficas utilizadas. Posteriormente se presentan los apéndices, que sirven de información complementaria para el entendimiento del trabajo realizado.

La implementación de servicios de VoIP en grandes plataformas de red, es una tendencia casi obligatoria en la actualidad. Le invitamos a leer el presente documento donde podrá encontrar respuestas a sus inquietudes, si pretende implementar este tipo de servicios y conocer los principales factores conocidos que limitarán el rendimiento de los mismos dentro de una plataforma de red satelital o de microondas.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un aspecto ha resaltar en el mundo actual es el avance vertiginoso que han sufrido las telecomunicaciones, cuya evolución ha sido tan rápida que hasta hace unos 150 años se pasó del telégrafo a la casi integración de las redes de telecomunicaciones actuales. Entre estos avances se debe mencionar el del campo de la telefonía, el cual ha experimentado cambios tecnológicos muy importantes: de una conmutación manual en sus inicios, pasando por una conmutación electromecánica, hasta llegar a equipos totalmente electrónicos que se encargan de comunicar a los usuarios.

Durante el desarrollo de la telefonía el hombre se dio cuenta que no solo necesitaba transmitir la voz, sino que también transmitir otro tipo de información y de una manera eficiente y segura, lo que dio como resultado a lo que hoy se conoce como Internet. Lo que se pensó una vez como una red para ese otro tipo de información ahora es una tecnología que conforma una red global a la cual se puede acceder desde casi cualquier parte del mundo (Internet).

Unir esta red de datos con la red telefónica es integrar la necesidad de comunicación del hombre en una sola red y hoy día esto es una realidad. Este gran paso tecnológico es lo que se conoce como VoIP, "*Voice over Internet Protocol*". Básicamente (de forma muy general) es una tecnología que permite la transmisión de voz, a través de redes basadas en conmutación de paquetes, como las redes basadas en los protocolos TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*).

Cuando se realizan transmisiones de voz, éstas son sensibles al retardo y esto se debe a la naturaleza misma del habla, es decir, dos interlocutores cuando utilizan la red telefónica para comunicarse, emplean una transmisión full dúplex; que

permite que ambos puedan hablar y escuchar al mismo tiempo. Cuando este tipo de comunicación sufre algún retardo, resulta desagradable para los entes involucrados en la comunicación; impidiendo a ambos recibir correctamente la información enviada por su interlocutor. Este es uno de los retos más grandes que se tienen cuando se quiere transmitir voz sobre redes paquetizadas basadas en los protocolos TCP/IP.

El caso específico que nos compete en este Trabajo Especial de Grado es la necesidad de obtener una solución para fusionar la red de datos y la red telefónica de la UCAB. A fin de reducir los costos que implica el alquiler y mantenimiento de una central privada telefónica, rentada a la compañía Siemens, para gestionar el trafico interno telefónico de la cede Antimano. Para ello se plantea la posibilidad de utilizar la infraestructura de la red de datos existente para implementar la tecnología de VoIP. Con la implementación de dicha tecnología no solo se disminuirían los costos, sino también se disfrutaría de una amplia gamma de servicios que ofrece la tecnología que las centrales telefónica no pueden dar.

Pero antes de dicha implementación se requiere hacer un estudio técnico de la red interna de datos de la UCAB para garantizar que dicha red pueda soportar el tráfico de voz y de datos simultáneamente manteniendo la misma calidad de servicio que actualmente se presta con el uso de la central telefónica.

Dicho estudio técnico se plantea para responder a las siguientes interrogantes:

¿Qué recomendaciones se deben generar para implementar la solución dentro de ciertos parámetros relacionados con la calidad de servicio para VoIP?

¿Cuál será el dimensionado de la red para soportar ambos tráficos: datos y voz?

¿Cómo seria el comportamiento tentativo de la red una vez que se implemente la tecnología?

I.2 OBJETIVOS

I.2.1 Objetivo General

Realizar el Análisis Técnico de la Red de Datos y la Red Telefonica de la UCAB y generar recomendaciones para la Implementación de la Tecnología de Voz sobre el Protocolo de Internet en la red de la UCAB.

I.2.2 Objetivos Específicos

- Estudiar teóricamente de la tecnología de VoIP y calidad de servicio asociada (QoS), dentro de los límites impuestos por las redes de área local y telefónica de la UCAB.
- Recopilar la información de la infraestructura de la red de datos y de la red telefónica de la UCAB.
- Estudio del tráfico telefónico y de la red de datos local de la UCAB.
- Dimensionado de la red local para soportar el trafico telefónico bajo tecnología VoIP.
- Estudio técnico para mantener un nivel satisfactorio de calidad de servicio para VoIP sobre la red de área local de la UCAB.
    - Definición de un entorno de pruebas.
    - Realización de pruebas sobre la red de área local de la UCAB.
    - Evaluación de los resultados.
- Recomendaciones para implementar la tecnología VoIP desde el punto de vista de factores que influyen en el desempeño de la voz en redes paquetizadas y factor de calidad del servicio.

I.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Este Trabajo Especial de Grado incluirá un estudio técnico de la red interna de datos de la UCAB para la prestación de servicios de voz sobre IP.

Al igual incluirá un estudio detallado de la red telefónica que presta servicios en la UCAB, tomando en cuenta la cantidad de abonados que esta posee y su infraestructura.

Igualmente, este Trabajo Especial de Grado, incluirá la realización de experiencias prácticas dentro de las instalaciones del CAI para estudiar el funcionamiento de la red interna frente a la prestación de servicios de voz sobre IP. De la misma forma, se presentará la debida documentación de los resultados obtenidos en estas experiencias prácticas, que sirvan de sustento a la investigación que se lleva a cabo. Con este desarrollo de experiencias se pretende presentar un estudio exhaustivo de los parámetros que influyen en la calidad de servicio cuando se implementa la tecnología VoIP sobre redes paquetizadas. Y evidenciar el comportamiento de la red si se implementa la tecnología.

Este Trabajo Especial de Grado, pretende presentar un estudio técnico para evaluar el comportamiento de la red frente a la implementación de servicios de voz sobre IP en la red interna universitaria, sin embargo, queda en manos del CAI determinar si dicha solución de VoIP será implementada; lo cual podría estar determinado por otros factores externos a los resultados obtenidos con este Trabajo Especial de Grado, como la factibilidad económica, la rentabilidad de la solución, entre otras.

CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se busca familiarizar al lector con los conceptos relacionados con el desarrollo del Trabajo Especial de Grado, para que éste obtenga un conocimiento que sirva de referencia y sustente el desarrollo del Trabajo Especial de Grado.

El capítulo se divide en dos macro temas: los sistemas de redes telefónicos y sus tipos, y la tecnología de VoIP. En el primer tema se introduce al lector de manera general en los conceptos relacionados con los sistemas de redes telefónicos y los distintos tipos de redes que existen y por último se desarrollan los conceptos de la tecnología de VoIP, su funcionamiento, protocolos asociados, parámetros de calidad, etc.

Introducción

Todos los días cada uno de nosotros emplea las Telecomunicaciones en las actividades personales y de trabajo. Siempre utilizamos el teléfono para tener conversaciones a distancia y poco a poco estamos integrando a una sociedad en la cual la computadora personal y la transferencia de información juegan un papel muy importante de desarrollo.

II.1 LAS REDES TELEFONICAS

De la red telefónica se pueden destacar tres elementos fundamentales, el primero de ellos es el que tiene contacto directo con el usuario, el aparato telefónico, al que se denominara terminal telefónico. Puesto que la red telefónica pretende la comunicación bidireccional y selectiva por medio de la voz, resulta evidente la necesidad de disponer de algún medio técnico que permita la selectividad de la comunicación. Las centrales de conmutación son los elementos funcionales de la red telefónica que permiten la selectividad de las llamadas telefónicas. Finalmente, el tercer elemento indispensable de cualquier red telefónica es la propia red telefónica, constituida por la infraestructura de transmisión.

El mundo de las redes se ha dividido en dos grandes vertientes las redes de conmutación de circuitos y las redes de conmutación de paquetes.

II.1.1 Redes de Conmutación de Circuitos

En las redes de conmutación de circuitos, como es la Red Telefónica Publica Conmutada (PSTN), se transmiten múltiples llamadas a través del mismo medio de transmisión. Con frecuencia, el medio empleado en PSTN es el cobre. No obstante, también se puede emplear cable de fibra óptica.

Una red de conmutación de circuitos es una red en la que existe una conexión dedicada. Una conexión dedicada es un circuito o un canal establecido entre dos nodos para que se puedan comunicar. Cuando se establece una llamada entre dos nodos, esa conexión sólo la pueden usar estos dos nodos. Cuando uno de los dos nodos termina la llamada, la conexión se cancela.

Las redes de conmutación de circuitos tienen ventajas y desventajas. Las desventajas son las siguientes. Las redes de conmutación de circuitos pueden ser relativamente ineficaces, ya que se puede desperdiciar ancho de banda. Éste no es el caso cuando se utiliza VoIP en una red de conmutación de paquetes. VoIP comparte el ancho de banda disponible con todas las otras aplicaciones de red y hace un uso más eficaz del mismo. Otra desventaja de las redes de conmutación de circuitos es que se debe prever el número máximo de llamadas de teléfono que se necesitará en períodos de uso intenso y pagar por el uso del circuito o de los circuitos que admitan el número máximo de llamadas.

La conmutación de circuitos tiene una gran ventaja sobre las redes de conmutación de paquetes. Cuando usa un circuito en una red de conmutación de circuitos, tiene el circuito completo durante todo el tiempo que lo esté utilizando, sin la competencia de otros usuarios.

II.1.2 Redes de Conmutación de Paquetes

La conmutación de paquetes es una técnica que divide un mensaje de datos en unidades más pequeñas llamadas paquetes. Éstos se envían a su destino siguiendo la mejor ruta disponible, y se reensamblan en el extremo de recepción.

En las redes de conmutación de paquetes, como es Internet, los paquetes se enrutan a su destino por la ruta más oportuna, pero no todos los paquetes que viajan entre dos hosts siguen la misma ruta, ni siquiera los que pertenecen a un mismo mensaje. Esto prácticamente garantiza que los paquetes llegarán en diferentes momentos y desordenados. En una red de conmutación de paquetes, los paquetes (mensajes o fragmentos de mensajes) se enrutan individualmente entre los nodos en vínculos de datos que pueden estar compartidos por otros nodos. En la conmutación de paquetes, a diferencia de la conmutación de circuitos, las diferentes conexiones con nodos de la red comparten el ancho de banda disponible.

También se pueden encontrar redes de conmutación de paquetes en entornos de redes LAN o WAN. En un entorno LAN de conmutación de paquetes, como una red Ethernet, la transmisión de los paquetes de datos depende de la conmutación de los paquetes, los enrutadores y los cables de la LAN. En una LAN, la conmutación establece una conexión entre dos segmentos sólo el tiempo suficiente para enviar el paquete. Los paquetes entrantes se guardan en un área de memoria temporal o un búfer de la memoria. En una LAN basada en Ethernet, un marco de Ethernet contiene la carga o la porción de datos del paquete y un encabezado especial que incluye la información de dirección de control de acceso de medios (MAC) del origen y el destino del paquete. Cuando los paquetes llegan a su destino, un ensamblador de paquetes los vuelve a ordenar. El ensamblador de paquetes es necesario por las diferentes rutas que pueden seguir los paquetes.

II.1.3 Central Telefónica Digital

Una Central Telefónica Digital o mejor conocida como PBX (*Private Branch Exchange*) es el nombre que se le da a un dispositivo de telefonía que actúa como conmutador de llamadas en una red telefónica o de conmutación de circuitos.

PBX es un dispositivo de telefonía que utilizan la mayoría de las medianas y grandes empresas. PBX permite a los usuarios o abonados compartir un determinado número de líneas externas para hacer llamadas telefónicas consideradas como externas. Una PBX es una solución mucho menos cara que proporcionar a cada usuario de la empresa una línea telefónica externa. A una PBX se pueden conectar teléfonos, aparatos de fax, módems y otros dispositivos de comunicación.

En las empresas de mediano y gran tamaño, son posibles las siguientes configuraciones de PBX:

- Una sola PBX para toda la empresa.
- Una agrupación de dos o más PBX que no están en red ni conectadas unas a otras.
- Una agrupación de dos o más PBX que están conectadas unas a otras o están en red.

II.2 VOICE OVER INTERNET PROTOCOL (VOIP)

El principio básico del funcionamiento de la tecnología de VoIP, consiste en transportar señales de voz, a través de redes de conmutación de paquetes basadas en los protocolos TCP/IP. Las razones del por qué esta nueva forma de comunicación se está difundiendo de una manera tan veloz son variadas, sin embargo resaltan dos de ellas: Las comunicaciones resultan mucho más económicas. Los costos de mantenimiento son mucho menores, y los equipos involucrados en este tipo de comunicaciones, están disminuyendo continuamente sus costos; haciendo la tecnología mucho más accesible para el público.

Igualmente se está consolidando la utopía de utilizar un solo dispositivo, para acceder a una gama infinita de servicios que incluyen además de llamadas telefónicas, e-mail, mensajes de texto, televisión, entre otros.

Es innegable la implantación definitiva del protocolo IP desde los ámbitos empresariales a los domésticos y la aparición de un estándar, el VoIP, no podía hacerse esperar. La aparición del VoIP junto con el abaratamiento de los DSP's (Procesador Digital de Señal), los cuales son claves en la compresión y descompresión de la voz, son los elementos que han hecho posible el despegue de estas tecnologías. Para este auge existen otros factores, tales como la aparición de nuevas aplicaciones o la apuesta definitiva por VoIP de fabricantes como Cisco Systems o Nortel-Bay Networks. Por otro lado los operadores de telefonía están ofreciendo o piensan ofrecer en un futuro cercano, servicios IP de calidad a las empresas.

Por lo dicho hasta ahora, vemos que nos podemos encontrar con tres tipos de redes IP:

- **Internet**. El estado actual de la red no permite un uso profesional para el tráfico de voz.

- **Red IP pública**. Los operadores ofrecen a las empresas la conectividad necesaria para interconectar sus redes de área local en lo que al tráfico IP se refiere. Se puede considerar como algo similar a Internet, pero con una mayor calidad de servicio y con importantes mejoras en seguridad. Hay operadores que incluso ofrecen garantías de bajo retardo y/o ancho de banda, lo que las hace muy interesante para el tráfico de voz.

- **Intranet**. La red IP implementada por la propia empresa. Suele constar de varias redes LAN (*Ethernet* conmutada, ATM, etc.) que se interconectan mediante redes WAN tipo Frame-Relay/ATM, líneas punto a punto, RDSI para el acceso remoto, etc. En este caso la empresa tiene bajo su control prácticamente todos los parámetros de la red, por lo que resulta ideal para su uso en el transporte de la voz.

Se plantea entonces el principal reto de los servicios relacionados con la transmisión de servicios relacionados con VoIP: que la calidad del servicio prestado sea aceptable, en comparación con la que ofrecen las redes de telefonía convencionales. Este reto se genera debido a la naturaleza de las comunicaciones de voz de ser sensibles a cualquier tipo de perturbación que modifique la temporización normal de una conversación.

II.2.1 Funcionamiento

En el transporte de voz sobre protocolo IP, la voz se convierte en paquetes de datos de voz comprimida, adoptando la forma de un datagrama IP, los cuales son transmitidos a través de la red como si fueran datos; la transmisión de voz sobre protocolo IP requiere de un elemento que transforme la voz a datos y realice la división en paquetes IP, este se conoce como DSP, los cuales se incorporan comúnmente en los *gateways* los cuales son los encargados de transmitir los paquetes IP.

En el nodo destino se encuentra otro *gateways* en donde se produce el proceso inverso. Para ser más preciso, los *gateways* en el caso de comunicación entre teléfono y un PC poseen una conexión hacia la RTC y una hacia Internet, digitaliza la voz si es que no lo está, comprime, empaqueta y realiza la traslación entre direcciones IP y números de la RTC, realizando el proceso simultáneamente en ambos sentidos. Cuando la llamada se realiza entre teléfonos a través de la red IP (por ejemplo Internet) pertenecientes a la RTC, el proceso se realiza de forma similar, empleando en este caso dos *gateways*, uno en cada extremo. En el escenario representado en la figura 1 es posible desviar llamadas telefónicas desde el sistema telefónico tradicional hacia Internet, en donde una vez que se alcanza un servidor cercano al destino, la llamada se traduzca nuevamente a su forma analógica original y puede ser transmitida hacia el teléfono destino perteneciente a la RTC.

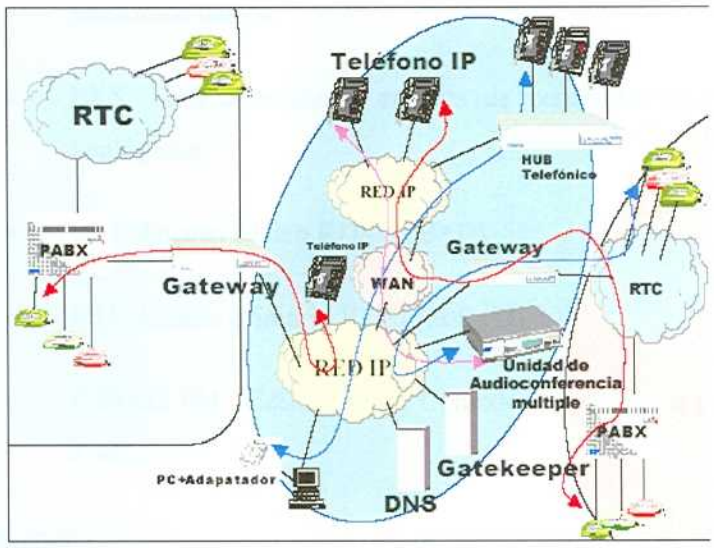

Figura 1. **Principales Componentes de una red VOIP. (Ledford, Jerri. Voz sobre IP, (http://www.cespa.es/ga/recetga/ proxrecet.html. 2006)**

II.2.2 Principales componentes de una red VoIP

Teléfonos IP, Adaptadores para PC, *Hub* telefónicos, *Gateways, Gatekeepeer*, Unidades de audio conferencia Múltiple (MCU Voz), Servicios de directorios, Terminales, *Proxies.*

- ***Gateway***

  Los *gateways* de VoIP proveen un acceso ininterrumpido a la red IP. Las llamadas de voz se digitalizan, codifican, comprimen y paquetizan en un *gateway* de origen y luego, se descomprimen, decodifican y rearman en el *gateway* de destino. Los *gateways* se interconectan con la RTC según corresponda, a fin de asegurar que la solución sea ubicua. El *Gateway* es un elemento esencial en la mayoría de las redes pues su misión es la de enlazar la red VoIP con la red telefónica analógica o RDSI. Podemos considerar al *Gateway* como una caja que por un lado tiene una interfase LAN y por el otro dispone de uno o varios de los siguientes interfaces:

  - FXO. Para conexión a extensiones de centralitas ó a la red

telefónica básica.

- FXS. Para conexión a enlaces de centralitas o a teléfonos analógicos.
- BRI. Acceso básico RDSI (2B+D)
- PRI. Acceso primario RDSI (30B+D)
- G703/G.704. (E&M digital) Conexión especifica a centralitas a 2 Mbps.

- ***Gatekeeper***

Los *gateways* se conectan con los *gatekeepers* de VoIP mediante enlaces estándar H.323v2, utilizando el protocolo RAS H.225. Los *gatekeepers* actúan como controladores del sistema y cumplen con el segundo nivel de funciones esenciales en el sistema de VoIP de clase *carrier*, es decir, autentificación, enrutamiento del servidor de directorios, contabilidad de llamadas y determinación de tarifas.

- **Servidores de *Backend***

El tercer nivel de la arquitectura de VoIP corresponde a la serie de aplicaciones de *backoffice* que constituyen el corazón del sistema operativo de un proveedor de servicios. Poseen las bases de datos inteligentes y redundantes que almacenan información crítica que intercambian con los *gatekeepers* durante las fases de inicio y término de las llamadas. En el entorno de una oficina central, resulta vital preservar la integridad de los datos de las bases de datos de *backend*.

- **MCUs (*Multipoint Control Unit*)**

Es el sistema encargado del control de las conferencias múltiples, proporciona todos los servicios para establecer comunicaciones

multipunto.

- ***Proxies***

  Son los sistemas que actúan como intermediarios entre diversas entidades, tal y como lo hacen los *proxies* en las redes IP (conexión entre la Intranet e Internet, por ejemplo)

- **Terminales**

  Son los dispositivos que se pueden conectar directamente a IP y soportan H.323, o actualmente SIP.

El protocolo principal que permite el establecimiento de la comunicación, se denomina SIP (*Session Iniciation Protocol*), diseñado especialmente para soportar transmisiones de voz. Inicialmente se utilizaba H.323 pero ha perdido vigencia ya que no fue diseñado especialmente para transmitir voz. En 1999 el IETF lanza la primera versión de su paradigma de Internet, el protocolo HTTP, y sentó las bases del Protocolo de Inicio de Sesión o SIP, que se encuentra especificado en el RFC 3261.

Gracias a la evolución de las tecnologías de acceso, existen varias formas de llevar a cabo comunicaciones de VoIP.

• Teléfono Tradicional + ATA

• *Softphones* Pc-Telefono

• *Internet Phones*

Teléfono tradicional + ATA

El teléfono tradicional se conecta a un equipo denominado **ATA** (*Analog Telephone Adapter*). Este equipo a su vez se conecta a un *switch*, el cual permite establecer conexión con el resto de la red.

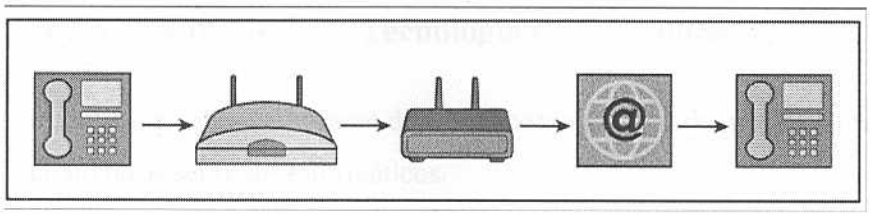

Figura 2 **Esquema de Comunicación VoIP utilizando un ATA. (Ledford, Jerri. "*Cut the Cord! The Consumer's Guide to VoIP*". 2006))**

Este equipo ATA, convierte la señal de voz en datos, fragmentándola en pequeños segmentos o paquetes utilizando un *codec* codificador/decodificador. Estos paquetes son enviados a través de la red hacia el destino. Dicho paquete contiene no menos de 10mseg y no más de 30mseg de la señal de voz, y se codifica con información precisa que indica cómo los paquetes deben ser acomodados y decodificados cuando alcancen el destino, de forma tal que la persona en el otro extremo sea capaz de escuchar la señal de voz de la misma forma como lo haría si estuviese utilizando la red conmutada por circuitos.

Softphones (Pc-Telefono)

Un equipo terminal, bien sea una PC, *laptop*, *handheld*, etc. tiene instalado un programa en *software* que se encarga de realizar las funciones de codificación/decodificación que realiza el teléfono. Constituye la interfaz con el usuario.

Internet Phones (IP Phones)

Son teléfonos construidos especialmente para aplicaciones de VoIP, y se conocen como IP Phone o *Internet Phone*. Vienen con todo el *software* necesario para realizar y recibir llamadas, a través de una infraestructura de red IP.

Lo que hace diferentes a los teléfonos IP es que no necesitan descargar *software* alguno para funcionar, y no se requiere otro equipo adicional; aunque si es imperativo que exista una plataforma de red robusta que sea capaz de manejar adecuadamente servicios de VoIP. Sin embargo este tipo de teléfonos resultan mucho más costosos en comparación con los tradicionales lo que suele no ser viable para el público en general.

II.2.3 Ventajas de la Tecnología de Voz sobre IP

- Integración sobre su Intranet de la voz como un servicio más de su red, tal como otros servicios informáticos.
- Las redes IP son la red estándar universal para la Internet, Intranets y Extranet.
- Estándares efectivos.
- Interoperabilidad de diversos proveedores.
- Uso de las redes de datos existentes.
- Independencia de tecnologías de transporte (capa 2), asegurando la inversión.
- Menores costos que tecnologías alternativas (voz sobre TDM, ATM, Frame Relay)

II.2.4 Calidad de Servicio

Al hablar de calidad de servicio, es importante distinguir a qué se refiere el término ya que suele usarse de forma deliberada. A continuación se clarifica el concepto de calidad de servicio, al explicar los diferentes significados que suelen adoptarse para el término:

1. Calidad de servicio como la capacidad de ofrecer un trato preferencial a cierto tipo de tráfico al asignar prioridades en las capacidades de enrutamiento; lo que determinará la distribución del Ancho de Banda disponible en la red.
2. **Calidad de Servicio Intrínseca**: Cuando el tráfico es enrutado a través de la red, con o sin aplicaciones de calidad de servicio, el manejo del tráfico reflejará un cierto nivel de rendimiento. Esas características que pueden ser medidas por el proveedor de servicios, definen la **Calidad de Servicio**

Intrínseca. En redes de conmutación de paquetes, la misma viene determinada por varios factores:

- Latencia.
- *Jitter*.
- Pérdida de paquetes.

En redes de conmutación de paquetes se definen dos tipos de latencia, el ***Round Trip Time o RTT***, que es el tiempo total que transcurre desde que se inicia la transmisión hasta que éste recibe el acuse de recibo indicando la recepción de la información. El otro tipo de latencia se denomina ***Transmission delay***, y representa el tiempo que tarda la información en llegar al receptor. La ITU establece los valores de retardo aceptables para comunicaciones de voz en su recomendación G.114, como se muestra en la tabla:

Retardo total en una dirección	Recomendación para el uso
0-150 ms	Aceptable
50-400 ms	Aceptable para ciertas aplicaciones, se requiere cuidado para garantizar la satisfacción del usuario
+400 ms	Inaceptable para la planificación de redes generales

Tabla 1. Recomendación ITU G.114. Tiempos de retardo extremo a extremo recomendados. (OEA: Comisión Interamericana De Telecomunicaciones "Carpeta Técnica: Estructura Del Estudio Sobre Características De La Voz Basadas En Redes Que Usan Ip". 2004)

El ***jitter***, se refiere a la variación en el retardo que sufren paquetes. Dicho retardo es aleatorio y es causado por las colas que se producen en los equipos de red cuando hay altos niveles de tráfico. El efecto del *jitter* en las comunicaciones, se refleja en los paquetes llegando al destino en intervalos de tiempos irregulares, algo crítico para VoIP.

En situaciones de alto tráfico se pueden sobrepasar los límites de almacenamiento de los *routers*, generando **pérdida de paquetes** o *packet loss*. Para aplicaciones de voz, no es muy relevante la pérdida de un bajo número de paquetes, si dichos paquetes perdidos no son consecutivos. La cantidad de distorsión introducida por la pérdida de paquetes viene dada en función del tamaño de los mismos. Si se realizara la retransmisión de paquetes se introduciría un retardo adicional, es por

esta razón que no suelen implementarse comunicaciones de voz utilizando el protocolo de transporte TCP.

Y por último, retomando las posibles perspectivas para conceptualizar la calidad de servicio:

3. La calidad de servicio desde la perspectiva de lo que percibe el usuario, el resultado que se produce en el individuo cuando el servicio es utilizado. Esta calidad de servicio vendrá determinada por la experiencia individual de cada usuario y resulta ser subjetiva, por lo que no se obtienen valores fijos, sino un promedio de lo que los usuarios perciben del servicio.

Las pruebas avaladas para la medición de este tipo de calidad de servicio se denominan pruebas **MOS** (*Mean Opinion Store*), donde se le asigna un valor numérico a cada de*script*or subjetivo de la comunicación. Estos valores están especificados en la recomendación P.800 de la UIT, donde se establece la siguiente escala:

Opinion Scales for Subjective Tests

	AT&T 1960s	ITU P.800 1996	Fractional Scores		Interpretation
Excellent	4	5	3.5	4.5	Very good
Good	3	4	2.5	3.5	Fair to good
Fair	2	3	1.5	1.5	Fair to poor
Poor	1	2			
Unsatisfactory/bad	0	1			

Tabla 2. Escalas de Evaluación para Calidad de Servicio UIT P.800. (Hardy, William. *VoIP Service Quality*. 2003)

En este caso aunque el significado de la calidad de servicio es subjetivo, existe siempre un factor común de lo que el usuario espera de los nuevos servicios de voz. Uno de los retos más grandes para los proveedores de servicios, consiste en examinar las inquietudes mas frecuentes de los usuarios comunes; y así correlacionar estas inquietudes con aquellas que determinan la calidad de servicio intrínseca de las redes paquetizadas para permitir una transición positiva a nuevas experiencias y servicios.

Luego de analizar ambos conceptos de forma aislada para mayor claridad, es obvio que existe una relación entre ambos significados de calidad de servicio. La relación entre la calidad de servicio percibida por el usuario, y la calidad de servicio intrínseca, viene determinada, por tres factores fundamentales:

- El *codec* (codificador/decodificador) de voz utilizado, que determinará cómo se digitalizan las señales de voz para su transmisión a través de la red.
- El esquema de paquetización, el cual establecerá la duración de los segmentos de voz digitalizada que se transmitirán por cada paquete, el tamaño del mismo, numero de bits, número de bits de cabeceras, etc.
- El tamaño del buffer de *jitter*, que determinará cuán robusto será el *codec* cuando existan variaciones en el retardo o *delay* de los paquetes.

Los *codecs* de voz están definidos por varios estándares de la UIT, y especifican cómo los segmentos de la señal de voz analógica serán codificados en flujos de datos. El diseño de cada *codec* particular, determinará el número mínimo de *bytes* que se incluirán en un paquete, y el rendimiento que se podrá alcanzar. A continuación, se muestra una tabla comparativa de los *codecs*:

Comparison of Characteristics of Voice Codecs

Codec	Encoding Technique	Voice Segment Duration, ms	Encoded Segment Size, bits	Data Rate, bit/s
G.711	Pulse-code modulation (PCM)	0.125	8	64,000
G.723.1	Multipulse maximum-likelihood quantization (MP-MLQ)	30	189	6,300
G.723.1	Algebraic-code-excited linear prediction (ACELP)	30	158	5,300
G.729	Code-excited linear prediction (CELP)	10	80	8,000

Tabla 3. Comparación técnica - Tipos de codec (Hardy, William. "*VoIP Service Quality*", 2003)

Las características del *codec*, afectarán directamente la señal de voz: mediante el retardo y la fidelidad de la señal. El retardo se introduce en este caso por el tiempo requerido para llevar a cabo los procesos de codificación y decodificación de la señal. La fidelidad de la señal se ve afectada ya que el proceso de digitalización es

una aproximación de la señal eléctrica continua representada por las ondas acústicas que excitaron el micrófono.

Los *codecs* poseen funciones adicionales, que permiten disminuir el rendimiento necesario para transmitir voz paquetizada. Una de ellas es la supresión de silencios o detección de actividad vocal VAD (*Voice Activity Detection*); que permite monitorear la señal analógica y no transmitir señal digital alguna si no hay información analógica. Debido a que el usuario no esta acostumbrado a escuchar una línea muerta, siempre debe existir cierto grado de ruido, por esta razón, se introduce el Ruido de Confort o CN (*Comfort Noise*). Algunos *codecs*, proporcionan cierta inmunidad a la pérdida de paquetes: cuando el *codec* no tiene toda la información necesaria para reconstruir un segmento completo de voz, repite el último fragmento, para reducir los efectos de la pérdida de paquetes, esto se conoce como PLC (*Packet Loss Concealment*).

Finalmente, el tercer factor corresponde al tamaño del buffer de *jitter*. Para servicios de voz paquetizada, las muestras de voz en el extremo receptor, deben ser presentadas al *codec* de tal forma que inmediatamente después que el decodificador procesa una muestra, la siguiente se encuentre disponible. Este requerimiento limita enormemente la cantidad de *jitter* que puede tolerarse en este tipo de servicios. Los *codecs* combaten este problema, implementando un buffer donde se almacenan temporalmente los segmentos que se utilizarán antes de iniciar el proceso de decodificación, incrementando el tiempo que puede existir entre las llegadas de distintos segmentos.

II.2.5 Protocolos VoIP

Como se mencionó anteriormente, SIP es un protocolo de control de señalización de la capa de aplicación que permite establecer, mantener y terminar sesiones multimedia para entornos WAN (*Wide Area Network*). Las sesiones multimedia incluyen telefonía, conferencias y otras aplicaciones similares como audio, video y datos. Es capaz de soportar llamadas punto a punto y multipunto. Puede operar en conjunción con H.323, sin inconvenientes. Sus funciones principales pueden englobarse como:

- Localización del punto destino.
- Establecer comunicación con el destino. Verificar disponibilidad.
- Intercambio de información de medios para establecer la sesión.
- Finalización de sesiones.

Los elementos de una arquitectura SIP incluyen:

- Agentes de Usuarios: Pueden ser Clientes UAC (*User Agent Client*) o Servidores UAS (*User Agent Server*)
- Servidores de Red: Pueden ser de redirección, Proxy o de registro.

El cliente puede iniciar las peticiones SIP y actúa como el agente del usuario llamante, el servidor recibe dichas peticiones y devuelve respuestas en nombre del usuario; actúa como el agente de usuario llamado. Existen dos tipos de servidores SIP: los servidores *proxy* actúan en nombre de otros clientes y contienen funciones de cliente y servidor, y los servidores de redirección acepta las peticiones SIP y envía una respuesta redirigida al cliente que contiene la dirección del siguiente servidor. Los servidores de redirección no aceptan llamadas ni tampoco procesan o reenvían peticiones SIP.

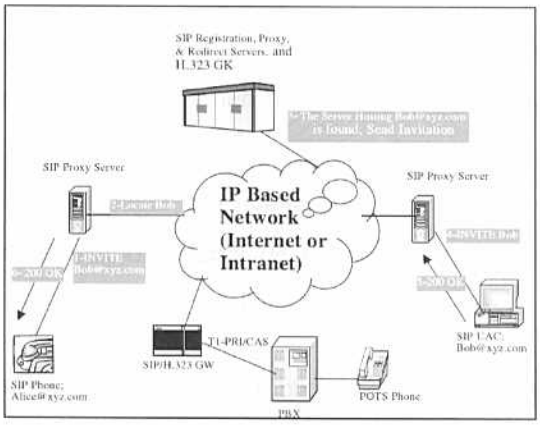

Figura 3. Intercambio de Mensajes para el Establecimiento de una sesión mediante SIP de voz (Bhumip Khasnabish. "Implementing Voice Over Ip". 2003)

II.3 Herramientas de *software* de monitoreo y pruebas de servicios de VoIP

Para realizar las mediciones de la manera más eficaz y eficiente, de las características de una red, es necesaria la utilización de una herramienta de *software*, que permita establecer un entorno de pruebas de manera rápida, sencilla, y que además brinde resultados con alto nivel de exactitud. Las herramientas de *software* existentes en el mercado se pueden clasificar en propietarias y de *software* libre. Las herramientas propietarias son desarrolladas por empresas dedicadas a la investigación y desarrollo de *software*, y para el uso de dichas herramientas es necesario adquirir una licencia que en la mayoría de los casos es muy costosa. Una alternativa para poder usar este tipo de herramientas, sin necesidad de pagar por una licencia es solicitar a la empresa una licencia temporal o de prueba, lo cual requiere una gran cantidad de trámites y de tiempo, y en muchos casos este tipo de licencias son otorgadas por un corto periodo de tiempo. Todo esto si es que realmente se maneja este tipo de licencias dentro de la empresa. Una ventaja de las herramientas de *software* propietarias, es que existe una gran cantidad de documentación, en cuanto a su uso, configuración, errores más comunes, etc. Esto permite aprovechar al máximo el potencial de la herramienta, además de minimizar el tiempo necesario para la implementación de las pruebas. Por otra parte existen herramientas basadas en *software* libre, las cuales son en su mayoría desarrolladas por grupos de investigación, y pueden ser adquiridas sin necesidad de pagar una licencia. La desventaja principal es que no existe suficiente documentación acerca de su uso, y las pocas que existen son bastante básicas, lo cual dificulta la realización de las pruebas.

A continuación se realiza una descripción breve de una herramienta de *software*, especializadas para el estudio, monitoreo, y medición del rendimiento de servicios de VoIP sobre redes paquetizadas.

II.3.1 Chariot de NetIQ

Esta herramienta permite realizar pruebas activas de una gran cantidad de servicios y aplicaciones incluyendo aquellos de VoIP. De forma general, para las pruebas de VoIP con este *software*, se genera un flujo RTP configurado por el usuario sobre el cual se realizan las mediciones. Los parámetros que proporcionan las pruebas de VoIP son, entre otros:

- *Throughput*
- Estimado objetivo del MOS. (E-model ITU G.107)
- Retardo en una dirección o One-Way Dealy.
- Pérdida de paquetes.
- *Jitter*

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

Este capítulo presenta al lector en la metodología que se utilizó para alcanzar los objetivos planteados en el Trabajo Especial de Grado. Se describe de manera coherente, y dividida en diferentes fases, las actividades que se llevaron a cabo en este Trabajo Especial de Grado.

III.1 FASE 1: Desarrollo del marco referencial.

Mediante una investigación, que abarcó una revisión bibliográfica, en libros, publicaciones en revistas, e información obtenida a través de Internet, se estudiaron aquellos fundamentos teóricos, de las tecnologías relacionadas a las redes telefónicas privadas y sus partes. De igual forma, mediante una investigación teórica, que incluyó una revisión bibliográfica, en libros, publicaciones en revistas, e información obtenida a través de Internet, se estudiaron aquellos fundamentos teóricos, que describen el funcionamiento de las tecnologías sobre las cuales se basan los servicios de VoIP.

Esta fase finalizó con una revisión de la herramienta de *software Chariot* desarrollada por la empresa *NetIQ* que se utilizan para estudiar el comportamiento

de ciertas plataformas de red y su desempeño para la prestación de servicios de VoIP. **En esta parte se desarrolló el Apéndice A Manual de la Herramienta Chariot, para explicar el uso y configuración de la herramienta para la realización de las pruebas.**

III.2 FASE 2: Definición de parámetros a medir.

Se realizó un análisis exhaustivo de la información obtenida en la Fase 1, luego de desarrollar el marco referencial, y se identificaron todos aquellos parámetros que influyen en el rendimiento de la voz sobre redes basadas en TCP/IP.

De igual manera se realizó un análisis comparativo entre dichos parámetros y la capacidad y exactitud de la herramienta de *software* para medir su comportamiento. Esto permitió estudiar más a fondo el *software* para adaptar sus prestaciones a las requeridas por la investigación. Se uso de marco de referencia el Apéndice A.

III.3 FASE 3: Descripción de la infraestructura de las redes de Datos y Telefónica de la UCAB con cede Antimano, sobre las cuales se realizarán las experiencias prácticas.

Para la realización de esta fase se asistió a las instalaciones del CAI (Centro para la Aplicación de la Informática) departamento que administra y mantiene la red de datos de la UCAB con cede en Antimano. Con la ayuda del Ingeniero Jorge García quien actualmente desempeña el cargo de Administrador de Red se logró describir de manera general el entorno de red de la universidad. Al igual se tramitaron los permisos necesarios para ir a donde está instalada la Central Telefónica que da servicio al núcleo universitario. Se ha de resaltar que el control y manejo de dicha central no está en manos del CAI, ya que es alquilada a la compañía Siemens de Venezuela, la cual se encarga de todo lo que tenga que ver con su mantenimiento y control.

Luego de obtener una idea general de ambas topologías de red, se procedió a establecer los escenarios puntuales sobre los cuales se realizarían las experiencias prácticas.

III.4 FASE 4: Definición de pruebas a realizar

Inicialmente, se definieron los lugares específicos que, dentro del entorno correspondiente, ocuparían los componentes necesarios para realizar las pruebas con el *software* Chariot: La consola, y los *endpoints*. La ubicación de estos componentes se realizó en función de la ruta deseada para el flujo de tráfico generado por la herramienta entre los *endpoints*, ya que los resultados reflejarán el comportamiento de dicha ruta.

Una vez definida la ubicación de los componentes del Chariot, se definieron un conjunto de pruebas con el fin de realizar una caracterización inicial del enlace y de medir el comportamiento de dicho enlace ante la presencia de tráfico de voz paquetizada. Estas pruebas fueron definidas para cada enlace por separado, en función de las características de los mismos.

III.5 FASE 5: Realización de experiencias prácticas en las instalaciones del CAI, UCAB cede Antimano.

Una vez planteados los escenarios, habiendo seleccionado la herramienta de *software*, y definido las pruebas, se procedió a realizar las experiencias prácticas, las cuales se llevaron a cabo de la siguiente manera para cada uno de los escenarios propuestos en la Fase 3 del presente capítulo.

III.5.1 Caracterización del enlace

Se diseñó una prueba con la herramienta Chariot agregando un par de *endpoints* y configurándolo debidamente con los siguientes parámetros.

- Direcciones IP correspondientes a cada *endpoint*. (Información confidencial)
- Algoritmo de *Throughput*.

- Duración de la prueba: 1 minuto.

Esta prueba fue ejecutada para todos los enlaces de las VLANs correspondientes. La razón de la misma será expuesta en el análisis de resultados.

III.5.2 Pruebas de desempeño de VoIP.

Se definieron pruebas con la herramienta Chariot para medir el desempeño de los enlaces usando diferentes *codecs*, con y sin supresión de silencios. Estas pruebas se diseñaron agregando un número determinado de pares de VoIP y configurando cada par debidamente con los siguientes parámetros.

- Direcciones IP correspondientes a cada *endpoint*. Al *endpoint* 1 de la mitad de los pares se le asignó la misma dirección IP asignada al *endpoint* 2 de la mitad restante, y viceversa.
- *Codec* correspondiente.
- Supresión de silencio: Activada o desactivada.
- Porcentaje de actividad de voz de 50%, (según aplique).
- Valor del retardo inicial correspondiente, que asegure el aumento progresivo del número de llamadas.
- Duración total de la prueba.

Para las 3 VLANs mas importantes se realizaron pruebas con tráfico variante comenzando por 5 llamadas y progresivamente aumentando de 10 en 10 cada 20 segundos hasta alcanzar un número máximo de 50 llamadas simultaneas al cabo de 140 segundos de duración de cada prueba. Para todos los casos los *codecs* usados fueron los siguientes: G711u, G711a, G723.1 ACELP, G723.1 MPMLQ, G726 y G729.

III.6 FASE 6: Estudio técnico comparativo

Primero se definieron cuáles serían los escenarios comparativos que podrían brindar una mayor información, y hacer la presentación de los resultados más

demostrativa. Además se presentaron las razones por las cuales fueron definidos dichos escenarios comparativos.

En esta parte del desarrollo del proyecto fue importante considerar que todas las pruebas hechas en la red, fueron seleccionadas a las horas pico donde se observó un aumento notable del trafico, para una mejor explicación el lector deberá referirse al capitulo de resultados específicamente al punto donde se refiere a la caracterización del enlace. Ver gráficos de tráfico de la red de datos.

Una vez definida la estructura comparativa de los resultados, se definió detalladamente la manera en la cual dichos resultados serían presentados gráficamente.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

En el siguiente capitulo se presentan, describen y analizan los resultados obtenidos a partir de la realización de las fases descritas en el capítulo anterior. Dichos resultados serán apoyados mediante la exposición de cuadros y gráficos demostrativos e ilustrativos, para facilitar el entendimiento del lector.

IV.1 FASE 2: Definición de parámetros a medir

A partir del análisis que se realizó de la información obtenida, de los fundamentos teóricos que sustentan las tecnologías sobre las cuales se basa la presente investigación, se identificaron los siguientes parámetros como influyentes en el rendimiento de la voz sobre redes basadas en TCP/IP. Los parámetros fueron clasificados en objetivos y subjetivos, siendo los parámetros objetivos los correspondientes a la calidad de servicio intrínseca de la red y los subjetivos aquellos relacionados con la calidad de servicio percibida por el usuario.

IV.1.1 Parámetros objetivos

1. Retardo.
2. *Jitter* (Variación del Retardo).
3. Pérdida de paquetes.

IV.1.2 Parámetros subjetivos

4. MOS (*Mean Opinion Score*).
5. Tiempo de establecimiento de la conexión.

Para una medición eficaz y eficiente de dichos parámetros es necesaria la utilización de una herramienta de *software*, que permita realizar una medición simultánea de la mayoría de los mismos y que brinde resultados con alto nivel de exactitud. La primera consideración tomada para la elección de la herramienta fue la facilidad para la obtención de la licencia correspondiente, por lo cual la opción

inicial fue la herramienta de *software* libre Netmeter. Esta opción se descartó, ya que la versión existente es solo compatible con sistemas operativos LINUX, y la documentación que existe para la configuración y utilización de la herramienta, es pobre.

Finalmente se seleccionó la herramienta propietaria Chariot de NetIQ, ya que fue posible obtener una licencia sin restricciones de tiempo y costo, gracias a la ayuda del Ingeniero Román Guevara se pudo obtener la versión completa del *software* con licencia y la actualización del software correspondiente a los *endpoints*. Esta herramienta es bastante poderosa y permite medir una gran variedad de parámetros directamente relacionados con el desempeño de servicios de VoIP, los cuales serán los parámetros que finalmente se medirán durante las experiencias prácticas. Estos parámetros son:

- *Throughput*
- Estimado objetivo del MOS. (E-model ITU G107)
- Retardo en una dirección o *One-Way Delay*.
- Pérdida de paquetes.
    - Número de paquetes consecutivos perdidos.
    - Máximo número de paquetes consecutivos perdidos.
- *Jitter*
    - RFC 1889 *Jitter*.
    - *Jitter* (Variación del retardo).
    - *Jitter* (Variación del retardo) máximo

Para una revisión detallada de las características y capacidades de la herramienta Chariot ver el Apéndice A: Manual de la herramienta Chariot. Adicionalmente para un mejor entendimiento del funcionamiento de la herramienta se recomienda ver el Apéndice C: RTP, RTCP.

IV.2 FASE 3: Descripción de la infraestructura de las redes de Datos y Telefónica de la UCAB con cede Antimano, sobre las cuales se realizarán las experiencias prácticas

Lo mas importante a resaltar para el caso que nos compete en este trabajo de grado es básicamente el funcionamiento de estas centrales que solo se encargan de conectar a los usuarios de la red interna telefónica y también sirve como puente de conexión entre dicha Red Telefónica Privada y la Red Publica Telefónica.

Una ves hecha esta introducción y recordando los aspectos mas resaltantes del funcionamiento de la central telefónica se procede a dar una descripción de la Red Telefónica Interna de la Universidad.

IV.2.1 Descripción de la red Telefónica interna de la UCAB

La red telefónica interna de la UCAB cede Antimano posee actualmente una red privada telefónica alquilada a la compañía Siemens de Venezuela con la cual se interconectan todas la líneas telefónicas de las escuelas, departamentos, oficinas entre otros. Que dan servicio al núcleo.

La central principal es una Central Siemens HICOM 300E con capacidad máxima para 1000 abonados de los cuales se da conexión a 640 líneas internas repartidas entre facultades, escuelas y departamentos.

La central principal está conectada a la red RDSI de Telefónica mediante 15 enlaces primarios. Posee 15 líneas telefónicas proporcionadas por CANTV que a su vez se conectan a un equipo llamado *Pair Gain* que funciona de *Gateway* hacia la PSTN, lo cual permiten 15 llamadas simultáneas. Teniendo en cuenta que los procesos de conexión-desconexión son muy rápidos con la tecnología digital, el sistema es capaz de dar servicio telefónico sin saturaciones.

También posee 8 líneas para llamadas a celulares suministrada por MOVILNET y la conexión a estas líneas esta hecha a través de 8 equipos llamado TELULAR que hacen de puente de conexión entre el *Gateway* que identifica las llamadas que son hechas a celular y las transfiere a través de estos equipos para su conexión..

Tras esta breve descripción del sistema creemos interesante los apuntes que se considera de gran importancia:

1. El sistema telefónico actualmente instalado alcanza a 12 edificios situados dentro del campus, alejados entre sí, pero funciona sobre una red propia de la Universidad por lo que las comunicaciones entre todos los usuarios no tienen coste alguno (no se paga a la operadora de telefonía); este hecho supone un importante ahorro. Se debe recordar que la central telefónica es alquilada y como tal se paga anualmente y no existe ningún cargo por conexión.

2. La central instalada nos permite conectarnos a la Red Telefónica Pública (PSTN) y establecer llamadas fuera de la Red Interna .

3. Los puestos de operadora del sistema de comunicación Siemens Hicom 300 sirven principalmente para la conmutación de llamadas telefónicas externas e internas mediante un operador u operadora.

4. La central que presta servicios en el campus es alquilada a la Empresa Siemens de Venezuela, la cual es responsable por el control, reparación y mantenimiento. El costo anual de la renta del equipo actualmente es de 50mil $ al año aproximadamente y se cancela todos los años desde hace 10 años.

5. Se debe resaltar el hecho, que el manejo, control y operación de la central está a cargo de la empresa Siemens, y la ubicación en donde se encuentra es en el sótano del edificio de Biblioteca.

IV.2.1 Descripción de la infraestructura de la Red de Datos de la UCAB.

La Universidad Católica Andrés Bello núcleo Antimano posee una infraestructura de red propia, instalada, administrada y supervisada por el CAI (Centro para Aplicación de la Informática), que es el encargado de manejar todos los recursos informáticos de la universidad tanto de la red de datos como resolver problemas menores con la red telefónica.

Para hacer la descripción de red se contó con la ayuda del CAI, en cuanto a la solicitud de permisos para visitar los distintos cuartos de equipos e infraestructura que se relacionan con la actual red interna. También este organismo se encargo de supervisar y autorizar las pruebas realizadas dentro de los limites de la red, con la cual se pretende medir los distintos factores que afectan el desempeño de la tecnología de Vo/IP.

La Red de Datos interna de la Universidad Católica Andrés Bello está conformada por un sistema de topología de red en forma de estrella la cual presta servicios a todos los edificios del núcleo UCAB Antimano. Es una estructura de red jerárquica en la cual la principal cantidad de tráfico de enrutamiento pasan a través de un *router* CISCO modelo 3600 el cual posee capacidades de procesamiento elevada y conforman el corazón de la red en su capa 3 del modelo OSI. El *backbone* de la red está hecho con cableado de fibra óptica el cual se extiende a lo largo del campus universitario y llega a los cuartos secundarios de equipos ubicados en cada uno de los 12 edificios que conforman el núcleo Antimano.

En cada edificio existe un cuarto de equipos en el cual se encuentran los puntos de red que surten de conexión a las distintas computadoras que se encuentran en dicho edificio, también se encuentran equipos de red como *switches*, a los cuales les llega la conexión directa con el *backbone* que proviene del cuarto principal de equipos. Para ilustrar un poco más el esquema de la infraestructura y composición de la red en la siguiente imagen se ve en detalle la conformidad de la red.

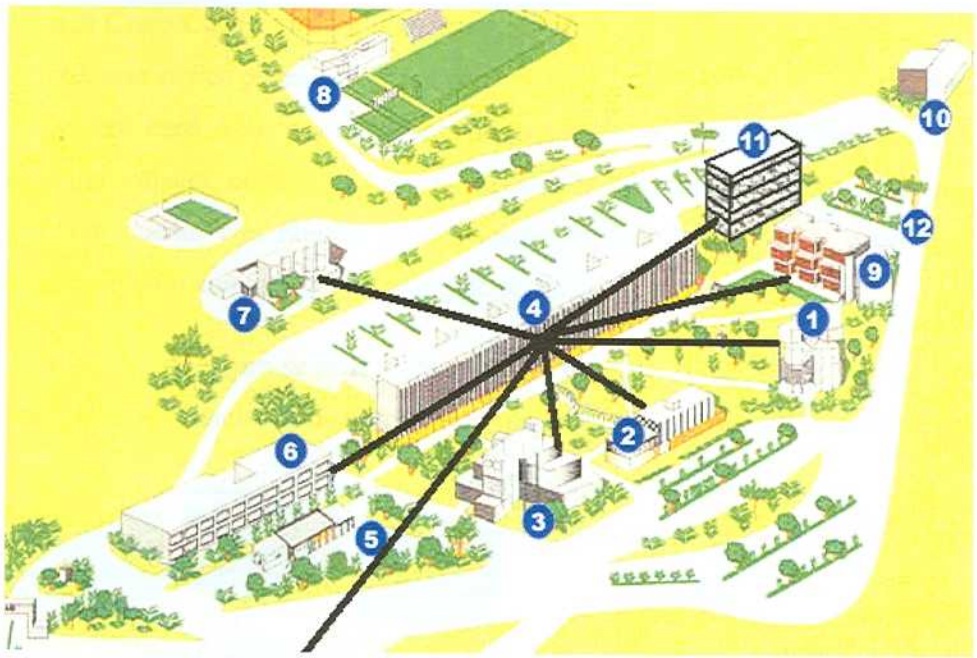

Figura 4. Infraestructura y topología física de la red UCAB-Antimano (Autor).

Obsérvese como están distribuidos los enlaces de Fibra Óptica a lo largo de todo el campus universitario, desde el cuarto principal de equipos ubicado en el edificio central de módulos específicamente en el modulo 4 piso 3. En este cuarto principal de equipos se encuentra el *router* principal un CISCO 3600 que es el responsable de segmentar la red interna y dar conexión con la nube de Internet.

También se encuentran los servidores, equipos que dan el servicio de pagina Web, servidores de notas, servidores de DNS, entre otros que dan el sustento de red de la universidad y todos los servicios que esta posee. Se observa la forma física de la topología, que como se había mencionado antes es una topología en estrella, la cual desde el edificio central se derivan la conexiones de fibra óptica que dan servicio de conexión a los cuartos secundarios de cableado, el hecho que las conexiones del *backbone* de la red sean de fibra óptica nos permite tener acceso a un ancho de banda considerable que representaría una gran ventaja para la aplicación de la tecnología Vo/IP.

En el cuarto principal de cableado se encuentran equipos de alto nivel de procesamiento como lo es un *switch* CISCO CATALYST 6000 que en conjunto con el *router* CISCO 3600 conforman el corazón de la red interna. Este equipo

Switch Cisco Catalyst serie 6000 conforma el centro de la estrella en la topología de red, este *switch* posee capacidad de enrutamiento siendo así lo que se denomina un *switch* capa 3 en la escala del modelo OSI. Estos equipos son capaces de manejar enlaces de fibra óptica y capacidades de procesamiento muy rápida, también cuenta con ranuras de expansión lo cual hace que su capacidad de procesamiento aumente según se requiera.

En la siguiente figura se puede observar que desde el *switch* principal salen todas las conexiones hacia los distintos puntos en los cuales se requiere conexión la red.

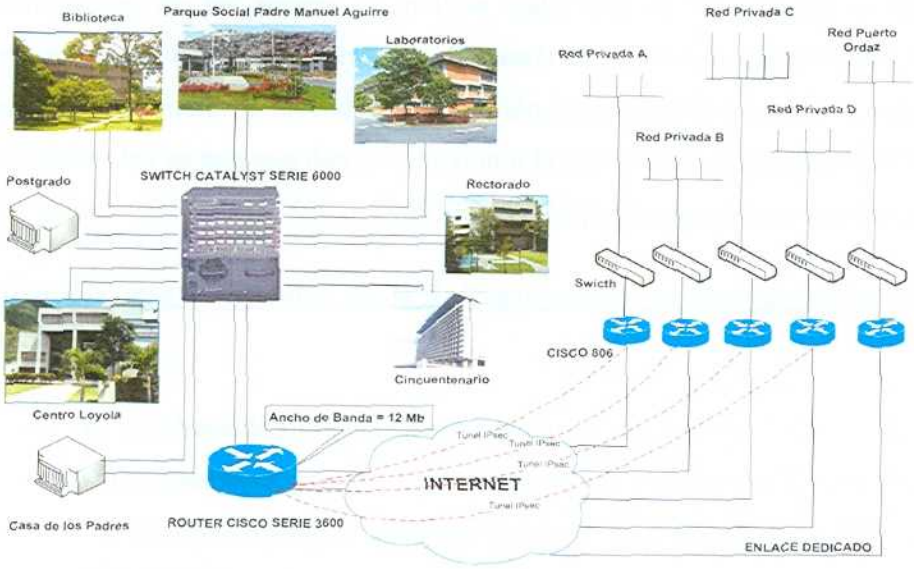

Figura 5. Esquema de distribución de la Red UCAB-Antimano (Autor).

Cada conexión que va desde el cuarto central de equipos a un cuarto secundario de equipos pasa a través del Switch Catalyst 6000 vía fibra óptica y posee un ancho de banda de 1Gigabit Ethernet. Dicha conexión llega al cuarto secundario de equipos donde es conectada a otro *switch*, el cual tiene asociado todos los puntos de red que posee el edificio para brindar la conexión a red necesaria. Observe en la imagen que el *switch* principal (Catalyst 6000) se conecta al *router* Cisco 3600 el cual segmenta la red y brinda conexión a Internet, es de notar que dicho *router* también segmenta las redes y sirve de enlace de conexión a las otras cedes UCAB. La cede UCAB Antimano sirve de puerta de enlace a los otros 7 núcleos que posee la UCAB en el país, es decir todo el trafico que viene de las

distintas cedes es procesado por este *router* dándole la salida a Internet necesaria. Estos son enlaces dedicados que posee la red de cedes universitaria son administrados por el CAI y conectan los núcleos a través de un Tunel IPsec.

La conexión desde la red interna que va desde el router principal hasta la nube de Internet se hace a través de **3 E1 (E1=2048Mbit/seg)** proporcionados por la compañía MIC (Microwave Communications Inc). Los detalles de este enlace son información confidencial de la empresa.

En los cuartos de equipo secundarios por lo general se puede conseguir la terminación de los puntos de red de cada una de las oficinas o salas de computación, organizados en *patch pannels* debidamente identificados con el número del puerto y leyenda de ubicación de los puntos de red. También se encuentra los switch que dan la conexión a la red interna, dichos equipos pueden ser Switch Cisco Serie 3600 o 2900, de 48 o 24 puertos según sea lo requerido.

Aspectos mas resaltantes de la Infraestructura de Red de Datos UCAB-Antimano

1. El backbone de fibra óptica nos permite el acceso a un Ancho de Banda lo suficientemente grande para la puesta en marcha de la tecnología de Vo/IP. Actualmente el ancho de banda en cada uno de los edificios es de 1Gigabit Ethernet.

2. Los equipos que conforman la red poseen gran capacidad de procesamiento a altas velocidades de transferencia.

3. Todos los cuartos de equipos están debidamente acondicionados y respetan las normas de cableado estructurado internacionales **ANSI/TIA/EIA-569.** Esto representa una ventaja importante a la hora de hacer modificaciones o nuevas adiciones a los mismos con la puesta en marcha de la tecnología Vo/IP.

4. El hecho que todas las cedes UCAB del país estén conectados en una gran red universitaria, hace ver la capacidad de expansión de la tecnología Vo/IP entre las distintas cedes.

5. El trabajo de administración, control y desarrollo de la red interna de la universidad es realizado por el CAI, y es el único que controla todo lo concerniente a la red y sus partes.

6. El esquema de red lógico en cuanto a direccionamiento y segmentación por redes es información confidencial la cual no se podrá tener acceso por medidas de seguridad. Pero se puede decir que las distintas redes que conforman el núcleo universitario cada edificio, oficina, departamento y sala de laboratorio esta seccionado por un esquema de direccionamiento de VLANs para así tener un mejor control y administración de la red, en cuanto a denegación o permiso de puertos TCP para el desarrollo de algunas aplicaciones de red tales como chats, downloads, paginas Web, etc. Cada VLAN tiene una asignación de direcciones propia según la cantidad de usuarios que exista en cada caso y donde se encuentre.

7. La Red da soporte de conexión a un numero aproximado de 2400 o mas usuarios simultáneos. Sin incluir a los usuarios que diariamente se conectan a través de las redes inalámbricas recientemente instalada. Esto significa un número de usuarios considerables, que se debe tener en cuenta a la hora de hacer cualquier dimensionamiento si se cumple la implementación de la tecnología.

8. Debe resaltarse que aunque la red cuente con enlaces de fibra óptica de 1Gb/seg. a nivel de acceso y procesamiento la red se comporta como una red Fast Ethernet, que posee una máxima velocidad de transmisión de 100Mb/seg. Lo cual nos permite un buen ancho de banda considerando que esta red actualmente solo se destina para datos, y no voz y datos en conjunto.

IV.3 FASE 4: Definición de pruebas a realizar.

En función de las capacidades de la herramienta Chariot se definió un conjunto de pruebas para cada tipo de enlace, con la finalidad de monitorear el comportamiento de estos ante la presencia de flujos de voz.

IV.3.1 Ubicación de los componentes del Chariot.

1. Escenario de Pruebas.

Como primer paso para la definición de la pruebas se ubicaron los componentes necesarios para el funcionamiento de la herramienta Chariot. Estos componentes son la consola y los *endpoints*. La ubicación definida para estos componentes se puede observar en la figura 9.

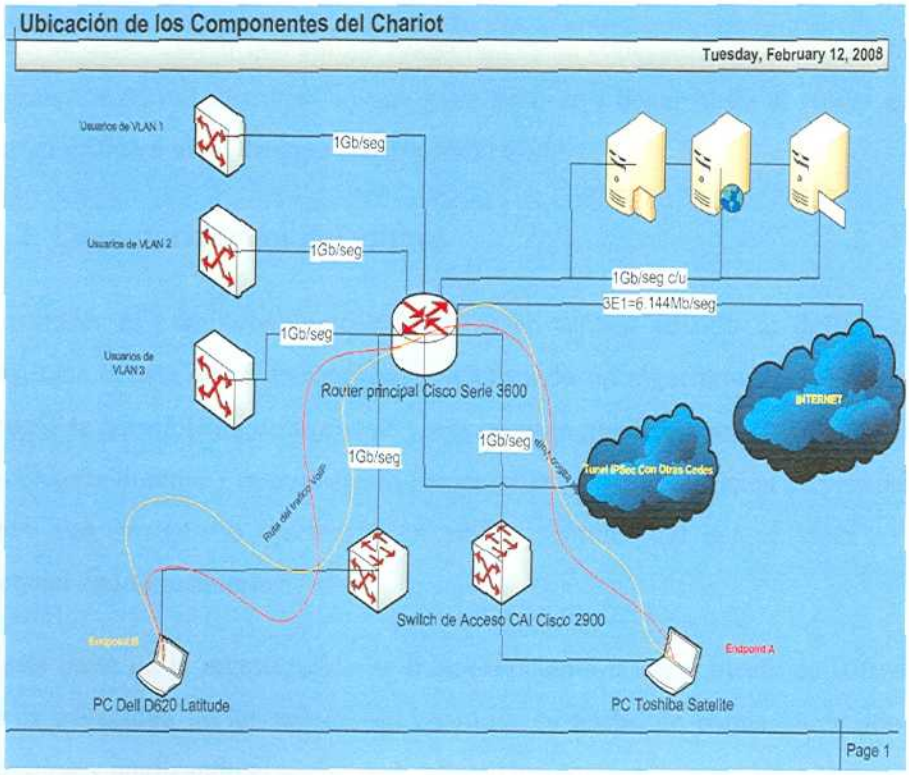

Figura 6. Ubicación de los componentes del Chariot dentro del escenario de pruebas (Autor).

El tráfico generado por el Chariot recorrerá el camino que siguen tanto la línea roja como la naranja, entre los *endpoints*. La diferencia está en el sentido del flujo

de tráfico. La línea roja representa el tráfico que fluye del endpoint A al endpoint B, mientras que la línea naranja representa el flujo de tráfico en sentido contrario. Es importante resaltar que el acceso a la red se hacen por un *router* con capacidad para manejar VLANS, la cual es la manera que implemento el CAI para segmentar el direccionamiento IP de las distintas redes, aulas, rectorado, laboratorios, etc.

Para el funcionamiento de las pruebas ejecutadas por el Chariot, es necesario establecer conectividad bidireccional entre los *endpoint*s a través del puerto 10115, y un rango de puertos establecidos para el protocolo RTP (*Real-time Transport Protocol*). Para permitir esta conectividad bidireccional se solicitó al Ing. Jorge García la configuración de los puertos en el *switch* de acceso para que permitiera todo tipo de puertos del protocolo TCP. De esta manera se aseguró la conectividad en esta dirección a través de todos los puertos.

Además se debe resaltar que ambos *Endpoints* están conectados a distintos *switch* en segmentos de red distintos lo que hace necesario llegar hasta el *router* para enrutar el tráfico a nivel de capa 3 del modelo OSI.

IV.3.2 Caracterización del enlace

Para conocer el comportamiento del enlace en ambos sentido se definió una prueba. Que consta de un Par de *endpoints* usando un algoritmo de *Throughput* que posee la herramienta de *software* y nos permite medir el ancho de banda real de los enlaces durante 1 minuto según fue estipulado en la definición de pruebas a realizar. Las pruebas se ejecutarán en ambos sentidos del enlace visto en la imagen del apartado anterior.

Para esta parte de la investigación se busca mediante la herramienta de software medir la capacidad de los enlaces en cuanto a su ancho de banda, midiendo el *Throughput* y analizando el ancho de banda en los enlaces de cada VLAN y poder observar la capacidades de los equipos que conforman la red, *routers, Switchs servers,* entre otros. En este sentido debe resaltarse que el verdadero ancho de banda de una red no depende de las conexiones a nivel de acceso (fibra óptica,

cable UTP, etc.), si no también de la capacidad de procesamiento de los equipos de red (*switchs, routers*, servidores) y de la cantidad de usuarios que acceden a la misma.

Las pruebas de caracterización del enlace en las VLAN buscan medir el ancho de banda y capacidad de procesamiento de los equipos que conforman la red segmentada en VLAN. Cuando se refiere a la capacidad de los equipos se refiere a las prestaciones que estos poseen en cuanto a la gestión de grandes cantidades de tráficos en momentos críticos de la red, las prestaciones que posean estos equipos influyen directamente en el comportamiento y desempeño de los servicios de Voz. Ya que si la red es incapaz de procesar de manera efectiva y rápida los momentos de repunte de tráfico, la calidad del servicio de voz disminuye significativamente aumentando las colas o produciendo *overflow* en los *buffers* de los equipos y congestionando las comunicaciones tanto de voz como de datos.

IV.3.3 Pruebas de desempeño de VoIP

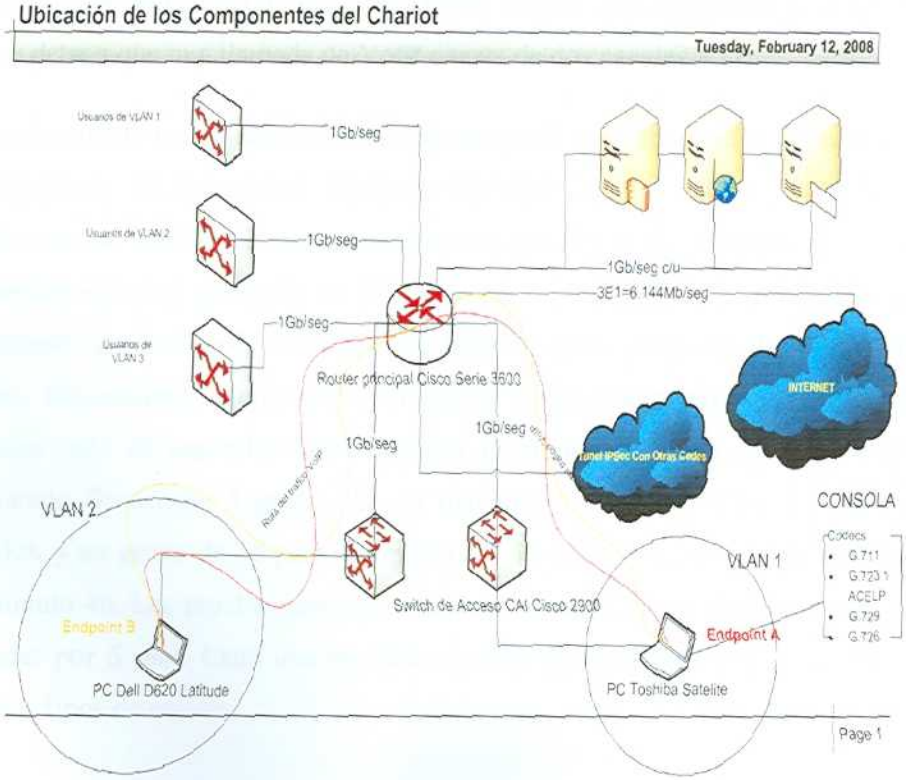

Figura 7. Ubicación de los componentes del Chariot en el desarrollo de prueba. (Autor).

Para analizar la respuesta de cada enlace y la calidad de voz resultante en función de los parámetros definidos previamente en la primera sección de este capítulo, se definieron un total de 27 pruebas, 9 pruebas por a cada enlace, 3 VLANS. Una de las pruebas constara de la caracterización del ancho de banda por cada VLAN. Las 24 pruebas restantes correspondientes a cada VLAN se dividen en 2 grupos de 12 pruebas cada uno, en función de la utilización de la técnica de supresión de silencios. Un grupo usará la supresión de silencio mientras que el otro no. El grupo que use supresión de silencio usara un porcentaje de actividad de voz del 50%. Cada grupo consta de 3 pruebas, debido a que cada prueba individual corresponde al uso de 4 de los *codecs* disponibles en la herramienta Chariot. Cada prueba consta a su vez de la simulación de un número determinado de llamadas de VoIP usando un *codec* específico, de los soportados por la herramienta Chariot. Además se aumentará gradualmente, en intervalos de tiempo fijos, el número de llamadas que se ejecutan de manera simultánea, simulando de esta manera un aumento progresivo del tráfico total en el enlace en ambos sentidos. Hay que destacar que para simular una llamada completa mediante la herramienta Chariot es necesaria la utilización de dos pares VoIP, uno en cada sentido de la conexión. Esto se debe a que una llamada de VoIP consta de dos canales RTP.

Para cada una de las pruebas sobre la red, tomando en cuenta que la capacidad de procesamiento de la central Siemens HICOM 300E es de 50 llamadas simultaneas, se decidió de esta manera un valor máximo de 50 llamadas en cada prueba con aumento gradual y de 100 llamadas simultaneas en las pruebas extras. El aumento gradual de la llamadas fue definido para progresar de la siguiente manera: Inicialmente se ejecutó 5 llamadas, y luego se agregaron grupos de diez llamadas cada 20 segundos hasta alcanzar el número máximo de 50 llamadas, obteniendo finalmente 3 grupos de 10 llamadas adicionales a las 5 llamadas iniciales, y un grupo de 15 para completar las 50 en un tiempo total de medición de 1minuto 40. Las pruebas extras se realizaron con un tráfico simultáneo de 100 llamadas por 5 min. Cada una de estas pruebas fue realizada con el uso de los distintos tipos de *codecs*.

IV.4 FASE 5: Realización de experiencias prácticas en las instalaciones del CAI (Centro para la Aplicación de la Informática).

Los resultados obtenidos de la realización de las pruebas mediante la herramienta Chariot son en esencia un número determinado de registros denominados *Timing Records*, los cuales representan la información de las mediciones realizadas de los parámetros definidos previamente. Adicionalmente la herramienta proporciona una interfaz bastante sencilla y flexible para la representación gráfica de dichos registros, permitiendo agrupar o aislar resultados de distintos pares para su graficación, lo que brinda una gran variedad de posibilidades para la realización de los análisis y para la presentación de los mismos. Inclusive permite la comparación gráfica de resultados de pruebas distintas. A continuación se mostraran gráficamente los resultados más significativos.

IV.4.1 Caracterización de los enlaces.

Antes de comenzar a describir los resultados de la caracterización del enlace, se debe recordar que la red universitaria del núcleo Antimano, esta segmentada lógicamente usando protocolos de seguridad VLAN para la diferenciación en la asignación de direcciones IP a los distintos usuarios. Para ello en el Centro para la Aplicación de la Informática CAI, posee un esquema de división de VLAN que agrupa 5 VLANs las cuales poseen la mayoría de los usuarios que acceden la red, el esquema sugiere lo siguiente:

- VLAN de AULAS: esta comprende todos los usuarios de los Edificios Modulo 1 a Modulo 6, mayoritariamente oficinas, Escuelas, Caja entre otras. Tiene aproximadamente más de 600 usuarios.

- VLAN de RECTORADO: comprende todos los usuarios que se encuentran en el edificio de Rectorado. Posee alrededor de unos 300 usuarios.

- VLAN de LABORATORIOS: en esta se encuentran todas las maquinas de los laboratorios de computación que están a lo largo del campus universitario. Esta es la red que posee mayor cantidad de usuarios, aproximadamente unos 1200 puntos de red.

- VLAN de CAI: esta posee todos los usuarios que trabajan en el CAI, posee alrededor de 50 usuarios.

- VLAN de RESERVA: esta contiene usuarios de distintas VLANs en las cuales se acaba el rango de direccionamiento IP, es una mezcla de usuarios de las VLAN de laboratorios, con usuarios nuevos que no entran en ninguna clasificación anterior. Posee alrededor de 400 puntos de red.

- VLAN de DIRECCION ESTUDIANTIL: esta VLAN posee los usuarios que tienen acceso a los servidores de notas, es una red de acceso privado. Posee aproximadamente 30 puntos de red.

En el estudio realizado solo se tomo como primordial las VLAN que poseían la mayor cantidad de usuarios, para comprobar su rendimiento con la implementación de VoIP.

1. Enlace VLAN

En la figura 8 se puede ver la cantidad de tráfico que procesa la red datos durante 24 horas, medido en Kilo bytes por segundo. Se observa que el tráfico de datos aumenta considerablemente a ciertas horas del día en las cuales hay mas usuarios accediendo a la red. Por lo general las horas de la mañana son más concurridas y cogestionadas en la red, esto se debe a que en esas horas hay mayor número de personas en el campus. Actualmente en la UCAB existen más secciones en los turnos diurnos que en los turnos nocturnos, a ello se debe el hecho que exista mayor concentración de usuarios accediendo a la red entre las horas comprendidas desde las 8 AM a las 4 PM. Otra cosa importante que mencionar en el tráfico diario, es que posee horas picos, las cuales fueron importantes identificarlas para realizar las pruebas de desempeño de Voz sobre IP a dichas horas y ver el comportamiento de la red en este tiempo de repunte del tráfico. Las horas de

mayor repunte del tráfico son comprendidas entre las 9 AM y las 12 PM en el turno de la mañana y entre las 2 PM y las 5 PM.

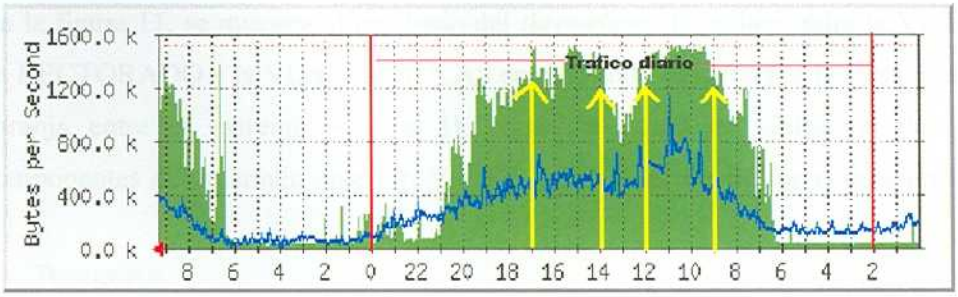

Figura 8. Trafico de la Red de Datos del día 16/01/08. (Autor). Herramienta RDTOOL.

El software usado por el CAI para monitorear el tráfico de la red es una herramienta llamada RDTOOL.

Este comportamiento de la red a lo largo de 24 horas se mantiene estándar durante una semana inclusive un mes como lo demuestran las figuras 9 y 10 respectivamente.

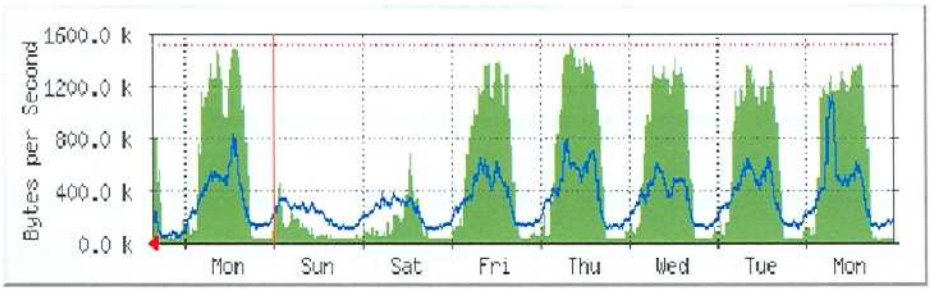

Figura 9. Trafico de la Red de Datos semana del 14/01/08 al 18/01/08. (Autor). Herramienta RDTOOL.

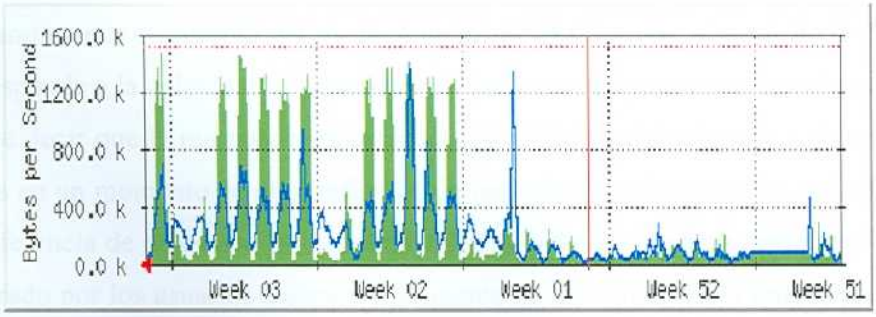

Figura 10. Trafico de la Red de Datos mes de Diciembre del 2007. (Autor). Herramienta RDTOOL.

Basado en esta información se realizo el estudio mediante la herramienta de *software* para las mediciones del ancho de banda de la red y su *throughput*.

En la figura 11, se muestra el resultado del *throughput* del enlace entre la VLAN de RECTORADO y la VLAN de AULAS en el sentido descrito por la línea roja y naranja entre el extremo A y el B, según la figura de Ubicación de los componentes del apartado anterior. Ver **IV. 3.1 Ubicación de los componentes del Chariot.**

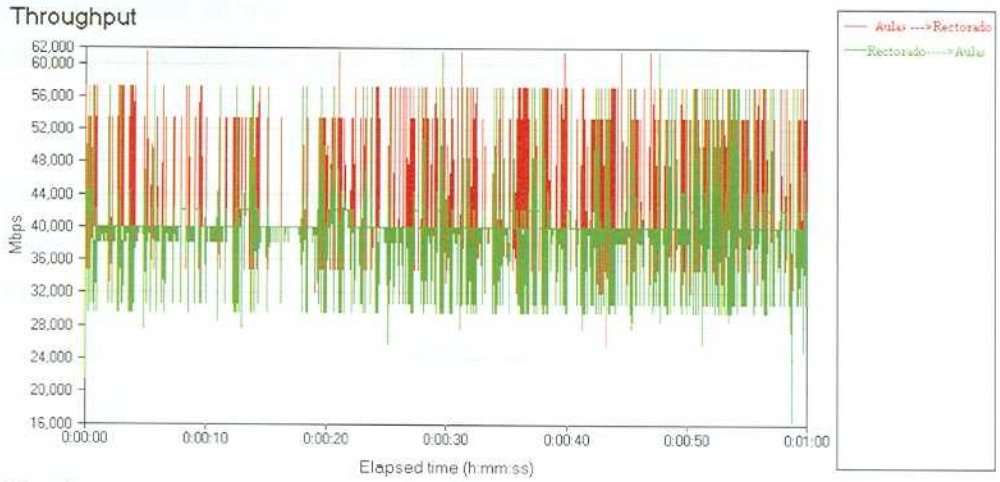

Figura 11. *Throughput* en el sentido del extremo A al extremo B (Autor).

En la grafica se observan los valores máximos y mínimos de *throughput* entre la VLAN de Aulas y Rectorado, soportados en la red. Dados estos valores se puede decir que la red posee una alta capacidad para gestionar tráfico, ya que si restamos el valor máximo, menos el valor mínimo del *throughput* nos da un ancho de banda bastante considerable. El ancho de banda estimado se calculo restando el valor máximo menos el mínimo del *throughput* es de 25.00 Mbps, este ancho de banda corresponde a la velocidad y capacidad que posee la red para transferir datos. Esto quiere decir que la red puede procesar una cantidad de datos entre 56 Mbps y 32 Mbps en un momento de alto tráfico en un periodo de 1minuto, esta capacidad de transferencia de datos nos da una alta confiabilidad para soportar cualquier trafico generado por los usuarios independientemente de las aplicaciones este corriendo a través de la red (descarga de archivos, acceso a e-mails, video en tiempo real,

etc.). Fuera de las horas picos de tráfico el valor promedio del *Throughput* se estabiliza alrededor de 44 Mbps a 52 Mbps, esto nos permite gozar con un ancho de banda bastante bueno para absorber el tráfico generado por la implementación en la red de VoIP, sin provocar congestiones.

La manera en la cual la herramienta de software calcula el Throughput es bajo la siguiente ecuación **T = (Bytes Recibidos por E2) / (Tiempo de Prueba)** en el caso del *script* configurado para esta prueba la cantidad de bytes enviados fueron 10 MBytes durante un minuto, para ver mas detalles del calculo hecho por la herramienta Ver Apéndice A Manual de la Herramienta Chariot

La velocidad de transmisión que posee la red es característica de una red Fast Ethernet, usando tecnologías Ethernet **100BaseT,** que corresponde a transmisión a través de cable UTP categoría 6 que nos permite una velocidad máxima de 100Mbps, y 100BaseFx que implica la transmisión de datos por medio de Fibra Óptica, permitiendo una velocidad máxima de 100Mbps usando un modo Full Duplex en la fibra.

El *throughput* de la red no solo varía en función de los enlaces o las tecnologías de transmisión que se apliquen, también depende de la capacidad de procesamiento de los equipos de la red, estos pueden en algunos casos ocasionar un problema común en este tipo de redes LAN, conocidos como Cuello de Botella, el cual se da cuando por un lado del equipo se conectan dos medios de transmisión diferentes. Es decir el equipo por un lado de su interfaz posee una conexión con Fibra Óptica usando una tecnología Ethernet 100BaseFx que permite una velocidad mayor de transmisión y por otro una conexión con cable UTP categoría 6 usando una tecnología Ethernet 100BaseT que permite una velocidad mas baja. Los equipos deben ser capaces de transmitir a la misma rata con la que entra la información por cualquiera de las interfaces, esto se hace un poco complicado cuando se presentan las horas picos de trafico, ya que los *buffers* de los equipos se congestionan imposibilitando el rápido paso de la red óptica, a la red de cable de cobre. En el estudio que se realizo a la capacidad de los enlaces de la red se observo que este tipo de problemas de Cuello de Botella se presentan en repetidas ocasiones, lo cual representaría un inconveniente a la hora

de la implementación de la tecnología de VoIP. Para proporcionar una solución a este tipo de inconveniente en la red, en la sección de conclusiones y recomendaciones que presenta este estudio se recomienda una política de enrutamiento y procesamiento de paquetes para que este problema en particular no afecte el desempeño de la voz en estas redes paquetizadas.

A continuación se les presenta los resultados obtenidos por la caracterización del enlace entre la VLANs de Aulas y Reserva. El comportamiento estos resultados fue muy similar al visto en la caracterización del enlace anterior. Esto se debe a que el modo en el cual se dispuso los *endpoints* en el enlace, los *switch* en los cuales están conectados los *endpoints*, dos *switchs* CATALYST 3560 respectivamente, tienen el mismo acceso a la red a través de fibra óptica hasta el *router*. Para entender esto un poco mejor referirse a el apartado VI. 3.1 ubicación de los componentes del Chariot (ver figura 6 y 7). Debido a ello presentan la mismas características de transmisión, están accediendo a la red por el mismo medio (fibra óptica), y con destino al mismo equipo (*router*). Esto es importante ya que nos comprueba que existe uniformidad en la red, esto quiere decir que dos equipos conectados al *router* principal poseen características similares en cuanto al estado de sus enlaces, cosa que es fundamental en la implementación de la tecnología de VoIP ya que demuestra que los equipos poseen una alta capacidad de procesamiento y un máximo aprovechamiento del enlace.

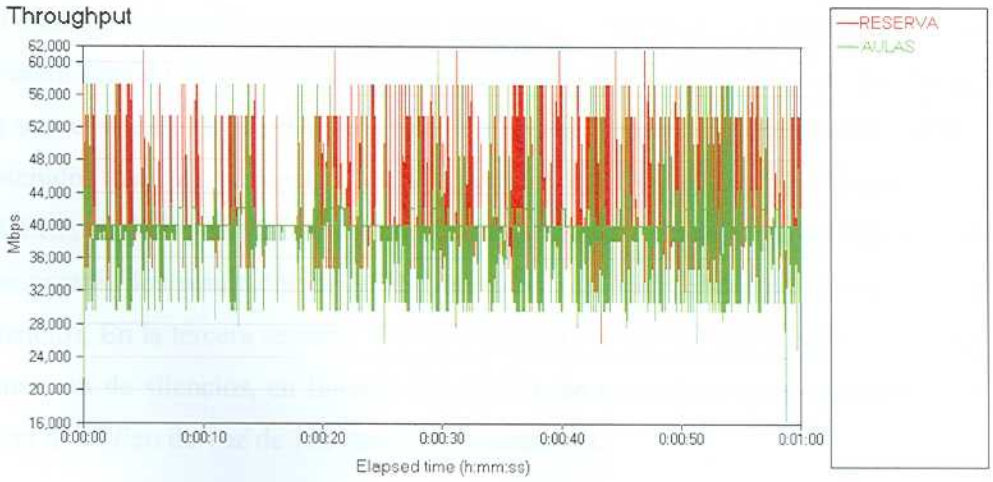

Figura 12. ***Throughput*** **VLAN Reserva -------VLAN AULAS viceversa.(Autor).**

IV.4.2 Pruebas de desempeño de VoIP.

Los resultados de estas pruebas son exactamente un total de 243 gráficas, en las cuales se incluye las pruebas realizadas con y sin el uso de la supresión de silencio y las pruebas extras realizadas para observar el comportamiento de la red con un trafico de voz sobredimensionado. Tomando en cuenta que se realizaron 27 pruebas, y que cada prueba por si sola genera 9 gráficas de los parámetros medidos; presentar estos resultados individualmente no es la forma más ilustrativa para los fines del análisis, por lo que se realizará una representación comparativa de un conjunto de los mismos en la sección del estudio técnico comparativo. Para ello se hará uso de una herramienta que posee el software Chariot, que permite en una sola ventana abrir todas las pruebas y compararlas, mostrando en una misma grafica los resultados obtenidos por cada prueba en funcion de los distintos codecs empleados, esto nos permitirá realizar un estudio comparativo mas representativo.

IV.5 FASE 6: Estudio técnico comparativo

A partir de los resultados obtenidos de las experiencias prácticas realizadas, en esta sección se presentarán los resultados de manera conjunta, en función de una estructura de análisis comparatívo en la cual se relacionarán de forma lógica y coherente los resultados para poder compararlos y extraer conclusiones significativas.

La estructura de análisis comparativo propuesto, se definen tres secciones: En la primera sección se compararán gráficamente los resultados en función del tráfico de voz el uso de de los distintos tipos de *codecs*, específicamente de los valores obtenidos para el parámetro MOS obtenidos con los *codecs* G.711u, G.723-ACELP, G.729 y G.726 sin supresión de silencio . En la segunda sección se compararán los resultados de MOS obtenidos para cada *codec* con supresión de silencios. En la tercera sección, se analizará el comportamiento de cada *codec* con supresión de silencios, en función del MOS y de un sobredimensionamiento del nivel de tráfico de voz de 100 llamadas simultaneas.

El estudio esta hecho en función del uso de la supresión de silencios como herramienta que permite un ahorro considerable del ancho de banda utilizado, respecto a cada codec y la cantidad de tráfico máxima y mínima que debe soportar la red con VoIP.

IV.5.1 Sección 1: Comparación en función del MOS y tráfico de voz sin supresión de silencio.

La razón por la cual se definió esta sección, se debe a que para realizar una llamada de VoIP se usan dos canales RTP distintos, uno para cada sentido de la llamada, y los enlaces por los cuales se transporta el tráfico de dichos canales se pueden comportar de manera distinta, como ya se pudo observar en la caracterización de los enlaces que se realizó en la sección anterior. En esta sección los resultados serán evaluados en función del comportamiento cada *codec* y el MOS que cada uno presente con un tráfico creciente de llamadas, hasta llegar a un máximo de 50 llamadas. Se mostrará una gráfica comparativa en la cual se presenta un promedio del MOS de cada *codec*, también se presentará una gráfica del *jitter maximun y throughput, de* todos los canales establecidos en cada sentido de la comunicación. Se debe recordar que el MOS es consecuencia directa de estos factores. En está sección se analizarán únicamente los resultados obtenidos del grupo de pruebas que no utilizó supresión de silencios, el grupo de pruebas que utilizó esta técnica será expuesto en apartados posteriores.

1. Enlace VLAN

Los sentidos serán identificados, según la figura 7 de la definición de los componentes del Chariot, de la siguiente manera: De extremo A extremo B y de extremo B a extremo A. En este caso particular, el tráfico se realizó entre la VLAN de Rectorado y la VLAN de Aulas. Los resultados a analizar se pueden observar en el Apéndice D: Gráficas de resultados, en las gráficas 10, 11, 12, 13 y 14.

Las pruebas fueron realizadas durante las horas de mayor congestión de la red según lo descrito en la caracterización del enlace. Esto nos garantiza que el rendimiento de la red en estas condiciones fuera el escenario mas critico de la red

y así poder medir todos los parámetros que influyen en el desempeño de la tecnología de VoIP (*jitter*, *throughput*, *delay*, etc) que fueron estudiados anteriormente.

Codec	G.711	G.726	G.729	G.723
MOS	4,38	4,2	4,05	3,65

Tabla 4. Comparación de l MOS obtenido (Autor).

En la tabla 4 se observa el MOS que obtuvo cada *codec* durante la realización de la prueba, obsérvese que el comportamiento del G.711 fue el que mayor grado obtuvo con un 4.38, mientras que el segundo mejor fue para el G.726 con un MOS de 4.2. Todos los demás (G.723 y G.729) se mantuvieron por debajo de un nivel satisfactorio de rendimiento según lo estudiado previamente, podría decirse que estos resultados no son representativos para nuestro estudio en cuestión. En cuanto a estos dos *codecs* el G.711 y el G.726 se mantuvieron en un nivel satisfactorio, y por ello para entender un poco mejor el comportamiento de los mismos, en las graficas 12, 13 y 14 se expresa el *jitter* y el *throughput* de cada uno de los *codecs*, se puede observar que el G.711 es el que posee mayor *jitter* en comparación con el G.726, esto nos dice que la red es mas propensa a tener mas retrasos entre paquetes con la utilización de este *codec*, cosa que se quiere evitar ya que una conversación de voz es sensible a retardos. Esto puede ocurrir gracias a que en las horas pico de tráfico, la red esta procesando un alto contenido de paquetes simultáneamente demorando las colas de espera en los *buffer* provocando retardos en la llegada entre paquetes.

N° de llamadas	5	15	25	35	50
Throughput					
G.711	0,75Mbps	2Mbps	3Mbps	4,5Mbps	6,40Mbps
G.726	0,45Mbps	1Mbps	1,5Mbps	2,1Mbps	3Mbps

Tabla 5. Comparación del Throughput obtenido (Autor).

Por otro lado tenemos en la tabla 5 se observa el *throughput* empleado por los *codecs* G.711 y G.726 para establecer el tráfico de voz variante durante la prueba. En este sentido se debe recordar que los *codecs* son algoritmos que digitalizan la

voz y la convierten en paquetes para ser transportadas por la red, el *codec* G.711 usa un ancho de banda entre 64Kbps y 84Kbps por cada conversación ya que no usa ningún algoritmo de compresión, lo que implica que para procesar un gran numero de llamadas en este caso 50 llamadas tendría que usar un amplio ancho de banda, mientras que el *codec* G.726 que sí posee un algoritmo de compresión y puede utilizar un ancho de banda variable entre 24 Kbps y 56 Kbps según se configure, usaría la mitad del ancho de banda empleado por el G.711.

Después de comparar los resultados de estos parámetros específicamente entre los *codecs* G.711 y G.726, se puede decir que el comportamiento de la red, con un trafico variante de llamadas, el *codec* G.711 parece ser el que mejor se comporta en la red, pero cuando se habla de la implantación de VoIP, se debe tener en cuenta que el ancho de banda es un factor importantísimo a la hora de definir el tipo de *codec* a utilizar. El *codec* G.726 puede prestar un servicio con una calidad de voz con un MOS de 4.2, el cual es un valor bastante aceptable, y además puede usar la mitad del ancho de banda que usa el codec G.711 para procesar el mismo número de llamadas.

Por lo cual hasta ahora dicho *codec* el G.726 es el que mejor se comporta en la red en comparación a los demás. Para estar seguros de esto en la siguiente parte del análisis de resultados se repetirán las pruebas en las mismas condiciones pero esta vez haciendo uso de la supresión de silencios para observar el comportamiento de los distintos tipos de *codecs*.

IV.5.2 Sección 2: Comparación de resultados para cada *codec* en función del uso de supresión de silencio.

Esta sección fue definida para determinar el impacto que tiene el uso de la supresión de silenció en el desempeño de los enlaces y su impacto en la calidad de voz. Los resultados se dividirán en función de los diferentes *codecs* y de el usó de supresión de silencios. De esta manera se presentan en una misma gráfica los resultados de MOS obtenidos para todos los *codecs* específicamente para G.711u, G.723-ACELP, G.729 y G.726 con el uso de supresión de silencios. Finalmente

para cada *codec*, se presenta el promedio de los resultados de *throughput* y jitter con el uso de la supresión de silencios.

1. 1. Enlace VLAN

Las gráficas comparativas de los resultados, para esta sección se muestran en el Apéndice D: Gráfica de resultados, desde la gráfica 15 a la 18.

Observe en la figura 15 y 16 el MOS obtenido por las pruebas haciendo uso de la supresión de silencio, dicho valor para todos los *codecs* se comporta de manera similar al visto en la sección anterior en la cual no se hizo uso de la supresión de silencios. Esto se puede entender perfectamente ya que el uso de la supresión de silencio no afecta el desempeño de la calidad de voz, pero si afecta directamente sobre el *throughput* utilizado por cada *codec*, ya que cuando se activa el uso de la supresión de silencio, lo que ocurre es que desde un extremo a otro y viceversa, se envía paquetes marcados para producir un efecto de confort *noise* o ruido de fondo, usado en las comunicaciones telefónicas para que los interlocutores en el tiempo que ninguno esta conversando no se produzca un efecto de vació en el canal. Esto se debe a que con el uso de la supresión de silencio el *codec* toma un porcentaje de actividad de la voz de un 50%, cuando digitaliza y empaqueta la voz lo hace solo para el 50% del tiempo que se esta muestreando, filtrando asi cualquier ruido o frecuencia auditiva detectada por el micrófono del aparato telefónico. Esto por consecuencia ahorra en un 50% el ancho de banda usado por la red para una conversación de voz.

En el caso del *throughput*, en las graficas 17 y 18, se observa que el ancho de banda utilizado para el establecimiento de los bloques de llamadas con supresión de silencios, corresponde aproximadamente a la mitad del ancho de banda que utiliza un bloque de llamadas sin supresión de silencios, visto en el apartado anterior en las graficas 13 y 14. Obsérvese que por cada intervalo de 20 segundos el *Throughput* para cada *codec* aumenta en una forma escalonada, este aumento se debe a que cada 20 segundos se añade un bloque de 10 llamadas al tráfico de voz.

N° de llamadas	5	15	25	35	50
Throughput					
G.711	300Kbps	900Kbps	1500Kbps	2300Kbps	3200Kbps
G.726	150Kbps	500Kbps	800Kbps	1200Kbps	1600Kbps

Tabla 6. Comparación del Throughput obtenido (Autor).

En el caso de comparación entre los dos *codecs* que obtuvieron mayor MOS (G.711=4.38 y G.726=4.2) respectivamente, se observa que el *Throughput* del G.711 para 50 llamadas es de 3.200 Kbps este el doble que el empleado por el G.726 de 1.600 Kbps para la misma cantidad de trafico. El comportamiento experimentado por este parámetro (*Throughput*), en esta seccion se asemeja perfectamente con el presentado en el apartado anterior.

Es importante para el estudio de la red frente la prestación del servicio de VoIP que se comporte de manera estable en respuesta a los distintos *codecs*, por ello la investigación se centrara en los dos *codecs* que se obtuvo el mejor valor de MOS, específicamente el G.711 y el G.726. Tanto en las graficas del apartado anterior como en las graficas de este apartado, el *codec* G.726 se ha mantenido con unas características bastantes aceptables para el desempeño de la tecnología, ya que su valor de MOS se mantiene constante y su comportamiento frente al trafico es bastante aceptable. También se debe resaltar que este *codec* puede manejar el mismo número de llamadas usando la mitad del ancho de banda que el usado por el G.711 que posee un valor de MOS mas elevado. Esto nos lleva a pensar que a la hora de dar una recomendación final sobre cual es el *codec* mas apropiado para la implementación de la tecnología VoIP en las redes de la UCAB, no solo debe tomarse en cuenta el valor de MOS, sino debe hacerse un análisis de los parámetros intrínsecos que conllevan a estos valores de MOS. En este sentido se debe resaltar que otros parámetros como el *delay* y perdida de paquetes no han mostrado una variación significativa y relevante, digna de analizar en ninguna de las pruebas anteriores. Estos valores son casi nulos y no presentan relevancia para el estudio. Cosa que nos dice que la red posee un buen comportamiento en cuanto a procesamiento y transmisión de paquetes, característica importantísima y necesaria que debe poseer una red que implemente la tecnología.

Como una prueba final y definitiva para concluir cual de estos dos *codecs* (G.711 y G.726) son los mas adecuados para la prestación de servicio, en el apartado siguiente se muestran unas pruebas realizadas con un sobredimensionamiento del trafico, para comprobar que los parámetros que definen la calidad de voz se mantengan en un nivel satisfactorio y no se produzcan fluctuaciones debidas al exceso de trafico.

IV.5.3 Sección 3: Análisis comparativo entre *codecs*, en función del MOS y un sobredimensionamiento del tráfico de voz.

Este análisis se hará, debido a que cada *codec* posee características distintas. En general, consumen diferentes cantidades de ancho de banda, usan distintos esquemas de paquetización, lo cual causa que se tengan más o menos muestras de voz por paquete, entre otras. Se mostrará una gráfica, en la cual estará representado el promedio de los resultados de MOS, de todas las llamadas, para todos los *codec*, usando el esquema de supresión de silencio que haya dado mejores resultados en la sección anterior y un sobredimensionamiento del tráfico de voz de 100 llamadas simultaneas.

1. Enlace VLAN

Los resultados a analizar se pueden observar en el Apéndice D: Gráficas de 19 a 23. De manera global, se puede observar en las graficas 19 y 20 el comportamiento del MOS, frente a un sobredimensionamiento del tráfico. Como se había mencionado en el punto anterior el estudio se centrara en el resultado especifico de los *codecs* G.711 y G.726. En cuanto a estos se observa que el MOS del G.711 disminuyo en 0.1 unidades para colocarse en un valor de 4.22, lo que nos hace pensar que frente a un trafico de 100 llamadas comienza a descender, mientras que el G.726 se mantiene constante en 4.2 todavía un poco por debajo que el codec G.711. Este resultado nos dice que el *codec* G.726 no varía su rendimiento sin importar la cantidad de tráfico de voz que esté soportando, su comportamiento es estable a lo largo de las pruebas anteriores.

Codec	G.711	G.726	G.729	G.723
MOS	4,22	4,2	4,05	3,65

Tabla 7. Comparación de l MOS obtenido (Autor).

Observe también en las graficas 21 y 22 que aun con el sobredimensionamiento del tráfico de 100 llamadas, el G.726 posee menos de la mitad del *Throughput* que emplea el G.711 para soportar dicho tráfico. Se debe resaltar que el valor del *Throughput* que emplea el G.711 para gestionar este trafico es muy elevado y debido a ello podría causar problemas de congestionamiento en la red provocando que los Buffer de los equipos se llenen, lo que puede ocasionar el aumento en el *jiiter* (grafica 23), perdida de paquetes, retraso en conexiones RTP, etc.

Codec	MOS	Throughput
G.711	4,22	13Mbps
G.726	4,2	6,1Mbps
G.729	4,05	1,8Mbps
G.723	3,65	1,05Mbps

Tabla 8. Comparación de l MOS y Throughput obtenido (Autor).

La red deberá ser capaz de absorber el tráfico telefónico con la implementación de la tecnología VoIP con una buena calidad y sin desmejorar la prestación de servicios de la red de datos convencional sin interrupciones o inconvenientes. Debido a esto se tiene que considerar que la implementación de la tecnología con el uso del *codec* G.711 implicaría una sobrecarga de procesamiento y un mayor uso del ancho de banda de la red lo cual podría presentar problemas en la red.

Por otro lado el *codec* G.726 aunque no posea el mejor valor de MOS su comportamiento se mantiene estable en todas las pruebas realizadas y representa una disminución del ancho de banda importante, por ende y en base a los estudios realizados en este trabajo de grado se puede decir que, se recomienda la implementación de la tecnología de VoIP con el uso del *codec* G.726, el cual demostró ser el que mejor se adapta a las prestaciones de la red de la UCAB.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1 Conclusiones

Estudiar y analizar el comportamiento de los servicios de VoIP sobre plataformas de red, constituye una buena práctica muy recomendable si se pretende implementar este servicio, ya que de esta forma se logra conocer si se necesita de alguna forma optimizar el funcionamiento o configuración de los equipos que la conforman, para así garantizar el correcto funcionamiento de los servicios de VoIP cuando éstos sean implementados.

Para realizar este tipo de análisis, es crucial contar con una herramienta de *software* que sea capaz de calcular todos los parámetros mencionados anteriormente, y que permita realizar las comparaciones respectivas ente los resultados obtenidos en cada prueba, que son siempre necesarias cuando se realizan este tipo de análisis. En este trabajo especial de grado se encarta en el Apéndice A, un Manual para el Uso de la Herramieta Chariot que relata detalladamente los pasos para la configuración y el uso del *software*. Este apéndice fue desarrollado con el fin de describir los pasos que se necesitaron para la configuración de cada una de las pruebas.

Cada *codec* posee un valor de MOS teórico diferente, calculado a partir de valores constantes de retardo, *jitter*, y pérdida de paquetes. Estos parámetros inciden de forma directa en el rendimiento de los servicios de VoIP sobre redes paquetizadas, ya que sus valores dejan de ser constantes en la realidad, modificando los valores de MOS resultante, en función de las características de la red.

Antes de realizar pruebas con tráfico de voz, debe conocerse el comportamiento del enlace. Dicho comportamiento puede determinarse a partir del *throughput* del mismo y determinará cuán apto está el enlace para realizar las pruebas con tráfico de VoIP, y cual es el tráfico máximo que este puede soportar. En entornos reales,

resulta poco probable que el *throughput* sea 100% simétrico en ambas direcciones, ya que este depende de la capacidad de los equipos y la velocidad de los enlaces, sin embargo, debe trabajarse en *pro* de que esto de alguna forma se logre, ya así se asegurará que para cualquier *codec* seleccionado la calidad de las llamadas, percibidas por ambos interlocutores sea lo mas optima posible. La caracterización de los enlaces realizada en este trabajo, demostró que la red esta capacitada para absorber el trafico generado por la implementación de la tecnología de VoIP ya que el ancho de banda de la cual dispone permite que la red gestione el trafico tanto de voz como de paquetes y siga teniendo un optimo servicio en ambos casos.

La utilización de la técnica de supresión de silencios mejora notablemente el aprovechamiento del ancho de banda del canal, permitiendo así que puedan mantenerse un mayor número de llamadas simultáneas establecidas en el enlace. Ahora bien, al utilizar esta técnica, los usuarios pueden percibir el canal como una línea muerta. Por esta razón se recomienda la utilización conjunta de la técnica de supresión de silencios, y la introducción del ruido de confort, para eliminar las incomodidades que esto puede ocasionar en la comunicación.

Para la elección del mejor *codec* utilizable para la implementacíón de servicios de VoIP, se debe hacer un balance entre, el nivel de calidad deseada y el número máximo de llamadas consecutivas para los cuales se desea dicho nivel de calidad. Además se debe tener conocimiento del ancho de banda disponible, para poder realizar dicho balance. En base a la investigación que presenta este Trabajo Especial de Grado se recomienda el uso del *codec* G.726 para la implementación de la tecnología VoIP en las redes de la UCAB cede Antimano, ya que era el que nos brindaba el mejor empleo del ancho de banda y capacidad para gestionar altos tráficos sin disminuir su MOS.

V.2 Recomendaciones

Es altamente recomendable la utilización de la herramienta NetIQ Chariot, ya que provee toda la información requerida para realizar un análisis suficientemente completo del rendimiento de la plataforma.

Se recomienda el uso de la división en VLAN para la segmentación de los grupos de abonados ya que esto nos permitiría sectorizar y administrar los abonados, y clasificar el tipo de servicio que unos pueden acceder y otros no, por ejemplo llamadas internacionales llamadas a celulares, video conferencias, entre otras.

Para optimizar el funcionamiento de las aplicaciones de VoIP sobre la red de datos de la UCAB, administrada por el CAI, es recomendable implementar políticas de calidad de servicio, de forma tal de darle preferencia al tráfico de voz, dentro del núcleo de la red. De esta forma se reducirán los valores de *jitter* y pérdida de paquetes, que como se logró demostrar son los que influyen en mayor grado el comportamiento de los servicios de VoIP. Existen varias formas de implementar calidad de servicio y este podría ser el objetivo de otro estudio. Actualmente existen muchos tipos de soluciones para la implementación de VoIP, existen las soluciones propietarias las cuales son hechas por una empresa como AVAYA, CISCO, entre otras, que tienen equipos especializados con un alto desempeño que pueden ser implementadas en la red. Este tipo de soluciones implicara un alto costo monetario, ya que al ser soluciones propietarias estas empresas se encargan de proveer todos los equipos y realizar la implementación.

Por otro lado existen las soluciones no propietarias, que son desarrolladas bajo ambientes de programación libre como LINUX, la cuales no implican un elevado costo de implementación. Dentro de este tipo de soluciones la mas común implementada es la solución ASTERISK, que esta basada bajo un ambiente LINUX que permite acceder a software especializados para el manejo, control y administración de la plataforma de la tecnología libre del costo de licencias. Para ver mas detalles de este tipo de solución ver el Apéndice E. Implementación de Asterisk en VoIP.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- **Ares, Roberto Ángel.** "Manual de infotelecomunicaciones. Sobre los Enlaces, las Redes y los Servicios".Buenos Aires, Argentina: El Cid Editor, 2004.

- **Davidson, Jonathan. Peters, James.** "Fundamentos de Voz sobre IP". Cisco Systems-Cisco Press. Pearson Education. 2001

- **Green, James Harry.** "Voice and Video Over IP". Blacklick, OH, USA: McGraw-Hill Professional, 2002.

- **Guevara, Roman. Contreras, Susana**. "Estudio Tecnico de los Sistemas de Comunicacion Satelitales y Microondas de la Empresa COMSAT de Venezuela, para la prestación de servicios VoIP ". Trabajo Especial de Grado. Universidad Catolica Andres Bello, Marzo, 2007

- **Hardy, William**. "VoIP Service Quality". McGraw-Hill. OH, USA. 2003

- **Johston, Alan B**. "SIP: Understanding the Session Initiation Protocol". (Second Edition). Artech House. 2003

- **IEEE (Skinnemoen, Harald; Vermesan, Anca)**. "VoIP over DVB-RCS with QoS and Bandwith on Demand". Octubre 2005

- **Tanenbaum, Andrew S**. "Redes de Comuputadoras." Pearson Educación. Mexico. 2003.

Páginas Web Consultadas:

Héctor Kaschel C.

- **Héctor Kaschel C. Enrique San Juan U.** "Consideraciones Técnicas para Elaborar un Estándar Definitivo de VoIP ". Extraído el 16 de enero de 2007 desde

http://www.senacitel.cl/downloads/senacitel2002/ID002.pdf

- **IETF**. RFC 3261 SIP. Extraído el 07 de Junio de 2007 desde http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt

- **ITU-T**. Recommendation G.107: "The E-model, a computational model for use in transmission planning". Extraído el 7 de Junio de 2007 desde http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-200606-I!Amd1/en

- **Ixia Company.** "Assessing VoIP Call Quality Using the E-model". CA, USA. 2005. Extraído el 3 de septiembre de 2007 desde http://www.ixiacom.com/library/white_papers/display?skey=voip_quality

- **Ixia Company**. "Testing in NAT'ed Networks". Extraído el 4 de septiembre de 06 desde http://www.ixiacom.com/library/test_plans/display?skey=ixchariotate

- **Ixia Company.** "VoIP Tesitng". Extraído el 4 de septiembre de 2006 desde http://www.ixiacom.com/library/test_plans/display?skey=voip

- **Liesenborgs, Jori**. (2000, 24 de Mayo). "Voice over IP in networked virtual environments". Extraído el 16 de enero de 2007 desde http://research.edm.luc.ac.be/jori/thesis/onlinethesis/contents.html.

- **NSG Datacom**. "VoIP optimizad for Satellite". Extraído el 16 de enero de 2007 desde http://www.nsgdata.com/solutions/application_briefs/VoIP_optimized_for_Satellite_R1.1_060622.pdf.

- **OISHI**, Tokuo. NSG Datacom "VoIP and Satellite Systems". Extraído el 20 de Mayo de 2007 desde http://www.nsgdata.com/solutions/application_briefs/NSGData_VoIP%20and%20Satellite_R1_052705.pdf