



# **UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

---

## **División de Ciencias e Ingeniería**

### **DESARROLLO DE UN GENERADOR DE TRAFICO SINTETICO DE VOIP**

**Trabajo de Tesis  
para obtener el grado de**

**Ingeniero en Redes**

**PRESENTA**

**Grecia del Rosario Almeyda Torres**

**Director de Tesis**

**Dr. Homero Toral Cruz**

**Asesores**

**Dr. Freddy Ignacio Chan Puc**

**Dr. Víctor Manuel Sánchez Huerta**

**Chetumal, Quintana Roo, México, Junio de 2013.**



# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

---

## División de Ciencias e Ingeniería

Trabajo de Tesis elaborado bajo supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

### INGENIERO EN REDES

Comité de Trabajo de Tesis

**Director:**

---

**Dr. Homero Toral Cruz**

**Asesor:**

---

**Dr. Freddy Ignacio Chan Puc**

**Asesor:**

---

**Dr. Víctor Manuel Sánchez Huerta**

**Chetumal, Quintana Roo, México, Junio de 2013.**

## **Agradecimientos**

A DIOS, por brindarme la oportunidad de vivir esta maravillosa experiencia y por brindarme una vida llena de retos, aprendizajes y sobre todo felicidad.

A mis PADRES, a quienes les debo la vida y todo lo que soy. Por su cariño y apoyo incondicional que recibí en todo momento y con el que sé que siempre contare.

A mi ASESOR Dr. Homero Toral Cruz, por su gran apoyo, orientación y sobre todo motivación para el desarrollo de esta tesis.

Al candidato a Doctor en Ciencias Jesús Antonio Arguez Xool por su apoyo y orientación brindados en la realización de esta tesis. Por su tiempo y por los conocimientos que me trasmitió.

A mis compañeros y AMIGOS Alfredo y Alberto por el equipo que formamos durante la carrera. Gracias por todos los momentos que pasamos y por todo su apoyo.

Este trabajo fue financiado en la convocatoria 2013 “Apoyo a la Titulación de la DCI”.

## **Dedicatorias**

Con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer y estar siempre orgullosos de mí, por brindarme todo su amor. Los amo con todo mi corazón.

A mi hermana por estar conmigo siempre y porque te amo infinitamente.

A mi mis tíos Manuel, Rosario, Candelaria y mis abuelos Elda y Tomas por siempre brindarme su cariño y estar orgullosos de mí. Y recuerden que son muy importantes para mí.

A mis amigos Daniela y Hugo por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes, gracias por ser mis amigos y siempre van a estar en mi corazón.

A mi asesor Dr. Homero Toral Cruz, por creer en mí, por sus sabios consejos y motivación para la realización de este trabajo y para continuar estudiando y preparándome.

## Resumen

Voz sobre el protocolo de Internet (VoIP) es una tecnología en constante evolución, que permite transportar señales de voz sobre redes de datos, tales como Internet.

Internet no ofrece garantías en términos de ancho de banda, pérdida de paquetes, retardos y jitter; parámetros importantes que determinan la calidad de servicio (QoS) en aplicaciones en tiempo real como VoIP. Una técnica para poder hacer frente a estos desperfectos es mediante el análisis y caracterización de estos parámetros, mediante mediciones de red.

En esta tesis se describe el proceso de desarrollo de un generador de tráfico sintético de voz, con el cual, se podrá realizar una comunicación de voz sobre el protocolo de Internet y determinar su calidad de servicio, mediante el cálculo de los siguientes parámetros:

1. Retardos
  - a. Unidireccional (OWD, One Way Delay)
  - b. Bidireccional (RTT, Round Trip Time)
  
2. Pérdida de paquetes
  
3. MOS (Mean Opinion Score) basado en:
  - a. OWD
  - b. RTT/2
  
4. Factor R del Modelo E

## Contenido

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1 Justificación .....	10
1.2 Hipótesis.....	11
1.3 Objetivo General .....	11
1.4 Objetivos Particulares .....	11
1.5 Alcance.....	12
CAPÍTULO 2. VOZ SOBRE IP .....	14
2.1 Principales ventajas y desventajas de Voz sobre IP.....	15
2.2 Codificación de VoIP .....	16
2.2.1 Codificaciones de Forma de Onda .....	17
2.2.2 Vocoders o Codificación Paramétrica .....	18
2.2.3 Codificación Híbrida .....	18
2.3 Protocolos de Internet.....	19
2.3.1 IP .....	21
2.3.2 TCP .....	23
2.3.3 UDP .....	25
2.3.4 RTP .....	26
2.3.5 RTCP.....	28
2.4 Protocolos de señalización.....	29
2.4.1 H.323 .....	30
2.4.1.1 Arquitectura H.323 .....	30
2.4.1.2 Pila de protocolos H.323 .....	32
2.4.2 SIP .....	35
2.4.2.1 Funcionamiento SIP.....	36
CAPÍTULO 3. CALIDAD DEL SERVICIO EN SISTEMAS VOIP .....	41
3.1 QoS.....	41
3.2 Métricas de desempeño de QoS.....	43
3.2.1 Delay (Retardo).....	43
3.2.2 Jitter .....	46

3.2.3 Perdida de paquetes.....	47
3.3 Técnicas de medición de la Calidad de Voz.....	49
3.3.1 MOS.....	50
3.3.2 Modelo E.....	51
CAPÍTULO 4. ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	56
4.1 Especificación de requerimientos.....	56
4.1.1 Requerimientos Funcionales.....	57
4.1.1 Requerimientos No Funcionales.....	61
CAPÍTULO 5. DISEÑO DEL SISTEMA.....	63
5.1 Casos de Uso.....	63
5.2 Arquitectura del sistema de VoIP.....	66
5.3 Diseño Orientado a Objetos.....	68
5.4 Cobertura de requerimientos.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.5 Interfaz del sistema.....	69
5.6 Documentación del sistema.....	70
CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN DEL SISTEMA.....	73
6.1 Escenario de prueba.....	73
6.2 Resultados de las pruebas de tipo de códec y tamaño de paquete.....	75
6.3 Resultados de las pruebas de métricas de QoS.....	76
6.4 Resultados de las pruebas de OWD.....	78
6.5 Resultados de las pruebas de MOS.....	79
CAPÍTULO 7. CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO.....	82
REFERENCIAS.....	85

# CAPÍTULO 1



## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En un principio las redes de telecomunicaciones estaban separadas principalmente en dos diferentes redes, una para voz y otra para datos. Tradicionalmente cada red tenía el simple propósito de transportar un tipo específico de información. Para la transmisión de voz se creó la red de conmutación de circuitos (red telefónica pública conmutada - PSTN), mientras que para la transmisión de datos la red de conmutación de paquetes (red IP o Internet) [1].

El sistema telefónico actual está basado en la conmutación de circuitos, sin embargo hay que reconocer que su evolución ha sido muy lenta en los más de cien años de su historia. La forma de llamar por teléfono a principios de siglo XX era básicamente la misma que se utiliza ahora en el siglo XXI. Por otro lado, la llegada de la red IP ha transformado los diversos servicios de comunicaciones. La red IP surgió con la finalidad de dar soporte al intercambio de datos, sin embargo, al tratarse de una red versátil de bajo costo, poco a poco ha mostrado su potencial para intercambiar cualquier tipo de información, tales como: datos, voz, video y multimedia [2].

El crecimiento exponencial de Internet en los últimos años, ha originado la posibilidad de proveer a los usuarios de la red de datos, servicios muy atractivos, tales como: la transmisión de voz en tiempo real o comúnmente conocido como voz sobre el protocolo de Internet (VoIP). Debido a que Internet no fue diseñada originalmente para comunicaciones en tiempo real, solo puede ofrecer un servicio de mejor esfuerzo (best-effort), por tanto, las aplicaciones de VoIP tienen que competir por los recursos de la red y la calidad de servicio no está garantizada [3].

La calidad de servicio en VoIP depende de muchos parámetros, sin embargo, los parámetros de mayor impacto son: *retardo*, *jitter* y *pérdida de paquetes*. Por tal motivo, es importante estudiar el comportamiento de estos parámetros, y de esta manera implementar mecanismos de QoS para elevar el grado de satisfacción de los usuarios [4,5].

Motivados por las preocupaciones anteriores, en este trabajo se diseñó e implemento una aplicación VoIP mediante software, la cual permite generar tráfico sintético de VoIP, medir los parámetros de QoS antes mencionados y evaluar la calidad de servicio mediante el Modelo E y MOS.

## 1.1 Justificación

Son muchos los beneficios que proporciona la transmisión de voz con aceptable nivel de QoS sobre una red IP convergente, los principales se mencionan a continuación: (1) reducción de los costos de comunicaciones derivado de la disminución en la facturación de los servicios de telefonía, (2) dotar a la infraestructura de red de la flexibilidad suficiente para adecuarse a las nuevas tendencias de desarrollo de servicios y aplicaciones; (3) uso más eficiente de la infraestructura de datos; (4) uso de servicios más atractivos de comunicaciones y (5) reducción de costos por concepto de gestión y operación de infraestructura.

Partiendo de los beneficios que nos proporciona la integración de servicios de comunicaciones sobre una misma infraestructura de red convergente, surge el interés de desarrollar una aplicación en software, la cual pueda ser usada en trabajos futuros, para realizar evaluación de desempeño de redes IP y permita conocer la viabilidad de implementación de redes convergentes.

## 1.2 Hipótesis

El rápido crecimiento de la tecnología de voz sobre el protocolo de Internet ha motivado la convergencia de redes basada en la tecnología IP y recursos compartidos. Sin embargo, debido a que la tecnología VoIP, comprende de la digitalización de flujos de voz y la transmisión de los flujos digitalizados en forma de paquetes de datos a intervalos regulares sobre una red IP, la calidad se puede ver afectada por un conjunto de factores propios de una red de recursos compartidos. Si cada paquete es recibido con un bajo nivel de retardo, jitter y pérdida de paquetes, la calidad percibida será buena. Sin embargo, si los paquetes se pierden o llega con valores altos de retardo y jitter, la calidad será mala. Una alternativa para conocer las prestaciones y recursos de una red IP que transporta flujos de voz, es mediante la medición de los principales parámetros de QoS y evaluación de desempeño. Por consiguiente, el desarrollo de un generador de tráfico sintético de VoIP, que tenga la capacidad de medir los parámetros de retardo, jitter, pérdida de paquetes y evaluar la calidad de servicio mediante el Modelo E y el MOS, permitirá evaluar el desempeño de redes IP y conocer la viabilidad para la implementación de redes convergentes.

## 1.3 Objetivo General

Diseñar e implementar un generador de tráfico sintético de voz sobre el protocolo de Internet que permita medir los principales parámetros de desempeño y estimar la QoS en una comunicación VoIP.

## 1.4 Objetivos Particulares

1. Transmitir flujos de tráfico sintético VoIP.
2. Calcular los siguientes parámetros de desempeño:

- Paquetes transmitidos
  - Paquetes recibidos
  - Paquetes perdidos
  - Retardo
  - Jitter
3. Mostrar en tiempo real el comportamiento de los parámetros calculados.
  4. Evaluar el factor R del Modelo E.
  5. Calcular la puntuación de Opinión Media (MOS-Mean Opinion Score).

### 1.5 Alcance

En esta tesis se desarrolló un generador de tráfico sintético que permite realizar una comunicación de voz sobre una red IP, evaluar los principales parámetros (pérdida e paquetes, retardo y jitter) que afectan la calidad de servicio en una comunicación VoIP y estimar la QoS de la misma, mediante el Modelo E y MOS.

# CAPÍTULO 2

## CAPÍTULO 2. VOZ SOBRE IP

Voz sobre el protocolo de Internet es una tecnología que permite transmitir voz a través de una red de datos bajo la pila de protocolos TCP/IP.

La tecnología VoIP funciona de la siguiente manera: en el transmisor, los flujos de voz se digitalizan y comprimen por medio de un codificador de audio y se hace llegar hasta el receptor en forma de paquetes, a través de una red IP. Una vez realizado el recorrido de los paquetes, en el receptor, se suprimen los encabezados IP y mediante un decodificador de audio se convierten los paquetes al flujo de voz original [6].

Algunas configuraciones muy usadas en comunicaciones de voz sobre el protocolo de Internet son las siguientes [7]:

- Caso 1: PC a PC: en este caso, tanto el llamante como el llamado, disponen de computadoras que les permiten conectarse a Internet. Solo se podrá establecer una comunicación mediante acuerdo previo, ya que ambos usuarios deberán estar conectados a internet al mismo tiempo y utilizar algún “softphone” como interfaz de usuario para poder establecer la comunicación.
- Caso 2: Teléfono a teléfono: en este caso, las partes llamante y llamada son abonados de la red telefónica pública (fija o móvil) y utilizan su teléfono ordinario para transmitir voz a través de una red IP o Internet. La interconexión entre la red telefónica pública e Internet se realiza mediante un Gateway; este dispositivo realiza la interfaz entre ambas redes, permitiendo hacer los cambios de formato entre los flujos de información y señalización entre redes heterogeneas.
- Caso 3: PC a teléfono o teléfono a PC: en este caso, uno de los usuarios dispone de una computadora con la cual se conecta a Internet (en forma similar al caso 1), en tanto el otro usuario es un abonado de la red telefónica fija o móvil. La conexión entre Internet y la red telefónica pública se realiza mediante un Gateway.

En base a los puntos mencionados anteriormente, podemos considerar a la tecnología VoIP, como la responsable de la convergencia de la voz y datos en una misma red.

## 2.1 Principales ventajas y desventajas de Voz sobre IP

El establecimiento de una red de voz sobre IP, tiene ventajas y desventajas; como primer punto mencionaremos las siguientes ventajas:

- **Bajo costo:** En la red telefónica pública conmutada, tiempo y distancia se traduce en dinero, debido a que en una llamada sobre la PSTN, se tarifica en función de la distancia geográfica (local, lada nacional o lada internacional) y duración de la llamada. Por otro lado, en una llamada sobre la tecnología de VoIP, se emplea Internet como medio de transporte, y el único costo que se tiene, es la factura mensual de Internet con el proveedor de servicio de Internet (ISP). Hoy en día el servicio de Internet más común es mediante una línea de abonado digital asimétrica (ADSL) que se puede emplear bajo la modalidad de banda ancha y conlleva a una tarifa plana de bajo costo.
- **Conferencia con múltiples usuarios:** En una línea telefónica clásica, únicamente dos personas pueden hablar al mismo tiempo, sobre una única línea de acceso. Mediante la tecnología VoIP, se puede realizar de manera muy sencilla una conferencia, que permita a un grupo de personas comunicarse a la vez y en tiempo real. Debido a que, en VoIP se comprimen los flujos de voz durante la transmisión, es posible transmitir una cantidad mayor de datos y como resultado, se pueden establecer más llamadas a través de una única línea de acceso.
- **Portabilidad:** Mediante la tecnología VoIP se pueden realizar llamadas telefónicas desde cualquier lugar del mundo y a cualquier destino del mundo usando una misma dirección alias (número telefónico), únicamente con tener acceso a una computadora portátil, tableta o Smartphone; un softphone y una conexión a Internet.

- **Servicios de múltiples medios:** Debido a que VoIP está basada en una red de paquetes, una comunicación de voz se puede complementar con otros medios alternos, tales como: imágenes, video o texto.

Ahora que hemos visto las principales ventajas de la tecnología VoIP nos podemos preguntar: ¿por qué esta tecnología no ha sustituido a la PSTN?

En una comunicación sobre la red IP:

- Los paquetes pueden presentar variaciones de retardo o jitter.
- No se tiene garantía de la entrega de todos los paquetes en el extremo de la comunicación, es decir, existe la probabilidad de pérdida de paquetes en función del estado de la red.
- La entrega de paquetes puede sufrir grandes retardos.

Si esto sucede en una comunicación telefónica, la comunicación será defectuosa, apreciándose ruidos, discontinuidad en la comunicación o “gaps” y como resultado final, baja calidad de servicio [2].

Sin embargo, muchos trabajos orientados al estudio de los principales parámetros de calidad de servicio y desempeño de red, han contribuido al surgimiento de nuevos mecanismos de garantía de QoS y a la evolución de las redes IP. Las contribuciones antes mencionadas, han marcado en la actualidad, una tendencia hacia las comunicaciones convergentes de voz y datos [2].

## 2.2 Codificación de Voz

Las técnicas de codificación de voz pretenden reducir el volumen de información necesario para almacenar o transmitir una señal de voz, de forma que la pérdida de calidad de la señal decodificada respecto a la señal sin comprimir sea lo menor posible.



La mayoría de los codecs de voz están diseñados en base a las normas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), en las cuales, se especifican cómo las señales de voz analógicas se codifican en flujos de datos digitales. El diseño de los codecs utilizados para digitalizar señales de voz a través de una red de conmutación de paquetes determina tanto el número mínimo de bits que puede ser incluido en un paquete de voz y la cantidad de paquetes que se debe alcanzar en la transmisión de señales de voz digital [4].

Un códec es un algoritmo, implementado en hardware (Procesador Digital de Señales DSP) en un Gateway de voz o en software en una computadora, que convierte la voz analógica a una representación digital de la misma.

Existen tres tipos de codificadores de voz:

- Forma de Onda
- Vocoders
- Híbridos

### 2.2.1 Codificaciones de Forma de Onda

Los codificadores de forma de onda mapean la señal de entrada a una copia fiel de sí misma en la salida del codificador. Por lo tanto, este tipo de codificadores son independientes del tipo de señal de entrada y pueden trabajar con gran variedad de señales.

Los codificadores de forma de onda producen una buena calidad de la señal de voz con tasas de bits alrededor de 16 kbit/s, presentando una degradación aceptable en presencia de ruido y errores de transmisión. Sin embargo, al disminuir la tasa de bit por debajo de 16 kbit/s, la calidad de la señal se deteriora rápidamente. La codificación en forma de onda se divide en dos tipos [5]:

- Codificadores en el dominio del tiempo: PCM, DPCM, ADPCM.
- Codificadores en el dominio de la frecuencia: subbandas y transformadas.

### 2.2.2 Vocoders o Codificación Paramétrica

La codificación paramétrica intenta generar una señal de voz que suene igual que la original, independientemente de si la forma de onda se parece o no. En el emisor se analiza la señal de voz y se extraen los parámetros del modelo y la excitación. Estos parámetros son cuantificados y transmitidos al receptor, donde la señal de voz se reconstruye a base de ellos. Los vocoders pueden conseguir una mayor comprensión de la voz que los codificadores de forma de onda, sin embargo, se les reconoce por la calidad artificial de la voz que generan [5].

El vocoder más utilizado es el de predicción lineal LPC (Linear Predictive Code), que supone que cada muestra puede obtenerse a partir de una combinación lineal de las anteriores [3].

### 2.2.3 Codificación Híbrida

La codificación híbrida es una mezcla de la alta capacidad de compresión de los vocoders con la gran calidad de reproducción de los codificadores de forma de onda. Producen una señal de buena calidad con tasas de bit medias o bajas (inferiores a 8kbit/s). Utilizan un modelo paramétrico de producción de voz y tratan de preservar las partes más importantes de la forma de onda de la señal de entrada. Llevan a cabo una representación paramétrica de la señal de voz para tratar que la señal sintética se parezca lo más posible a la original [3] [5].

## 2.3 Protocolos de Internet

Los protocolos de Internet son una familia de protocolos de comunicación que permiten la transmisión de datos entre redes de computadoras. En ocasiones se le denomina conjunto de protocolos TCP/IP, en referencia a los dos protocolos más importantes que la componen: Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Internet (IP), que fueron los primeros en definir y que son los más utilizados [5]. Existen otros protocolos que proporcionan labores específicas, como transferir archivos entre computadoras, etc. [3].

La familia de protocolos de Internet puede describirse por analogía con el modelo OSI el cual consta de diferentes capas (ver Figura 2.1), donde cada una de estas capas es responsable de una función diferente para la comunicación, cada capa tiene una función bien definida [5]:

1. *Nivel Físico*: Se encarga de las tareas de transmisión física de las señales eléctrica entre los diferentes sistemas [8].
2. *Nivel de Enlace de datos*: Lo que hace la capa física es aceptar un flujo de bits puros e intentar entregarlo al destino. No garantiza que este flujo de bits esté libre de errores. Es responsabilidad de la capa de enlace de datos detectar y corregir errores. Para ello, añade bits adicionales a los que forman el mensaje para poder detectar errores de transmisión en el mismo y poder pedir su retransmisión. Agrupa los bits en bloques denominados tramas, que contienen los bits de mensaje, los bits añadidos para detectar errores y diferentes campos de control [8].
3. *Nivel de Red*: Se encarga de llevar los paquetes (tomando en cuenta la mejor ruta) desde el origen hasta el destino [9]. La capa de red es la capa en la que residen los protocolos de enrutamiento [10].



Figura 2-1. Modelo de Referencia TCP/IP

4. *Nivel de Transporte:* La función principal de este nivel consiste en proporcionar un flujo de datos entre dos sistemas que contienen las aplicaciones de la capa superior. Existen dos protocolos de transporte TCP y UDP. TCP provee un flujo de datos confiable entre dos hosts. Le conciernen cosas como fragmentar los datos que le son pasados desde la aplicación a un tamaño apropiado para su manejo en la capa de red inferior, reconocimiento de los paquetes recibidos, y establecer tiempo de espera para asegurarse que el otro extremo de la comunicación puede reconocer los paquetes enviados. UDP, por otra parte, proporciona un servicio mucho más simple a la capa de aplicación. Envía paquetes de datos llamados datagramas de un servidor a otro, pero no existe garantía de que el datagrama alcance el otro extremo de la comunicación. Cualquier fiabilidad deseada debe ser añadida por la capa superior [3].

5. *Nivel de Aplicación*: Este es el nivel que los programas más comunes utilizan para comunicarse a través de una red con otros programas [5]. En este nivel podemos encontrar servidores, clientes que accede a estos último, aplicaciones que trabajan según un modelo simétrico (peer-to-peer), etc. [8].

### 2.3.1 IP

El protocolo de Internet se encarga de proporcionar los medios necesarios para la transmisión de bloques de datos desde el origen hasta el destino a través de un sistema de redes interconectadas [11].

En una red basada en IP los datos son enviados en bloques llamados datagramas (también conocidos como paquetes). Los datagramas son datos encapsulados, es decir, datos a los que se les agrega un encabezado que contiene información sobre su transporte (como la dirección IP de origen y destino).

El protocolo de Internet proporciona un servicio de distribución de paquetes de información orientado a no conexión, es decir, que los paquetes de información son tratados de manera independiente, pudiendo viajar por diferentes trayectorias para llegar a su destino [11].

El protocolo de Internet proporciona un servicio no fiable también conocido como de mejor esfuerzo (*best-effort*), donde la QoS no está garantizada. El protocolo IP no provee ningún mecanismo para determinar si un paquete alcanza o no su destino, únicamente proporciona seguridad (mediante el checksum o sumas de comprobación) de sus cabeceras y no de los datos transmitidos [9]. El contenido del encabezado IP mostrado en la Figura 2-2 se puede resumir en lo siguiente:

- *Versión*: campo que indica el formato del encabezado IP.
- *Longitud de Cabecera*: es la cantidad de palabras de 32 bits que componen el encabezado. El valor mínimo para este campo es de 5.

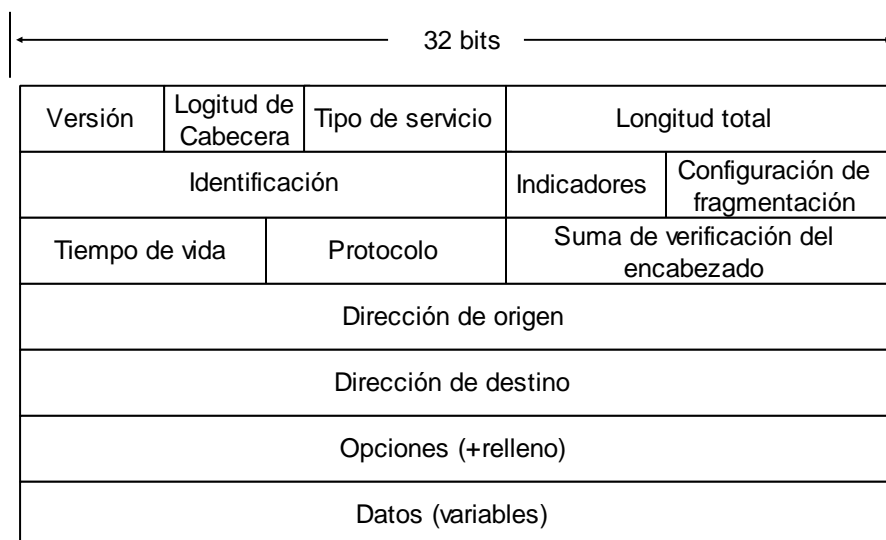


Figura 2-2. Estructura del encabezado IP.

- *Indicadores*: este campo es utilizado para controlar o identificar fragmentos de datagrama.  
 $Bit_0 = 0$ , de uso reservado.  
 $Bit_1 = 0$ , Se puede fragmentar,                      1 = No fragmentar  
 $Bit_2 = 9$ , Ultimo Fragmento,                      1 = Más fragmentos
- *Compensación de Fragmentación*: indica donde pertenece el fragmento dentro del datagrama. El desplazamiento es medido en unidades de 8 octetos, el primer fragmento tiene un desplazamiento de cero.
- *Tiempo de vida*: este campo especifica el número máximo de routers por los que puede pasar un datagrama. Por lo tanto, este campo disminuye con cada paso por un router y cuando alcanza el valor crítico de 0, el router destruye el datagrama.
- *Protocolo*: indica el protocolo de las capas superiores al que debe entregarse el paquete. TCP es una posibilidad, pero también esta UDP y algunos más.
- *Suma de verificación del encabezado*: verifica solamente el encabezado. La suma de verificación es útil para la detección de errores generados por palabras de memoria erróneas en un router. Se obtiene sumando todas las medias palabras de

16 bits a medida que llegan, usando aritmética de complemento a uno, y luego obteniendo el complemento a uno del resultado. Debe ser cero al momento de llegar el paquete al destino.

- *Dirección de origen*: dirección IP del transmisor.
- *Dirección de destino*: dirección IP del receptor.
- *Opciones*: campos del encabezado de uso opcional, utilizado inusualmente.

### 2.3.2 TCP

El protocolo de control de transmisión es el más utilizado en internet [9]. Fue diseñado para funcionar de forma fiable en casi cualquier medio de transmisión, independientemente de la velocidad de transmisión, el retardo, los errores, la duplicación o la reordenación de los segmentos [12]. TCP tiene un diseño que se adapta de manera dinámica a las propiedades de la red y que se sobrepone a muchos tipos de fallas.

TCP es protocolo orientado a la conexión, es decir que permite que dos máquinas que están comunicadas controlen el estado de la transmisión.

Las principales características del protocolo TCP son las siguientes:

- TCP permite colocar los datagramas nuevamente en orden cuando vienen del protocolo IP.
- TCP permite que los datos se formen en segmentos de longitud variable para entregarlos al protocolo IP.
- TCP permite multiplexar los datos, es decir, que la información que viene de diferentes fuentes (por ejemplo, aplicaciones) en la misma línea pueda circular simultáneamente.

La Figura 2-3 muestra el diagrama del encabezado TCP el cual consta de:

- *Puerto de origen*: indica el número del puerto origen.

- *Puerto destino*: indica el número del puerto destino.
- *Número de secuencia*: campo con doble funcionalidad, si la bandera SYN está activa, entonces es el número de secuencia inicial (ISN) y el primer byte de datos es el número de secuencia más uno. Si la bandera SYN no está activa entonces el primer byte de datos es el número de secuencia.
- *Número de confirmación de recepción*: este campo contiene el valor del siguiente número de secuencia que el emisor del segmento espera recibir.
- *Longitud del encabezado TCP*: indica la cantidad de palabras de 32 bits contenidas en el encabezado TCP.
- *Indicadores*: los indicadores representan información adicional:
  - URG: si este indicador está fijado en 1, el paquete se debe procesar en forma urgente.
  - ACK: si este indicador está fijado en 1, el paquete es un acuse de recibo.
  - PSH: habilita la función de entrega inmediata de los datos.
  - RST: se usa para restablecer una conexión que se ha confundido debido a una caída de host u otra razón; también sirve para rechazar un segmento no válido o un intento de abrir conexión.

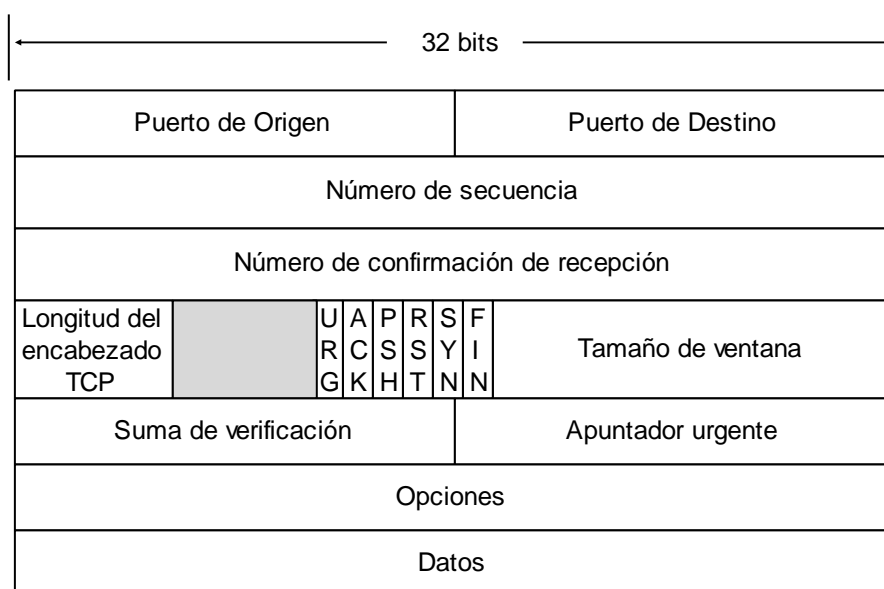


Figura 2-3. Encabezado TCP



- SYN: se usa para establecer conexiones.
- FIN: se usa para liberar una conexión; especifica que el emisor no tiene más datos que transmitir.
- *Tamaño de ventana*: indica la cantidad de bytes que pueden enviarse comenzando por el byte cuya recepción se ha confirmado.
- *Suma de verificación*: la suma de verificación se realiza tomando en cuenta el encabezado, los datos y el pseudoencabezado para poder verificar la integridad del encabezado.
- *Apuntador urgente*: indica el número de secuencia después del cual la información se toma urgente.
- *Opciones*: se usa para agregar características extra no cubiertas por el encabezado normal.

### 2.3.3 UDP

UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario), definido en el RFC 768, es un protocolo de transporte no orientado a la conexión. Este protocolo proporciona una forma para que las aplicaciones envíen datagramas IP encapsulados sin tener que establecer una conexión [9].

A diferencia de TCP, UDP no garantiza la entrega fiable u ordenada de los datagramas. Los datagramas pueden llegar fuera de orden, duplicarse o simplemente no ser entregados. El no realizar control de flujo, control de errores y retransmisiones, convierte a UDP en un protocolo muy rápido y eficaz para aplicaciones que no requieren una garantía de entrega y en las cuales es más importante el tiempo que la pérdida de paquetes [13].

UDP transmite segmentos que consisten en un encabezado de 8 bytes seguido por la carga útil [9]. En la Figura 2-4 se muestra tal encabezado el cual consta de:

- *Puerto de origen*: campo que indica el número de puerto origen.

- *Puerto de destino*: campo que indica el número de puerto destino.
- *Longitud UDP*: representa la longitud en octetos del datagrama. Incluye el encabezado de 8 bytes y los datos.

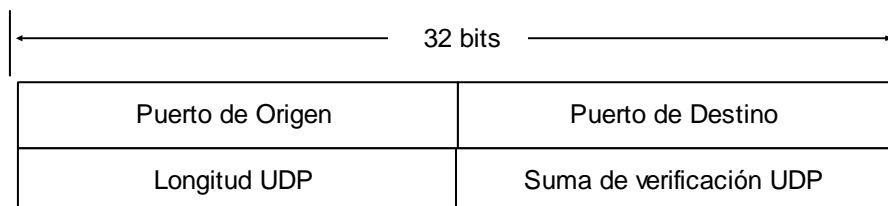


Figura 2-4. Encabezado UDP

- *Suma de verificación UDP*: es una suma de comprobación realizada de manera que tal que permita controlar la integridad del datagrama.

### 2.3.4 RTP

RTP (Protocolo de transporte en tiempo real) proporciona funciones de transporte apropiadas para aplicaciones que transmiten datos en tiempo real, tales como datos de audio y video en una videoconferencia [14]. Para las aplicaciones que utilizan RTP son de mayor importancia los retardos que la pérdida de paquetes, por lo que emplea UDP como medio de transporte.

La función básica de RTP es multiplexar datos en tiempo real en un solo flujo de paquetes UDP, que se puede enviar a un destino (unicast) o múltiples destinos (multicast). Debido a que RTP solo emplea UDP, no tiene control de flujo, control de errores, confirmaciones de recibido, retransmisiones ni ningún mecanismo que garantice la calidad del servicio [9].

El encabezado RTP se ilustra en la Figura 2-5 y esta formado por los siguientes campos:

- *Versión*: este campo identifica la versión de RTP. Actualmente la versión es 2.
- *Relleno(P-Padding)*: Si este bit se encuentra activado, el paquete contiene uno o más octetos de relleno adicionales al final, los cuales no son parte de la carga útil.
- *Extensión*: si el bit de extensión está activado, entonces el encabezado fijo es seguido por una extensión del encabezado. Este mecanismo de la extensión posibilita implementaciones para añadir información al encabezado RTP.
- *Conteo CSRC*: contiene el número de identificador CSRC que siguen del encabezado.
- *Marcador*: es un bit marcador específico de la aplicación. Permite marcar acontecimientos significativos tales como lo son los límites de un segmento de flujo de paquetes.
- *Tipo de carga útil*: indica cual algoritmo de codificación se ha utilizado (por ejemplo audio de 8 bits sin compresión, MP3, etc).
- *Número de secuencia*: es un contador que se incrementa en cada paquete RTP enviado. Se utiliza para detectar paquetes perdidos.
- *Marca de tiempo*: refleja el instante de muestreo del primer byte del paquete RTP. Este instante debe obtenerse a partir de un reloj que aumenta de manera monotona y lineal para permitir la sincronización el cálculo de la variación de retardo en el destino.
- *Identificador de origen de sincronización*: identifica la fuente de sincronización. Este identificador es elegido de manera aleatoria con la intención de que sea único entre todas las fuentes de la misma sesión.
- *Identificador de origen de contribución*: identifica las fuentes contribuyentes del paquete.

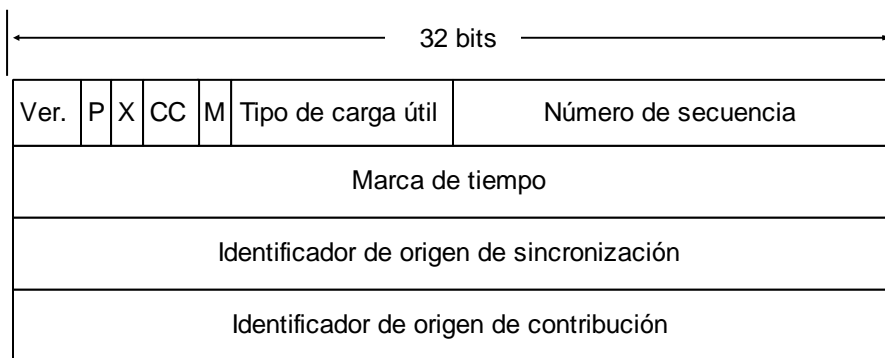


Figura 2-5. Encabezado RTP

### 2.3.5 RTCP

El protocolo de control RTP (RTCP) se basa en la transmisión periódica de paquetes de control a todos los participantes de la sesión RTP, utilizando el mismo mecanismo de distribución que los paquetes de datos RTP. RTCP desempeña cuatro funciones [14]:

1. La función principal es proporcionar información sobre la calidad de la distribución de los datos, como por ejemplo retardo, jitter, ancho de banda, congestión y otras propiedades de red. Proporcionando este tipo de información de manera continua.
2. RTCP traslada un identificador de la fuente RTP llamado nombre canónico CNAME. Debido a que el identificador SSCR puede cambiar si existen conflictos o si el programa se reinicia, los receptores requieren del CNAME para mantener un registro de cada participante. Los receptores también pueden requerir el CNAME para asociar múltiples flujos de datos de un participante dado en un conjunto de sesiones RTP.
3. Las primeras dos funciones requieren que todos los participantes manden un paquete RTCP, por lo tanto la tasa de envío de mensajes debe ser controlada para poder aumentar el número de participantes. Al hacer que los participantes de la

sesión se envíe paquetes de control entre sí, cada uno puede de manera independiente conocer el número de participantes en la sesión.

4. Una función opcional, es transmitir una mínima información de control de sesión, por ejemplo identificación del participante que se mostrará en la interfaz del usuario.

## 2.4 Protocolos de señalización

El uso de las redes de conmutación de paquetes para transportar tráfico de voz se ha ido incrementando cada vez más. La necesidad de proveer un servicio rentable que cubra las necesidades de calidad de servicio hacen que sea necesaria una gestión de recursos que asegure la optimización de la capacidad de transporte de la voz extremo a extremo, para ello surgen los protocolos de señalización de VoIP.

Por señalización se entiende el conjunto de informaciones intercambiada entre dos extremos de la comunicación que permiten efectuar operaciones de:

- Detección o cambio de estado.
- Negociación y establecimiento de la llamada.
- Gestión y mantenimiento de la red.

Para cumplir con los requerimientos de señalización existen dos protocolos principales: H.323 y SIP.

H.323 está formado por un conjunto de protocolos para proveer comunicación visual y de audio sobre una red basada en paquetes donde no se garantiza la calidad de servicio.

SIP (Session Initiation Protocol) es un protocolo para la inicialización, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario en las que intervienen elementos multimedia como el vídeo, voz, mensajería instantánea, etc. Fue aceptado como protocolo en noviembre del 2000, y viene definido en el RFC 3261 [15]

### 2.4.1 H.323

Como se menciona anteriormente, H.323 es un estandar creado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) para el desarrollo de la comunicación en aplicaciones multimedia de tiempo real, tales como audio y video conferencias a través de redes de conmutación de paquetes donde no se garantiza la calidad de servicio [16].

La red basada en paquetes sobre la que se comunica H.323 puede ser una conexión punto a punto, un segmento de red, o un conjunto de redes que tienen segmentos con multiples topologias [17]. Con H.323, es posible establecer una comunicación entre un equipo conectado a Internet y un teléfono conectado a la red telefónica.

Los principales protocolos utilizados por H.323 son:

- RAS (Registration, Admission and Status): utilizada en los procesos de registro de terminales y descubrimiento del gatekeeper.
- H.225.0: controla el establecimiento y liberación de llamadas basándose en Q.931.
- H.245: se encarga de la negociación de las capacidades de la sesión y creación de los canales logicos.
- RTP/RTCP: para manejar los flujos de audio y video.

#### 2.4.1.1 Arquitectura H.323

Una red H.323 típica esta compuesta por zonas interconectadas por medio de una WAN. Cada zona, como se muestra en la Figura 2-6, esta compuesta por un solo Gatekeeper H.323, un número indefinido de terminales H.323, gateways H.323 y unidades de control multipunto, conectados via LAN. La funcionalidad de cada componente H.323 se define a continuación:

- **Zona:** Una zona es el conjunto de todos los terminales, gateways (GW) y unidades de control multipunto (MCU) gestionados por un solo Gatekeeper (GK). Una zona H.323 puede estar contenida en una o más LANs en diferentes ubicaciones, el único requisito es que cada zona tenga un único Gatekeeper que se encarga de la administración de la zona.

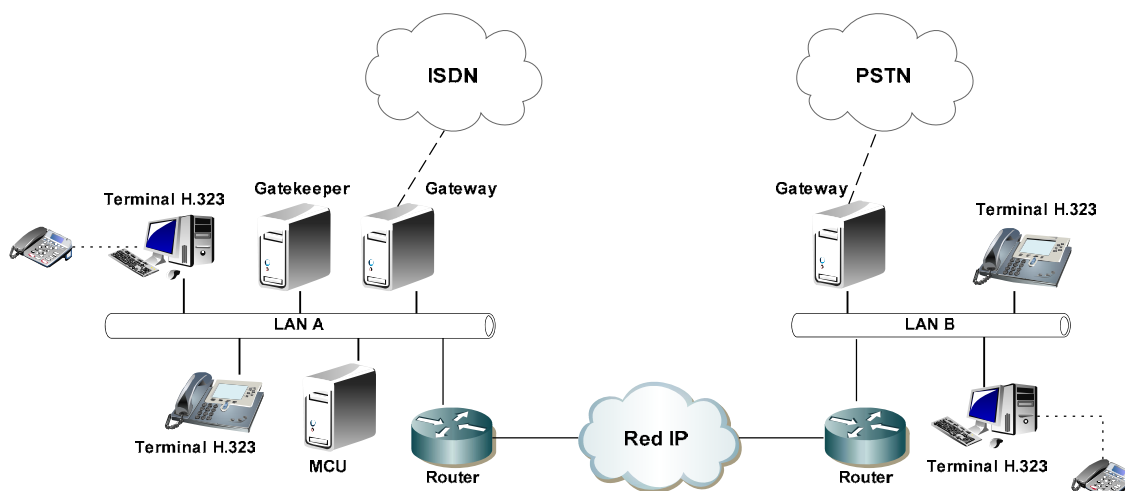


Figura 2-6. Zona H.323

- **Terminal:** Un terminal H.323 es un punto final de la red que permite comunicaciones bidireccionales en tiempo real con otro terminal, un GW o un MCU. Todo terminal debe permitir comunicaciones de voz, mientras que el video y los datos son opcionales. También debe soportar señalización H.245, para negociar el uso de los canales y las características de los datos, Q.931 para la señalización de llamada, RAS para la comunicación con el GK, y RTP/RTCP para la secuencia de paquetes de audio y de vídeo. Un terminal puede establecer una llamada a otra entidad directamente o con la ayuda de un GK.  
Los terminales más habituales que pueden encontrarse son teléfonos, videoteléfonos, sistemas de buzón de voz o teléfonos en software (softphone).

- *Gateway*: Un GW H.323 es un extremo de la red que proporciona comunicaciones bidireccionales en tiempo real entre terminales de la red IP y otros terminales o GW en una red conmutada por circuitos. Sus dos funciones básicas son las de traducir los distintos protocolos de establecimiento y fin de llamada empleado por redes heterogéneas, y realizar una conversión de formatos de audio y vídeo.
- *Unidad de control multipunto*: La MCU es un punto extremo que da soporte a conferencias entre uno o más terminales o GW H.323, y deberá estar formada por un Controlador Multipunto (MC) y cero o más Procesadores Multipunto (MP). El MC gestiona la señalización de las llamadas entre todos los terminales, estableciendo las capacidades para el procesamiento del audio y vídeo, y determina que flujos se establecerán en modo multicast. Mientras, los MPs mezclan, conmutan y procesan el audio, vídeo y/o los datos de los participantes en una conferencia multipunto.
- *Gatekeeper*: El gatekeeper es un elemento muy importante en una red H.323, a pesar de que su existencia es opcional. Actúan como punto central para las llamadas de su Zona, y proporcionan la traducción de direcciones y el control de acceso a la red de los terminales H.323, GW y MCUs.

#### 2.4.1.2 Pila de protocolos H.323

Las comunicaciones en H.323 son una combinación de señales de audio, vídeo, datos, y señalización. Las capacidades de audio, señalización de llamada Q.931, señalización RAS y señalización H.245 son obligatorias en todos los terminales.

Las funciones de señalización son el núcleo de un terminal H.323. Estas funciones incluyen señalización para establecimiento de llamada, intercambio de capacidades, señalización de comando e indicaciones y mensaje de apertura y descripción del contenido de los canales lógicos. Estas son las funciones que llevan a cabo los protocolos H.225, RAS y H.245:



- *Registro, Admisión y Estado (RAS)*: El protocolo RAS se utiliza para definir las comunicaciones entre cada terminal y su gatekeeper, en cada zona. Es así como el GK controla la administración de su zona, admitiendo o denegando llamadas mediante la resolución de direcciones de red. Cada mensaje RAS tiene tres tipos: request (petición), y sus dos posibles respuestas reject (rechazo) y confirm (confirmación). El protocolo RAS solo es utilizado cuando esta presente un gatekeeper.

H.245	H.225		Códexs de audio y vídeo	
	Control de Llamadas	RAS	RTCP	RTP
TCP		UDP		
IP				
Nivel de enlace				
Nivel Físico				

Figura 2-7. Pila de protocolos H.323

- *H.225*: es un protocolo de señalización de llamada, se utiliza para establecer llamadas entre dos entidades H.323. Se deriva del protocolo de control de llamada para la ISDN, Q.931/Q.932, aunque se ha modificado para adaptarse a redes de paquetes. El objetivo principal de H.225 es el establecimiento, control y finalización de una llamada H.323.

Los mensajes más comunes de Q.931/Q.932 con:

- **Setup**: Es enviado para iniciar una llamada y establecer una conexión con una entidad H.323. La información principal que contiene el mensaje es el puerto, dirección IP y alias del llamante o la dirección IP y puerto del llamado.
- **Call Proceeding**: Enviado por el gatekeeper a un determinado terminal advirtiéndolo del intento de establecer una llamada.

- **Alerting:** Indica el inicio de la fase de generación de tono.
  - **Connect:** Indica el comienzo de la conexión.
  - **Release Complete:** Enviado por el terminal para iniciar la desconexión.
  - **Facility:** Mensaje de la norma Q.932 usado como petición o reconocimiento de un servicio suplementario.
- *H.245:* es el protocolo de control de medios, se encarga de la negociación de las capacidades de la sesión y creación del canal logico, asi como tambien de la liberación de conexión. H.245 es una señalización que debe realizar en paralelo con H.225 y, de preferencia antes del mensaje connect (si no, podrian perderse algunos de los datos transmitidos). H.245 controla la sesión encargándose de:
    - El intercambio de capacidades de los terminales.
    - La determinación del maestro y el esclavo de la comunicación.
    - El control y composición de la señalización de canal logico.

Estos protocolos son ejecutados en orden estricto. Primero, el registro de los terminales ocurre a través de RAS, posteriormente el establecimiento de la llamada ocurre a través de H.225 (Q.931) sobre TCP, después, los mensajes son intercambiados entre la entidad que llama y la entidad llamada por medio de H.245, que también es transportado por TCP. Finalmente los flujos RTP son enviados por UDP. Posteriormente para terminar la comunicación, se emplea H.245 para la liberación de la conexión, y RAS para la liberación de terminales.

La Figura 2-8 muestra un diagrama de llamada H.323 completo, contemplando todos los protocolos involucrados en ella.



partes (llamadas comunes), de múltiples partes (en donde todos pueden hablar y oír), y de multidifusión (un emisor, muchos receptores). Las sesiones pueden contener audio, video o datos. SIP solo maneja establecimiento, manejo y terminación de sesiones.

Algunas de las características claves que SIP ofrece son:

- Resolución de direcciones.
- Mapeo de nombres.
- Redirección de llamadas.

#### 2.4.2.1 Funcionamiento SIP

SIP es un protocolo de nivel de aplicación que puede establecer, modificar y finalizar sesiones multimedia (conferencias). SIP también permite invitar a participantes a sesiones existentes, como las conferencias multicast. También se pueden añadir y quitar contenidos multimedia de una sesión existente [15].

SIP hace uso de direcciones URL SIP (usuario@servidor) para identificar a los usuarios en los servidores [3]. La parte usuario de la dirección es el nombre de usuario o el número telefónico, la parte servidor puede ser un nombre de dominio o una dirección numérica de red (ejemplo mary.Taylor@orange.com).

SIP define dos tipos de entidades: los clientes y los servidores (ver Figura 2-9). De manera más precisa, las entidades definidas por SIP son [15]:

- *Servidor Proxy*: el recibe solicitudes de clientes que el mismo trata o enruta hacia otros servidores.
- *Servidor de Redireccionamiento*: se trata de un servidor quien acepta solicitudes SIP, traduce la dirección SIP de destino en una o varias direcciones de red y las devuelve al cliente.

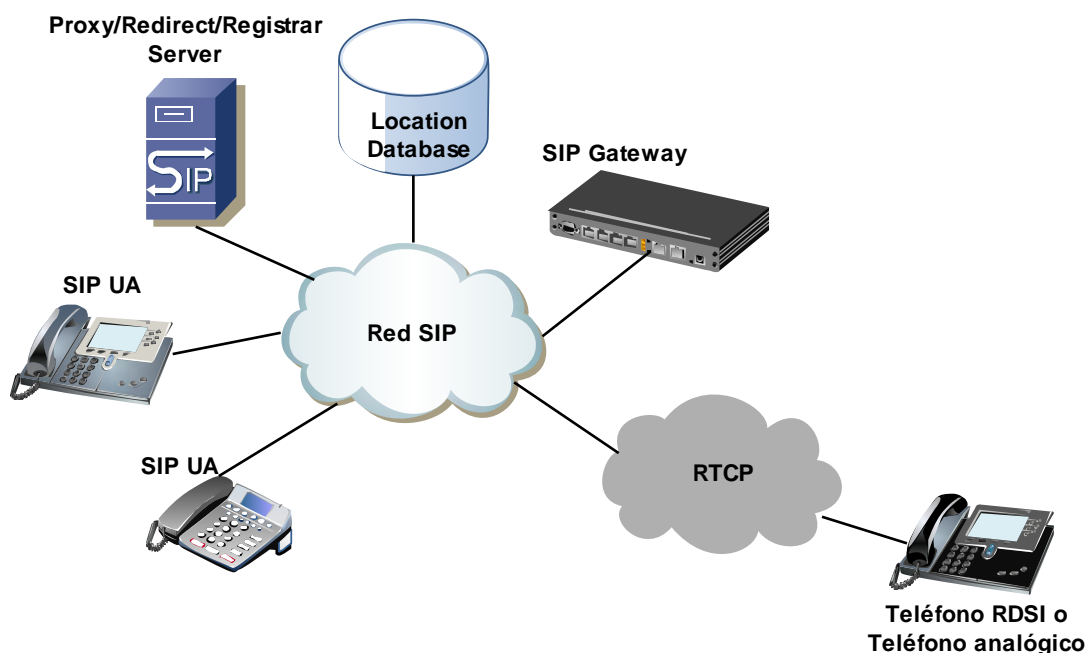


Figura 2-9. Entidades de una Red SIP

- *Agente de Usuario:* se trata de una aplicación con arquitectura cliente/servidor que se utiliza para iniciar y terminar las sesiones. El agente de usuario cliente (UAC) se encarga de realizar peticiones SIP, mientras que el agente de usuario servidor (UAS) notifica al usuario cuando se recibe una petición y responde a dicha petición dependiendo de la acción tomada por el usuario.
- *Servidor Registrar:* se trata de un servidor quien acepta las solicitudes SIP REGISTER y coloca la información que recibe de esas solicitudes en una base de datos de localización.

SIP considera 5 aspectos diferentes para el establecimiento y la finalización de comunicaciones multimedia [15]:

- *Localización del usuario:* hace referencia al sistema final que se utilizará para la comunicación.

- *Disponibilidad de los usuarios:* indica si el usuario quiere participar en las comunicaciones.
- *Capacidad de los usuarios:* indica el medio y los parámetros del medio que se utilizarán.
- *Inicio de la sesión:* incluye el establecimiento de la llamada, establecimiento de la sesión y parámetros en los dos extremos de la comunicación.
- *Gestión de la sesión:* incluye la transferencia y finalización de sesiones, modificando los parámetros de la sesión y llamando a los servicios.

SIP está basado en un modelo de transacción solicitud-respuesta. Cada transacción consiste de una solicitud que invoca un método en particular, o función, en el servidor y al menos una respuesta. Un método es la función principal que una solicitud debe invocar en un servidor. El método está incluido en el mensaje de solicitud. El RFC 3261 define seis métodos SIP:

- INVITE: es usado con el fin de establecer una sesión entre UAS.
- ACK: confirma el establecimiento de una sesión.
- BYE: permite la liberación de una sesión anteriormente establecida.
- REGISTER: registra la ubicación actual de un usuario.
- CANCEL: cancela una solicitud de llamada.
- OPTIONS: es utilizado para interrogar las capacidades y el estado de un Agente Usuario o un Servidor.

Para iniciar la sesión el UAC envía una solicitud con el URL SIP de la parte a llamar. Si el cliente conoce la ubicación de la otra parte, envía la solicitud directamente a su dirección IP, por el contrario el cliente envía la solicitud a su servidor proxy.

El servidor proxy intentará resolver la ubicación de usuario llamado y enviarle la solicitud. De manera alterna, el servidor proxy puede realizar las funciones de un servidor de direccionamiento que reenvíe la ubicación del usuario llamado al cliente que realiza la llamada para que se comunique directamente. Durante el curso de localizar al usuario,

un servidor puede actuar como proxy o redirigir la llamada a servidores adicionales hasta que arribe a uno que conozca la dirección IP en donde se puede encontrar al usuario llamado.

Una vez encontrado, la solicitud es enviada y entonces el usuario llamado timbra. Si el usuario contesta, responde a la invitación con las capacidades designadas por el usuario que realizó la llamada y se establece la conexión. Si el usuario rechaza la llamada, la sesión puede ser redirigida a un servidor de correo de voz o a otro usuario. La Figura 2-10 ilustra el flujo de señalización en una llamada SIP.

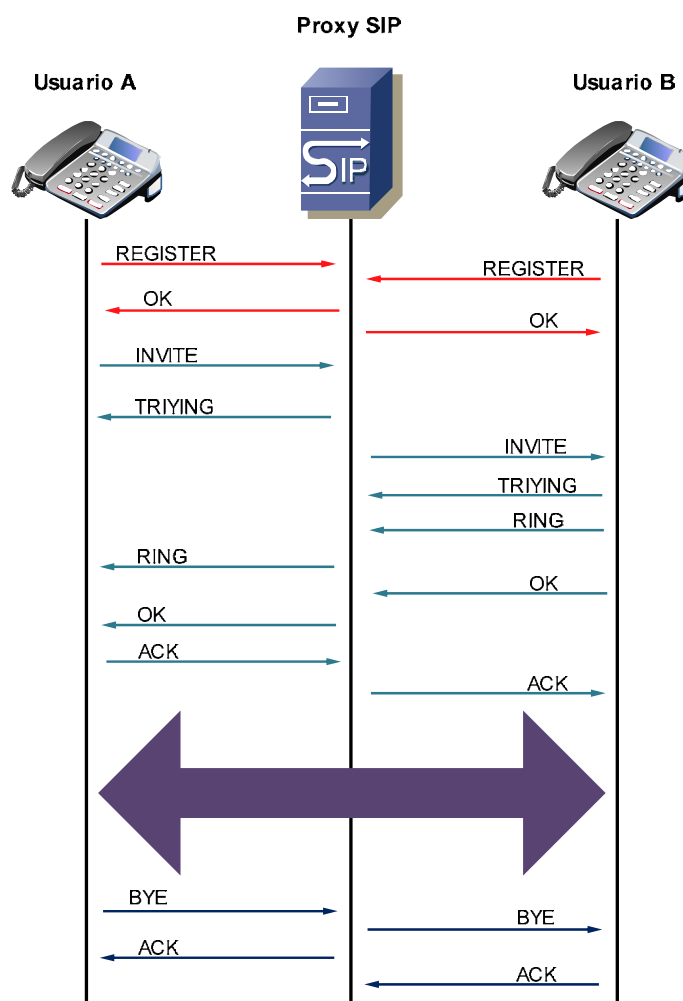


Figura 2-10. Señalización SIP

# CAPÍTULO 3



## CAPÍTULO 3. CALIDAD DEL SERVICIO EN SISTEMAS VOIP

En los últimos años, VoIP se ha posicionado como uno de los servicios más atractivos de Internet. Para que este servicio sea exitoso y pueda competir con otros similares, la calidad deberá ser buena, por lo menos tan buena como la que ofrece la red telefónica pública conmutada. Sin embargo, VoIP enfrenta problemas propios de las redes de datos, que se manifiestan como degradaciones en la calidad de servicio.

Varios factores se encuentran involucrados en la calidad de una llamada VoIP. Estos factores incluyen principalmente la pérdida de paquetes, retardos y jitter.

### 3.1 QoS

La recomendación ITU E. 800 [18] define la calidad del servicio (QoS) como “La totalidad de las características de un servicio que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio”.

La Figura 3-1 muestra una red punto a punto, en la cual se define la QoS en función del usuario, el desempeño de la red y la aplicación. El usuario final representa los dispositivos finales como teléfonos, computadoras y otros dispositivos finales de comunicación. La red es una red de paquetes o red IP que conecta los dos usuarios finales.

Desde el punto de vista del usuario, la QoS es la percepción de calidad que el usuario final recibe del proveedor de red para un servicio o aplicación en particular que puede ser voz, video o datos. La percepción del usuario está determinada por una evaluación subjetiva u objetiva en función de las métricas de desempeño de la red como son: retardo, pérdida de paquetes y jitter.



## 3.2 Métricas de desempeño de QoS

Para que la tecnología VoIP pueda proporcionar servicios satisfactorios al usuario final, es esencial garantizar cierto nivel de calidad de servicio, dicha calidad se puede determinar en función de ciertos parámetros de QoS.

En VoIP, principalmente 3 parámetros determinan la calidad de servicio en una comunicación:

- Retardo
- Jitter
- Pérdida de Paquetes

### 3.2.1 Retardo

El retardo es el tiempo en milisegundos transcurrido entre la transmisión de voz y su reconstrucción en el extremo receptor [7]. Está compuesto por:

- **Retardo de transmisión:** tiempo que tarda en enviarse un paquete desde el primer bit hasta el último.
- **Retardo de encolamiento:** tiempo que un paquete espera en la cola antes de ser procesado.
- **Retardo de procesamiento:** este retardo se encuentra en los puntos finales, por ejemplo, en el procesamiento de las cabeceras de los paquetes, y la codificación/decodificación de señales.
- **Retardo de propagación:** tiempo que tarda un bit en transmitirse de un punto a otro.

En voz sobre IP se estudian dos tipos de retardos el OWD (Retardo en un sentido) y el RTT (Retardo ida y vuelta).

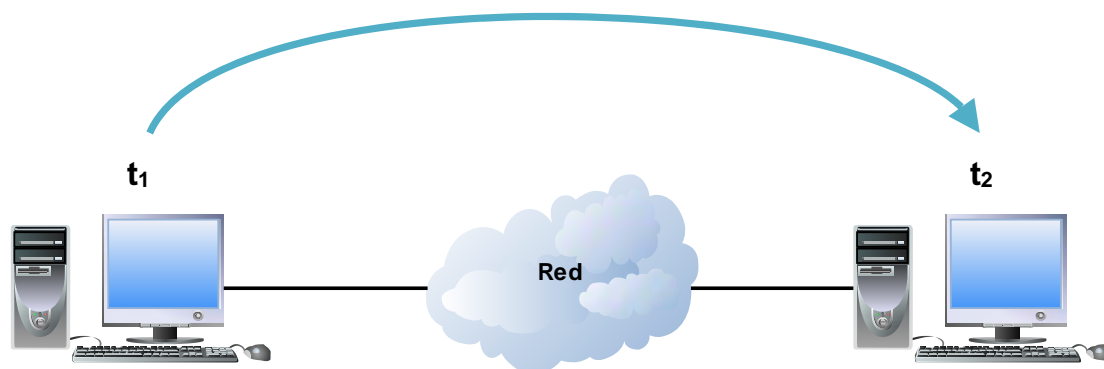


Figura 3-2. Retardo OWD

El retardo **OWD** (Figura 3-2) es el tiempo que transcurre entre que el transmisor envía el primer bit de un paquete en el tiempo  $t_1$  hasta que el receptor recibe el último bit del paquete en el tiempo  $t_2$ .

$$OWD = t_2 - t_1 \geq T_{max} \quad t_2 > t_1 \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde  $T_{max}$  es el retardo máximo del paquete IP a partir del cual se considera que el paquete se ha perdido.

La Tabla 3-1 muestra los límites para el tiempo de transmisión en un solo sentido de acuerdo a la recomendación ITU-T G.114 [17].

Retardo	Impacto
0 - 150 ms	Aceptable para la mayoría de las aplicaciones de usuario.
150 – 400 ms	Aceptable para llamadas internacionales.
Por encima de 400ms	Inaceptable para propósitos generales de planificación de redes, especialmente en el caso de transporte de la voz en redes de conmutación de paquetes.

Tabla 3-1. Especificaciones de Retardo OWD

El retardo **ida y vuelta (RTT)** es el tiempo que transcurre cuando un paquete viaja del transmisor al receptor y luego de vuelta al propio transmisor. En la Figura 3-3 se puede observar de forma gráfica el RTT.

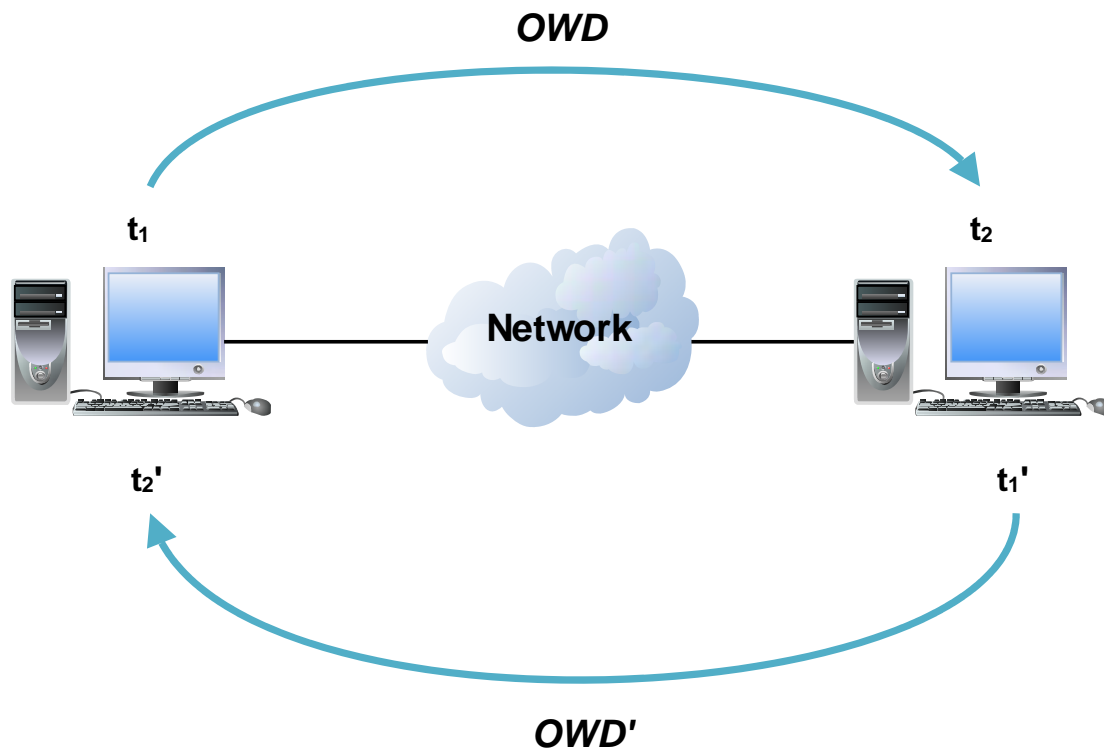


Figura 3-2. Retardo RTT

Como se observa en la Ecuación 3-2, el RTT se puede representar como una suma de OWD siendo  $OWD = t_2 - t_1$  el retardo en el sentido de ida y  $OWD' = t_2' - t_1'$  el retardo en el sentido de vuelta, con lo cual, el RTT quedaría expresado en términos del OWD como sigue:

$$RTT = (t_2 - t_1) + (t_2' - t_1') \quad \text{Ecuación 3-2}$$

$$RTT = (t_2 - t_1) + (t_2' - t_1') = OWD + OWD' \quad \text{Ecuación 3-3}$$

### 3.2.2 Jitter

El Jitter es la variación de los retardos. Por ejemplo, si dos puntos comunicados reciben un paquete cada 20 ms en promedio, pero en determinado momento, un paquete llega a los 30 ms y luego otro a los 10 ms, se tiene un jitter de 10 ms.

El receptor debe recibir los paquetes a intervalos constantes, para poder restaurar de forma adecuada la señal original. Dado que el jitter es inevitable, los receptores disponen de un “buffer” de entrada, con el objetivo de suavizar el efecto de la variación de los retardos. Este buffer recibe los paquetes a intervalos variables, y los entrega a intervalos constantes.

El RFC 1889 [14] define el jitter como la diferencia en el “relative transit time” para dos paquetes; el “relative transit time” es la diferencia entre la estampa de tiempo de un paquete RTP y el reloj del receptor en el momento de llegada, como se muestra en la Ecuación 3-4.

$$D(i, j) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i) \quad \text{Ecuación 3-4}$$

Dónde:

$D(i, j)$ : es el “relative transit time” entre dos paquetes consecutivos  $i$  y  $j$ .

$R_j$ : es la hora en la que se recibió el paquete  $j$ .

$S_j$ : es la hora en que se envió el paquete  $j$  (determinada por la estampa de tiempo RTP).

$R_i$ : es la hora en la que se recibió el paquete  $i$ .

$S_i$ : es la hora en la que se envió el paquete  $i$  (determinada por la estampa de tiempo RTP).

De acuerdo con el RFC 1889 [14] el jitter puede ser calculado continuamente con cada paquete  $i$  que es recibido, usando la diferencia  $D$  del actual paquete  $i$  recibido y del anterior paquete  $i - 1$  recibido, de acuerdo a la Ecuación 3-5.

$$J = J' + \frac{(|D(i-1,i)| - J')}{16} \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Donde:

$J$ : es el valor calculado actual.

$J'$ : es el valor calculado anterior.

El jitter también puede ser expresado en términos de OWD y RTT como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$J(k)_{OWD} = OWD_{k+1} - OWD_k \quad \text{Ecuación 3-6}$$

$$J(k)_{RTT} = RTT_{k+1} - RTT_k \quad \text{Ecuación 3-7}$$

### 3.2.3 Pérdida de paquetes

La pérdida de paquetes juega un papel importante en numerosas aplicaciones, principalmente en aquellas de tiempo real. La pérdida de paquetes es parte de la naturaleza de las redes IP ya que los routers tienen que destruir paquetes para evitar una posible congestión. Existen cuatro causas posibles para la pérdida de paquetes:

- Duración de vida expirada.
- Destrucción por un módulo congestionado.
- Paquete no válido debido a fallos de transmisión.

Una solución posible para reducir la pérdida de paquetes consiste en utilizar sistemas de corrección de errores que tengan codificación redundante y adaptable, es decir, variable de acuerdo con las pérdidas estadísticamente observadas en la red en determinado momento. Para atenuar los efectos en caso de pérdidas elevadas se usan distintas técnicas no excluyentes que permiten elevar el umbral permisible de pérdidas incluso hasta el 20%, dependiendo de la codificación:

- **FEC (Forward Error Correction):** es el único esquema de corrección de error que detecta y corrige los errores de transmisión, del lado receptor, sin pedir retransmisión. El codificador FEC agrega información redundante a los bits de información que serán transmitidos. El decodificador FEC utiliza esta información redundante, para detectar y corregir errores. Una desventaja de esta técnica de corrección de errores es el aumento de la utilización de ancho de banda debido a la redundancia añadida a los paquetes. El FEC frecuentemente se usa para transmisiones sencillas a muchos receptores, cuando los reconocimientos no son prácticos.
- **Interleaving para atenuar los efectos de pérdida de ráfagas:** El procedimiento consta de el reacomodo (orden temporal) de las tramas originales, de acuerdo a una distancia específica dada por el algoritmo “Interleaving” para asegurar que las tramas previamente consecutivas están separadas en la transmisión y cambiadas de vuelta en su secuencia original en el receptor. Al usar esta técnica un solo paquete perdido dará lugar a múltiples boques cortos en diversas corrientes de los datos recibidos que el receptor puede tolerar. Una desventaja es el aumento en el retardo extremo a extremo, debido al tiempo de procesamiento de esta técnica. En la Figura 3-3 se muestra una representación gráfica de esta técnica.



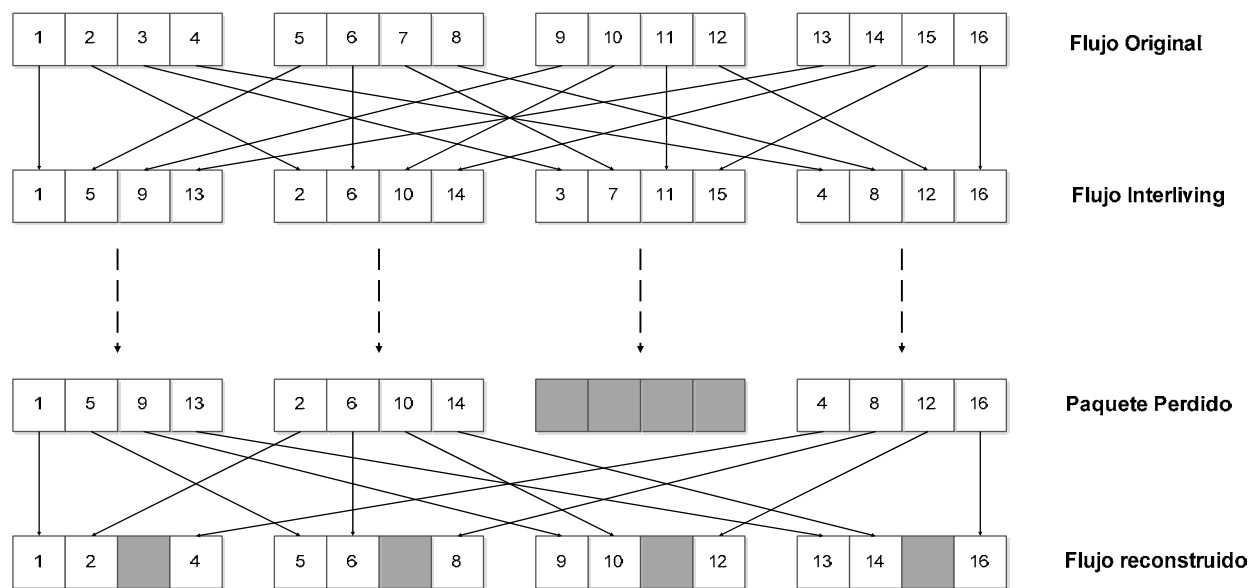


Figura 3-3. Técnica de Interleaving

### 3.3 Técnicas de medición de la Calidad de Voz

La calidad de servicio, juega un papel muy importante en las comunicaciones de voz sobre redes IP, por tal motivo, se han estandarizado métodos para evaluarla. Estos métodos se dividen en *subjetivos* y *objetivos*.

Los métodos *subjetivos*, se basan en conocer directamente la opinión de un conjunto de usuarios con oídos entrenados, capaces de percibir los desperfectos en una comunicación. Típicamente resultan en un promedio de opiniones (MOS – Mean Opinión Score).

Los métodos *objetivos* miden propiedades físicas de una red para estimar el rendimiento percibido por los usuarios. A su vez se subdividen en *Intrusivos* (se inyecta una señal de voz conocida en el canal y se estudia su degradación a la salida) y *No Intrusivos* (monitorean ciertos parámetros en un punto de la red y en base a estos permite establecer en tiempo real la calidad que percibirá un usuario).

### 3.3.1 MOS

La métrica de percepción de voz más utilizada es el MOS, estandarizada en la recomendación ITU-T P.800 [19]. Sus valores se derivan de:

- Asignar valores numéricos a un conjunto de descriptores subjetivos.
- Calcular la medida de los valores numéricos correspondientes.

Los valores particulares asignados a cada categoría pueden ser tomados de cualquier escala. Sin embargo, se utiliza como referencia la recomendación ITU-T P.800, la cual indica el uso de una escala de cinco valores como se muestra en la Tabla 3-2. Cualquiera que fuese la escala utilizada, la suposición que se realiza al describir el MOS, es que el valor que representa es resultado de:

- Entrevistas a un conjunto de usuarios acerca de su opinión subjetiva de la calidad de un número de conexiones de voz dentro de la escala especificada.
- Los valores numéricos en los reportes generados por las entrevistas a los usuarios es promediado.

Calidad de voz	Calificación
Excelente	5
Buena	4
Regular	3
Mediocre	2
Mala	1

Tabla 3-2. Escala MOS para la calidad de voz

Debido a la definición formal y al extenso uso de la prueba MOS, existe una tendencia a asumir que la calificación media de opinión mantiene un valor constante. No obstante, en el caso de que el valor sea de 3.75, no se puede realizar una interpretación significativa sin tener al menos la descripción del contexto en el que se calculó el valor.

### 3.3.2 Modelo E

El Modelo E es un modelo computacional, utilizado en la planificación de comunicaciones de voz, estandarizado por la ITU en la recomendación G.107 [20].

El modelo E estima la calidad de voz en redes IP percibida por un usuario típico, en base a parámetros medibles de la red. El resultado del Modelo E es un factor escalar, llamado factor R (Transmission Rating Factor), que puede tomar valores entre 0 y 100 como se muestra en la Tabla 3-3 [21].

Gama de valores R	Categoría de calidad de transmisión vocal	Satisfacción del usuario
$90 \leq R < 100$	Optima	Muy Satisfecho
$80 \leq R < 90$	Alta	Satisfecho
$70 \leq R < 70$	Media	Algunos usuarios insatisfechos
$60 \leq R < 70$	Baja	Muchos usuarios insatisfechos
$50 \leq R < 60$	Pobre	Casi todos los usuarios insatisfechos

Tabla 3-3. Definición de las categorías de calidad modelo R

El modelo E toma en cuenta una gran cantidad de factores que pueden deteriorar la calidad de la voz percibida, como por ejemplo, el uso de compresión, los retardos de la red, así también los factores típicos en telefonía como pérdida, ruido y eco. Puede ser aplicado para estimar la calidad de la voz en redes de paquetes, tanto fijas como inalámbricas [22].

Parte de un puntaje “perfecto” (100) y resta diversos factores que degradan la calidad, según se puede ver en la Ecuación 3-8.

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A \quad \text{Ecuación 3-8}$$

Donde:

$R_o$  : representa la relación señal/ruido básica (antes de ingresar en la red) que incluye fuentes de ruido, tales como ruido ambiente. El valor inicial puede ser como máximo 100.

$I_s$  : es una combinación de todas las degradaciones que aparecen de forma más o menos simultánea con la señal vocal. Por ejemplo, volumen excesivo y distorsión de cuantificación.

$I_d$  : representa las degradaciones producidas por el retardo y el eco.

$I_{ef}$  : representa las degradaciones producidas por los códecs y por las pérdidas de paquetes de distribución aleatoria.

$A$  : es el factor de expectación, el cual captura el hecho que los usuarios pueden aceptar algo de degradación de la calidad a cambio de una comunicación más rápida.

Para el caso de este estudio se tomaron los valores por defecto especificados en [20], para reducir la Ecuación 3-8 a la Ecuación 3-9 como sigue:

$$R = 93.2 - I_d - I_{ef} \quad \text{Ecuación 3-9}$$

Apoyándonos de [23] obtenemos la siguiente expresión para los términos  $I_d$  e  $I_{ef}$ :

$$I_d = 0.024d + 0.11(d - 177.3)H(d - 177.3) \quad \text{Ecuación 3-10}$$

Donde  $d$  es el retardo OWD y  $H$  esta dada por la siguiente función:

$$H(x) \begin{cases} 0 & x < 0 \\ 1 & x \geq 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 3-11}$$

$$I_{ef} \sim \gamma_1 + \gamma_2 \ln(1 + \gamma_3 e) \quad \text{Ecuación 3-12}$$

Donde:

$e$ : es la probabilidad total de paquetes perdidos (toma valores de 0 a 1).

$\gamma$ : son valores fijos, que dependen del tipo de códec que se utilice.

Sustituyendo las ecuaciones 3-10 y 3-12 en la ecuación 3-9 obtenemos la expresión final del factor  $R$ :

$$R \sim \alpha - \beta_1 d - \beta_2 (d - \beta_3) H(d - \beta_3) - \gamma_1 - \gamma_2 \ln(1 + \gamma_3 e) \quad \text{Ecuación 3-13}$$

Dónde:

$$a = 93.2 \quad \beta_1 = 0.024 \quad \beta_2 = 0.11 \quad \beta_3 = 177.3$$

Para el códec G.711 tenemos:

$$\gamma_1 = 0 \quad \gamma_2 = 30 \quad \gamma_3 = 15$$

Y para G.729:

$$\gamma_1 = 11 \quad \gamma_2 = 40 \quad \gamma_3 = 10$$

Basándose en el valor del factor R, se pueden predecir las reacciones subjetivas de los usuarios, como las obtenidas en una prueba MOS, dada por la siguiente expresión: [23].

$$\text{MOS} = \begin{cases} 1 & R < 0 \\ 1 + 0.035R + 7 \times 10^{-6}R(R - 60)(100 - R) & 0 < R < 100 \\ 4.5 & R > 100 \end{cases}$$

**Ecuación 3-14**

La Figura 3-4 muestra la relación entre el valor del factor R y el MOS, así como las distintas categorías de calidad de servicio.

Factor R	Grado de satisfacción de usuario	MOS	
100	Muy Satisfecho	4.5	Deseable
94.3		4.4	
90	Satisfecho	4.3	
80		4.0	
70	Algunos usuarios insatisfechos	3.6	Aceptable
60	Muchos usuarios insatisfechos	3.1	
50	La mayoría de los usuarios insatisfechos	2.6	No aceptable para la calidad
0	No recomendado	1	

Figura 3-4. Relación entre R y MOS

# CAPÍTULO 4

## CAPÍTULO 4. ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS

En los capítulos anteriores se describió el funcionamiento de los sistemas de VoIP, los elementos que los integran, sus ventajas, desventajas y los diversos factores de la red que afectan su desempeño, tales como: retardos, pérdida de paquetes y jitter.

Motivados por los puntos mencionados con anterioridad, en esta tesis, se ha desarrollado un generador de tráfico sintético de VoIP el cual, además de generar tráfico, podrá estimar y calcular los principales parámetros de desempeño y evaluar la QoS.

Para entender el funcionamiento del sistema propuesto, se describen a continuación los siguientes pasos a seguir en su desarrollo:

- Especificación de requerimientos.
- Casos de uso.
- Diseño.

### 4.1 Especificación de requerimientos

Los requerimientos establecen con detalle las funciones, servicios y restricciones operativas del sistema. Debe definir exactamente qué es lo que se va a implementar. Estos se clasifican en:

- **Funcionales:** describen el funcionamiento del sistema.
- **No funcionales:** describen las restricciones impuestas al sistema o al proceso de desarrollo.



### 4.1.1 Requerimientos Funcionales

Los requerimientos funcionales son declaraciones de los servicios que debe proporcionar el sistema, de la manera en que éste debe reaccionar a entradas particulares y de cómo se debe comportar en situaciones particulares.

Para el desarrollo de este sistema en particular se presentan los siguientes requerimientos:

ID	NOMBRE	PRIORIDAD
RF-QoSTe-01	Establecimiento de comunicación	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
El sistema permitirá a dos usuarios establecer una comunicación de VoIP.		
<b>CRITERIO DE EXITO</b>		
Los usuarios establecerán y realizarán una comunicación sin ningún problema.		

ID	NOMBRE	PRIORIDAD
RF- QoSTe -02	Codec's	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
El sistema permitirá al usuario elegir el códec con el cual desea establecer la comunicación. <ul style="list-style-type: none"><li>• G711</li><li>• G729</li></ul>		
<b>CRITERIO DE EXITO</b>		
Los usuarios establecerán una comunicación con el códec seleccionado sin ningún problema.		

ID	NOMBRE	PRIORIDAD
RF- QoS <b>T</b> e - 03	Tamaño de paquete	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
<p>El sistema permitirá elegir el tamaño de paquete con el que se establecerá la conexión.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10ms</li> <li>• 20ms</li> <li>• 40ms</li> <li>• 60ms</li> </ul>		
<b>CRITERIO DE EXITO</b>		
Los usuarios establecerán una comunicación con el tamaño de paquete seleccionado sin ningún problema.		

ID	NOMBRE	PRIORIDAD
RF- QoS <b>T</b> e -04	Parámetros de entrada	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
<p>El sistema permitirá introducir los siguientes parámetros, con los cuales se podrá establecer la comunicación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dirección IPv4 destino</li> <li>• Puerto UDP destino</li> </ul>		
<b>CRITERIO DE EXITO</b>		
Se podrá establecer una comunicación con la dirección y puerto UDP destino introducidos sin ningún problema.		

ID	NOMBRE	PRIORIDAD
RF- QoS <b>T</b> e -05	Parámetros Medidos	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
<p>El sistema, durante la comunicación de VoIP realizara el cálculo de los siguientes parámetros:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Paquetes Transmitidos</li> <li>2. Paquetes Recibidos</li> </ol>		

3. Paquetes Perdidos
4. Secuencia recibidas
5. OWD
6. Jitter OWD
7. RTT
8. Jitter RTT

**CRITERIO DE EXITO**

El sistema realizara correctamente los cálculos de estos parámetros.

ID	NOMBRE	PRIORIDAD
RF- QoSTe -06	Cálculo de MOS	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
El sistema podrá calcular el valor de MOS, lo cual ayudará a determinar la calidad de servicio de la comunicación VoIP.		
<b>CRITERIO DE EXITO</b>		
El sistema realizara de manera correcta el cálculo del MOS.		

ID	NOMBRE	PRIORIDAD
RF- QoSTe -07	Mensajes de Advertencia	Alta
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
El sistema deberá desplegar un mensaje de advertencia cuando los parámetros de RF-QoSTe-02, RF- QoSTe -03 y RF- RF-QoSTe -04 no sean correctos.		
<b>CRITERIO DE EXITO</b>		
Al introducir incorrectamente alguno de estos parámetros se desplegará un mensaje de advertencia.		

ID	NOMBRE	PRIORIDAD
RF- QoSTe -08	Mensajes de Comunicación	Media
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
Se visualizarán los siguientes mensajes durante el proceso de establecimiento, realización y terminación de la comunicación.		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Calling:</b> Indica que se está mandando una solicitud para el establecimiento de la comunicación.</li> <li>• <b>Accept:</b> Indica que se aceptó el establecimiento de la conexión.</li> <li>• <b>Occupied:</b> Indica que la otra instancia se encuentra ocupada.</li> <li>• <b>Decline:</b> Indica que se ha rechazado la solicitud de establecimiento de la comunicación.</li> <li>• <b>Received Data:</b> Indica que se ha establecido la comunicación y se están recibiendo datos.</li> <li>• <b>Hang Up:</b> Indica la terminación de la comunicación.</li> </ul>		
<b>CRITERIO DE EXITO</b>		
Se visualizarán estos mensajes durante el proceso de establecimiento, realización y terminación de la comunicación sin ningún problema.		

ID	NOMBRE	PRIORIDAD
RF- QoSTe -09	Contestación Automática	Media
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
La aplicación contara con la opción de contestador automático, esto significa que si esta opción está habilitada, el sistema cuando reciba una petición de comunicación responderá de manera automática sin necesidad de intervención de algún usuario.		
<b>CRITERIO DE EXITO</b>		
Cuando se requiera establecer comunicación con otra instancia que tenga esta opción habilitada esta responderá de manera automática sin necesidad de la intervención de algún usuario.		

#### 4.1.1 Requerimientos No Funcionales

ID	DESCRIPCIÓN
RNF- QoSTe -01	El sistema deberá funcionar en la plataforma del sistema operativo de Microsoft Windows XP.
RNF- QoSTe -02	El programa se desarrollara con el lenguaje de C++
RNF- QoSTe -03	El compilador que se utilizara será el Borland Builder C++ 6.0
RNF- QoSTe -04	La interfaz de usuario del sistema deberá presentarse en el idioma inglés.

# CAPÍTULO 5

## CAPÍTULO 5. DISEÑO DEL SISTEMA

### 5.1 Casos de Uso

Los casos de uso son una técnica para especificar el comportamiento de un sistema. Son una secuencia de interacciones entre un sistema y alguien o algo que usa alguno de sus servicios. Cada caso de uso proporciona uno o más escenarios que indican cómo debería actuar el sistema con el usuario o con otro sistema para conseguir un objetivo específico.

La Tabla 5-1 nos describe el actor en el caso de uso de nuestro sistema.

ACTOR	DESCRIPCIÓN	ACCIONES
Usuario (Origen/Destino)	Es la persona que realiza y/o contesta la llamada.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Llamar</li><li>• Responder</li><li>• Rechazar llamada</li><li>• Terminar llamada</li></ul>

Tabla 5-1 Actor de GenVoIP

La Figura 5-1 nos muestra el diagrama de casos de uso de la aplicación.

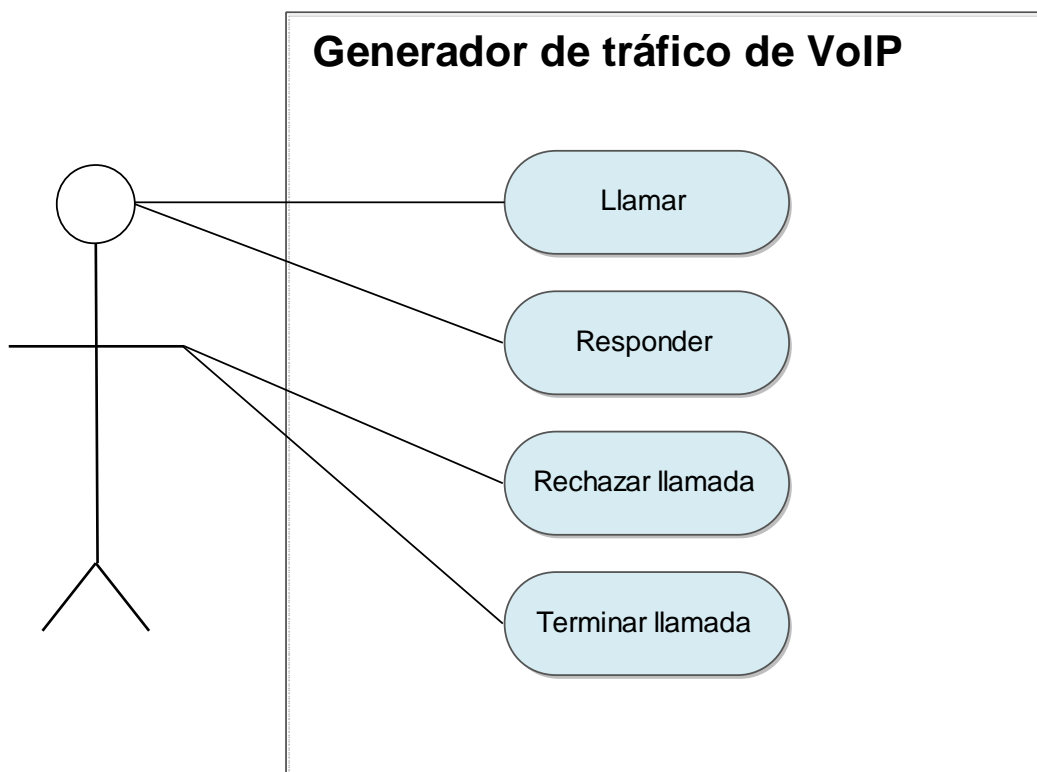


Figura 5-1 Diagrama de casos de uso

A continuación se describen los casos de usos que se desarrollaron en nuestro sistema y se ilustraron en la Figura 5-1.

<b>ID:</b>	CU- QoSTe -01
<b>Nombre:</b>	Llamar
<b>Autor:</b>	Grecia del Rosario Almeyda Torres
<b>Fecha:</b>	
<b>Descripción:</b>	Permite el envío de solicitud para establecer una comunicación.
<b>Actores:</b>	1. Usuario
<b>Precondiciones:</b>	1. La aplicación ya se debe encontrar en ejecución.
<b>Flujo Normal:</b>	1. El usuario proporciona la dirección IP del usuario con el que desea establecer comunicación. 2. El usuario origen le envía una solicitud de llamada al usuario destino.
<b>Flujo Alternativo:</b>	
<b>Pos condiciones:</b>	

<b>ID:</b>	CU- QoSTe -02
<b>Nombre:</b>	Responder
<b>Autor:</b>	Grecia del Rosario Almeyda Torres
<b>Fecha:</b>	
<b>Descripción:</b>	Permite la comunicación entre dos usuarios.
<b>Actores:</b>	1. Usuario
<b>Precondiciones:</b>	1. La aplicación ya se debe encontrar en ejecución. 2. Debe haber una solicitud de llamada desde un usuario origen.
<b>Flujo Normal:</b>	1. El usuario destino responde al cliente origen la aceptación de la llamada. Se inicia la llamada.
<b>Flujo Alternativo:</b>	
<b>Pos condiciones:</b>	



<b>ID:</b>	CU- QoSTe -03
<b>Nombre:</b>	Rechazar llamada
<b>Autor:</b>	Grecia del Rosario Almeyda Torres
<b>Fecha:</b>	
<b>Descripción:</b>	Permite rechazar el inicio de una comunicación.
<b>Actores:</b>	1. Usuario
<b>Precondiciones:</b>	1. La aplicación ya se debe encontrar en ejecución. 2. Debe haber una solicitud de llamada desde un usuario origen.
<b>Flujo Normal:</b>	1. El cliente destino le responde al cliente origen el rechazo de la llamada.
<b>Flujo Alternativo:</b>	
<b>Pos condiciones:</b>	

<b>ID:</b>	CU- QoSTe -04
<b>Nombre:</b>	Terminar llamada
<b>Autor:</b>	Grecia del Rosario Almeyda Torres
<b>Fecha:</b>	
<b>Descripción:</b>	Permite la terminación de la llamada entre dos usuarios
<b>Actores:</b>	1. Usuario
<b>Precondiciones:</b>	1. Los usuarios deben estar realizando una llamada.
<b>Flujo Normal:</b>	1. El usuario envía una solicitud de terminación de la llamada a otro usuario y termina la transmisión de datos. 2. El usuario que recibe la solicitud termina la transmisión de datos.
<b>Flujo Alternativo:</b>	
<b>Pos condiciones:</b>	

## 5.2 Arquitectura del sistema de VoIP

En esta sección se presentaran distintos diagramas, que mostraran la arquitectura del sistema con el fin de ver y entender los componentes que lo integran.

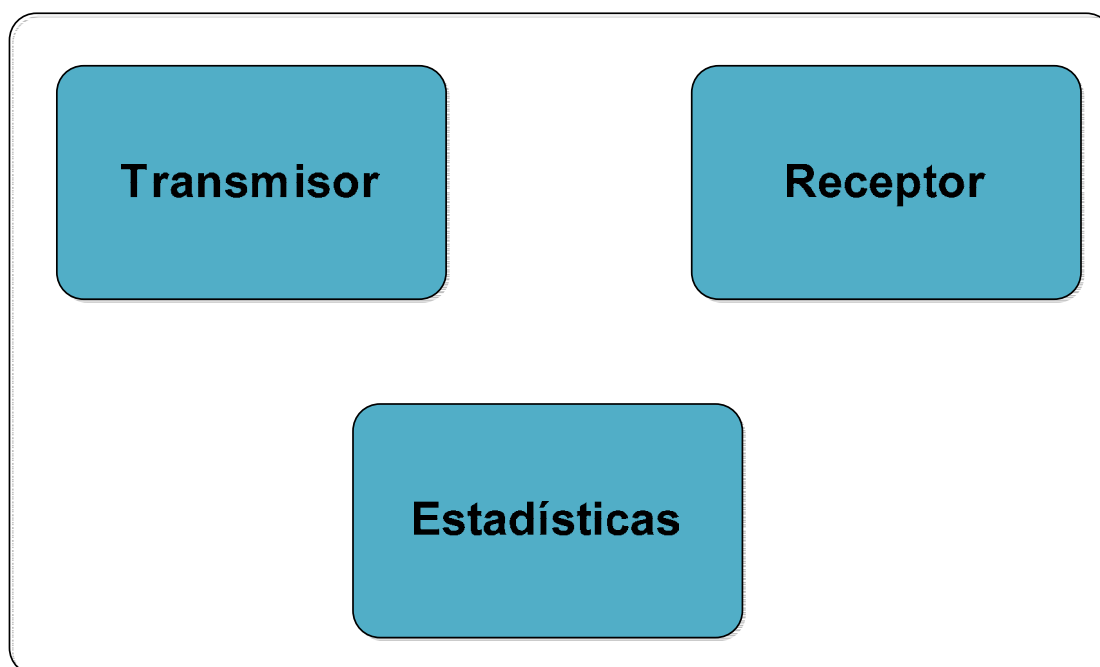


Figura 5-2 Sistema

Desde el punto de vista del usuario, el sistema propuesto es una aplicación y se puede dividir en bloques, los cuales cumplen ciertas tareas específicas; en esta propuesta, el sistema se compone de tres módulos como se observa en la Figura 5-2.

1. **Trasmisor:** Es el encargado de crear los paquetes sintéticos RTP y transmitirlos. Un esquema a bloques más detallado donde se muestra el esquema de paquetización se ilustra en la Figura 5-3.

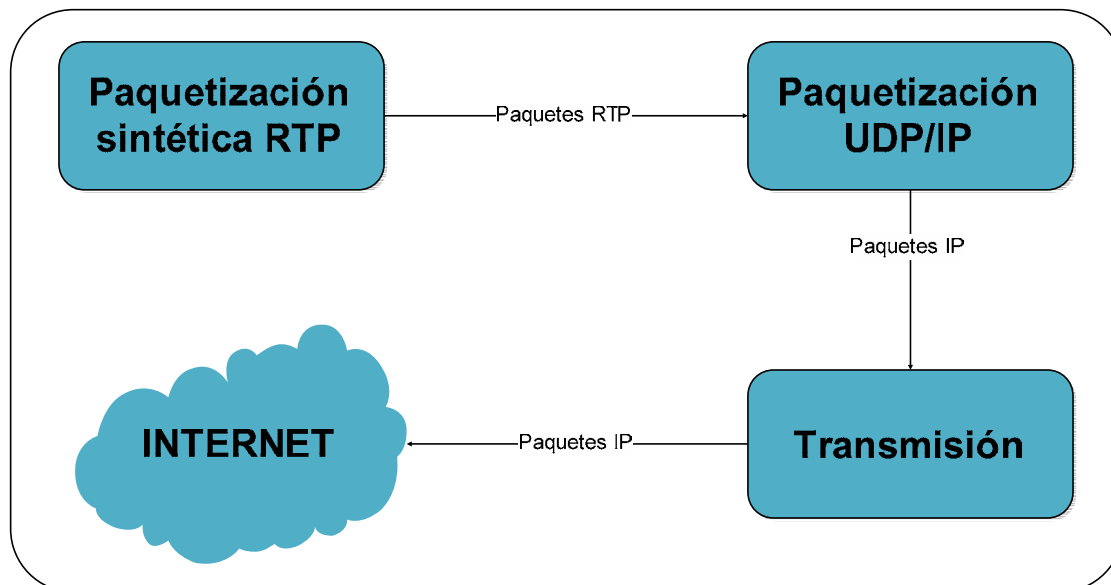


Figura 5-3 Bloque Trasmisor

Como se observa en la Figura 5-3, el trasmisor realiza la paquetización sintética RTP, en función del códec y el tamaño de paquete que el usuario defina y este a su vez se encapsula en un paquete UDP para ser transmitido a través de un socket a la red IP.

2. **Receptor:** Se encarga de recibir los paquetes por medio de un buffer, suprimir los encabezados, extraer las muestras de voz sintéticas y transferir el encabezado RTP al bloque de estadísticas, como se muestra en la Figura 5-4.

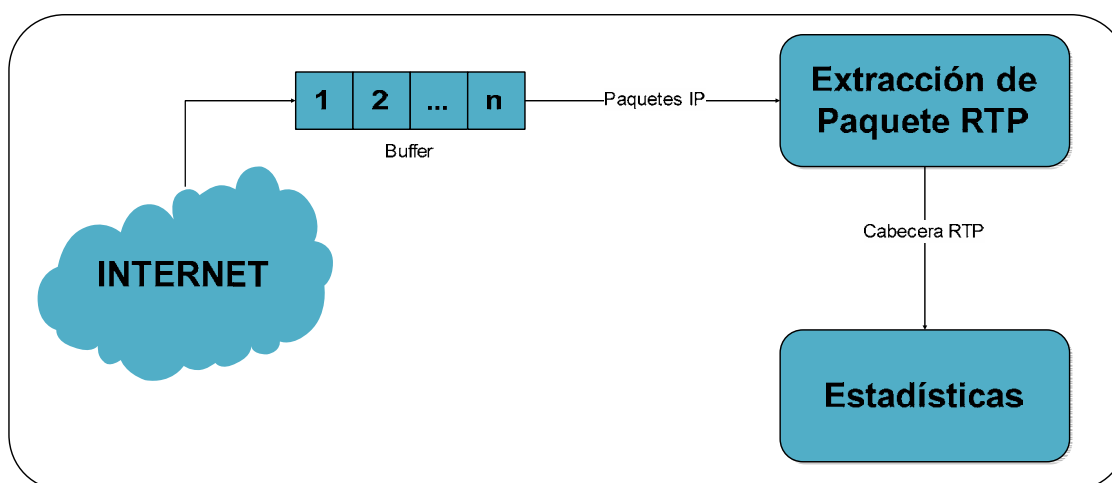


Figura 5-4 Bloque Receptor

Este bloque realiza la función inversa del bloque transmisor. Este recibe los paquetes de la red extrayendo los datos necesarios para las estadísticas. Una vez extraídos los datos antes mencionados, son enviados al estimador para realizar los cálculos de los parámetros.

3. **Estadísticas:** En este bloque se recibe el encabezado RTP, del cual se extraen los datos necesarios para la estimación de los parámetros de QoS definidos en RF- QoS-05 y RF- QoS-06, ver Figura 5-5.

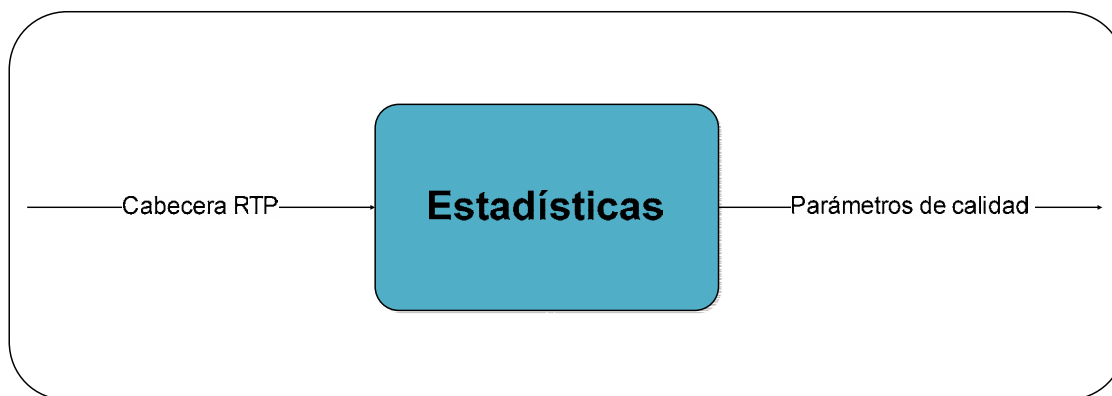


Figura 5-5 Bloque de Estadísticas

### 5.3 Diseño Orientado a Objetos

El sistema fue desarrollado en C++, por lo cual se utilizó un paradigma orientado a objetos.

La Tabla 5-2 enlista y define las clases que se desarrollaron para esta aplicación.

Tabla 5-2 Clases que conforman la aplicación.

Nombre de la clase	Descripción
TQoSTester	Es la ventana principal del Sistema. Permite establecer una sesión de comunicación indicando el tipo de códec, tamaño de paquete y dirección IP destino. De igual manera se encarga de calcular los parámetros de QoS durante la llamada.
RTPPacket	Crea paquetes RTP y manipula su contenido y estructura.
Header	Define la cabecera de los paquetes RTP.

En la Tabla 5-3 se presenta una lista y su correspondiente descripción de todos los archivos desarrollados para la aplicación.

**Tabla 5-3 Archivos que conforman la aplicación.**

Nombre	Descripción
Unit1.h Unit1.ccp	Es la ventana principal del Sistema.
Signaling.h Signaling.ccp	Se encarga de la señalización de una llamada y el establecimiento de la misma.
RTPPacket.h RTPPacket.ccp	Se encarga de crear paquetes RTP y manipular su contenido.
UCodecs.h UCodecs.ccp	Establece los valores dependiendo del códec, de los parámetros utilizados para el cálculo del Factor R.
TQoS.h TQoS.ccp	Realiza el cálculo del factor R y su relación con el MOS.

## 5.4 Interfaz del sistema

Existen diversas formas para desarrollar la interfaz de un sistema, sin embargo se optó por desarrollar una interfaz bastante sencilla la cual se presenta a continuación:

La interfaz del sistema, cuenta con seis secciones como se puede observar en la Figura 5-6:

- A. Panel de configuración de llamada: Aquí se permite establecer o configurar los principales parámetros de la llamada, tales como: IP destino, número de puerto, tipo de códec, tamaño de paquete y contestación automática.
- B. Panel del trasmisor: Muestra información referente al número de secuencia de los paquetes transmitidos y número de paquetes transmitidos.
- C. Panel del receptor: Muestra información referente al número de paquetes recibidos y número de paquetes perdidos.
- D. Panel de parámetros de QoS: Muestra en tiempo real, los valores de los principales parámetros de QoS de la comunicación en curso, los cuales, se actualizan cada segundo.

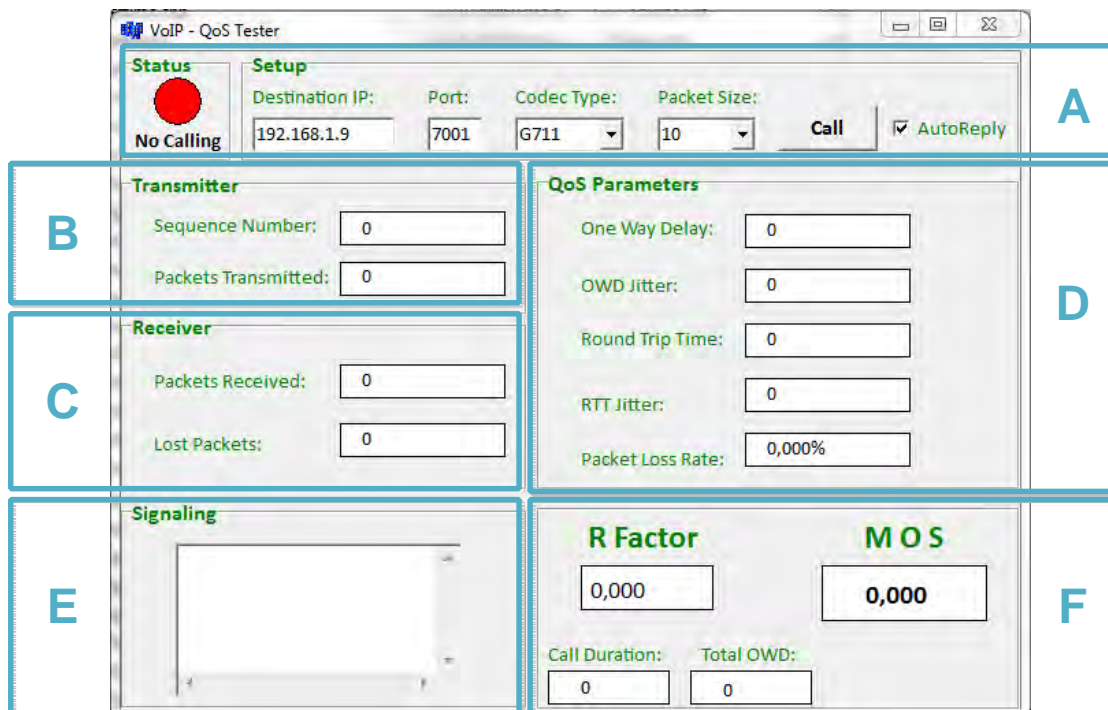


Figura 5-6 Interfaz del sistema

- E. Panel de señalización de la llamada: Muestra la señalización de la llamada.
- F. Panel de Factor R y MOS: Muestra los valores estimados del factor R y MOS de la comunicación en curso. También muestra la duración de la llamada en segundos y el retardo OWD promedio de la llamada.

## 5.5 Documentación del sistema

Una etapa fundamental en el proceso de desarrollo de software es la documentación, además se pretende que este sistema pueda servir como plataforma base para desarrollar un sistema más completo y poderosos para el análisis de desempeño de redes IP.

En este trabajo, para realizar la documentación se utilizó Doxygen, un sistema de documentación para diferentes lenguajes de programación, entre ellos C++.

Esta herramienta tiene como principal característica la posibilidad de generar navegadores de documentación en línea (HTML) y/o manuales de referencia (RTF, PS), a partir de un conjunto de archivos de código fuente.

Tales archivos habrán de ser convenientemente documentados mediante el estándar que define el software para enriquecer los manuales de referencia, resaltando secciones claves del sistema en desarrollo. Este esquema permite mantener fácilmente secciones claves del sistema en desarrollo, así también, la consistencia entre la documentación y el código fuente.

Doxygen está desarrollado bajo Linux y Mac OS X, pero ha sido configurado para ser altamente portable. Como resultado, a la fecha es posible ejecutarlo en la mayoría de los sistemas Linux e inclusive en Windows.

Debido a que, la documentación generada es muy extensa, será añadida en formato electrónico a la presente tesis para su consulta, en conjunto con el código fuente.

# CAPÍTULO 6



## CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN DEL SISTEMA

A fin de cumplir con lo establecido en la sección 1.4, y validar el correcto funcionamiento del generador de tráfico sintético de VoIP propuesto (QoS Tester), se efectuaron varios análisis.

Inicialmente, para validar los resultados obtenidos con nuestro generador se hizo uso del analizador de protocolos Wireshark; la prueba de validación, consistió en generar un conjunto de comunicaciones mediante QoS Tester y comparar los resultados entre Wireshark y QoS Tester respecto a la estimación de los siguientes parámetros en una red inalámbrica:

- Verificación de tipo de códec y tamaño de paquetes
- Paquetes Perdidos
- Paquetes Recibidos
- PLR
- Paquetes Transmitidos

Como segunda prueba de validación, se realizaron de manera paralela, comunicaciones de voz, mediante QoS Tester y VoIPAS [5], bajo los mismos parámetros de configuración de llamada (tipo de códec y tamaño de paquete) y compartiendo el mismo host. Esta prueba fue utilizada para validar los valores de OWD y MOS obtenidos mediante QoS Tester.

Por último se analizó la información obtenida de las pruebas realizadas para comprobar que la aplicación QoS Tester está realizando las comunicaciones y mediciones correctas de acuerdo con lo establecido en los objetivos.

### 6.1 Escenario de prueba

La Figura 6-1 muestra el escenario de prueba, mediante el cual se realizaron el conjunto de pruebas. El escenario de prueba fue conformado por dos terminales en conexión punto a punto en una red inalámbrica.

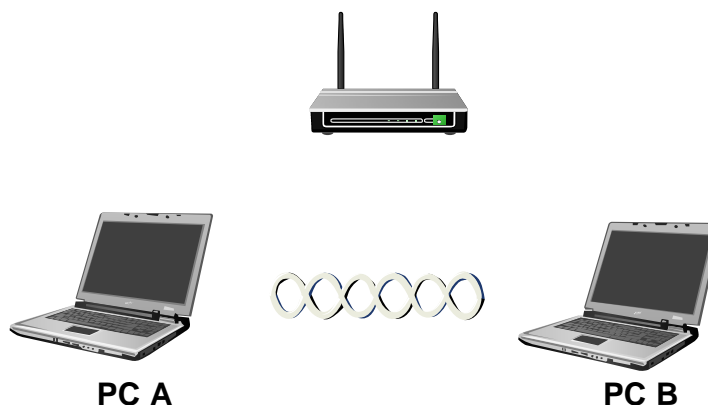


Figura 6-1 Red de prueba

En cada equipo terminal se instaló el software QoS Tester, VoIPAS así como también el analizador de protocolos Wireshark.

Para poder realizar un conjunto de pruebas con una cobertura del 100%, se realizaron comunicaciones con las diferentes combinaciones de tipo de códec (G.711 y G.729) y tamaño de paquete (10ms, 20ms, 40ms y 60ms), como se muestra en la Tabla 6-1.

Codec	G.711	G.729
Tamaño de paquete	10	10
	20	20
	40	40
	60	60

Tabla 6-1 Tipos de códec y tamaños de paquetes utilizados

Como resultado de esta primera prueba exhaustiva, se analizaron diez y seis flujos VoIP, en periodos de cuatro minutos (duración de llamada), mediante Wireshark para validar los resultados arrojados por el generador propuesto.

Para la validación del OWD y MOS en QoSTester se realizaron el mismo número de flujos VoIP (16) que los utilizados en la primera prueba, de manera paralela con VoIPAS. Para la comparación entre los valores de OWD entre QoS Tester y VoIPAS se tomó un valor promedio de toda la comunicación. Mientras que para validar los valores de MOS estimados en QoSTester, se tomaron muestras de MOS cada minuto tanto en QoSTester como VoIPAS y se realizó la comparación.

## 6.2 Resultados de las pruebas de tipo de códec y tamaño de paquete.

Para validar y determinar el grado de precisión de la aplicación QoSTester a la hora de establecer una llamada, con un determinado tipo de códec y tamaño de paquete, se realizaron una serie de pruebas entre dos terminales en una comunicación punto a punto en una red inalámbrica.

Las Figuras 6-2, 6-3, 6-4 y 6-5 contienen un conjunto de resultados representativos de las pruebas.

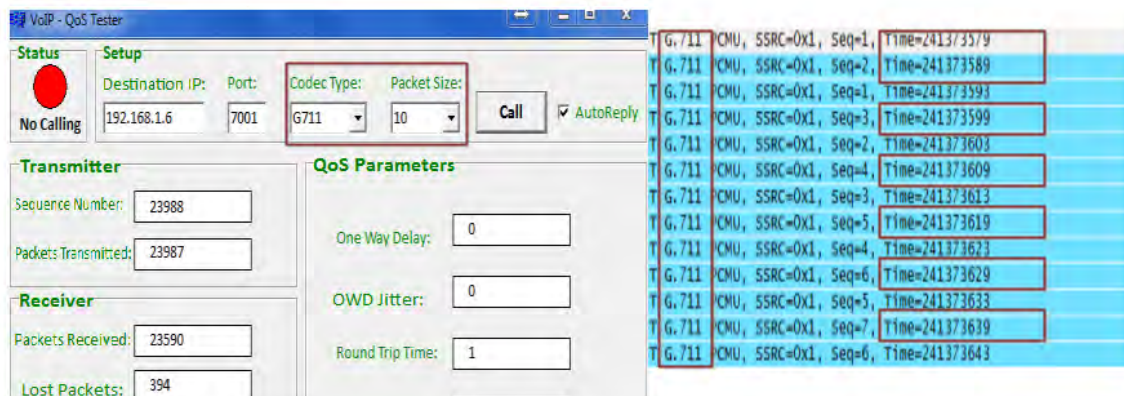


Figura 6-2. G711 a 10 ms

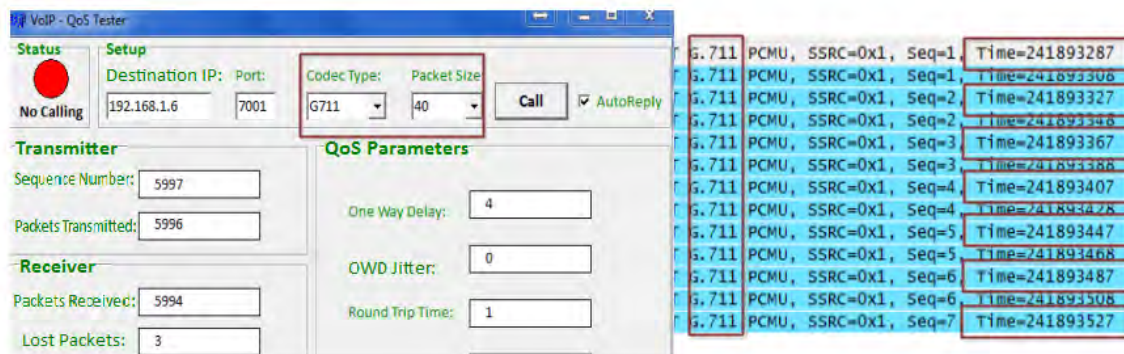


Figura 6-3. G711 a 40 ms

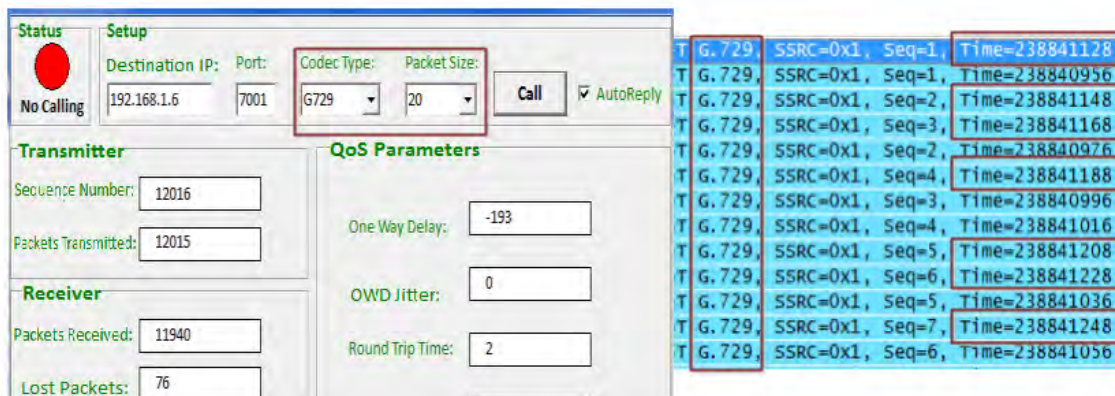


Figura 6-4. G729 a 20 ms

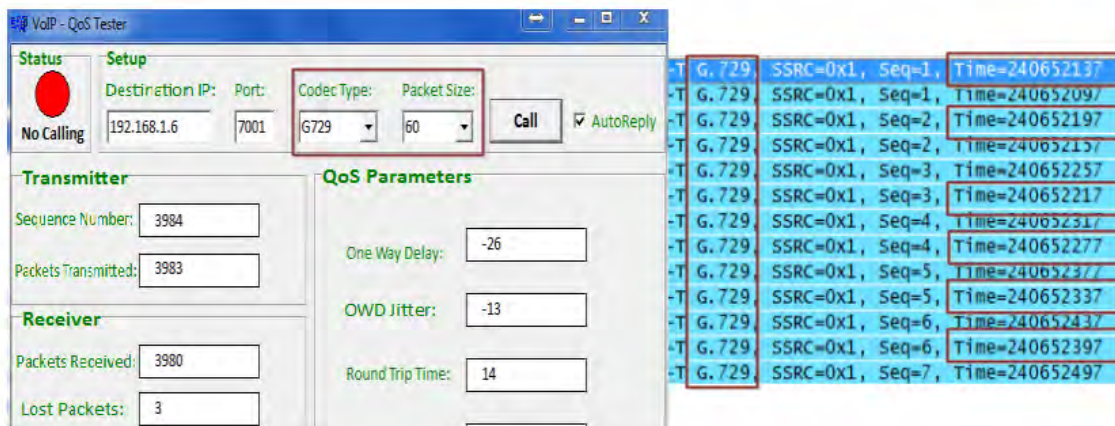


Figura 6-5. G711 a 60 ms

Como resultado final de esta prueba, se puede concluir, que el generador transmite de manera correcta a diferentes tamaños de paquete y tipo de codec.

### 6.3 Resultados de las pruebas de métricas de QoS.

Las Tablas 6-2, 6-3, 6-4 y 6-5 contienen los resultados de validar un conjunto de comunicaciones realizadas mediante QoS Tester y su correspondiente comparación con los resultados arrojados por Wireshark, respecto a la estimación de los siguientes parámetros:

- Paquetes Trasmitados

- Paquetes Recibidos
- Paquetes Perdidos
- Porcentaje de pérdidas (PLR)

Tabla 6-2. Métricas de G711 a 10 ms

	PC A		PC B	
	QoSTester	Wireshark	QoSTester	Wireshark
Trasmitidos	23,987	23,987	23,984	23,984
Recibidos	23,509	23,509	23,994	23,994
Perdidos	394	395	3	3
PLR	1.64%	1.65%	0.01%	0.01%

Tabla 6-3. Métricas de G711 a 20 ms

	PC A		PC B	
	QoSTester	Wireshark	QoSTester	Wireshark
Trasmitidos	11,991	11,991	11,994	11,994
Recibidos	11,982	11,985	11,984	11,984
Perdidos	9	9	7	7
PLR	0.08%	0.08%	0.06%	0.06%

Tabla 6-4. Métricas de G711 a 40 ms

	PC A		PC A	
	QoSTester	Wireshark	QoSTester	Wireshark
Trasmitidos	5,996	5,996	5,998	5,998
Recibidos	5,994	5,995	5,994	5,994
Perdidos	3	3	2	2
PLR	0.05%	0.05%	0.03%	0.03%

Tabla 6-5. Métricas de G711 a 60 ms

	PC A		PC A	
	QoSTester	Wireshark	QoSTester	Wireshark
Trasmitidos	4,001	4,001	4,002	4,002
Recibidos	3,999	4,000	4,000	4,000
Perdidos	2	2	1	1
PLR	0.05%	0.05%	0.03%	0.02%

Al analizar los resultados obtenidos podemos observar que la diferencia entre los valores obtenidos por el QoSTester y los obtenidos por el Wireshark son mínimos, lo que nos muestra que el desempeño de la aplicación al momento de calcular las métricas de calidad es bastante confiable.

#### 6.4 Resultados de las pruebas de OWD.

Las siguientes tablas muestran una comparativa de los valores de OWD obtenidos por la aplicación QoSTester y los obtenidos por VoIPAS.

Tabla 6-6. Valores obtenidos de OWD para G.711

OWD - G.711				
Tamaño de Paquete	QoS Tester PC A	VoIPAS PC A	QoS Tester PC B	VoIPAS PC B
10 ms	2.563	2.741	14.088	13.126
20 ms	107.482	107.495	-104.328	-104.384
40 ms	4.020	4.177	-1.598	-1.401
60 ms	7.525	7.661	-4.979	-4.740

Tabla 6-7. Valores obtenidos de OWD para G.729

OWD - G.729				
Tamaño de Paquete	QoS Tester PC A	VoIPAS PC A	QoS Tester PC B	VoIPAS PC B
10 ms	-248.951	-249.384	252.477	252.772
20 ms	-191.929	-191.894	195.181	195.199
40 ms	-55.313	-54.932	57.537	57.652
60 ms	-38.935	-38.820	41.562	41.793



Analizando los resultados podemos observar que hay pequeñas variaciones entre los valores de OWD obtenidos mediante QoSTester y los obtenidos mediante VoIPAS. Esto debido a que la aplicación VoIPAS recibe audio, lo codifica, paquetiza y lo trasmite; mientras que QoSTester trabaja con paquetes sintéticos, es decir solamente realiza la paquetización RTP y la trasmite. Lo cual conlleva a que los valores promedios de OWD obtenidos presenten pequeñas diferencias.

## 6.5 Resultados de las pruebas de MOS.

En las siguientes tablas se muestran los resultados de las pruebas realizadas para evaluar los valores de MOS obtenidos por la aplicación QoSTester y VoIPAS.

Tabla 6-8. MOS-G711-10ms

Minutos	QoS Tester		VoIPAS	
	A	B	A	B
1	3.812	3.891	4.219	4.405
2	4.094	4.111	4.318	4.403
3	4.189	4.195	4.349	4.407
4	4.239	4.247	4.362	4.408

Tabla 6-9. MOS-G711-20ms

Minutos	PC A		PC B	
	QoS Tester	VoIPAS	QoS Tester	VoIPAS
1	4.354	4.342	4.359	4.360
2	4.343	4.347	4.351	4.356
3	4.338	4.348	4.345	4.355
4	4.343	4.248	4.345	4.352

Tabla 6-10. MOS-G711-40ms

Minutos	PC A		PC B	
	QoS Tester	VoIPAS	QoS Tester	VoIPAS
1	4.396	4.389	4.403	4.400
2	4.398	4.392	4.406	4.406
3	4.402	4.401	4.405	4.404
4	4.403	4.402	4.405	4.405

Tabla 6-11. MOS-G711-60ms

Minutos	PC A		PC B	
	QoS Tester	VoIPAS	QoS Tester	VoIPAS
1	4.406	4.406	4.399	4.407
2	4.401	4.397	4.402	4.407
3	4.402	4.400	4.404	4.407
4	4.401	4.400	4.407	4.407

Tabla 6-12. MOS-G729-10ms

Minutos	PC A		PC B	
	QoS Tester	VoIPAS	QoS Tester	VoIPAS
1	3.081	3.077	3.074	3.069
2	3.578	3.179	3.684	3.165
3	3.796	3.320	3.820	3.377
4	3.737	3.429	3.821	3.476

Tabla 6-13. MOS-G729-20ms

Minutos	PC A		PC B	
	QoS Tester	VoIPAS	QoS Tester	VoIPAS
1	3.847	3.859	3.842	3.846
2	3.761	3.806	3.841	3.837
3	3.724	3.733	3.848	3.839
4	3.752	4.743	3.848	3.838

Tabla 6-14. MOS-G729-40ms

Minutos	PC A		PC B	
	QoS Tester	VoIPAS	QoS Tester	VoIPAS
1	4.058	4.044	4.038	4.042
2	4.048	4.051	4.047	4.047
3	4.056	4.044	4.048	4.046
4	4.051	4.044	4.049	4.049



Tabla 6-15. MOS-G729-60ms

Minutos	PC A		PC B	
	QoS Tester	VoIPAS	QoS Tester	VoIPAS
1	4.057	4.055	4.056	4.067
2	4.065	4.056	4.062	4.068
3	4.062	4.056	4.060	4.068
4	4.071	4.056	4.063	4.068

Al realizar el análisis de los resultados se pudo observar que hay pequeñas variaciones en los valores obtenidos por QoS Tester y los obtenidos por VoIPAS, sin embargo, al igual que en el caso de los valores de OWD, esto se debe a que el número de paquetes transmitidos, recibidos y el PLR varían entre una aplicación y otra.

# CAPÍTULO 7

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

En la actualidad, una gran cantidad de aplicaciones en tiempo real, tales como VoIP, están disponibles en las redes IP, con un costo de comunicación menor comparado con la PSTN. Sin embargo las redes IP de hoy en día solo ofrecen un servicio de “mejor esfuerzo”, y no garantizan la calidad de servicio en este tipo de aplicaciones.

Debido a que la tecnología VoIP, comprende de la transmisión de voz en forma de paquetes de datos a intervalos regulares sobre una red IP, la calidad se puede ver afectada. Si cada paquete es recibido con un nivel bajo de: retardo, jitter y pérdida de paquetes, la calidad percibida será buena. Sin embargo, si los paquetes se pierden o llega con retardos altos, la calidad será pobre.

Una técnica para poder hacer frente a estos desperfectos es mediante el análisis y caracterización de los principales parámetros de QoS, mediante mediciones de red.

En esta tesis se diseñó e implementó un generador de tráfico sintético de VoIP que permite estimar los principales parámetros de QoS y evaluar la calidad de servicio.

Los principales requerimientos establecidos y cubiertos en el desarrollo del generador para cumplir con los objetivos planteados al inicio de este trabajo, son los siguientes:

- Contar con el código fuente de una herramienta que permita generar tráfico sintético VoIP y evaluar la calidad de servicio de una red IP.
- Implementar el generador en el lenguaje C++.
- Desarrollar la interfaz de usuario en el idioma inglés.
- Capacidad de medición de los principales parámetros de QoS
  - Paquetes perdidos
  - Tasa de pérdida de paquetes (PLR)
  - OWD
  - Jitter OWD
  - RTT
  - Jitter RTT
  - Factor R
  - MOS
- Contar con una herramienta base para desarrollar en un trabajo futuro, un sistema más completo.

Como resultado de este trabajo, se ha logrado desarrollar un sistema generador de tráfico sintético de voz sobre el protocolo de Internet completamente funcional. Para validar el correcto funcionamiento del generador propuesto, se utilizaron principalmente dos herramientas: Wireshark [24] y VoIPAS [5]. Los resultados de tal validación fueron satisfactorios, pues se obtuvo un margen de error muy bajo, lo cual indica que el generador propuesto es confiable.

Las principales propuestas para trabajo futuro se enlistan a continuación:

- Implementar la opción para transmitir tráfico de voz real.
- Implementar un módulo de señalización SIP y/o H.323.
- Implementar nuevos códec de voz.
- Extender el módulo de parámetros de QoS mediante la estimación de nuevos parámetros.
- Implementar la opción de almacenamiento en archivo de los parámetros evaluados durante la comunicación, para su posterior análisis y procesamiento.
- Evaluar el desempeño de una red IP para conocer la viabilidad de implementar una red convergente.

## REFERENCIAS

- [1] K. I. Park, *QoS in Packet Networks*. Boston, MA: Springer Science + Business Media, Inc (2005).
- [2] J. A. Carballar, *VoIP: La telefonía de Internet*, PARANINFO, 2007. ISBN 9788428329521.
- [3] C. Hernández, “Análisis de las métricas de desempeño de tráfico de paquetes de voz sobre el protocolo de Internet”, Tesis de Maestría, CINVESTAV Unidad Guadalajara, Diciembre 2007.
- [4] W. C. Hardy, *VoIP Service Quality*. McGraw-Hill, 2003.
- [5] J.A Argáez, “Software para el análisis de QoS en VoIP”, Tesis de Maestría, CINVESTAV Unidad Guadalajara, Julio 2009.
- [6] J. Anderruthy, *Skype y telefonía IP: Llama gratis por internet*, ENI, 2007.
- [7] ITU-D Informe esencial sobre telefonía IP, 2003.
- [8] J. I. Griera, J.M. Barcelo, *Estructura de Redes de Computadoras*, UOC, 2009.
- [9] A. S. Tanenbaum, *Redes de Computadoras*, 3a ed., Prentice Hall, 1997.
- [10] J. Davidson, J. Peters. *Fundamentos de Voz sobre IP*. Pearson Education, 2001.
- [11] J. B. Postel, RFC 791, “Internet Protocol: DARPA Internet Program Protocol Specification”, IETF, Sep 1981.
- [12] V. Jacobson, R. Braden, D. Borman, RFC1323, “TCP Extensions for High Performance”, Mayo 1992.
- [13] J. B. Postel, RFC768, “User Datagram Protocol”, Agosto 1980.
- [14] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, RFC1889, “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, January 1996.
- [15] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, E. Schooler, RFC3261, “SIP: Session Initiation Protocol”, June 2002.
- [16] P. Calyam, W. Mandrawa, M. Sridharan, A. Khan, P. Schopis, “H.323 Beacon: An h.323 Application Related End-to-End Performance Troubleshooting Tool”, Columbus, Ohio.
- [17] ITU-T Recommendation H.323, infrastructure of audiovisual services-systems and terminal equipment for audiovisual services, Series H: Audiovisual and multimedia systems, 2009.
- [18] ITU-T Recomendación E.800, Calidad de los servicios de telecomunicación: conceptos, modelos, objetivos, planificación de la seguridad de funcionamiento – Términos y definiciones relativos a la calidad de los servicios de telecomunicación, Series E:

- Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos, 2008.
- [19] UIT-T Recomendación P.800, Métodos de la evaluación objetiva y subjetiva de la calidad. Métodos de determinación subjetiva de la calidad de transmisión.
- [20] ITU-T Recommendation G.107, The E-model, a computational model for use in transmission planning, March 2005.
- [21] ITU-T Recomendación G.109, Definición de las categorías de calidad de transmisión vocal, Conexiones y circuitos telefónicos internacionales – Definiciones generales, 1999.
- [22] E-model tutorial  
<http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/introduction.htm>
- [23] Cole R. G., Rosenbluth J. H., "Voice over IP performance monitoring", AT&T Laboratories, Middletown, NJ.
- [24] G. Combs, Wireshark: A Network Protocol Analyzer, <http://www.wireshark.org/>, 2013.