

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Proyecto Fin de Carrera

Evaluación experimental de QoE/QoS en redes inalámbricas 802.11



AUTOR: Antonio Marín García

DIRECTOR/A: María Dolores Cano Baños

Septiembre / 2014



Autor: Antonio Marín García
E-mail del Autor: Antonio_mg7@hotmail.com
Director: María Dolores Cano Baños
E-mail del Director: mdolores.cano@upct.es
Título del PFC: Evaluación experimental de QoE/QoS en redes inalámbricas 802.11
Descriptores:
Resumen: <p>El objetivo del proyecto es realizar una evaluación experimental de la calidad entre dos códecs de audio utilizados en dos aplicaciones de VoIP. Para ello se tendrán en cuenta tanto las opiniones del usuario como las medidas objetivas que se realizarán. En un escenario inalámbrico Wi-Fi controlado, se realizarán una serie de pruebas (en total 60). Para cada prueba realizaremos dos llamadas, utilizando en cada una de ellas una aplicación de Voz sobre IP (Jitsi y Skype).</p> <p>Para Jitsi se utilizará el códec de audio G.722 y para Skype el códec Silk, con el fin de contrastar los resultados obtenidos. Tras cada llamada el usuario deberá valorar la calidad de la misma rellenando un cuestionario que se habría elaborado anteriormente y además también se capturará el tráfico en el destino y en el origen de cada llamada. Con los datos obtenidos se procederá a realizar la evaluación propiamente dicha de la calidad del servicio.</p> <p>Este proyecto reflejará si existe una relación entre los resultados obtenidos en el estudio de QoS y los obtenidos en el estudio de QoE.</p>
Titulación: ITT Telemática
Departamento: Tecnologías de la información y las comunicaciones
Fecha de Presentación

Capítulo 1

Introducción.....	5
1.1. Motivación.....	5
1.2. Objetivos.....	6
1.3. Descripción del Proyecto.....	7

Capítulo 2

Voz sobre IP (VoIP).....	8
2.1. Definición Voz sobre IP(VoIP).....	8
2.1.1 Ventajas de una red VoIP.....	9
2.1.2 Desventajas Voz sobre IP.....	10
2.2. Infraestructura Básica VoIP.....	11
2.3. Códecs de Audio.....	12
2.4. Protocolos de VoIP.....	14
2.4.1. H.323.....	14
2.4.2. SIP.....	15
2.4.3. MGCP.....	15
2.4.4. IAX.....	16

Capítulo 3

Redes Inalámbricas.....	17
3.1. Introducción.....	17
3.1.1. ¿Qué es Wireless?	18
3.1.2. ¿Qué es Wi-Fi?	18
3.2. Dificultades de VoIP en redes inalámbricas.....	18

Capítulo 4

Medida de la calidad de voz en redes VoIP.....	20
4.1. Calidad de Servicio(QoS)	20
4.1.1. Problemas de QoS.....	25
4.2. Calidad Experimentada por el Usuario(QoE).....	29
4.2.1. Metodologías de Estimación de la Calidad de Experiencia.....	31
4.2.1.1. Métodos Subjetivos.....	31
4.2.1.2. Métodos Objetivos.....	32

Capítulo 5

Desarrollo de las pruebas y análisis de resultados.....	34
5.1. Entorno y Características de los Componentes.....	34
5.1.1. Grabaciones de Señales en la Fuente.....	35

5.1.1.1. Entorno de Grabación.....	35
5.1.1.2. Sistema de Grabación.....	35
5.1.1.3. Material de Conversación.....	35
5.1.1.4. Procedimiento de Grabación.....	36
5.1.1.5. Participantes en las Pruebas.....	36
5.1.1.6. Niveles de Señal Vocal.....	36
5.1.1.7. Sistema Emisor.....	37
5.1.2. Concepción del Experimento.....	37
5.1.3. Procedimiento de la Prueba de Escucha.....	38
5.1.3.1. Sistema de Escucha.....	38
5.1.3.2. Oyentes.....	39
5.2. Análisis QoE de los Códecs SILK y G.722.....	39
5.2.1. Cuestionario.....	39
5.2.2. Identificador.....	39
5.2.3. Descripción Teórica de los Cálculos.....	40
5.2.4. Resultados del Análisis de QoE.....	41
5.2.4.1. Perfil de los encuestados.....	41
5.2.4.2. Dificultades para oír.....	42
5.2.4.3. Calidad y esfuerzo de comprensión.....	44
5.2.4.4. Skewness y Kurtosis.....	45
5.2.4.5. ANOVA One-Way.....	47
5.3. Análisis QoS de los Códecs SILK y G.722.....	47
5.3.1. Descripción Teórica de los Cálculos.....	49
5.3.2. Scripts AWK.....	50
5.3.2.1. Script utilizado en Extremo Transmisor.....	50
5.3.2.2. Script utilizado en Extremo Receptor.....	54
5.3.2.3. Script para el Cálculo del Ancho de Banda del Tráfico no VOIP.....	57
5.3.3. Resultados del Análisis de QoS.....	58
5.3.3.1. Ancho de Banda.....	58
5.3.3.2. Tamaño Medio de los Paquetes.....	61
5.3.3.3. Desviación Estándar del Tamaño de Paquetes.....	63
5.3.3.4. Media de la Diferencia de Tiempos.....	65
5.3.3.5. Desviación Estándar de la Diferencia de Tiempos.....	66
5.3.3.6. Pérdida de Paquetes.....	67
5.3.3.7. Ancho de Banda No VoIP.....	68
5.3.3.8. Retardo de la Red.....	69

Capítulo 5

Conclusión.....	71
------------------------	-----------

Anexo A

Métodos Subjetivos para Audio.....	72
---	-----------

Anexo B

E-Model.....74

Anexo C

Instalacion de los Programas.....76
C.1 Instalacion Wireshark.....76
C.2 Instalacion Skype.....79
C.3 Instalacion Jitsi.....83

Anexo D

Cuestionario para el análisis de QoE.....85

Anexo E

Demostracion Intervalo de Confianza y Tabla t-student.....86
E.1 Construccion de un intervalo de confianza con α^2 Desconocida.....86
E.2 Tabla t-student.....88

Referencias.....89

1.1 Motivación

Las redes inalámbricas, a pesar de ser tecnologías relativamente recientes, han permitido un gran desarrollo de las telecomunicaciones. Aun así existen muchas aplicaciones nuevas que necesitan ser desarrolladas sobre estas plataformas. La voz sobre IP es una de estas aplicaciones, que a pesar de su gran avance, todavía no está solucionada para todas las redes y todos los equipos a los cuales se desee aplicar.

Esto es producto de que no existe la característica de Calidad de Servicio (QoS) para la voz sobre IP (VoIP) en las redes inalámbricas tradicionales, y por ende no se puede asegurar una comunicación satisfactoria para el usuario final. Proveer al usuario de Calidad de Servicio, sin afectar negativamente la red ya existente, resulta un factor decisivo al elegir la tecnología VoIP sobre telefonía tradicional.

En los últimos años surge un nuevo enfoque para el problema de calidad de servicio en Internet. Este se basa en que la calidad de un servicio es un tema completamente subjetivo y depende directamente de lo que el usuario perciba del mismo, independientemente del estado de la red que lo transporta. Esto es muy claro en los servicios de audio y video; en base a distintas técnicas de codificación de la señal y al uso de algoritmos de información redundante es posible que el usuario final experimente niveles de calidad aceptables aún frente a problemas serios en la red. Aparece así el concepto de calidad de experiencia (Qoe-Quality of user Experience).

Existen en la actualidad distintos algoritmos para estimar la calidad de experiencia en voz sobre IP. Muchos se basan en técnicas utilizadas en el diseño de redes de telefonía tradicional y en el desarrollo de nuevos algoritmos de codificación de audio; si bien en esta área han probado ser buenos estimadores, su pasaje a Internet no ha sido del todo exitoso. Otras técnicas recientes han demostrado mejores resultados, pero de momento no está clara la generalidad de los mismos.

Este proyecto se centra en el estudio de los parámetros de calidad en la utilización de dos programas de VoIP distintos (Skype y Jitsi) que utilizan códecs distintos (SILK y G-722) en un entorno inalámbrico.

1.2 Objetivos

La tendencia actual en el área de las comunicaciones hacia la utilización de sistemas de comunicaciones inalámbricos portátiles con alta velocidad de conexión ha repercutido tanto en el ámbito empresarial como en el personal; permitiendo que los usuarios no dependan de cables que les obliguen a permanecer conectados físicamente a la red.

Si a ello sumamos el auge de las comunicaciones telefónicas vía Internet, observamos que se ha creado un nuevo mercado en el que poder desarrollar productos: la telefonía inalámbrica utilizando como medio Internet para la realización de las llamadas.

En los últimos años las aplicaciones de VoIP han experimentado un gran desarrollo en sus características. Las mayores ventajas que presentan son tan importantes como un coste prácticamente nulo, una gran facilidad de instalación y una disponibilidad permanente del servicio. A pesar de estas ventajas son muy pocas las empresas que se deciden a su instalación debido a los malos resultados de calidad que en un pasado ofrecía VoIP y al escaso conocimiento que se posee de esta tecnología.

Este proyecto se centra en el estudio detallado de las comunicaciones de voz sobre IP (VoIP) y la red inalámbrica. Para una mejor comprensión de los estudios que se van a llevar a cabo se comenzará este proyecto con unos capítulos en los que explicará teóricamente aspectos tales como la voz sobre IP, los códec utilizados en VoIP, redes inalámbricas, la calidad en comunicaciones de VoIP (QoS y QoE), etc.

Se elegirán dos códec diferentes, utilizados por aplicaciones VoIP diferentes y sobre un escenario de pruebas controlado se realizarán una serie de pruebas, en las que se obtendrán datos necesarios para la realización del estudio, tanto para QoS como para QoE. Dichas pruebas van a consistir en realizar una serie de conversaciones (dos por cada oyente, una por cada códec), en las que se va a emitir una grabación y cada oyente rellenará un cuestionario por cada aplicación de VoIP. Dicho cuestionario será necesario para el estudio de QoE. Para el estudio de QoS se realizará la captura de paquetes en la conversación utilizando una herramienta específica para ello.

En particular se pretende ilustrar la calidad de servicio que ofrecen estas aplicaciones y su comparación con la calidad experimentada por un grupo de usuarios en redes inalámbricas 802.11. Ambos parámetros aportan unos resultados finales necesarios para la realización de una valoración global de las aplicaciones de VoIP en un entorno inalámbrico.

De esta manera se solventarían las dudas que generan este tipo de aplicaciones antes de su implantación.

1.3 Descripción del Proyecto

En el capítulo 2 se hace una descripción de VoIP. Se mencionan las ventajas e inconvenientes que la caracterizan frente a otras tecnologías, la variedad de elementos que componen estos servicios multimedia, los protocolos que utiliza y sus codificadores.

En el capítulo 3 se describen conceptos básicos de las redes inalámbricas, y las dificultades que presenta VoIP en este tipo de redes.

En el capítulo 4 se definen conceptos tan importantes como QoS y QoE. Enumeramos los parámetros más importantes que nos permiten cuantificar la calidad de servicio, así como los problemas que presenta. Además, se hace un análisis de los parámetros de QoE que los usuarios han valorado de cada aplicación.

En el capítulo 5, se realiza una profunda descripción del escenario de pruebas y se explica como se han llevado a cabo dichas pruebas. Se analizan los diferentes parámetros QoE y QoS que hemos medido para cada una de las aplicaciones de libre distribución Jitsi y Skype (códec SILK y G.722 respectivamente). En concreto para QoS se medirá el ancho de banda total y parcial, tiempo medio entre paquetes, desviación estándar del tamaño de paquete, media de la diferencia de tiempos, pérdida de paquetes, ancho de banda no VoIP y el retardo de la red. La herramienta utilizada para las capturas del tráfico generado por las aplicaciones es Wireshark [WIR12]. Estos datos serán analizados mediante la herramienta awk [AWK12] con la que se ha creado un script que nos permite obtener los valores de los parámetros bajo estudio. Para QoE en concreto se analizan los parámetros que los usuarios han valorado de cada aplicación (para ello se realizaron encuestas). A partir de esos datos se han establecido graficas que muestran los distintos resultados que muestra cada aplicación.

Con los datos de los capítulos anteriores podemos determinar en este ultimo las conclusiones finales se se han derivado de todo el estudio anteriormente descrito. Determinando las relaciones existentes entre QoE y QoS podríamos decidir cual de las aplicaciones bajo estudio es la que proporciona mejores resultados.

Debido al fuerte crecimiento e implantación de las redes IP se han desarrollado técnicas avanzadas para el transporte de voz a través de redes IP. Éstas utilizan mecanismos de control y priorización de tráfico, protocolos de transmisión en tiempo real, así como nuevos estándares que proveen de calidad de servicio a este tipo de redes. La mejora de las características para la transmisión de voz en este tipo de redes, con la expansión que han soportado las redes IP, ha proporcionado un nuevo abanico de posibilidades aplicables a las comunicaciones de voz. Si a lo anteriormente mencionado le sumamos el fenómeno Internet y el ahorro económico que este tipo de tecnología acarrea podemos concluir que VoIP es un tema de gran relevancia.

2.1. Definición Voz sobre IP (VoIP)

La sigla VoIP proviene de las palabra en Inglés: *Voice Over Internet Protocol*, que significa “voz sobre un protocolo de internet o voz sobre IP”, por medio de VoIP permite unir la transmisión de voz con la transmisión de datos, que antiguamente eran dos mundos completamente separados, es por esto que se considera a la VoIP como una tecnología y no como un servicio.

La Voz sobre IP, permite la transmisión de la señal de voz, para conseguir esto la señal es comprimida y digitalizada de manera muy eficiente, estableciendo un modelo o sistema que permita “empaquetar” la señal de la voz, en las cuales la información a transmitir se divide en unidades de información (paquetes), para que puedan viajar a través de redes de datos, a diferencia de la Red Telefónica Publica Conmutada RTPC o PSTN *Public Switched Telephone Network* [WIKI12], que se fundamenta en la conmutación de circuitos, en la cual se establece un circuito o canal dedicado durante el tiempo que demore la comunicación, esto significa que los recursos que intervienen en la comunicación no pueden ser reutilizados en otra comunicación hasta que finalice la primera.

Para que estos paquetes puedan ser transmitidos en una red de datos y teniendo en cuenta que la red de Internet es la "red de redes", nos dirige claramente que utiliza al protocolo IP (*Internet Protocol*), en la cual se aprovecha el ancho de banda y la infraestructura de redes alámbricas e inalámbricas existentes, consiguiendo un ahorro importante en costos, tanto para empresas de telecomunicaciones como a personas particulares.

No obstante, ésta tecnología de la VoIP tiene una desventaja, es que en el protocolo IP no ofrece QoS (Calidad de Servicio), cuando se transmite voz sobre una red IP como la red de Internet, existen varios factores que afectan la calidad de la comunicación, como bajas velocidades de conexión a Internet, aumento de tráfico del Internet, por lo tanto se pueden tener retardos en las transmisiones de paquetes, esta desventaja está siendo superada mediante la evolución de la tecnología y al aumento de las tasas de transmisión que están siendo ofrecidas actualmente, en otras palabras, la constante expansión de las conexiones de banda ancha, han conseguido que la calidad de servicio de esta tecnología, llegue a un excelente nivel, lo cual podría llegar ha convertirse en una gran competencia para las empresas de telefonía tradicional. Está claro que VoIP es una tecnología, que convierte la

señal analógica de la voz en paquetes de datos, y no es un servicio propiamente dicho, con esta tecnología pueden proporcionarse servicios de Telefonía, videoconferencia, entre otros. La prestación de un servicio de telefonía en donde la señal de la voz es empaquetada y viaja a través de una red de datos utilizando el protocolo IP, es conocida como Telefonía sobre IP, además la telefonía IP se refiere a servicios de comunicaciones como aplicaciones de la voz, fax, diferente al concepto de la VoIP. El Servicio de la Telefonía IP es una aplicación indudable de la tecnología VoIP. La telefonía IP dispone de equipos que convierten la señal de voz analógica del teléfono en digital, posteriormente comprimen la información y la introducen en paquetes IP, los cuales son transmitidos sobre una red IP (Intranet o Internet), estos equipos se encuentran en: tarjetas específicas para ordenador, servidores, software específicos, entre otros, los cuales también pueden realizar el proceso inverso al momento que el paquete llega a su destino.

Inicialmente se utilizó el protocolo IP para el envío exclusivamente de datos, pero gracias al desarrollo tecnológico es factible convertir la señal de la voz analógica en digital y comprimirla en paquetes de datos, los cuales pueden ser transmitidos por medio de las diferentes tecnologías existentes como ATM, Frame Relay, Satélites, entre otras.

2.1.1 Ventajas de una red VoIP

Vamos a enumerar las ventajas de la VoIP frente a las centralitas privadas de telefonía (PBX, *Private Branch Exchange*) [WIKI12]. Tradicionalmente, las empresas optan por este tipo de equipos, de ahí que mencionemos también en este apartado las ventajas que VoIP puede ofrecer desde el punto de vista empresarial.

Con respecto a una PBX, VoIP presenta la ventaja del acceso abierto. La documentación en un estándar abierto, así que se puede escribir o modificar código sin problemas. Mientras, en una PBX no hay portabilidad para las aplicaciones que el usuario quiera crear. Por otro lado, si queremos trasladar una cantidad de departamentos a una nueva planta manteniendo la numeración, con VoIP sólo es necesario desplazar los teléfonos, conectarlos a la red y registrarlos con el servidor que dirige las llamadas. En una PBX la gestión es mucho más compleja, pudiendo incluso suponer modificar el cableado interno de la misma. Con VoIP la movilidad es completamente transparente.

Desde el punto de vista de las empresas, está comprobado que VoIP realza la productividad, ocasiona costes operacionales más bajos y un incremento visible de la gestión/administración, ya que los usuarios necesitan una sola red para transmitir voz y datos. Según Cisco [CISCO7] el uso de VoIP para la realización de conferencias reduce en un 30% el gasto de su realización. Las aplicaciones de VoIP debido a que se encuentran en continuo desarrollo, proporcionan ininterrumpidos servicios de calidad, fiabilidad, seguridad y compatibilidad para teléfonos basados en IP, video y convergencia a aplicaciones de escritorio. Tal y como mencionamos antes con VoIP se pueden recibir y enviar llamadas independientemente de la ubicación con sólo conectarse a una conexión de banda ancha (ADSL, Cable, WiFi, etc.).

Otra ventaja importante desde el punto de vista empresarial que aporta la mayoría de aplicaciones, entre ellas Skype [SKYP12], es que las llamadas a otros usuarios de VoIP

son gratuitas y las realizadas a fijos o móviles a nivel mundial se facturan por segundos y sin establecimiento de llamada. En la mayoría de las aplicaciones no existe ninguna cuota de alta ni mensual a diferencia del sistema telefónico normal, con el ahorro que esto conlleva. Señalar, que si una empresa dispone de varias delegaciones tanto a nivel nacional como internacional puede establecer la comunicación sin coste alguno, usando programas de VoIP.

La mayoría de aplicaciones también permiten correo de voz y además de forma gratuita, así como tienen soporte para recibir correctamente mensajes privados desde una conferencia multiusuario. La mayoría de las aplicaciones ofrece soporte para el envío de archivos a usuarios con los que se está conversando. Incluso, algunas aplicaciones poseen una herramienta que les permite establecer comunicaciones con otros usuarios de la misma red, pero de otras plataformas VoIP. Otra característica es que algunas aplicaciones permiten el envío de mensajes de texto ya sea de forma gratuita o mediante una pequeña tarifa y la mayoría de aplicaciones ofrecen recibir llamadas desde cualquier teléfono móvil o línea fija.

Como ventaja podemos incluir también el uso de protocolos de encaminamiento dinámicos, de esta manera una red puede converger utilizando una mejor ruta. Además existen aplicaciones que permiten monitorizar la red indicando el uso que se está haciendo de ella y el destino de las llamadas. Esto es una cualidad añadida que permite a los administradores de las redes controlar en todo momento el uso de la red de la empresa. Se impide que se utilice para otros usos que no sean los estrictamente necesarios en la empresa.

La mayoría de las aplicaciones creadas para las empresas son versiones mejoradas de las proporcionadas a los usuarios individuales. Además, el software es de fácil instalación y en muchos casos se puede instalar en los teléfonos móviles, como es el caso de Skype [SKYP12], para que funcionen a través de WiFi. Supone un ahorro en la telefonía móvil de la empresa, el terminal sólo necesita captar una red WiFi para establecer una comunicación de VoIP sin necesidad de realizar una llamada telefónica a través de la compañía contratada.

2.1.2 Desventajas de una red VoIP

Aunque VoIP presenta muchas ventajas también hay que tener en cuenta algunas desventajas que se pueden presentar:

1. Necesidad de conexión: los servicios de VoIP necesitan que la conexión de alta velocidad de Internet esté habilitada, si las llamadas se realizan mediante un ordenador entonces debe estar siempre encendido, si se trata de un teléfono especial solo es necesario tener el acceso a Internet activo.
2. Páginas blancas: los proveedores de VoIP podrían no ofrecer un listado de páginas blancas.
3. Fallos de electricidad: cuando no hay electricidad los proveedores de servicios no tienen una fuente alternativa para mantener el equipo y se apaga, por tanto se establecería un estado de incomunicación.

4. Envío de faxes: el envío de faxes está todavía limitado, la existencia de codificadores de voz no está diseñada para la transmisión de fax. Para remediar esto se podría definir una solución alternativa basada en el desarrollo *Fax-over-IP*, llamado protocolo T.38. Otra posible solución es tratar el sistema de fax como un sistema conmutador de mensajes que no necesita transmitir datos en tiempo real, como un documento de *e-mail* o impresora remota. El sistema final podría completar el buffer de entrada de datos de fax antes de visualizarlos o imprimir la imagen de fax.
5. Llamadas de emergencia: no todos los servicios de VoIP pueden conectar directamente con los servicios de emergencia.

De todos modos, con la evolución tecnológica la telefonía IP va a superar estos problemas, y se estima que remplace a la telefonía convencional en el corto plazo.

2.2. Infraestructura básica VoIP

Es importante destacar los distintos elementos que forman una red VoIP y las características y funciones de cada uno de ellos:

- **Gateway:** El Gateway es un elemento fundamental en las redes VoIP, su objetivo fundamental es acoplar la red de datos IP con la Red Telefónica Pública Conmutada RTPC (PSTN *Public Switched Telephone Network*) y también con redes de telefonía tradicional.
- **Servidor o Gatekeeper:** El Gatekeeper es un elemento optativo en la red, pero cuando disponemos de este elemento, los demás elementos tienen que utilizar sus funciones administrativas, de gestionar y controlar los recursos de la red, soporta enrutamiento de llamadas.

Dependiendo del sistema en el cual se encuentre basado este elemento obtiene su nombre, es decir en un sistema en el cual se encuentre basado en H.323 el servidor se lo conoce como Gatekeeper, en un sistema SIP: servidor SIP, en un sistema MGCP o MEGACO: Agente de llamadas (Call Agent), es bastante frecuente encontrar que el Gatekeeper y Gateway se encuentren trabajando juntos; Este equipo tiene interfaces LAN y además puede tener uno o todas las siguientes interfaces:

FXO. Para conexión a extensiones de centralitas ó a la red telefónica básica.

FXS. Para conexión a enlaces de centralitas o a teléfonos analógicos.

E&M. Para conexión específica a centralitas.

BRI. Acceso básico RDSI (2B+D)

PRI. Acceso primario RDSI (30B+D)

G703/G.704. (E&M digital) Conexión específica a centralitas a 2 Mbps".

- **Terminales VoIP:** Un teléfono IP es un equipo terminal que naturalmente soporta VoIP, en cual podría conectarse directamente a una red de datos IP. Entendiendo que una red de datos IP puede ser: una red IP privada, la red de Internet, o una red Intranet, definitivamente, la red de datos IP proporciona conectividad entre todos los terminales, en la Figura 2.1 se aprecian los principales elementos en una arquitectura VoIP.

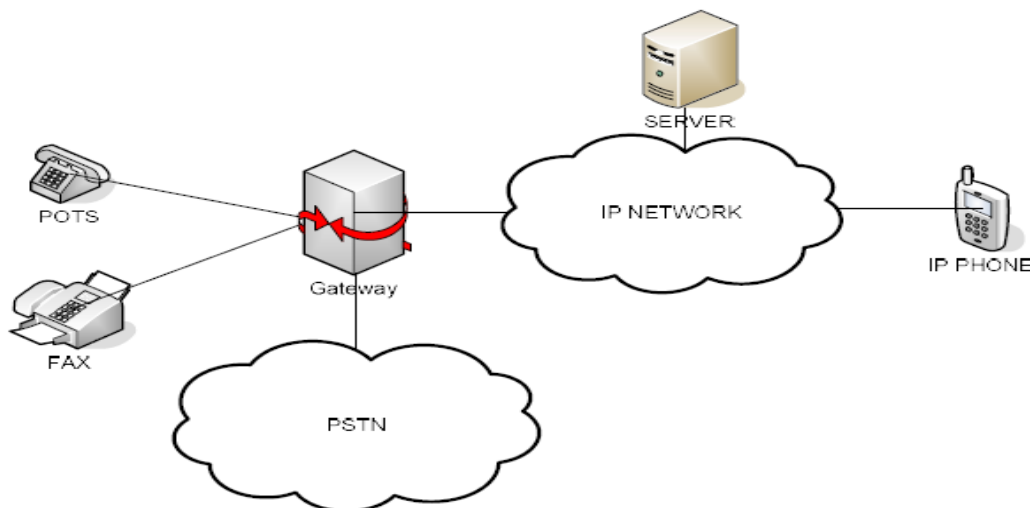


Figura. 2.1. Elementos de una red VoIP.

- **Agente de Usuario:** Los terminales de telefonía IP poseen indudablemente cierta inteligencia, que es suministrada por un Agente de Usuario (UA), se fundamenta en un programa informático el cual siempre se encuentra en estado activo, expresado en otras palabras los Agentes de Usuario (UA) son las entidades que se encuentra a final de la red, y son los que “conversan” con otras entidades. Los Agentes de Usuario son los que inician y finalizan las sesiones o comunicaciones, empleando mensajes para solicitar algún servicio, además están en la capacidad de responder solicitudes y también solicitan respuestas

2.3 Códec de audio

Un códec, que proviene del Inglés coder-decoder, (codificador / decodificador) convierte las señales analógicas a un flujo de bits (*bitstream*) digitales (formato de audio digital), y otro códec idéntico en el otro extremo de la comunicación convierte el flujo de bits digitales en una señal analógica, para poder reproducir la señal. Básicamente VoIP se fundamenta en la conversión de señales analógica – digital, como se ilustra gráficamente en la Figura 2.2.



Figura. 2.2. Códec convierte las señales analógicas a un flujo de bits.

En el mundo de VoIP, los códecs se utilizan para codificar la voz para su transmisión a través de redes IP. Códecs en VoIP también se les conoce como vocoders, para "codificadores de voz". Los códecs generalmente ofrecen una capacidad de compresión para ahorrar ancho de banda de red. Algunos códecs también apoyan la supresión de silencio, donde el silencio no está codificado o transmitido. A continuación se detallan los códecs de audio más importantes en VoIP:

- **G.723.1:** Es un estándar ITU del tipo '*narrow-band*' que codifica-decodifica señales de voz en una cadena de datos cada 30 ms, en un total de 240 muestras. Cada "frame" puede ser de 20 o 24 bytes de longitud, lo que hace que la cadena de datos pueda operar en 5.3 Kbits/s o 6.4 Kbits/s. Este códec está protegido por una gran variedad de patentes, lo que significa que debe pagarse una licencia antes de poder utilizarlo comercialmente.
- **G.722:** es una ITU-T estándar de 7 kHz de ancho de banda. Este códec opera en 48, 56 y 64 kbit / s. Fue aprobado por la UIT-T en noviembre de 1988. La tecnología de este códec se basa en la sub-banda ADPCM (SB-ADPCM).

G722 mejora la calidad de voz debido a un ancho de banda más amplio de la palabra 50-7000 Hz en comparación con los codificadores de voz de banda estrecha como el G.711 , que en general están optimizadas para calidad POTS cable de 300-3400 Hz. G.722 datos de la muestra de audio a una velocidad de 16 kHz (con 14 bits), el doble de interfaces de telefonía tradicional, lo que resulta en una calidad superior de audio y claridad.

- **G.726:** Es un estándar ITU basado en ADPCM (Adaptative Differential Pulse Code Modulation). Permite trabajar con velocidades de 16, 24, 32 y 40 Kbits/s. Este códec proporciona una disminución considerable del ancho de banda sin aumentar en gran medida la carga computacional. Normalmente, es el códec que utilizan las redes troncales internacionales de telefonía.
- **G.729:** Es un algoritmo de compresión de datos de audio que comprime la señal de voz en porciones de 10 ms. G.729 se utiliza, mayoritariamente, en aplicaciones de

- Voz sobre IP (VoIP) por sus bajos requerimientos en cuanto al ancho de banda se refiere. Opera con tasas de 8 Kbits/s pero existen extensiones para tasas de 6.4 Kbits/s y 11.8 Kbits/s para peor o mejor calidad de voz, respectivamente. [ITUT08]
- **GSM** (Global System for Mobile Communications): Familia de códecs para telefonía móvil estandarizados por el ETSI. En VoIP se ha venido usando el GSM FR (Full Rate), estandarizado como GSM 06.10, que tiene una implementación libre y opera a 13 kbps con una carga de CPU aceptable. En telefonía móvil se están imponiendo versiones mejoradas como el GSM AMR (Adaptive Multi-Rate), que ofrece 8 tasas de operación entre 4,75 y 12,2 kbps.
- **Speex**: Es un códec libre para voz que implementa un algoritmo capaz de variar la velocidad de transmisión dependiendo de las condiciones actuales de la red (VBR: Variable Bit Rate). El ancho de banda puede variar desde 2,15 a 22,4 kbps.
- **SILK**: Este códec puede utilizar una frecuencia de muestreo de 8 kHz, 12, 16 o 24 kHz y una tasa de bits 6 a 40 kbit/s. También puede utilizar un algoritmo de bajo retardo de 25 ms. Este códec esta desarrollado por Skype limited, para su uso en Skype. [SILK09].

Codificadores estandarizados ITU	Descripción	Ancho de banda (Kbps)
G.711	PCM	64
G.721	ADPCM	32, 16, 24,40
G.722	PCM-ADPCM	48, 56, 64,
G.728	LD-CELP	16
G.729	CS-ACELP	8
G.723.1	CELP	6.3, 5.3

Figura 2.3: Codificadores estandarizados establecidos por la ITU.

2.4 Protocolos de VoIP

Los protocolos de Voz sobre IP (VoIP) son los lenguajes que utilizarán los distintos dispositivos VoIP para su conexión. Esta parte es importante ya que de ella dependerá la eficacia y la complejidad de la comunicación. A continuación, se describen los protocolos de VoIP más comunes.

2.4.1 H.323

H.323 es una recomendación del ITU-T (International Telecommunication Union), que define los protocolos para proveer sesiones de comunicación audiovisual sobre paquetes de red. Es una parte de la serie de protocolos H.32x, los cuales también dirigen las

comunicaciones sobre RDSI, RTC o SS7. H.323 es utilizado comúnmente para Voz sobre IP (VoIP, Telefonía de Internet o Telefonía IP) y para videoconferencia basada en IP. En definitiva, es un conjunto de normas ITU para comunicaciones multimedia que hacen referencia a los terminales, equipos y servicios estableciendo una señalización en redes IP. No garantiza una calidad de servicio, y en el transporte de datos puede, o no, ser fiable; en el caso de voz o vídeo, nunca es fiable. Además, es independiente de la topología de la red y admite pasarelas o 'gateways', permitiendo usar más de un canal de cada tipo (voz, vídeo, datos) al mismo tiempo.

2.4.2 SIP

SIP es el estándar que IETF utiliza para establecer las conexiones VoIP. Es un protocolo que pretende desarrollar los gateways para que sean más inteligentes.

Se trata de un protocolo de control de la capa de aplicación encargado de crear, modificar y terminar sesiones con uno o más participantes. Estas sesiones multimedia incluyen aplicaciones de audio, video y datos con varios participantes que se pueden comunicar a través de una comunicación *unicast*, *multicast* o una combinación de ambas. Este protocolo de transporte usa invitaciones para crear mensajes *Session Description Protocol* (SDP, Protocolo que Describe la Sesión) [RFC4566] para llevar a cabo el intercambio y establecer el uso de canales de control.

La aplicación SIP cliente servidor, soporta usuarios móviles con dos modos de operación:

- Modo *Proxy*: cliente SIP envían petición al servidor *proxy*, el servidor *proxy* maneja las peticiones o las envía a otros servidores SIP. Los servidores *proxy* pueden aislar y esconder a los usuarios SIP del manejo de los mensajes de señalización. Para los otros usuarios de la red VoIP, la señal de invitación parece como si viniera del servidor *proxy* SIP.
- Modo *Redirect*: el cliente SIP envía al servidor la petición, el servidor busca la dirección de destino, que se la devuelve al cliente. Éste será quien envíe la señal al cliente SIP destino.

SIP es el protocolo básico para los *IP Multimedia Subsystem* (IMS, Subsistema Multimedia IP), datos multimedia y estructura del protocolo de control, que el IETF está desarrollando junto con *Third-Generation Partnership Project* (3GPP), aunque todavía no han llegado a una solución.

2.4.3 MGCP

MGCP es el primer protocolo desarrollado por IETF para señalar la información de control entre los componentes de redes VoIP. Se trata de SGCP con alguna aplicación añadida y es un predecesor incompleto de H.248.

Funciona como un conmutador tradicional de voz en tres unidades funcionales: el *gateway*, controlador de *gateways* y señalización *gateway*. Proporcionando al administrador de la red dirigir independientemente cada *gateway* de VoIP como una entidad separada.

MGCP es un protocolo de control *master-slave* que coordina las acciones de los *gateways*. El controlador de *gateway*, llamado *call agent*, dirige la información de la señal de control de la llamada, mientras que los *gateway* informan a los controladores del servicio de los

eventos. En la mayoría de los casos el *call agent* informa a los *gateways* para comenzar una sesión RTP entre los 2 puntos de la conexión.

2.4.4 IAX

El protocolo IAX (ahora referido generalmente como IAX2 por su segunda versión) es uno de los protocolos utilizados por la centralita Asterisk, para manejar conexiones VoIP entre sus servidores, y entre servidores y clientes VoIP que lo utilizan.

IAX es robusto y muy simple en comparación con otros protocolos. Permite manejar una gran cantidad de códecs y un gran número de flujos de audio/video, lo que significa que puede ser utilizado para transportar virtualmente cualquier tipo de datos. Esta capacidad lo hace muy útil para realizar videoconferencias o presentaciones remotas. IAX utiliza un único puerto UDP, generalmente el 4569, para comunicaciones de señalización y datos entre puntos terminales. El tráfico de voz es transmitido en banda (in-band), lo que hace a IAX2 un protocolo casi transparente a los cortafuegos y realmente eficaz para trabajar dentro de redes internas. En esto se diferencia de SIP, que utiliza una conexión RTP fuera de banda (out-of-band) para entregar la información.

IAX soporta entroncamiento (trunking), mediante el cual un sólo enlace permite enviar datos y señalización por múltiples canales. Cuando se realiza entroncamiento, los datos de múltiples llamadas son manejados en un único conjunto de paquetes, lo que significa que un datagrama IP puede entregar información para más llamadas sin crear latencia adicional. Esto es una gran ventaja para los usuarios de VoIP, pues las cabeceras IP ocupan un gran porcentaje del ancho de banda utilizado; en contraparte se consumen mayores recursos de equipo de cómputo.

El principal objetivo de IAX ha sido minimizar el ancho de banda utilizado en la transmisión de voz y vídeo a través de la red IP, con particular atención al control y a las llamadas de voz, y proveyendo un soporte nativo para ser transparente a los NAT.

La estructura básica de IAX se fundamenta en la multiplexación de la señalización y el flujo de datos sobre un mismo puerto UDP entre dos sistemas.

3.1 Introducción

Es una red en la que dos o más dispositivos tales como ordenadores portátiles, móviles, etc. se pueden comunicar sin la necesidad de conectarlos con cables. En las redes inalámbricas, se utiliza el término movilidad debido a que los usuarios pueden mantenerse conectados a la red cuando se desplazan dentro de una determinada área geográfica. Dichas redes se enlazan mediante ondas electromagnéticas (radio e infrarrojo) en lugar de cables. Existen muchas tecnologías las cuales se diferencian por la frecuencia de transmisión que utilizan, por el alcance y por la velocidad de sus transmisiones.

El uso de esta tecnología se ha extendido con rapidez debido a que las redes inalámbricas permiten que los dispositivos remotos se conecten sin dificultad, ya sea que se encuentren a unos metros como a varios kilómetros de distancia, la instalación de estas redes no requiere de ningún cambio significativo en la infraestructura existente como pasa con las redes cableadas, no se tiene la necesidad de agujerear paredes para pasar cables ni de instalar portacables o conectores.

Muchos dispositivos transmiten ondas electromagnéticas (de uso militar, científico y de aficionados), pero son propensos a las interferencias. Por esta razón, existen algunas cuestiones afines con la regulación legal del espectro electromagnético, es decir todos los países necesitan definir los rangos de frecuencia y la potencia de transmisión que se permite a cada categoría de uso.

Las redes inalámbricas presentan una serie de ventajas entre las que se encuentran:

- **Movilidad:** Los usuarios conectados a una red inalámbrica tienen acceso a la información en tiempo real en cualquier lugar (zona limitada) en el que están desplegadas dichas redes.
- **Instalación rápida, simple y flexible:** La instalación es rápida, simple y elimina la necesidad de colocar cables a través de paredes y techos. Además permite a la red llegar a puntos de difícil acceso para una LAN cableada.
- **Costo reducido:** La inversión inicial para una red inalámbrica puede ser más alta que el costo de una LAN, sin embargo la inversión de toda la instalación y el costo durante el ciclo de vida puede ser significativamente inferior. Con esto se obtienen beneficios a largo plazo superiores en ambientes que requieren acciones y movimientos frecuentes.
- **Escalable:** Las redes inalámbricas pueden ser configuradas utilizando diferentes topologías para satisfacer las necesidades de las instalaciones y aplicaciones específicas. Las configuraciones son fáciles de cambiar, además que resulta sencillo la incorporación de nuevos usuarios a la red.

La principal desventaja es la pérdida de velocidad de transmisión en comparación con los cables y las posibles interferencias. Otra desventaja es que al ser una red abierta puede ocasionar problemas de seguridad, aunque actualmente existen mecanismos de protección como es la contraseña.

3.1.1 ¿Qué es Wireless?

Se define como una red de alcance local que tiene como medio de transmisión el aire. La red de área local inalámbrica, también llamada Wireless LAN (WLAN), es un sistema flexible de comunicaciones que puede implementarse como una extensión o directamente como una alternativa a una red cableada. Permite que las terminales que se encuentran dentro del área de cobertura puedan conectarse entre sí. Existen varios tipos de tecnologías así como Wi-Fi.

3.1.2 ¿Qué es Wi-Fi?

Wi-Fi o IEEE 802.11 es un sistema de envío de datos sobre redes computacionales que utiliza ondas de radio en lugar de cables, Wi-Fi es una organización comercial sin ánimos de lucro que adopta y prueba que los equipos cumplen los estándares 802.11, además certifica la interoperabilidad de productos IEEE 802.11. En el ámbito comercial los sub-estándares de WiFi que actualmente más se están explotando y que por lo tanto se presentan en los AP son:

- IEEE802.11a: hasta 54 Mbps (megabits por segundo) de velocidad disponible, trabajando en la frecuencia de 5GHz.
- IEEE802.11b: hasta 11 Mbps. Se trata del protocolo más usual hoy en día. Trabaja en la frecuencia de 2,4GHz.
- IEEE802.11g: Trabaja a 54 Mbps en 2,4 GHz.
- IEEE802.11n: La velocidad marcada en el borrador es de hasta 300 Mbps y así lo anuncian los productos basados en el mismo, y se prevé que la versión final del estándar alcance los 600 Mbps como velocidad máxima posible.

3.2 Dificultades de VoIP en redes inalámbricas.

Cuando hablamos de WiFi nos referimos a una de las tecnologías de comunicación inalámbrica más utilizada hoy en día, y de más rápido crecimiento por todo el mundo. Gracias a la capacidad de poder conectarse al servicio de Internet sin utilizar algún tipo de cable o medio físico, permitiéndole al usuario navegar en diferentes lugares.

Hoy en día, las redes locales inalámbricas se encuentran instaladas mayoritariamente en entornos específicos, como restaurantes, cafés, almacenes o edificios de oficinas, bancos, universidades y en una variedad de áreas públicas. La clave consiste en que los usuarios en «desplazamiento» puedan acceder de forma inmediata a la información a lo largo de una área concreta, como un almacén, un hospital, la planta de una fábrica o un entorno de distribución o de comercio, piso de oficinas, etc.

La versatilidad de las comunicaciones inalámbricas está tomando cada vez más auge en la vida de los diferentes usuarios, por tal motivo, existe la necesidad de desprenderse de todo tipo de conexión física que le permita tener movilidad en su entorno. Este tipo de conexión nos brinda la posibilidad de desplazarnos en diferentes lugares dentro del rango de

irradiación en el cual estamos conectados con características similares a la de una red cableada, la masificación de nuevas tecnologías portátiles, como por ejemplo, los teléfonos móviles, tablet, los smartpone, los ordenadores portátiles, las consolas de videojuegos, etc., obligan a los fabricantes a generar ambientes móviles.

A medida que aumenta el interés por la conectividad inalámbrica (wireless), crece la necesidad de poder soportar también en estos entornos inalámbricos las mismas aplicaciones que corren en el mundo cableado de hoy en día. Pero como en las Wireless LAN la disponibilidad de ancho de banda es limitada, resulta fundamental poder dotarlas de características de Calidad de Servicio (QoS). El mecanismo de Calidad de Servicio se refiere a la habilidad en la red de ofrecer prioridad a unos determinados tipos de tráfico, independientemente de la tecnología de red utilizada.

El Internet se ha convertido en un importante canal de comunicaciones. Éste fue utilizado en la década de 1980 y principios de los 90"s por comunidades de investigación y educación para la transmisión de datos por computadora como correo electrónico, la red de noticias (Usenet) y transferencias de archivos. La aplicación más demandante desde el punto de vista de calidad de servicio fue una terminal virtual de red (Telnet) ya que se trató de una aplicación interactiva. El ancho de banda requerido fue pequeño y con ocasionales variaciones de retraso (delay) en el orden de varios segundos que podían ser tolerados.

Recientemente, se han introducido muchos servicios interactivos o en tiempo real y, al mismo tiempo la importancia económica de Internet ha crecido. Los teléfonos IP y los servicios basados en esta tecnología están amenazando los servicios telefónicos de circuitos conmutados tradicionales, especialmente en los usos interurbanos, también llamados de larga distancia.

Esta transmisión de medios interactivos en tiempo real es el mayor desafío en las redes basadas en paquetes. El retraso de extremo a extremo, las variaciones de retraso (jitter), y la pérdida de paquetes no deben exceder ciertos límites o la utilidad del servicio se degradará gravemente. Uno de los estándares que están realizando numerosos esfuerzos para ofrecer QoS para sus redes es el estándar 802.11.

Capítulo 4

Medida de la calidad de Voz en Redes VoIP

La transmisión de voz sobre redes IP (VoIP) tiene un rol cada vez más importante y un uso cada vez más difundido. Los usuarios esperan ver satisfechas sus expectativas de calidad del servicio con independencia de la tecnología utilizada. En este sentido, la “calidad de experiencia” QoE mide que tan bien un servicio de red satisface las expectativas y necesidades vistas por el usuario. Por otro lado, la “calidad de servicio” QoS se refiere a la medida del rendimiento de la red desde el punto de vista técnico, y a la posibilidad de gestionarla para cumplir con las prestaciones necesarias para las aplicaciones.

La VoIP enfrenta problemáticas propias de las redes de datos, que se manifiestan como degradaciones en la calidad del servicio percibida por los usuarios (QoE). Estas degradaciones pueden deberse por ejemplo a retardos, *jitter* (diferencia de retardos) y pérdida de paquetes, entre otros factores. Para que la tecnología de VoIP pueda ser utilizada en forma masiva y comercial, es esencial garantizar una calidad de voz aceptable. Para ello se han desarrollado métodos para medirla. Estos métodos se dividen en *subjetivos* y *objetivos*.

4.1 Calidad de servicio (QoS)

La implantación de Calidad de Servicio (Quality-of-Service, QoS) es esencial para el éxito de aplicaciones avanzadas, como videoconferencia y VoIP (voz sobre IP o telefonía sobre IP) especialmente en una red con capacidad limitada o con un gran número de usuarios, debido a que este tipo de aplicaciones demanda ciertos requerimientos como un ancho de banda mínimo garantizado y/o un servicio diferenciado. En muchos casos es necesario garantizar que la transmisión de los datos sea realizada sin interrupción o pérdida de paquetes, para lo cual la calidad de servicio juega un papel muy importante.

La QoS se puede definir como la capacidad de una red de ofrecer a determinados servicios ciertas garantías de calidad que los hagan viables, o dicho de otra manera como la capacidad de un elemento de red (bien una aplicación, un servidor, un encaminador, un conmutador, etc.) de asegurar que su tráfico y los requisitos del servicio previamente establecidos puedan ser satisfechos.

La meta principal de la QoS es proveer priorización incluyendo ancho de banda dedicada, jitter y latencia controlados y mejorar cantidad de pérdidas. También es importante asegurar que la prioridad de uno o más flujos no hace que se pierda la de otros.

Para evaluar la QoS en redes de comunicación, tenemos que encontrar algunos mecanismos que nos permitan medir la calidad de los mismos, para lo cual suele utilizar un uso combinado de cuatro medidas: requerimiento de ancho de banda, limitación en retardo o latencia, limitación en la variación del retardo o jitter y limitación en la pérdida de paquetes.

Estas variables combinadas permiten definir diferentes tipos de servicios, con diferentes requerimientos de ancho de banda, retardo, jitter y paquetes perdidos. Por ejemplo, el servicio best effort (BE) define aquellos servicios que no requieren garantías de QoS, lo que implica que no existe una preasignación de recursos, ni requerimientos y por lo tanto

no se garantiza la recepción correcta de la información. Sencillamente, se ofrece el mejor nivel de servicio posible en ese momento.

Se debe tener en cuenta, que para que en una red pueda ofrecer el manejo de QoS extremo a extremo, es necesario que todas las capas y elementos presentes en la red posean mecanismos de QoS que ofrezcan un desempeño adecuado a la aplicación en cuestión. Desde este punto de vista, la QoS también se puede definir como el conjunto de protocolos y tecnologías que garantizan la entrega de datos a través de una red en un momento dado, lo cual permite a los administradores de red manejar los efectos de la congestión del tráfico usando óptimamente los diferentes recursos de la red.

La correcta implementación de mecanismos que provean QoS en una red reporta varios beneficios para los usuarios entre los más importantes podemos mencionar el uso más eficiente de los recursos de la red, gestión de aplicaciones sensibles al retardo y jitter, control de paquetes perdidos, establecimiento de prioridades de tráfico y el manejo adecuado de los recursos en casos congestión de la red. Sin embargo, también lleva consigo el aumento en los costes de despliegue de una red y cierto grado de complejidad en la implementación.

La QoS tiene como objeto solventar los problemas que han ido surgiendo en Internet y en las redes IP en general ante las nuevas aplicaciones y acceso masivo de usuarios. La demanda de servicios garantizados, y el despliegue de aplicaciones multimedia y servicios síncronos como voz y video en tiempo real, han generado la necesidad de definir y establecer calidad de servicio en las redes para el buen funcionamiento de estas aplicaciones.

Para el usuario final, la QoS implica tener un nivel de conexión y servicio en términos de rapidez, fiabilidad, rendimiento y disponibilidad, además de un servicio de atención al cliente con respuesta ágil y eficaz.

La VoIP ha migrado el tráfico de voz que de forma tradicional utilizaba como soporte una red de conmutación de circuitos (RTPC), a una red de conmutación de paquetes. Esto implica que la información de voz es fragmentada creando un flujo de paquetes independientes que viajan por diferentes caminos de la red, llegando al destino de forma desordenada y con diferentes retardos acumulados. Debido a esto, en la integración de la voz y los datos sobre una estructura única de conmutación de paquetes, existen algunas limitaciones que deben ser consideradas en el diseño e implantación de una solución de este tipo:

- El ancho de banda necesario para la transmisión de las comunicaciones de voz.
- El retardo con el que llegan los paquetes.
- La variación del retardo en la transmisión (*jitter*).
- Las pérdidas de paquetes.

Con el objetivo de paliar los problemas que generan estas limitaciones. La arquitectura básica de QoS introduce tres partes fundamentales para la implementación de QoS:

- Identificación de QoS y técnicas de marcado para la coordinación de QoS de extremo a extremo entre los elementos de la red.

- Qos es un solo elemento de red (por ejemplo, formación de una cola de espera (queuing), planificación (scheduling), y herramientas de formación de tráfico.)
- Funciones de contabilidad, gestión y política de QoS para controlar y administrar el tráfico de extremo a extremo a través de la red.

Por otro lado, la evaluación de la calidad de servicio también se puede basar en la medición de propiedades físicas del sistema. En entornos telefónicos, es habitual que estas pruebas consistan en el empleo de una señal de referencia o en la monitorización del tráfico en tiempo real.

Numerosos métodos son usados para superar el ambiente hostil de la red IP y proveer una calidad de servicio aceptable, los aspectos que se quiere mejorar con estos métodos son:

- Retardo o también llamado Latencia
- Variabilidad o fluctuación del retardo “Jitter”
- El Eco
- La congestión
- Pérdida de paquetes
- Errores en la secuencia

Como otras aplicaciones en tiempo real, VoIP debe tener un ancho de banda establecido y es sumamente sensible al retardo por lo que una buena ingeniería en la red de terminal a terminal es necesaria para usar satisfactoriamente esta tecnología, en cuanto se refiere a la calidad de la transmisión de voz, todos los fabricantes y las investigaciones hacen referencia fundamentalmente a tres factores determinantes:

- *Codificadores/decodificadores de Voz:* Los cuales influyen en la digitalización de la voz en paquetes de datos que contienen voz y que serán transmitidos por la red IP, también influyen en el retardo necesario para la descompresión de esos paquetes voz, lo que atribuye muchas veces un retardo añadido a la comunicación.
- *Cancelación del Eco:* Es el requerimiento necesario para una comunicación, ya que elimina de forma automática y en tiempo real posibles ecos, si no lo hiciera así, haría incomprensible la comunicación.
- *Retardo o Latencia:* Es el tiempo necesario para que la voz viaje de un extremo al otro, incluyen los tiempos necesarios para la compresión, transmisión y descompresión. Este tiempo tiende a minimizarse pero jamás podrá ser suprimido. Actualmente los tiempos que se están obteniendo de retardo o latencia giran alrededor de 120 ms.

Para que VoIP sea un remplazo realista de la red de telefonía PSTN los clientes necesitan recibir la misma calidad de transmisión de voz que reciben con los servicios de teléfono tradicional. Es decir, las transmisiones de VoIP deben ser inteligibles al receptor, no deben perderse paquetes de voz o estar excesivamente retardados o sufrir una variación de retardo alta. Con el fin de poder alcanzar estos objetivos, se deben cumplir los siguientes requerimientos (claves para hacer pruebas de VoIP):

- **Retardo o Latencia:** Como ya se menciono anteriormente, la latencia es el tiempo de retraso incurrido en un diálogo. El exceso del retardo hace la conversación inconveniente y no natural. Cada componente en la ruta de la transmisión (emisor, red, receptor) aumenta el retardo en la misma. La recomendación TG.114 (Tiempo

de Transmisión Unidireccional) de la ITU [ITUT03] recomienda 150 ms. como máximo deseado de latencia unidireccional para conseguir voz de alta calidad de extremo a extremo. Y para las llamadas internacionales, el retardo de 300 ms. es aceptable, sobre todo para la transmisión de satélite.

Retardo Unidireccional	Descripción
0 a 150 ms.	Aceptable para la mayoría de las aplicaciones
150 a 400 ms.	Aceptable, provee que los administradores estén alertas del impacto del tiempo de la transmisión en la calidad de las aplicaciones de usuario.
Más de 400 ms.	Inaceptable para los propósitos de planificación de la red, sin embargo, este límite en algunos casos excepcionales puede ser excedido, por ejemplo, en conexiones con satélite.

Figura 4.1. Recomendaciones de Retardo de la ITU.

El codificador/decodificador (códec) por defecto recomendado por la ITU es: G.729, cuyo retardo normal es de 125 ms, a lo cual se debe adicionar el retardo variable que dependerá del enlace y de la carga de la red.

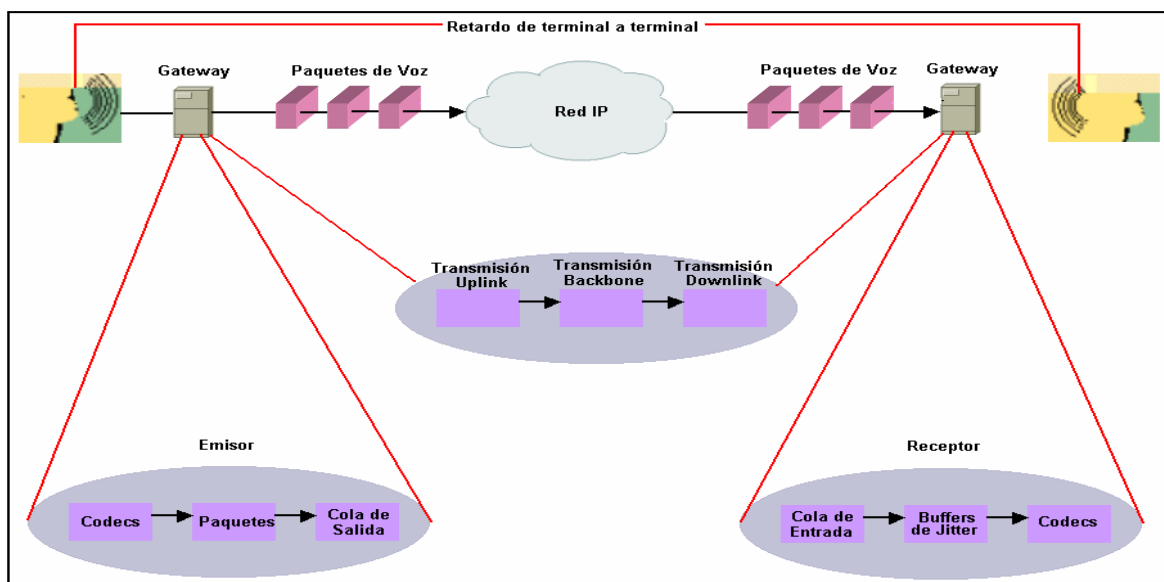


Figura 4.2. Retardo de Terminal a Terminal.

En el gráfico de la figura 4.2 se muestra como la calidad de voz se deteriora con el incremento de la carga de la red, cuando no se han implementado características de calidad de servicio QoS. Mientras que con características de calidad de servicio, la calidad de voz puede ser conservada a pesar de la carga de tráfico de la red.

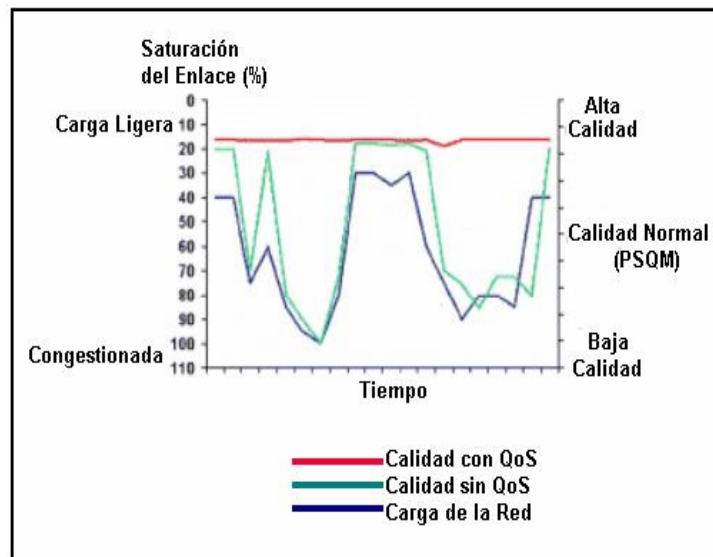


Figura 4.3. Gráfico de Saturación del Enlace vs. Calidad de Servicio.

- **El Eco:** El eco incluso está presente en una red de servicio telefónico tradicional, sin embargo, es aceptable cuando el retardo es menor a 50 ms. y el eco es enmascarado por el tono lateral normal que cada teléfono genera. El eco realmente se vuelve un problema en VoIP porque el retardo casi siempre es mayor que 50 ms. Así, que se debe usar técnicas de cancelación de eco. Los estándares G.165 y G.168 de la ITU [ITU93] definen los requisitos de la actuación para los canceladores de eco.
- **La variabilidad o latencia “Jitter”:** Esta característica cuantifica los efectos de los retardos de los paquetes en la red que llegan al receptor. Los paquetes transmitidos en intervalos iguales desde la gateway del emisor hasta la llegada en la gateway del receptor en intervalos irregulares. La variabilidad o Jitter excesivo hace la conversación cortada y dificultosa de entender. El Jitter es calculado basado en el tiempo de llegada promedio de los paquetes.

Para una alta calidad de la voz, el promedio de llegada al receptor debería ser aproximadamente igual al intervalo de los paquetes en el receptor y la desviación estándar debería ser baja. Con el fin de mejorar esta característica de calidad de servicio QoS se utilizan los buffers de Jitter para contrarrestar los efectos de las fluctuaciones de la red y crear un flujo normal de los paquetes en el terminal receptor, el cual es eficaz en variaciones de retardo menor a 100 ms.

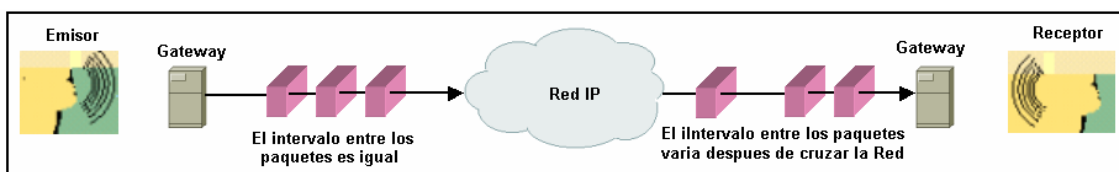


Figura. 4.4. Variabilidad o Jitter.

- Pérdida de Paquetes:** Generalmente ocurre tanto en forma abrupta o en forma periódica debido a la congestión de la red. La pérdida periódica no puede estar por encima del 5% al 10% de todos los paquetes de voz transmitidos ya que se degradaría la calidad de voz significativamente. La pérdida abrupta de paquetes puede también hacer dificultosa la conversación, aunque no es muy frecuente que suceda.

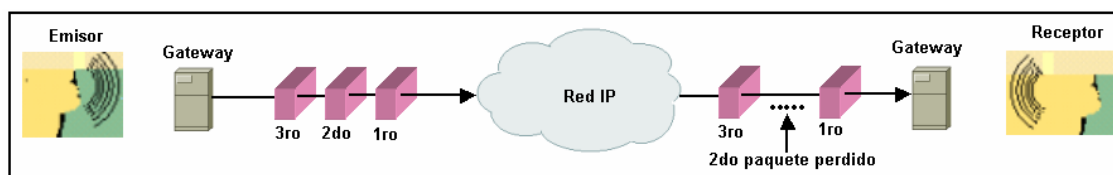


Figura. 4.5. Pérdida de Paquetes.

- Errores en la secuencia:** La congestión en las redes IP puede causar que los paquetes tengan diferentes rutas para encontrar el mismo destino. Los paquetes pueden entonces llegar en desorden y distorsionar la conversación, pero al igual que en la pérdida de paquetes esta falta de secuencia no debe ser mayor al 5%.

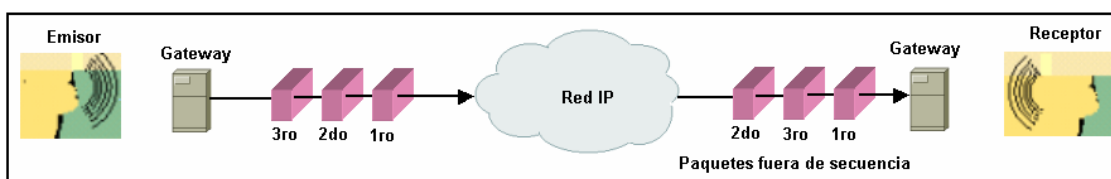


Figura. 4.6. Errores en la secuencia de los Paquetes.

En general se puede decir que: VoIP sólo puede garantizar la transmisión de voz de alta calidad solo si los paquetes de voz, para la señalización y los canales de audio, tienen prioridad sobre otro tipo de tráfico, además, debe garantizarse cierto ancho de banda y requerimientos de retardo o latencia y jitter.

4.1.1 Problemas de QoS

A continuación detallamos los principales problemas que limitan las transmisiones de VoIP:

Ancho de Banda: El ancho de banda (*BandWidth*, BW) va a establecer la velocidad máxima de transferencia de datos entre dos extremos de la red. Relativo a la VoIP, en función del algoritmo para la codificación de la voz y de la compresión del códec utilizado, existen unos requerimientos mínimos para la transmisión de la señal de voz en cuestiones de BW.

El ancho de banda disponible en la red se reparte entre las aplicaciones que hay sobre ésta. Debido a ello y con objeto de arbitrar este reparto, han surgido algunos mecanismos

de QoS. La técnica empleada para la gestión del ancho de banda en la redes determinante en el retardo que sufrirán los paquetes, y en consecuencia, en la calidad de la voz.

El Retardo: Uno de los elementos claves de calidad de servicio que el usuario percibe es el retardo de punto a punto. El retardo puede ser afectado por:

- Retardo de la trama: Es la cantidad de tiempo representado en el paquete de voz.
- Retardo del Códec: Los codificadores de voz tienen cierto retardo inherente.
- Retardo de empaquetamiento: Un terminal o Gateway tendrá retardo pasando los paquetes de voz a través de su apuntador IP e inyectándolo a la red IP.
- Retardo del tránsito: Los paquetes de voz transportados a través de la red IP experimentarán un retardo al tiempo de transmisión de paquete a través de cada enlace y también retardos procedentes de los routers dentro de la red.

El retardo causa dos problemas fundamentales que son:

El eco: Es causado por las reflexiones de las señales de la voz del emisor desde el equipo de teléfono del extremo lejano (receptor) retornando al oído del emisor. El eco se vuelve un problema significante cuando el retardo del viaje completo es mayor que 50 ms. por lo que se deben usar técnicas de cancelación de eco. Los estándares G.165 y G.168 [ITU12] definen los requerimientos de funcionamiento de los canceladores de eco. Los canceladores de eco: comparan los datos de voz desde la red IP con los datos de voz que están siendo transmitidos a la red. El eco desde la red de teléfonos es eliminado por un filtro digital en el camino de transmisión en la red IP. Debido a que se percibe el eco como un problema de calidad significativo, la voz sobre sistemas de paquetes debe direccionar la necesidad para el control del eco e implementar algunos medios de cancelación de eco.

La superposición de la conversación (talker overlap): Este problema se vuelve significativo si el retardo unidireccional es mayor a 250 ms. El retardo de extremo a extremo es, por consiguiente, la mayor restricción y requerimiento de manejo para incrementar la calidad de servicio a través de una red IP.

Las fuentes de retardo de extremo a extremo en una aplicación de VoIP incluyen:

- Acumulación de Retardo: este retardo es causado por la necesidad de coleccionar una trama de muestras de voz para ser procesadas por el codificador de voz. Se relaciona al tipo de codificador de voz usado y varía desde un solo tiempo de la muestra (125 ms.) a muchos milisegundos. En la siguiente tabla se presenta los codificadores de voz normales y sus tiempos de trama:

CODIFICADOR	TIEMPO
G.726	125 ms
G.728	2.4 ms
G.729	10 ms
G.723.1	30 ms

Figura 4.7. Codificador y tiempo de trama.

- Retardo del procesamiento: este retardo es causado por el proceso real de codificación y acumulación de las muestras codificadas en un paquete para la transmisión sobre la red IP. El retardo de la codificación es una función del tiempo de ejecución de procesador y del tipo de algoritmo usado. A menudo, múltiples tramas del codificador de voz se acumulan en solo paquete para reducir el paquete de red overhead. Por ejemplo, tres tramas de G.729 equivalen a 30 milisegundos de dialogo y pueden acumularse y empaquetarse en un solo paquete.
- Retardo de la red: este retraso es causado por el medio físico y los protocolos usados para transmitir los datos de voz y por los buffers usados para eliminar el jitter del paquete en el lado del receptor. La red de retardo es una función de la capacidad de los enlaces y el proceso que ocurren como el tránsito de los paquetes. Los buffers de jitter agregan retardo, el cual puede ser una parte significativa del retardo global, cuando las variaciones de retardo del paquete son tan altas como 70 a 100 ms. en algunas redes IP.

Variabilidad del retardo “Jitter”: El problema de retardo es incrementado también por la necesidad de eliminar la variabilidad o jitter. Eliminar el jitter requiere acumular paquetes y mantenerlos el tiempo suficiente para permitir a los paquetes más lentos llegar al mismo tiempo para ser ejecutados en la sucesión correcta, pero esto causa un retardo adicional.

Las dos metas contradictorias de minimización del retardo y eliminación del jitter han engendrado varios esquemas para adaptar el tamaño de buffer de jitter para emparejar los requisitos de variación de tiempo de eliminación del jitter de red. Esta adaptación tiene la meta explícita de minimizar el tamaño y retardo del buffer de jitter, mientras al mismo tiempo impide un mínimo de flujo (underflow) del buffer causado por el jitter.

Dos mecanismos para adaptar el tamaño de buffer de jitter se detallan a continuación. La selección del mecanismo dependerá del tipo de red en que los paquetes de están cruzando.

El primer mecanismo es medir la variación del nivel del paquete en el buffer de jitter sobre un período de tiempo e incrementalmente adaptar del tamaño del buffer para emparejar el jitter calculado. Este mecanismo trabaja mejor con redes que proporcionan una actuación del jitter consistente con el tiempo, como redes de ATM.

El segundo mecanismo es contar el número de paquetes que llegan tarde y crean una proporción de estos paquetes al número de paquetes que se procesan con éxito. Esta proporción es luego usada para ajustar el buffer de jitter para establecer la proporción del paquete tardío aceptable. Este mecanismo trabaja mejor con las redes con muy inconstante de intervalos de llegada de paquetes como redes de IP.

Además de las técnicas descritas, la red debe configurarse y debe manejarse para proporcionar retardo mínimo y jitter mínimo y debe habilitarse una QoS consistente.

Pérdida de paquetes: Los paquetes perdidos pueden ser un problema muy severo, dependiendo del tipo de red de paquetes que está usándose. Debido a que las redes IP no garantizan la calidad de servicio, estas normalmente exhibirán una incidencia mucho más alta de paquetes de voz perdidos que las redes de ATM.

En redes IP actuales, todas las tramas de voz se tratan como las tramas de datos. Bajo las cargas pico y congestión, las tramas de voz serán desechadas de igual forma que las de datos. Sin embargo, las tramas de datos, no son sensibles al tiempo y se desechan paquetes que pueden ser apropiadamente corregidos a través del proceso de retransmisión. Los paquetes de voz perdidos, sin embargo, no pueden ser reparados de esta manera.

Algunos esquemas usados por software de paquetes de voz para direccionar el problema de tramas perdidas son:

- Interpolación: Los paquetes del diálogo perdidos por re-ejecución del último paquete recibido durante el intervalo cuando se suponía que el paquete perdido estaba agotado, es un método simple que llena el tiempo entre las tramas del diálogo no continuo. Esta técnica funciona bien cuando la incidencia de tramas perdidas es poco frecuente, no funciona bien si hay varios paquetes perdidos seguidos o un estallido de paquetes perdidos.
- Redundancia: Es el envío de información redundante de acuerdo a la utilización del ancho de banda. Este método de copias básicas y envío de n paquetes de información de voz junto con el paquete (n+1), tiene la ventaja de ser capaz de corregir exactamente el paquete perdido, sin embargo, esta aproximación usa más ancho de banda y también crea un retardo mayor.
- Codificador de Voz: Generalmente se usa un método híbrido con un codificador de voz de ancho de banda mucho más bajo para proporcionar información redundante llevada a lo largo de (n+1) paquetes. Esto reduce el problema del ancho de banda extra requerido pero no resuelve el problema de retardo.

Factor de compresión: para poder transmitir la voz a través de una red de datos, es necesario realizar previamente un proceso de digitalización. En telefonía clásica, éste proceso se realiza utilizando códecs, obteniendo una señal digital de 64 kb/s. Este proceso se realiza de acuerdo a la recomendación G.711 de la ITU-T. Sin embargo, cuando se dispone de velocidades de red reducidas, es conveniente tratar de minimizar el ancho de banda requerido por las señales de voz. Para ello, se han desarrollado varias recomendaciones, que reducen la velocidad de transmisión requerida, a expensas de degradar la calidad de la voz.

La Tabla 4.8 resume las recomendaciones de la ITU-T respecto a los algoritmos estandarizados de compresión de voz:

Algoritmo	Descripción
G.711	Audio encoding at 64 k bit/s (μ -law and A-law)
G.722	7 kHz speed at 48, 56 and 64K bit/s (hi-fi voice)
G.723.1	Dual Rate Speed at 6.4 and 5.3 k bit/s
G.728	16 k bit/s speech
G.729 Annex A	8 k bit/s speech (Conjugate structure- algebraic code excited linear prediction or CS-ACELP). Reduce Complexity
G.729 Annex B	8 k bit/s speech (Conjugate structure- algebraic code excited linear prediction or CS-ACELP). Silence Compression
G.729 Annex AB	8 k bit/s speech (Conjugate structure- algebraic code excited linear prediction or CS-ACELP). Reduce Complexity & Silence Compression

Figura 4.8. Algoritmos estandarizados de compresión de voz.

4.2 Calidad Experimentada por el Usuario (QoE)

Una definición de QoE sería cómo se perciben los resultados totales de un sistema desde el punto de vista del usuario. QoE mide la actuación final de todos los servicios desde la perspectiva del usuario. Es una medida que refleja cómo de bien la red satisface las necesidades del usuario final. No obstante, la QoE está relacionada con la QoS, la cual trata de realizar objetivamente mediciones del servicio entregado. Mientras que la QoE es una medida subjetiva de la experiencia que tiene el cliente de un servicio ofrecido.

El término de la calidad en la experiencia del usuario, QoE, comienza a ser importante a partir de los años 90 cuando el usuario, la experiencia que éste posee de la aplicación y el diseño centrado en sus necesidades comienzan a ser importantes para las empresas. Las empresas buscan la QoE debido a las ventajas que este factor les aporta. Si una aplicación proporciona su servicio con una alta QoE, los clientes estarán satisfechos, de lo contrario se le estará aportando al cliente una gran diferencia entre lo que él necesita y lo que la aplicación le ofrece. Si no se alcanza la QoE esperada por el usuario, se estará propiciando una pérdida de clientes ya que buscarán otras aplicaciones que le aporten la QoE que ellos esperan. Podemos determinar que hoy en día la calidad es una necesidad debido a la competición que existe entre aplicaciones.

Las medidas realizadas para determinar la QoE deben corresponderse directamente con la calidad que percibe el usuario de lo contrario la QoE hallada no se correspondería con la real. Existen numerosos factores que afectan a la calidad de la voz en la comunicación y como consecuencia a la QoE y a la QoS. A continuación los enumeraremos:

- Latencia: los paquetes de VoIP son muy sensibles a los retardos que se producen en la red.
- Jitter: Los paquetes de VoIP se encaminan al igual que el resto de paquetes por distintos nodos, sin embargo estos paquetes necesitan llegar en orden y que la diferencia de tiempo entre paquetes sea similar a la diferencia con la que se transmitieron.
- Pérdida de paquetes: la voz se transmite en paquetes, si estos paquetes se pierden, también se pierde el trozo de conversación que se transportaba en ellos.
- Inestabilidad de las llamadas: se produciría cuando una vez establecida una llamada, se produce inesperadamente una finalización de la conexión. Se debe al fallo de algún equipo o a la congestión de la red.
- Bloqueo de las llamadas: también se debe a la congestión de la red y se produce cuando se quiere iniciar una llamada pero esta no se consigue conectar.

Algunos de los factores que producen impacto en la QoE son:

- Factores Humanos: la expectación que tienen de la aplicación, la edad del usuario, la familiaridad que tiene con las aplicaciones,...
- Compresión y codificación de la voz: el algoritmo usado para comprimir la voz, el algoritmo para codificar la voz, la supresión del silencio, la cancelación del eco...
- Temas de la red: retraso, variación de retraso, paquetes perdidos, disponibilidad de la red.

Características de servicio: ancho de banda disponible para transmitir la llamada, características de las llamadas, número de llamadas, *Wireless* o conexión de cable.

Estimar la calidad de servicio percibida es un requisito fundamental en los sistemas de comunicación modernos por razones técnicas, legales y comerciales. Las medidas de calidad percibida pueden realizarse usando métodos objetivos o subjetivos como se muestra en la figura 4.9.

Los métodos subjetivos definen la métrica más aceptada ya que representan una conexión directa con la calidad percibida por los usuarios. Estos métodos consisten en evaluar la opinión media de un grupo de personas, para ello se presentan distintas secuencias y cada individuo asigna un valor de calidad. El problema inherente a estos métodos es el tiempo necesario para realizarlos, el costo y que no pueden ser usados para monitorear la calidad en periodos largos de tiempo. Esto ha hecho a los métodos objetivos atractivos para estimar la calidad percibida en redes de comunicaciones.

Las medidas objetivas de calidad percibida pueden ser intrusivas o no intrusivas. Por intrusivo se entiende inyectar señales extra para estimar la calidad. Los métodos intrusivos son más precisos pero normalmente no son adecuados para monitorear la calidad en servicio, debido a la inyección de señales extra y la necesidad de comparar estas con las señales originales.

Los métodos no intrusivos no requieren de señales extra y son adecuados para monitorear la calidad en servicio. Dependiendo del tipo de entrada al método se pueden clasificar como basados en señales, la entrada es la señal transmitida por la red, o basados en parámetros donde las entradas son parámetros de la red de comunicación y parámetros de la señal en cuestión.

Los métodos objetivos no dan un resultado directamente en opinión de las personas, sino que su resultado tiene una correlación con la calidad percibida. Esto hace necesaria su calibración en base a los resultados de los métodos subjetivos.

En lo que resta del capítulo se presenta una descripción general de los diferentes tipos de métodos, y luego una descripción detallada de los métodos utilizados en nuestro proyecto.

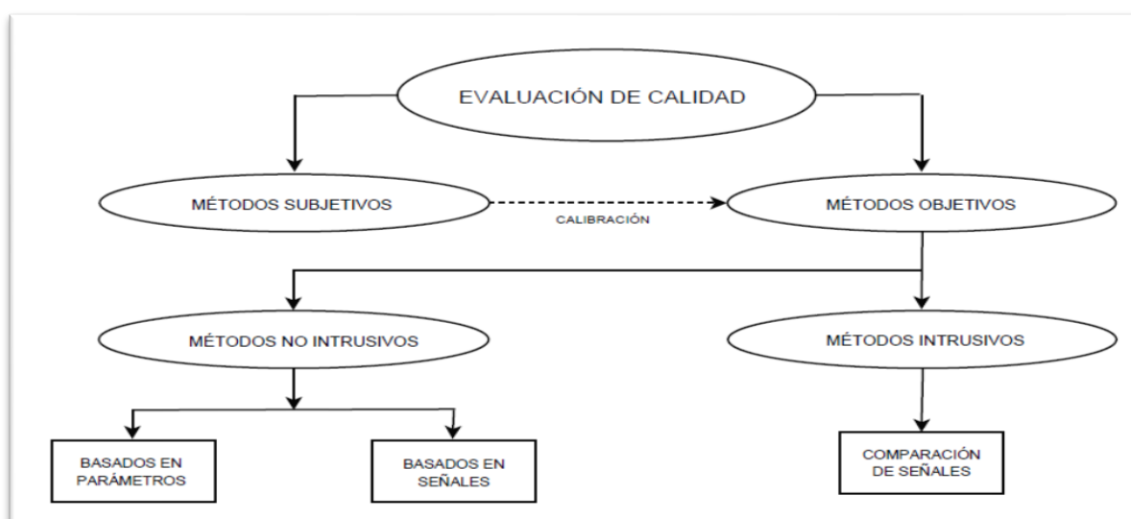


Figura 4.9. Clasificación de los métodos de asignación de calidad.

4.2.1 Metodologías de Estimación de la Calidad de Experiencia

4.2.1.1 Métodos Subjetivos

Los distintos métodos subjetivos están normalizados por la ITU en las recomendaciones ITU BT.500 [ITUR02] para video e ITU P.800 [ITUP96] para audio.

Básicamente se pueden clasificar en *Absolute Category Rating* (ACR) que tiene como resultado el *Mean Opinion Score* (MOS), y *Degradation Category Rating* (DCR) que tiene como resultado el *Degradation Mean Opinion Score* (DMOS). Los distintos tests son realizados normalmente en condiciones controladas en un laboratorio (por ejemplo cuartos aislados acústicamente). También se requiere mucho cuidado en el momento de definir las condiciones e interpretar los resultados.

En el Anexo A se presentan de forma más detallada los distintos métodos subjetivos explicados en las recomendaciones de la ITU para audio, ya que el audio es en lo que se centra este proyecto.

Absolute Category Rating (ACR)

En este tipo de test, los participantes deben asignar un valor global de calidad a la señal (imagen, video o audio) que se les presenta (por lo general ya transmitida), sin tener acceso a la señal original. De ahí el nombre de absoluto. Los valores de calidad se asignan de acuerdo a la siguiente tabla (Figura 4.10).

Valor de calidad	Calidad de la señal
5	Excelente
4	Buena
3	Regular
2	Pobre
1	Mala

Figura 4.10. Valores de calidad según ACR.

El valor medio asignado por los participantes es el MOS. En el caso que se simulen conversaciones el resultado es el MOSc.

Degradation Category Rating (DCR)

Cuando las señales son de buena calidad, los métodos ACR son insensibles a los pequeños cambios de calidad. En este tipo de caso se utilizan los métodos tipo DCR, en los cuales a los participantes se les presentan dos señales y deben asignar un valor a la degradación de la calidad de una respecto de la otra, de acuerdo a la siguiente escala (figura 4.11).

Valor de calidad	Nivel de Degradación
5	Imperceptible
4	Perceptible pero no molesta
3	Un poco molesta
2	Molesta
1	Muy molesta

Figura 4.11. Valores de degradación de calidad según DCR.

El valor medio asignado por los participantes es el DMOS. Existen diversas variantes en este tipo de método dependiendo de las señales que se presenten juntas. Lo más común es presentar la señal original y luego la distorsionada (ya transmitida). Esto permite medir la fidelidad del sistema de comunicación utilizado.

Otros métodos Subjetivos

Se han propuesto recientemente nuevos métodos para una mejor asignación de calidad en servicios multimedia con gran variabilidad de calidad en el tiempo. Para ello se realiza una asignación continua de calidad por parte de los participantes mediante el uso de cursores electrónicos.

4.2.1.2 Métodos Objetivos

- **Métodos Intrusivos de estimación de QoE**

Los métodos intrusivos normalmente utilizan dos señales de entrada, una de referencia (original) y una distorsionada (ya transmitida). Son considerados intrusivos debido a la introducción de señales auxiliares y la utilización de la red.

Existe una gran variedad de métodos tanto para audio como para video. Se pueden clasificar en dos grandes grupos. Están los que realizan comparaciones en el dominio del tiempo, como el *Signal to Noise Ratio* (SNR) o su versión para imagen y video PSNR. Estos métodos son muy simples de implementar, pero la correlación con las medidas subjetivas no es muy buena. El segundo grupo realiza medidas relevantes a la percepción, transformando las señales al dominio de la percepción utilizando modelos de la percepción humana, ya sea de la audición o de la visión. Estos métodos son más complejos que los primeros pero presentan mejor correlación con los métodos subjetivos.

Métodos típicos de medida en el dominio de la percepción son el *Perceptual Speech Quality Measure* (PSQM), *Measuring Normalizing Blocks* (MNB), *Enhanced Modified Bark Spectral Distorsion* (EMBSD) y *Perceptual Evaluation of Speech Quality* (PESQ) para audio. Para video existen unos cuantos algoritmos como el basado en el índice de similitud estructural (SSIM), basado en distorsión espacio-temporal del *Institute for Telecommunication Science* (ITS), pero difieren en qué es lo importante a la percepción.

Cabe señalar que a diferencia del audio, donde el modelo de percepción está bastante aceptado, en imágenes y video el conocimiento del mismo es limitado lo que hace que los distintos algoritmos tengan supuestos diferentes sobre la visión.

El resultado que se obtiene con estos algoritmos es una medida de la distorsión relevante a la percepción. Es necesario llevar estos valores a una escala común, que permita compararlos entre sí y que además sea de fácil comprensión para las personas. La escala que surge naturalmente es la utilizada en los métodos subjetivos. Para unificar las escalas se ajusta de forma paramétrica la relación entre valores subjetivos y objetivos de cada método. Por lo tanto es necesaria la realización de test subjetivos para todas las secuencias utilizadas.

En el caso del PESQ, este incluye el ajuste, por lo que la salida se da directamente en escala de DMOS.

- **Métodos No Intrusivos de estimación de QoE**

A diferencia de los métodos intrusivos antes presentados donde el servicio debe ser interrumpido para inyectar las señales, los métodos no intrusivos pueden ser utilizados durante el servicio. Aquí cabe aclarar que no siempre es posible utilizar estos métodos en servicio, debido a que si bien no utilizan señales extra, sí pueden inyectar algún tipo de tráfico para estimar el estado de la red.

Estos métodos se pueden clasificar en basados en parámetros o basados en señales. Los últimos predicen la calidad utilizando la señal distorsionada sin necesidad de referencia. A este tipo de método se los denomina *Null Reference*. Los otros predicen la calidad a partir del valor de parámetros de la red IP (por ejemplo probabilidad de pérdida, jitter, retardo) y de parámetros no específicos de la red (códec utilizado, eco, tasa de bits del video, etc.). Ejemplo de estos métodos son el E-Model y el uso de redes neuronales.

El E-Model es un modelo empírico matemático estandarizado por la ITU en la recomendación G.107 [ITUT05]. Es un conjunto de fórmulas que tienen como entrada parámetros de la red tradicional de circuitos conmutados y de la red de paquetes conmutados, y tiene como salida el factor de calidad el cual se puede mapear en MOSc. Si bien es una herramienta para la planificación de redes, actualmente es muy utilizada para predecir calidad percibida en VoIP.

Las redes neuronales se utilizan para aproximar la relación no lineal que existe entre calidad percibida (mejor dicho MOS) y el conjunto de parámetros considerado. Un conjunto de parámetros de entrada posible sería el formado por: la probabilidad de pérdida, retardo, jitter, códec utilizado, tasa de bits del video, lenguaje en audio, etc. Para lograr el mapeo deseado se debe generar una base de entrenamiento que consiste en un conjunto de valores de los parámetros y el correspondiente valor de calidad obtenido mediante tests subjetivos.

El obtener una buena base de entrenamiento, es decir un rango considerable de variación de los parámetros, es el principal limitante debido al costo de los tests subjetivos. El E-Model se analiza con mayor profundidad en el anexo B.

CAPITULO 5

Desarrollo de las pruebas y análisis de resultados

5.1 Entorno y Características de los Componentes

En este apartado se describen las características técnicas de todos los elementos que intervienen en la realización de las pruebas y por tanto son necesarios en la obtención de resultados.

Este proyecto se ha realizado en un escenario inalámbrico wifi como el de la siguiente figura 5.1.

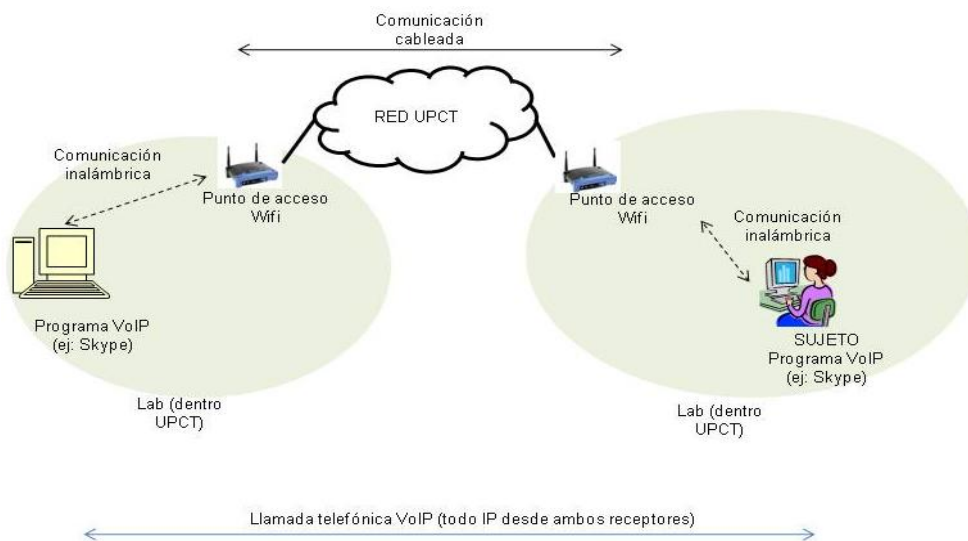


Figura 5.1: Esquema del escenario de pruebas

Concretamente se ha realizado ente los laboratorios IT-3 e IT-4 de la UPCT. Se ha comprobado mediante el comando ipconfig/all que la ip del AP (Punto de Acceso) de ambos laboratorios es 192.168.40.1.

Para la correcta obtención de los cálculos observando los paquetes intercambiados en la conversación VOIP (se verá más adelante) cabe destacar que la realización de dichas conversación se realizaron en 4 días diferentes por lo que tenemos 4 ip's diferentes tanto en recepción como en transmisión.

IT-3(RX): 192.168.40.145	IT-4(TX): 192.168.40.146
192.168.40.206	192.168.40.208
192.168.40.22	192.168.40.21
192.168.40.107	192.168.40.122

Es importante resaltar que en el caso de la utilización de Skype la comunicación entre ambos extremos de la conversación es directa, mientras que en la utilización de Jitsi se utiliza un nodo “retransmisor” que actúa de intermediario entre ambos extremos de la conversación

Parte imprescindible de este proyecto es la utilización de los dos software mencionados anteriormente Skype [SKYP11] y Jitsi [JITS11] y otro programa, llamado Wireshark [WIRE11], utilizado para capturar los paquetes intercambiados en la conversación de VoIP

para realizar el análisis de QoS. La instalación y configuración de dichos programas se muestran en el anexo C.

5.1.1 Grabaciones de Señales en la Fuente

En primer lugar se han realizado las grabaciones. Para eliminar variaciones no deseadas en la fuente de las señales vocales, se han grabado muestras de señales vocales con las propiedades normalizadas deseadas, de la forma siguiente (Ubicación: Estudio Polimedia, Universidad Politécnica de Cartagena). Se han grabado un total de cuatro grabaciones (dos de hombre y dos de mujer).

5.1.1.1 Entorno de Grabación

El hablante debe sentarse en una sala silenciosa, de un volumen entre 30 y 120 m³ y con un tiempo de reverberación inferior a 500 ms (preferentemente, entre 200 y 300 ms). El nivel de ruido de sala debe ser inferior a 30 dBA, sin crestas dominantes en el espectro.

5.1.1.2 Sistema de Grabación

El sistema de grabación debe ser de alta calidad (de estudio) y puede adoptar una de las siguientes formas:

- a) Magnetófono convencional de dos pistas. Debe indicarse el tipo de ecualización, pero se recomienda utilizar el de la CEI. En todo momento deben utilizarse cintas de alta calidad (de bajo nivel de ruido y baja transferencia magnética).
- b) Procesador de audio digital de dos canales equipado con un magnetoscopio de alta calidad o un equipo de cinta magnética de audio digital (DAT, *digital audio tape*).
- c) Sistema de almacenamiento digital controlado por computador.

El tercer sistema es el más adecuado y resulta muy flexible, pero por razones de orden práctico a menudo se elige uno de los otros dos. En estos sistemas una de las dos pistas debe emplearse para grabar la conversación y la otra para insertar señales de control con nivel y frecuencia determinados, a fin de evitar problemas de diafonía.

5.1.1.3 Material de Conversación

El material de conversación consistió en frases sencillas, breves y con significado, elegidas al azar y fáciles de entender. Con estas frases se confeccionó una lista de forma aleatoria, de tal manera que no hubiese ninguna conexión evidente entre el significado de una frase y

la siguiente. Se evitaron las frases muy cortas y muy largas pues el objetivo es que cada frase pudiera incluirse en un intervalo de tiempo de 2 a 3 segundos.

5.1.1.4 Procedimiento de Grabación

Las señales vocales se graban mediante un micrófono lineal y un amplificador de bajo nivel de ruido con respuesta en frecuencia uniforme, como indica la Publicación 581-5 de la CEI. El micrófono se coloca a una distancia entre 140 mm y 200 mm de los labios del participante. En ciertas aplicaciones puede ser necesario utilizar un filtro cuando se detectan sonidos producidos por la respiración del hablante.

Se recomienda que la relación entre el nivel vocal activo y el nivel de ruido ponderado sofométricamente (para la definición véase 8.2.3/P.830), SNR(p), en el medio de grabación tenga un valor > 40 dB, tomándose como objetivo el valor de 50 dB.

5.1.1.5 Participantes en las Pruebas

Participaron en las grabaciones cuatro personas (dos hombres y dos mujeres).

Los hablantes pronunciaron las frases de manera fluida pero sin énfasis y no presentaron deficiencias de dicción, como tartamudeo; adoptaron un volumen de voz que les resulte confortable y que pudo ser mantenido de forma constante. Como los procesos complejos a menudo afectan de forma distinta a las voces femenina y masculina, el plan del experimento contempla dos tipos de voces como factor de equilibrio; las notas para las señales vocales femenina y masculina se evalúan diferenciadamente.

Además, para disminuir el riesgo de que los resultados dependan en gran medida de las peculiaridades de las voces elegidas, es fundamental el haber utilizado más de una voz masculina y más de una voz femenina, de acuerdo con un plan equilibrado. En concreto se han utilizado dos voces masculinas y dos femeninas.

5.1.1.6 Niveles de la Señal Vocal

Una vez completadas, las grabaciones se reprodujeron y se midió el nivel vocal activo de cada frase con un medidor conforme a la Recomendación P.56. A continuación, se volvieron a grabar las listas en un segundo sistema introduciendo los ajustes de ganancia necesarios para que cada grupo de frases tenga el nivel vocal activo normalizado indicado más adelante, manteniendo las relaciones de tiempo adecuadas entre las frases y las señales de tono en el otro canal.

Para las señales vocales en banda estrecha, el nivel normalizado se obtiene midiendo y ajustando directamente la señal de banda estrecha grabada; el valor objetivo recomendado es -26 dB (+ 0,5 dB) con respecto al nivel de saturación de cresta del sistema de grabación.

5.1.1.7 Sistema Emisor

Las grabaciones fueron reproducidas en un ordenador portátil utilizando, en nuestro caso los dos programas de VoIP (Skype y Jitsi), usando los códecs SILK y G.722 respectivamente, para establecer la conexión telefónica con el extremo receptor, cuyas características se explicarán más adelante.

Como lo que se pretendía transmitir eran las grabaciones y nada por micrófono, se desactivó el micrófono del equipo, y se configuró el equipo y cada programa para que se transmitiera en la conversación el sonido que se reprodujera en el equipo, lo cual se consiguió utilizando como dispositivo de entrada de sonido la Mezcla Estéreo del equipo. Con esto se evitaba la transmisión de sonidos indeseados.

Las características más relevantes del equipo transmisor se muestran en la figura 5.2:

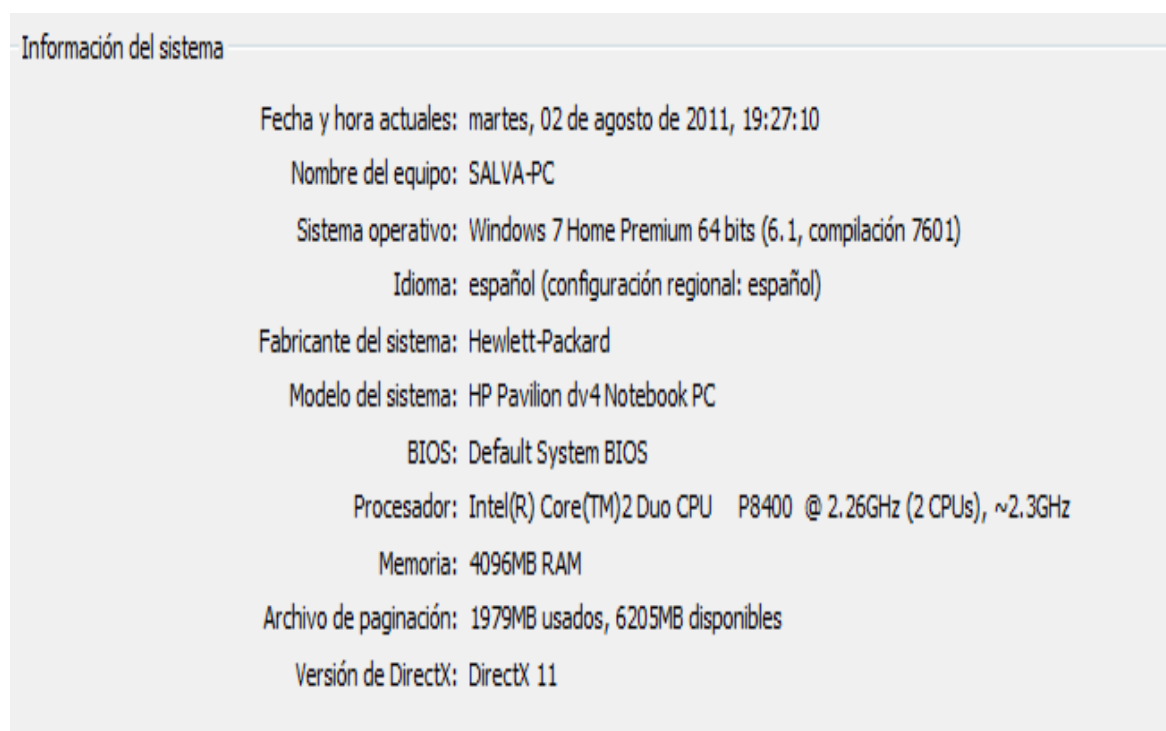


Figura 5.2: Características del equipo transmisor en la conversación de VoIP.

5.1.2 Concepción del Experimento

Para el diseño del experimento, además de cumplir con lo expuesto anteriormente, también hubo que tener en cuenta el efecto del orden de reproducción de las grabaciones. Como las pruebas se hicieron para un total de 60 personas, se reprodujeron las grabaciones en orden diferente para cada grupo de 20 personas, es decir, para las 20 primeras personas se reprodujo las grabaciones siendo las dos grabaciones de los hombres primero y las dos de las mujeres después; para las 20 siguientes personas se reprodujo primero las dos de las

mujeres y las dos de los hombres después; y para las últimas 20 personas se reprodujeron de forma intercalada. Para un grupo determinado de participantes, la prueba viene limitada en tiempo por la máxima duración posible de la sesión sin que aparezca el cansancio. Idealmente ninguna sesión debía durar más de 20 minutos y en ningún caso debe rebasar los 45 minutos. En este proyecto cada oyente (encuestado) escuchó dos veces el grupo de grabaciones (cada grabación duró 5 min. y 17 seg.) que le correspondió (una primera vez para evaluar el códec SILK utilizado por el software Skype y otra vez para evaluar el códec G.722 utilizado por el software Jitsi), por lo que cada sesión, en ninguno de los casos, duró más de 15 minutos.

5.1.3 Procedimiento de la Prueba de Escucha

5.1.3.1 Sistema de escucha

En el extremo receptor, que es donde se encuentra el oyente, se utilizó unos auriculares con las siguientes características:

- Respuesta en frecuencia (Hz):** 18-20000
- Potencia entrada máx. (mW):** 200
- Cable (m):** 2,5 (99,99% OFC, unilateral)
- Eficiencia (dB SPL/V):** 115
- Impedancia (ohms):** 32

Estos auriculares estaban conectados a un ordenador con las características que se muestran en la figura 5.3:



Figura 5.3: Características del equipo receptor en la conversación de VOIP.

Destacar también que la tarjeta de sonido utilizada es una *Realtek High Definition Audio*.

5.1.3.2 Oyentes

Los participantes en las pruebas de escucha se escogieron al azar entre la población que utiliza normalmente el servicio telefónico, fijando las siguientes condiciones:

- a) que no hayan participado directamente en trabajos relacionados con la evaluación de la calidad de transmisión de los circuitos telefónicos o tareas afines, como codificación de la palabra.
- b) que no hayan participado en pruebas subjetivas, de cualquier naturaleza, al menos durante los seis meses precedentes, ni en pruebas de opinión sobre la escucha al menos durante un año.
- c) que no hayan oído antes la misma lista de frases.

5.2 Análisis QoE de los Códecs SILK y G.722

5.2.1 Cuestionario

Para la realización del análisis de QoE sobre los códecs SILK (Skype) y G.722 (Jitsi) ha sido imprescindible la elaboración de un cuestionario que tuvo que rellenar cada oyente para cada uno de los softwares. Es decir, cada oyente tuvo que escuchar dos grabaciones (una para cada software) y rellenar dos cuestionarios iguales pero cada uno para cada software. Dicho cuestionario se elaboró según las especificaciones de la recomendación UIT-T P.82. Este cuestionario recoge la opinión de cada usuario según la experiencia que tuvo en la realización de las pruebas, y engloba valoraciones como:

- La valoración ACR de la calidad de la señal vocal;
- Dificultad para oír por el enlace;
- Esfuerzo necesario para comprender el significado de las frases;
- Grabaciones escuchadas con mayor claridad según sea masculina o femenina;
- Frecuencia con la que utiliza el sujeto internet y aplicaciones de VoIP.

Para poder diferenciar cada uno de los cuestionarios se utilizó un identificador único para cada uno de los cuestionarios, que será explicado en el siguiente apartado. En el anexo D se muestra el cuestionario completo.

5.2.2 Identificador

Este identificador ha sido utilizado tanto para identificar cada uno de los cuestionarios como para identificar cada uno de los archivos resultantes de capturar el tráfico de la conversación que son utilizados para el análisis de QoS, explicado más adelante. Con esto se consiguió tener en todo momento identificado todos los archivos de capturas de tráfico con sus correspondientes cuestionarios y así saber en todo momento qué cuestionario se correspondía con cada archivo de captura de tráfico.

El identificador sigue el siguiente formato:

AÑO_MES_DIA_TIPORED_NºENCUESTA_GRABACION_SOFTWARE_PUNTO

- **TIPO_RED** = {ETH todo cableado; WIFI extremos wifi; MIX un extremo eth y el otro wifi}
- **Nº ENCUESTA** = Numeración de las personas encuestadas
- **GRABACION** = 1H (primer hombre), 2H (segundo hombre), 1M (primera mujer), 2M (segunda mujer). Para el cuestionario se pusieron los cuatro seguidos según el orden en que se escuchó.
- **SOFTWARE** = SK (Skype) o JIT (Jitsi).
- **PUNTO** = TX origen de la llamada, RX destino de la llamada.

Un ejemplo de utilización es:

2012_05_14_WIFI_7_1H2H1M2M_SK_RX

En este caso el cuestionario se realizó el 14/05/2012; sobre WIFI: el oyente nº7; el orden de grabación fue 1H2H1M2M; se utilizó Skype y el extremo donde se captura este tráfico es el de destino de la llamada.

5.2.3 Descripción Teórica de los Cálculos

En este apartado se muestran fórmulas relevantes a la hora de realizar los cálculos.

Skweness o Sesgo

Esta función caracteriza el grado de asimetría de una distribución con respecto a su media. Si el sesgo es igual a cero, la distribución es simétrica; si el sesgo es positivo la distribución tendrá una cola asimétrica extendida hacia los valores positivos. Un sesgo negativo indica una distribución con una cola asimétrica extendida hacia los valores negativos.

$$\alpha_3 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3 n_i}{NS^3}, \text{ siendo } S \text{ la desviación estándar de la muestra}$$

Curtosis

La curtosis caracteriza la elevación o el achatamiento relativo de una distribución, comparada con la distribución normal. Una curtosis positiva indica una distribución relativamente elevada, mientras que una curtosis negativa indica una distribución relativamente plana

$$\alpha_4 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4 n_i}{NS^4}, \text{ siendo } S \text{ la desviación estándar de la muestra}$$

ANOVA (Análisis de varianza)

Es una técnica estadística diseñada para medir si existen diferencias entre los valores medios de una variable dependiente calculados para los distintos grupos que se pueden obtener con otra variable independiente y nominal. En el caso de que la variable independiente tuviera solo dos alternativas, sería suficiente aplicar un test T de diferencia de medias.

La variable o variables independientes, reciben el nombre de Factor y deben ser variables de tipo nominal, y sus distintos valores el de tratamientos, mientras que la variable dependiente debe ser métrica, puesto que sobre ella se debe calcular los valores medios, objeto del análisis de la varianza.

La hipótesis nula a contrastar es que se consideran iguales las medias en todos los grupos, o lo que es lo mismo, no existen diferencias entre las medias obtenidas para cada uno de los grupos formados por la variable independiente o factor. Se rechaza la hipótesis nula con que al menos una de las medias sea significativamente diferente de las demás.

5.2.4 Resultados del Análisis de QoE

5.2.4.1 Perfil de los encuestados

En la figura 5.4 y 5.5 se muestran el porcentaje de encuestados de cada sexo y la frecuencia de uso de aplicaciones VoIP e internet de los mismos.

Del total de los encuestados el 68,33% son hombres y el 31,67% son mujeres. En una escala MOS (1-5), dichos encuestados determinan su frecuencia de uso en 2,3 para aplicaciones de VoIP y 4,76 para Internet como muestra la figura 4.5 (CI, Intervalo de Confianza).

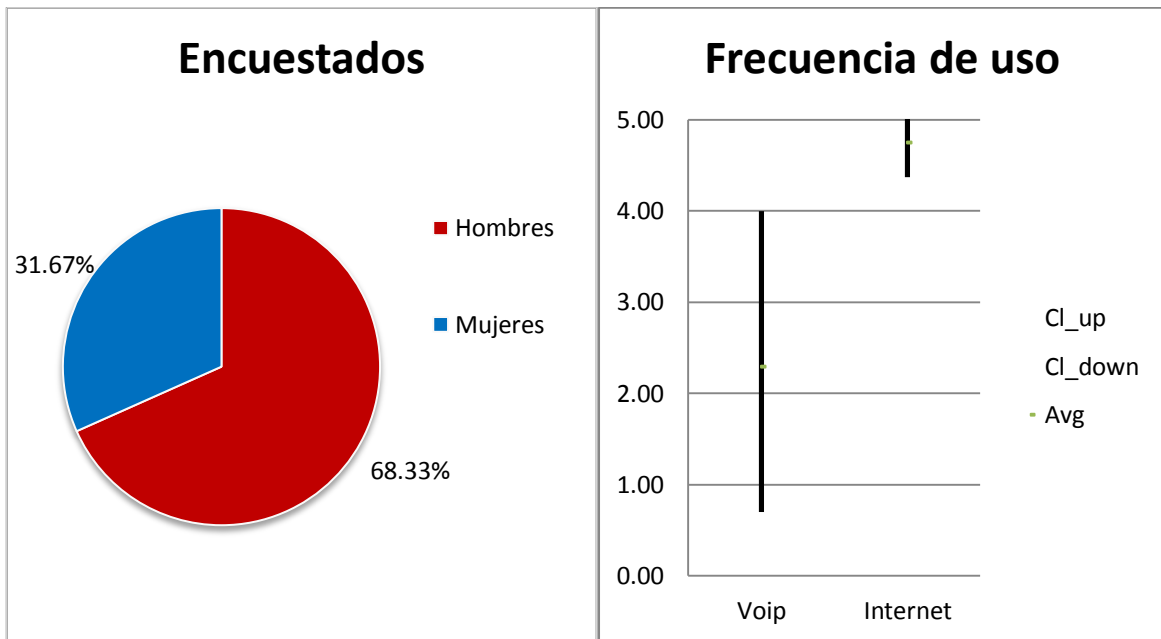


Figura 5.4: Porcentajes de sexos encuestados

Figura 5.5: Frecuencias de uso de aplicaciones VoIP e Internet

5.2.4.2 Dificultades para oír

En la siguiente figura (figura 4.6) se muestran los porcentajes de oyentes que han tenido alguna dificultad para oír las conversaciones al utilizar ambas aplicaciones.

En ambas aplicaciones el porcentaje de oyentes que han tenido alguna dificultad para oír es bastante inferior que el que no la han tenido, pero es en el caso de Skype en la que la diferencia es ligeramente mayor, ya que en Jitsi han tenido dificultad para oír el 23,33% frente al 76,67% que no la han tenido, y con Skype la han tenido el 20% frente al 80% que no la han tenido.

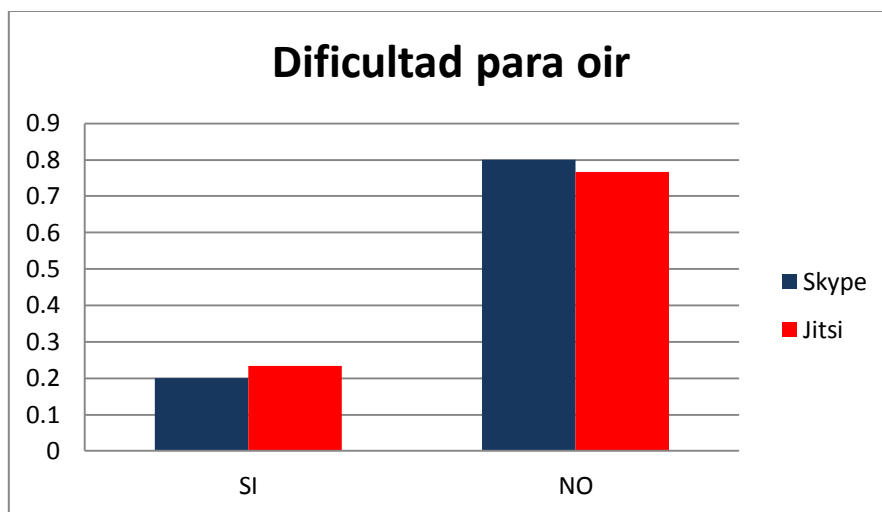


Figura 5.6: Porcentaje de dificultades para oír.

A continuación, como se puede observar en la figura 5.7, se muestra una comparativa de los distintos tipos de dificultad que han tenido los oyentes al realizar las pruebas con cada una de las aplicaciones.

- **Skype:** El ruido o zumbido es la dificultad más dada con un 41,66% de los encuestados, seguida de la diafonía y la distorsión con un 25% y un 16,67% respectivamente, y siendo las dificultades de corte completo y variaciones de nivel e interrupciones de las menos numerosas con un 8,33%. En este caso no se han dado casos de poco volumen ni eco.

- **Jitsi:** En este caso al igual que con Skype la dificultad más dada es la de ruido o zumbido con un 42,86% de los encuestados, en este caso seguida de la distorsión y variación de nivel con un 28,57% y un 21,43% respectivamente. La dificultad menos dada a sido la de poco volumen con un 7,14% No se han dado casos de diafonía ni eco.

La única dificultad que se ha dado en un porcentaje similar en ambas aplicaciones es la de ruido o zumbido, con un 41,66% en Skype y un 42,86% en Jitsi.

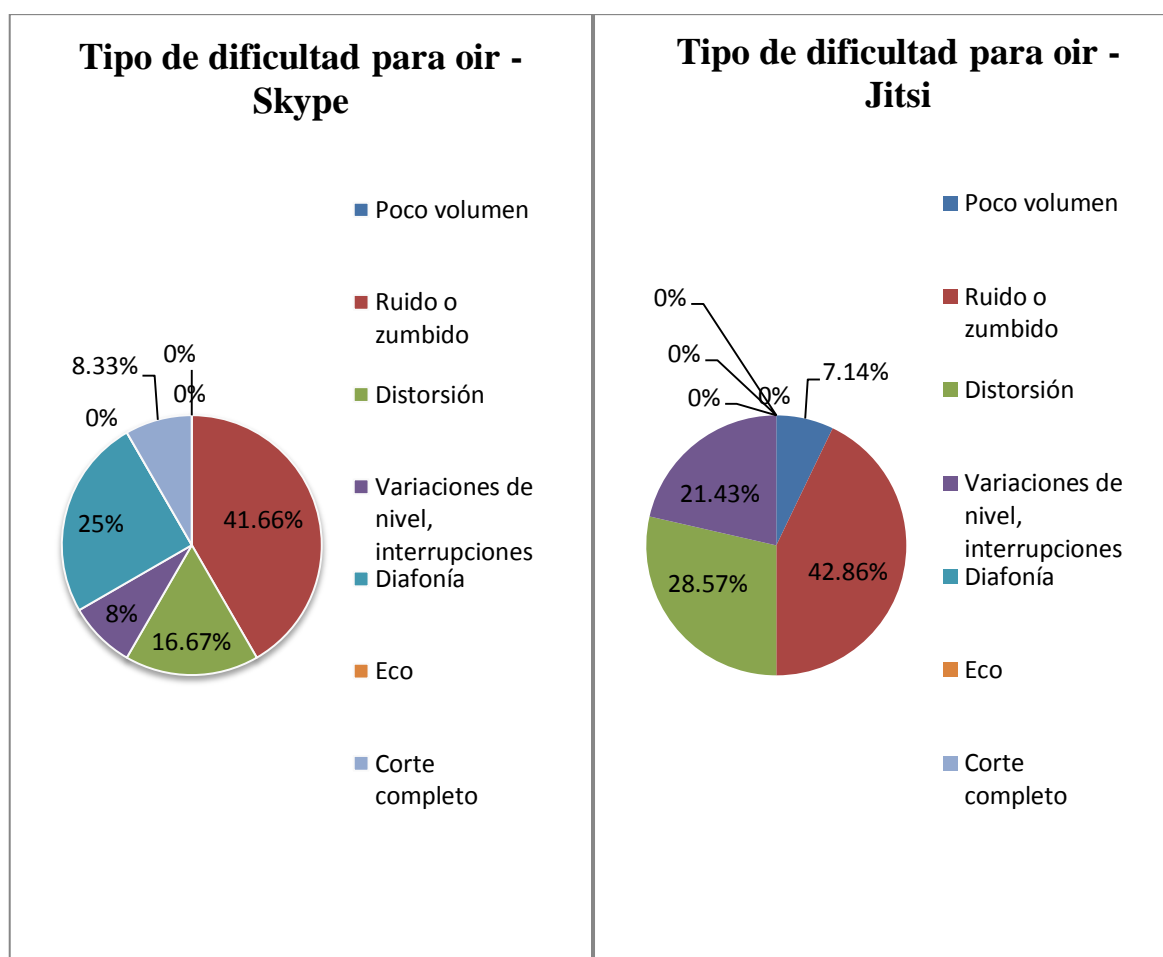


Figura 5.7: Porcentajes de los tipos de dificultad

5.2.4.3 Calidad y esfuerzo de comprensión

En la figura 5.8 se muestran los porcentajes de oyentes que escucharon las conversaciones con mayor claridad según el sexo de la voz que escuchaban.

En ambas aplicaciones no se produce una distinción del sexo a la hora de calificar la calidad de la conversación, ya que para la gran mayoría es similar la calidad de la conversación en la que habla un hombre que en la que habla una mujer.

- **Skype:** El 10% ha calificado las conversaciones con voz de hombre de mayor calidad, frente al 18% que ha calificado las conversaciones con voz de mujeres de mayor calidad. El resto (72%) no ha encontrado diferencia de calidad entre las conversaciones con voces de distinto sexo.

- **Jitsi:** El 15% ha calificado las conversaciones con voz de hombre de mayor calidad, frente al 15% que ha calificado las conversaciones con voz de mujeres de mayor calidad. El resto (70%) no ha encontrado diferencia de calidad entre las conversaciones con voces de distinto sexo.

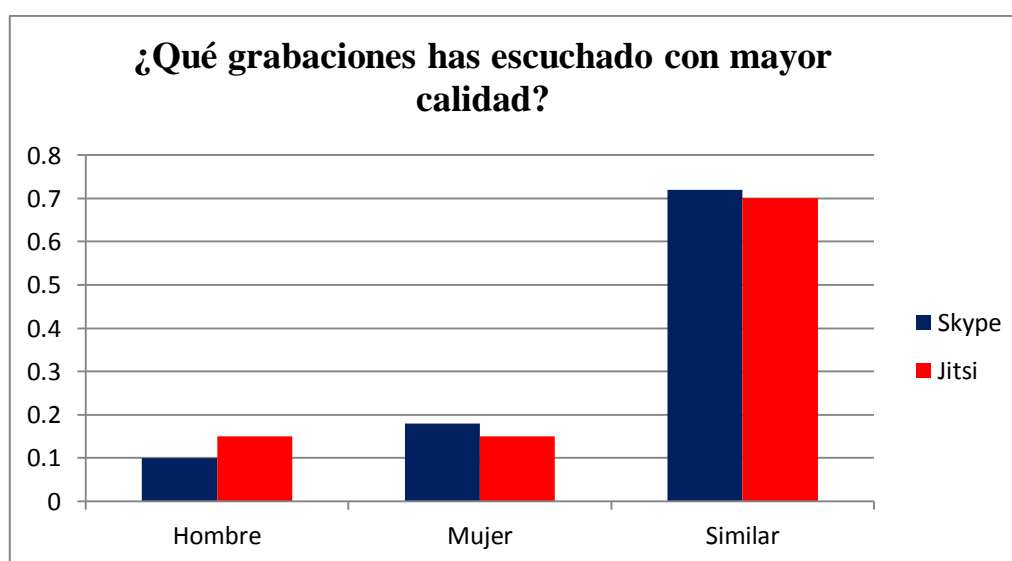


Figura 5.8: Grabaciones escuchadas con mayor calidad

En la figura 5.9 y 5.10 se muestran la calidad de la señal vocal y el esfuerzo de comprensión respectivamente.

Se puede observar que el esfuerzo de comprensión de ambas aplicaciones es muy similar y que la calidad de señal vocal de Jitsi es ligeramente inferior que la de Skype, con una media (utilizando valoración MOS) de 4,21 y 4,44 respectivamente.

	Calidad de la señal vocal			Esfuerzo necesario para comprender la frase		
	CI_up	CI_down	Avg	CI_up	CI_down	Avg
Skype	4,57	4,23	4,4	1,93	1,56	1,71
Jitsi	4,41	4,01	4,21	1,88	1,58	1,73

Figura 5.9: Calidad de la señal vocal y esfuerzo de comprensión

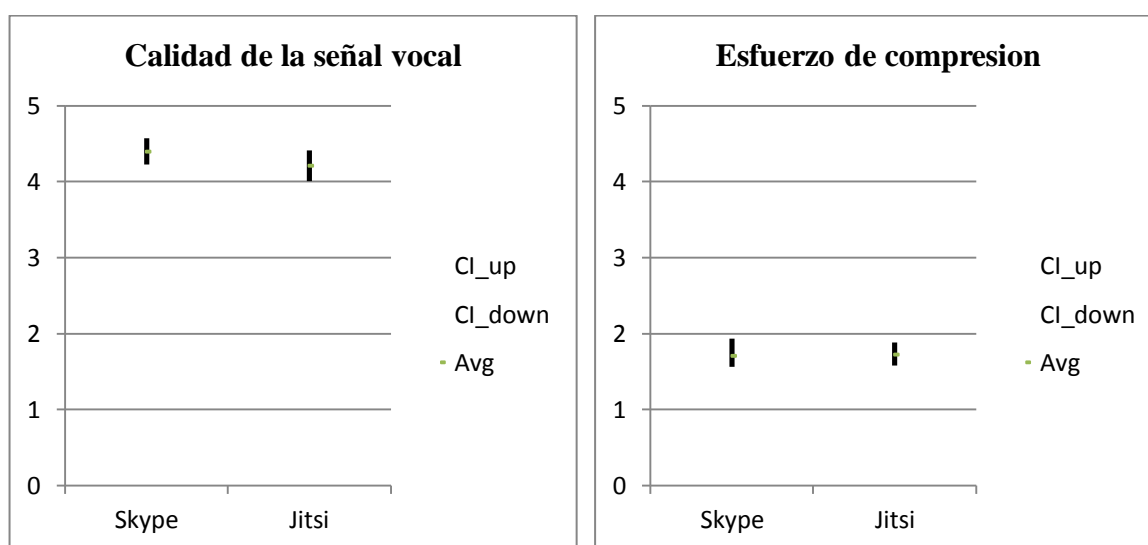


Figura 5.10: Representación de la calidad de la señal vocal y esfuerzo de comprensión.

5.2.4.4 Skewness y Kurtosis

La figura 5.11 muestra la tendencia que siguen (respecto a la media) la valoración, el uso de aplicaciones de VoIP y el uso de internet, haciendo uso del cálculo estadístico skewness. En lo único en lo que se aprecia diferencia entre ambas aplicaciones es en la distribución de la valoración, ya que aunque en ambos casos el skewness es negativo y por tanto se produce una tendencia hacia valores mayores que la media correspondiente, en el caso de Jitsi el skewness es más negativo que el de Skype.

Para los parámetros restantes se produce una distribución igual en ambas aplicaciones. En el uso de voip se produce un sesgo positivo entorno al dos, por lo que se produce una ligera tendencia hacia valores menores que la media correspondiente. En el uso de internet se produce un sesgo negativo, por lo que se produce una tendencia hacia valores mayores que la media correspondiente.

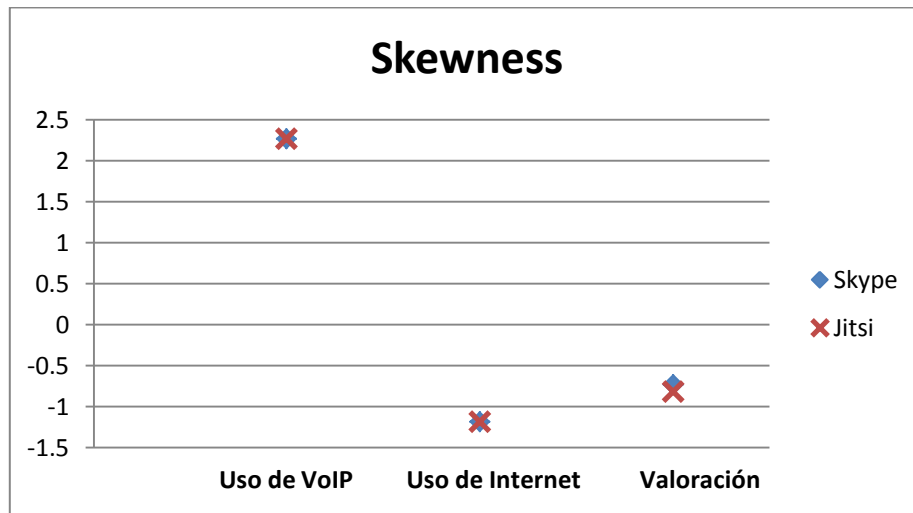


Figura 5.11: Skewness.

La figura 5.12 muestra la elevación o el achatamiento relativo de la distribución, respecto con la distribución normal, de la valoración, el uso de aplicaciones de VoIP y el uso de internet, haciendo uso del cálculo estadístico curtosis.

No se aprecia una clara diferencia entre ambas aplicaciones, en la distribución de la valoración se puede observar una ligera diferencia ya que en el caso de Skype la curtosis tiene un valor mayor que Jitsi pero ambos negativos y cercano al cero, por lo que también la distribución de los datos es relativamente más plana que la distribución normal. Para los parámetros restantes se produce una distribución igual en ambas aplicaciones. En el uso de internet se tiene una curtosis negativa y cercana al cero, por lo que la distribución de los datos es levemente más plana que la distribución normal. En el uso de Internet se tiene una curtosis positiva, por lo que la distribución es más elevada (pronunciada) respecto a la distribución normal.

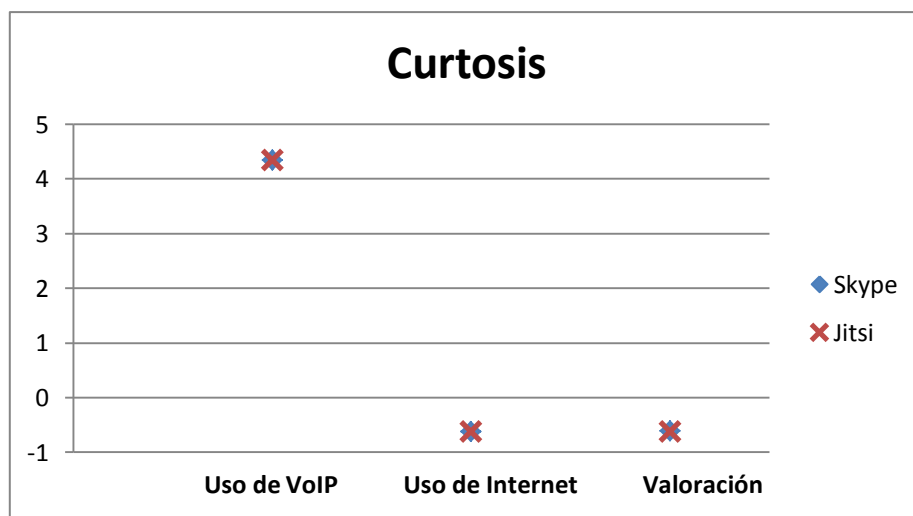


Figura 5.12: curtosis.

5.2.4.5 ANOVA One-Way

En la figura 5.13 se muestran los resultados del análisis de varianza de un solo factor (ANOVA One-Way) para cada uno de los factores de este estudio, que nos da la herramienta para distinguir si un factor afecta la respuesta en promedio.

Hay que tener en cuenta que:

- Si el valor p es menor o igual a un nivel predeterminado de significancia (nivel α , en este caso $\alpha=0,05$), se rechaza la hipótesis nula y da crédito a la alternativa.
- Si el valor p es mayor que el nivel α , no se rechaza la hipótesis nula y no se puede dar crédito a la hipótesis alterna. No hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la población.

Aplicando lo anterior a este proyecto se obtiene que en todos los casos que se muestran en la figura 5.13 el valor de P es mayor de 0,05 (α) y por tanto se acepta la hipótesis nula (H_0) y se puede concluir entonces que:

- El uso de internet no afecta a la valoración global que se ha hecho de cada aplicación de VoIP.
- El género y el uso de Internet no afectan al uso de aplicaciones de VoIP.
- El género y el uso de aplicaciones VoIP no afecta al uso de Internet.

En los cosas que ocurre lo contrario, es decir, que el valor de P es menor de 0,05 (α) y por tanto se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se puede concluir entonces que el uso de aplicaciones de VoIP y género sí afecta la valoración de los usuarios.

	Skype		Jitsi	
	F	P	F	P
Valoracion vs. Género	2,52	0,002	3,39	0,002
Valoracion vs. Uso Intenert	1,56	0,083	0,82	0,753
Valoracion vs. Uso VoIP	1,69	0,02	2,28	0,009
Uso VoIP vs. Género	1,81	0,641	1,81	0,641
Uso VoIP vs. Uso Internet	1,48	0,065	1,48	0,065
Uso Internet vs. Género	2,15	0,141	2,15	0,141
Uso Internet vs. Uso VoIP	0,67	0,065	0,67	0,065

Figura 5.13: ANOVA One-Way.

5.3 Análisis QoS de los Códecs SILK y G.722

Para esta parte del proyecto ha sido imprescindible la utilización de la herramienta de captura y análisis de paquetes de red llamada Wireshark. Con dicha aplicación se ha realizado la captura de los paquetes que se intercambiaron en cada una de las llamadas de VoIP para cada uno de los participantes en las pruebas. Como cada oyente tuvo que escuchar una grabación para cada uno de los software (Skype y Jitsi) y la captura de paquetes se realizó tanto en el origen como en el destino de la llamada, por cada oyente se obtuvo un total de cuatro ficheros de captura de paquetes, los cuales quedaron totalmente identificados y relacionados con sus respectivos cuestionarios gracias al identificador, el cual ha sido explicado en el apartado 5.2.2 de esta memoria.

Para este análisis se tendrán en cuenta los siguientes cálculos:

- Ancho Banda Total (Bytes/segundo).
- Media del tamaño de los paquetes (Bytes).
- Desviación estándar de los tamaños de los paquetes (Bytes).
- Intervalo de confianza (95%) de los tamaños de los paquetes
- Media de las diferencias de tiempos entre la recepción de dos paquetes consecutivos (segundos).
- Desviación estándar de las diferencias de tiempos entre la recepción de dos paquetes consecutivos (segundos).
- Intervalo de confianza (95%) de las diferencias de tiempos entre la recepción de dos paquetes consecutivos
- Paquetes perdidos
- Ancho banda NO VoIP (Bytes/segundo).

Todos estos cálculos excepto el último se calcularon filtrando los archivos que contenían los paquetes capturados dejando solamente los paquetes referentes a la conversación de VoIP. El último parámetro se calculó filtrando dejando solamente el tráfico que no era referente a la conversación de VoIP, es decir el tráfico causado por otros servicios o aplicaciones ajenos a la llamada de VoIP.

En esta parte del proyecto es imprescindible destacar que cada fichero resultante de la captura de tráfico (cuyas extensiones eran .pcap) tuvo que ser pasado a formato texto (.txt) para poder ser entendido por el script que se programó en awk. Dicho script será explicado detalladamente en el siguiente apartado (5.3.1). A continuación se muestra la figura 4.14 en la que se observa unas capturas de pantalla de cómo queda un fichero con wireshark y una vez pasado a formato texto.

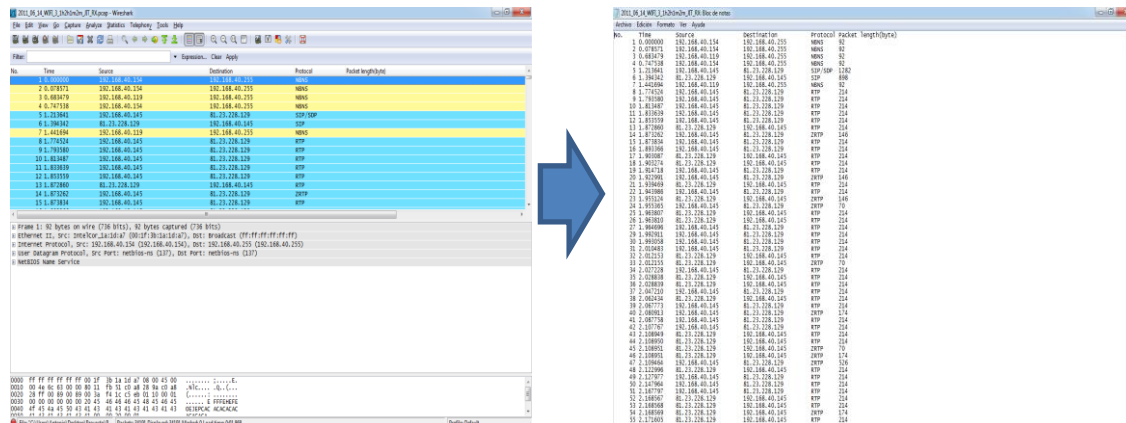


Figura 5.14: Captura de pantalla de un fichero .pcap y un fichero .txt

5.3.1 Descripción Teórica de los Cálculos

En este apartado se muestran fórmulas relevantes a la hora de realizar los cálculos.

Media muestral

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

Varianza muestral

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 = \frac{N}{N-1} [\overline{X^2} - \bar{X}^2] \quad (2)$$

Siendo:

$$\overline{X^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad (3)$$

Desviación Típica (Estándar)

$$S = \sqrt{S^2} \quad (4)$$

Intervalo de confianza (con σ^2 desconocida y población desconocida)

$$\left(\bar{x} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \quad (5)$$

La demostración de cómo se obtiene este intervalo de confianza, así como la tabla t-student (necesaria para el cálculo de este intervalo de confianza) se encuentra en el anexo E.

5.3.2 Scripts AWK

Se han utilizado tres scripts diferentes, uno para las capturas obtenidas en el extremo transmisor, otro para las capturas obtenidas en el extremo receptor, cuya única diferencia con respecto al utilizado en el extremo transmisor es que en vez de calcular el número de paquetes enviados se calcula el número de paquetes recibidos (con el fin de obtener posteriormente los paquetes perdidos), y un tercero utilizado para calcular el ancho de banda total (el cual se utilizó para calcular el ancho de banda total utilizado por servicios o aplicaciones que no tenían nada que ver con la conversación VoIP).

5.3.2.1 Script Utilizado en Extremo Transmisor

A continuación se muestra el código completo del script utilizado para realizar los cálculos utilizando los ficheros de captura de tráfico obtenidos en el extremo transmisor. Cabe recordar que para utilizar este script, el fichero (ya pasado a .txt) que fue utilizado fue filtrado para que solo apareciera el tráfico referente a la conversación VoIP.

```
BEGIN{
    comp_tiempo=10;

    pasada_filal=0;

    t=1.96; #como el número de muestras siempre va a ser mayor de 120 y
    como el intervalo de confianza siempre es del 95%, el valor siempre
    será el mismo.

    ind=-1;
}
{
    if(pasada_filal==1){ #Para no tener en cuenta la primera fila, que
    contiene los títulos de los campos.

        #####
        ##MEDIA DIFERENCIA TIEMPO ENTRE DOS PAQUETES CONSECUTIVOS##
        #####
        dif_tiempo=$2-tiempo_anterior;
        tiempo_anterior=$2;
        tiempo_total=tiempo_total+dif_tiempo;
```

```

#####
###TAMAÑO MEDIO PAQUETES###
#####

suma_tam_paquetes=suma_tam_paquetes+$6;

#####
###ANCHO DE BANDA CADA 10 SEGUNDOS###
#####

if($2>comp_tiempo){ #comp_tiempo ira cambiando en intervalos
de 10 segundos para obtener el valor del ancho de banda cada 10
segundos

    ind=ind+1;

    comp_tiempo=comp_tiempo+10;

    ancho_banda_parcial=(suma_tam_paquetes-suma_tam_paquetes_ant)/($2-
tiempo_ant);

    valores_ancho_banda_parcia[ind]=ancho_banda_parcial;

    suma_tam_paquetes_ant=suma_tam_paquetes;
    tiempo_ant=$2;
}

#####
###ESTADISTICOS###
#####
suma_cuadrados_dif_tiempo=suma_cuadrados_dif_tiempo+(dif_tiempo^2);
suma_cuadrados_tam_paquetes=suma_cuadrados_tam_paquetes+($6^2);

#####
###PAQUETES ENVIADOS###
#####

    if($4=="85.17.186.6"||$4=="81.23.228.129"||$4=="81.23.228.150"||$4=="192.1
68.40.145"||$4=="192.168.40.206"||$4=="192.168.40.22"||$4=="192.168.40.107"){
#Todo lo enviado a estas direcciones SIEMPRE va al extremo RX, ya que las tres
primeras direcciones son los "retransmisores" entre Tx y Rx cuando utilizamos
jitsi, y las cuatro últimas son utilizadas en el laboratorio Rx, cuando usamos
skype.

        paq_enviados=paq_enviados+1;
    }

    numero_paquetes=numero_paquetes+1;
}
pasada_filal=1;
}

```

```

END{

media_dif_tiempo=tiempo_total/(numero_paquetes-1); #-1 porque el número de
diferencias de tiempos entre dos paquetes consecutivos será n-1, siendo n
el número de paquetes.

tam_medio_paquetes=suma_tam_paquetes/(numero_paquetes);

ancho_banda_total=suma_tam_paquetes/$2;

media_suma_cuadrados_tam_paquetes=suma_cuadrados_tam_paquetes/numero_paque
tes;

desv_estandar_tam_paquetes=sqrt((numero_paquetes)*(media_suma_cuadrados_ta
m_paquetes-tam_medio_paquetes^2)/(numero_paquetes-1));

desvio_tam_paquetes=t*desv_estandar_tam_paquetes/sqrt(numero_paquetes);

ext_inferior_inter_confianza_tam_paquetes=tam_medio_paquetes-
desvio_tam_paquetes;

ext_superior_inter_confianza_tam_paquetes=tam_medio_paquetes+desvio_tam_pa
quetes;

media_suma_cuadrados_dif_tiempo=suma_cuadrados_dif_tiempo(numero_paquetes-1);

desv_estandar_dif_tiempos=sqrt((numero_paquetes1)*(media_suma_cuadrados_di
f_tiempo-media_dif_tiempo^2)/(numero_paquetes-2)); #-1 porque el número de
muestras es una menos que el número de paquetes, y -1 porque la fórmula es
el número de muestras menos uno.

desvio_dif_tiempos=t*desv_estandar_dif_tiempos/sqrt(numero_paquetes-1);

ext_inferior_inter_confianza_dif_tiempos=media_dif_tiempo-
desvio_dif_tiempos;

ext_superior_inter_confianza_dif_tiempos=media_dif_tiempo+desvio_dif_tiempos;

printf("\n%s;%s;%s;%s; [%s,%s];%s;%s; [%s,%s]; ;%s; ;
",ARGV[1],ancho_banda_total,tam_medio_paquetes,desv_estandar_tam_paquetes
,ext_inferior_inter_confianza_tam_paquetes,ext_superior_inter_confianza_tam
_paquetes,media_dif_tiempo,desv_estandar_dif_tiempos,ext_inferior_inter_c
onfianza_dif_tiempos,ext_superior_inter_confianza_dif_tiempos,paq_enviados
);

for(j=0;j<=ind;j++){
    printf("%s;",valores_ancho_banda_parcial[j]);
}
}

```

Con este script se consiguió obtener los cálculos necesarios para el análisis de QoS utilizando las fórmulas descritas en el apartado anterior (5.3.1).

Se ha decidido utilizar, para una mejor comprensión del código, variables con nombres significativos con el dato que contienen, aunque esto conllevara a una mayor longitud del nombre de cada variable.

Para entender cómo funciona hay que tener en cuenta que en AWK se pasa este script secuencialmente a cada una de las filas del fichero `asci`, y para referirse a los datos de cada campo del fichero se utiliza `$+número de columna`, en nuestro caso:

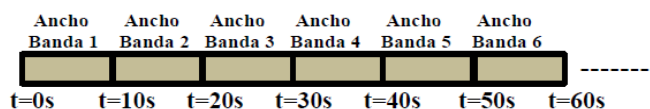
- **\$2**: Para referirse al segundo campo (columna 2). Tiempo en segundos en el que se recibe el paquete.
- **\$4**: Para referirse al cuarto campo (columna 4). Dirección IP de Destino del paquete.
- **\$6**: Para referirse al sexto campo (columna 6). Tamaño en bytes de los paquetes.

El patrón `BEGIN` solamente se cumple cuando se arranca el programa de `awk`, es decir justo antes de procesar la primera fila. Por ello se utilizó para inicializar variables. En este bloque cabe destacar que la variable es la utilizada para calcular el intervalo de confianza y se corresponde con el dato $t_{n-1, 1-\alpha/2}$ (ver apartado 4.3.1). Dicho valor se debe averiguar mirando la tabla *t-student* (Anexo E), como a partir de 121 muestras siempre es el mismo, el valor de dicho dato siempre será 1,96. A continuación se muestra cómo se obtuvo el valor de este dato para el intervalo de confianza del 95% (para un mejor entendimiento completar la siguiente información con la que aparece en el primer apartado del Anexo E).

$$\begin{aligned} 0.95 &= 1-\alpha & (\alpha=0.05) \\ 1-\alpha/2 &= 0.975 \end{aligned}$$

Por tanto el valor que hubo que mirar en la tabla *t-student* fue el correspondientes a $t_{\infty, 0.975}$ (∞ porque el número de muestras es superior a 120).

En la parte central (que es ejecutada para cada una de las líneas) está todo bien comentado en el código. Comentar que el bloque llamado “ANCHO DE BANDA CADA 10 SEGUNDOS” el ancho de banda parcial de cada fichero está calculado de forma NO acumulativa, obteniendo así los valores del ancho de banda utilizado en diferentes momentos (cada 10 segundos) de la transmisión.



Los resultados al calcular el ancho de banda, que se fueron obteniendo cada 10 segundos fueron almacenados en un array del cual se obtuvieron todos sus valores más adelante.

También aclarar que en el bloque “PAQUETES ENVIADOS” cuando se habla de “retransmisores” se refiere a los nodos intermedios que actúa de intermediario entre ambos extremos de la conversación (en el caso de la utilización de Jitsi). Las direcciones de los retransmisores utilizados en todas las pruebas son siempre alguno de los tres que se especifican en el código.

El patrón END sólo se cumple cuando se han procesado todas y cada una de la filas del fichero de texto, y en este proyecto es utilizado para realizar los cálculos pertinentes (siguiendo las fórmulas del apartado 5.3.1) e imprimir los resultados. Los resultados de los cálculos se imprimieron en una sola línea y separados con “;”, de tal manera que al copiarlos en la plantilla que se hizo en Excel, dicho programa consiguiera entenderlo de forma que cada datos separado por “;” quedase en una columna.

La ejecución de los scripts en awk se realizó en Linux (Ubuntu) y todos los resultados se enviaron a un fichero de texto. Para conseguir esto se ejecutó por línea de comandos (para cada uno de los ficheros de texto que contenían los paquetes de tráfico capturado) el siguiente comando:

```
C:\Users\Antonio>awk -f programa captura_trafico.txt >> resultado.txt_
```

Se obtuvieron unos ficheros de texto con los resultados de los cálculos y fueron utilizados para rellenar la plantilla de Excel que se diseñó para tal fin. Un pequeño fragmento de uno de estos ficheros de texto resultante se puede observar en la figura 5.15.

```
2011_06_14_WIFI_1_1h2h1m2m_JIT_RX2.txt;10735;218.306;18.9785;[218.012,218.60];  
0.0203372;0.028693;[0.0198916,0.0207827];15934;6761.27;10488.1;10339.4;10366.2;1
```

Figura 5.15: Fragmento ejemplo del fichero en formato texto.

5.3.2.2 Script Utilizado en Extremo Receptor

A continuación se muestra al código completo del script utilizado para realizar los cálculos utilizando los ficheros de captura de tráfico obtenidos en el extremo receptor. Cabe recordar que para utilizar este script, el fichero (ya pasado a .txt) que fue utilizado fue filtrado para que solo apareciera el tráfico referente a la conversación VoIP.

```
BEGIN{  
    comp_tiempo=10;  
  
    pasada_filal=0;  
  
    t=1.96; #como el número de muestras siempre va a ser mayor de 120 y como  
    el intervalo de confianza siempre es del 95%, el valor siempre será el  
    mismo.  
  
    ind=-1;  
}  
  
{  
  
    if(pasada_filal==1){ #Para no tener en cuenta la primera fila, que  
    contiene los títulos de los campos.
```

```
#####
###MEDIA DIFERENCIA TIEMPO ENTRE DOS PAQUETES CONSECUTIVOS###
#####

dif_tiempo=$2-tiempo_anterior;

tiempo_anterior=$2;

tiempo_total=tiempo_total+dif_tiempo;

#####
###TAMAÑO MEDIO PAQUETES###
#####

suma_tam_paquetes=suma_tam_paquetes+$6;

#####
###ANCHO DE BANDA CADA 10 SEGUNDOS###
#####

if($2>comp_tiempo){ #comp_tiempo ira cambiando en intervalos de 10
segundos para obtener el valor del ancho de banda cada 10 segundos

    ind=ind+1;

    comp_tiempo=comp_tiempo+10;

    ancho_banda_parcial=(suma_tam_paquetes-suma_tam_paquetes_ant)/($2-
tiempo_ant);

    valores_ancho_banda_parcial[ind]=ancho_banda_parcial;

    suma_tam_paquetes_ant=suma_tam_paquetes;

    tiempo_ant=$2;
}

#####
###ESTADISTICOS###
#####

suma_cuadrados_dif_tiempo=suma_cuadrados_dif_tiempo+(dif_tiempo^2);

suma_cuadrados_tam_paquetes=suma_cuadrados_tam_paquetes+($6^2);

#####
###PAQUETES RECIBIDOS###
#####

if($3=="85.17.186.6"||$3=="81.23.228.129"||$3=="81.23.228.150"||$3=="192.1
68.40.146"||$3=="192.168.40.208"||$3=="192.168.40.21"||$3=="192.168.40.122
"){ #Todo lo enviado a estas direcciones SIEMPRE procede del extremo TX,
ya que las tres primeras direcciones son los "retransmisores" entre Tx y
Tx cuando utilizamos jitsi, y las cuatro últimas son utilizadas en el
laboratorio Tx, cuando usamos skype.

    paq_enviados=paq_enviados+1;
```



```

    }

    numero_paquetes=numero_paquetes+1;
}
pasada_filal=1;
}

END{

media_dif_tiempo=tiempo_total/(numero_paquetes-1); #-1 porque el número de
diferencias de tiempos entre dos paquetes consecutivos será n-1, siendo n
el número de paquetes.

tam_medio_paquetes=suma_tam_paquetes/(numero_paquetes);

ancho_banda_total=suma_tam_paquetes/$2;

media_suma_cuadrados_tam_paquetes=suma_cuadrados_tam_paquetes/numero_paque
tes;

desv_estandar_tam_paquetes=sqrt((numero_paquetes)*(media_suma_cuadrados_ta
m_paquetes-tam_medio_paquetes^2)/(numero_paquetes-1));

desvio_tam_paquetes=t*desv_estandar_tam_paquetes/sqrt(numero_paquetes);

ext_inferior_inter_confianza_tam_paquetes=tam_medio_paquetes-
desvio_tam_paquetes;

ext_superior_inter_confianza_tam_paquetes=tam_medio_paquetes+desvio_tam_pa
quetes;

media_suma_cuadrados_dif_tiempo=suma_cuadrados_dif_tiempo/(numero_paquetes
-1);

desv_estandar_dif_tiempos=sqrt((numero_paquetes1)*(media_suma_cuadrados_di
f_tiempo-media_dif_tiempo^2)/(numero_paquetes-2)); #-1 porque el número de
muestras es una menos que el número de paquetes, y -1 porque la fórmula es
el número de muestras menos uno.

desvio_dif_tiempos=t*desv_estandar_dif_tiempos/sqrt(numero_paquetes-1);

ext_inferior_inter_confianza_dif_tiempos=media_dif_tiempo-
desvio_dif_tiempos;

ext_superior_inter_confianza_dif_tiempos=media_dif_tiempo+desvio_dif_tiempo
s;

printf("\n%s;%s;%s;%s; [%s,%s];%s;%s; [%s,%s]; ;%s; ;
",ARGV[1],ancho_banda_total,tam_medio_paquetes,desv_estandar_tam_paquetes
,ext_inferior_inter_confianza_tam_paquetes,ext_superior_inter_confianza_ta
m_paquetes,media_dif_tiempo,desv_estandar_dif_tiempos,ext_inferior_inter_c
onfianza_dif_tiempos,ext_superior_inter_confianza_dif_tiempos,paq_enviados
);

for(j=0;j<=ind;j++){
    printf("%s;",valores_ancho_banda_parcial[j]);
}
}

```

Este script es exactamente igual que el anterior pero con la única diferencia de que en este caso no se calcula el número de paquetes enviados, sino el número de paquetes recibidos. De este modo al introducir los datos en la tabla Excel se pudo calcular el número de paquetes perdidos restando a los paquetes que se enviaron en el extremo tx los recibidos en el extremo rx. Para identificar cada fichero de captura de tráfico y saber así que ficheros pertenecían a una misma conversación se utilizó el identificador explicado en el apartado 5.2.2

5.3.2.3 Script para el Cálculo del Ancho de Banda del Tráfico no VOIP

A continuación se muestra al código completo del script utilizado para realizar el cálculo del ancho de banda total utilizado por otros servicios y aplicaciones que no tenían nada que ver con la conversación de VoIP, utilizando los ficheros de captura de tráfico obtenidos tanto en el extremo receptor como en el emisor. Cabe recordar que para utilizar este script, el fichero (ya pasado a .txt) que fue utilizado fue filtrado para que sólo apareciera el tráfico que no tenía nada que ver con la conversación VoIP.

```
{
    if(pasada_filal==1){ #Para no tener en cuenta la primera fila      (contiene
los títulos de los campos)

        #####
        ###TAMAÑO MEDIO PAQUETES###
        #####

        suma_tam_paquetes=suma_tam_paquetes+$6;
        }
        numero_paquetes=numero_paquetes+1;
    }
    pasada_filal=1;
}

END{
    ancho_banda_total=suma_tam_paquetes/$2;

    printf("\n%s;%s;",ARGV[1],ancho_banda_total);
}
```

5.3.3 Resultados del Análisis de QoS

5.3.3.1 Ancho de Banda

Podemos establecer una relación directamente proporcional entre el ancho de banda y la calidad de los datos transmitidos. No obstante, necesitamos aplicaciones que no consuman un ancho de banda excesivo de lo contrario estarían requiriendo un uso exclusivo del canal para su transferencia, pero necesitamos que sí tengan el necesario para su transmisión con éxito.

En las siguientes gráficas (figuras 5.16 y 5.17) podemos ver el ancho de banda en origen y en destino, para cada una de las dos aplicaciones analizadas.

Tanto en transmisión como en recepción la aplicación que más ancho de banda utiliza en todas y cada una de las capturas es Jitsi. Cada aplicación utiliza aproximadamente el mismo ancho de banda medio en recepción y en transmisión, variando en Skype entorno a los 7000 bytes por segundo (Bps) y en Jitsi entorno a los 10000 bytes por segundo (Bps).

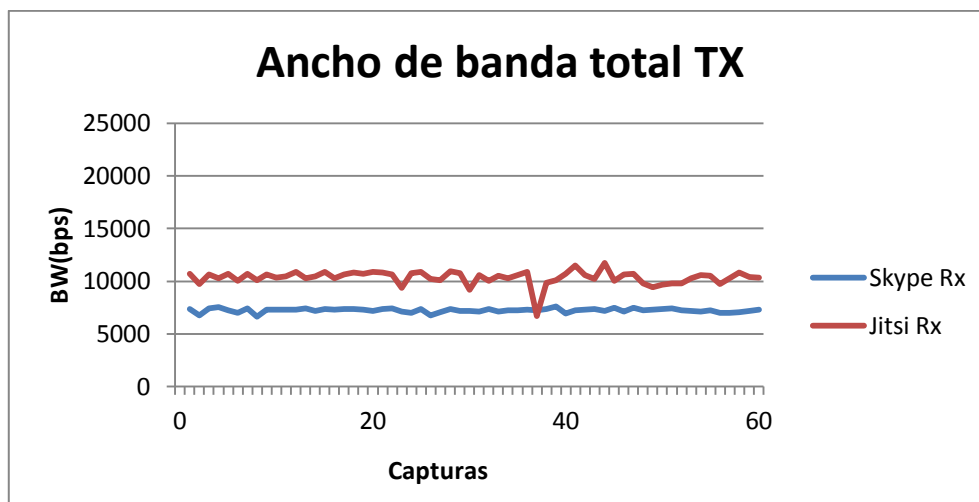


Figura 5.16: Ancho de banda total en TX.

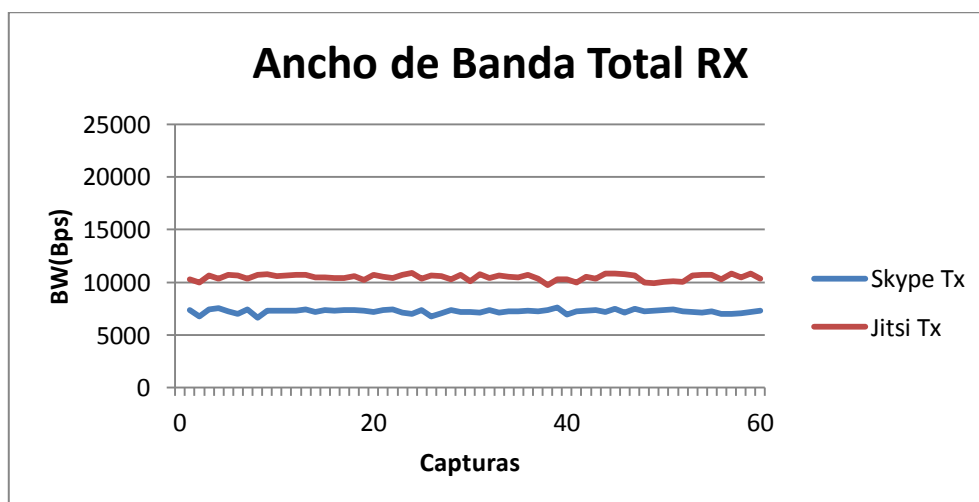


Figura 5.17: Ancho de banda total en RX.

Para una mejor comprensión del ancho de banda utilizado por cada aplicación se aportan las siguientes gráficas (figuras 5.18, 5.19, 5.20 y 5.21) en las que se muestran el ancho de banda que se ha ido utilizando a lo largo de la realización de cada una de las conversaciones de VoIP, en cada uno de los extremos de dicha conversación y para cada uno de los programas. Dichos valores del ancho de banda han sido calculados en periodos de tiempo de 10 segundos desde que comenzó la conversación hasta el fin de la misma. Para evitar obtener demasiadas gráficas que dificulten la comprensión de los datos se han seleccionado 5 conversaciones al azar de entre las 60.

Como ocurría con el ancho de banda total, en este caso cada aplicación utiliza aproximadamente el mismo ancho de banda tanto en recepción como en transmisión.

- **Skype:** El menor ancho de banda utilizado fue al inicio de las conversaciones y éste fue aumentando en los primeros 10 segundos, a partir de los cuales se estabilizó entorno a los 7500 bps.

- Transmisión: Los valores del ancho de banda utilizado al inicio de las conversaciones es diferente para cada una de ellas, tomando valores entorno 9 Bps y los 3674 Bps.
- Recepción: Los valores del ancho de banda utilizado al inicio de las conversaciones es diferente para cada una de ellas, tomando valores entorno 6 Bps y los 6661 Bps.

- **Jitsi:** El menor ancho de banda utilizado fue al inicio de las conversaciones y éste fue aumentando en los primeros 5 segundos, a partir de los cuales se estabilizó entorno a los 11000 bps.

- Transmisión: Los valores del ancho de banda utilizado al inicio de las conversaciones es diferente para cada una de ellas, tomando valores entorno los 15 Bps y los 8569 Bps.
- Recepción: Los valores del ancho de banda utilizado al inicio de las conversaciones es diferente para cada una de ellas, tomando valores entorno los 7 Bps y los 10557 Bps

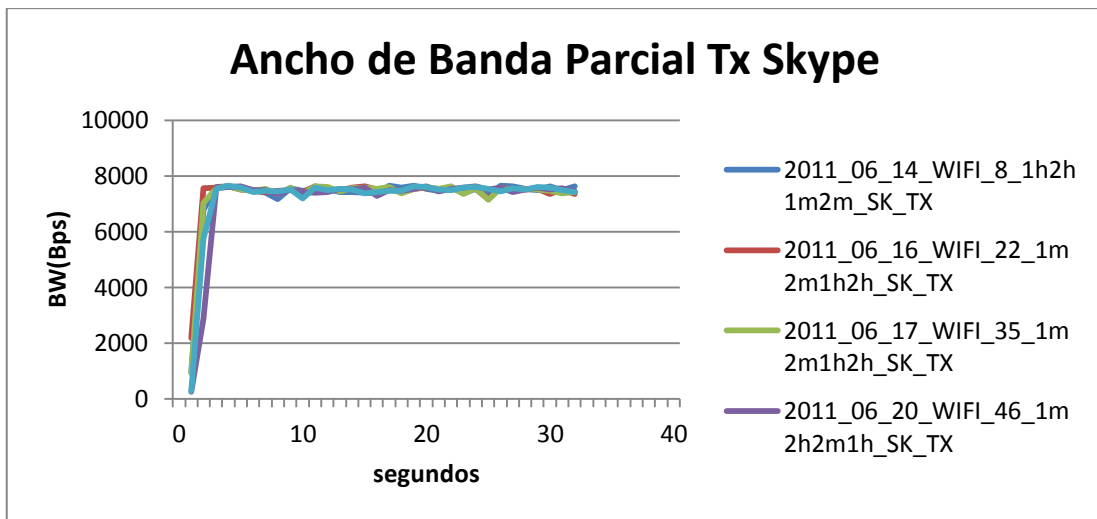


Figura 5.18: Ancho de banda parcial Tx Skype.

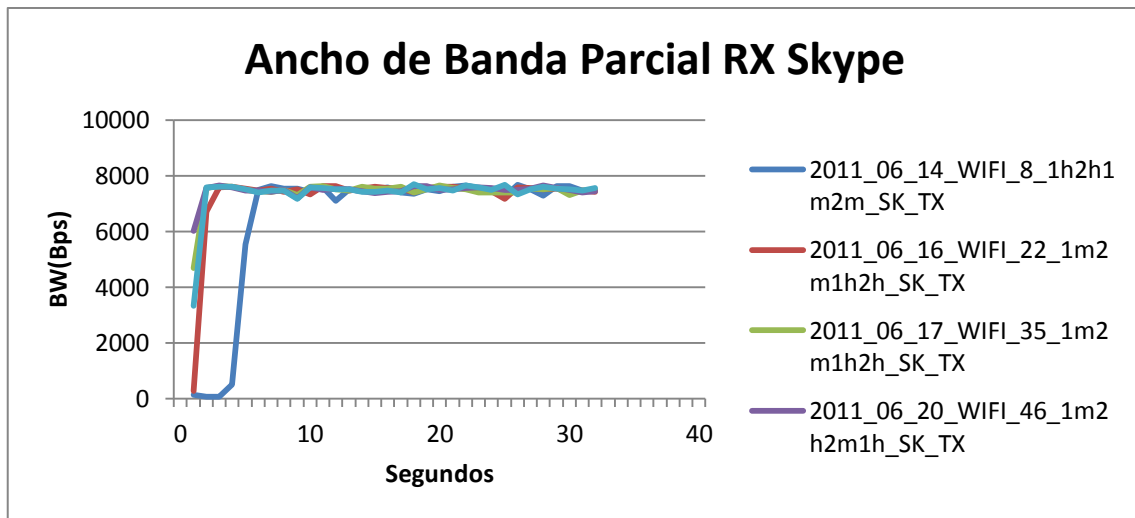


Figura 5.19: Ancho de banda parcial Rx Skype.

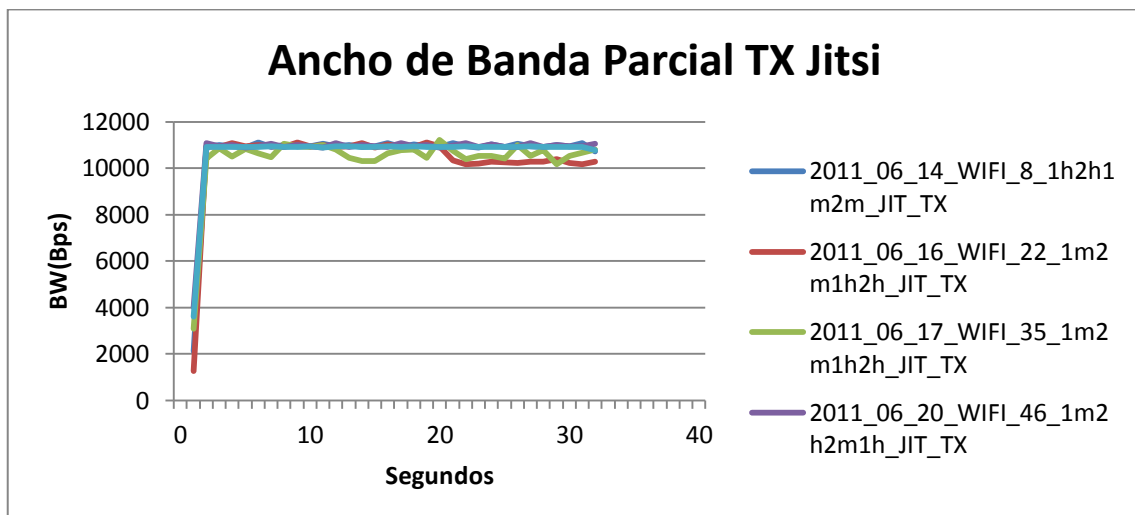


Figura 5.20: Ancho de banda parcial Tx Jitsi.

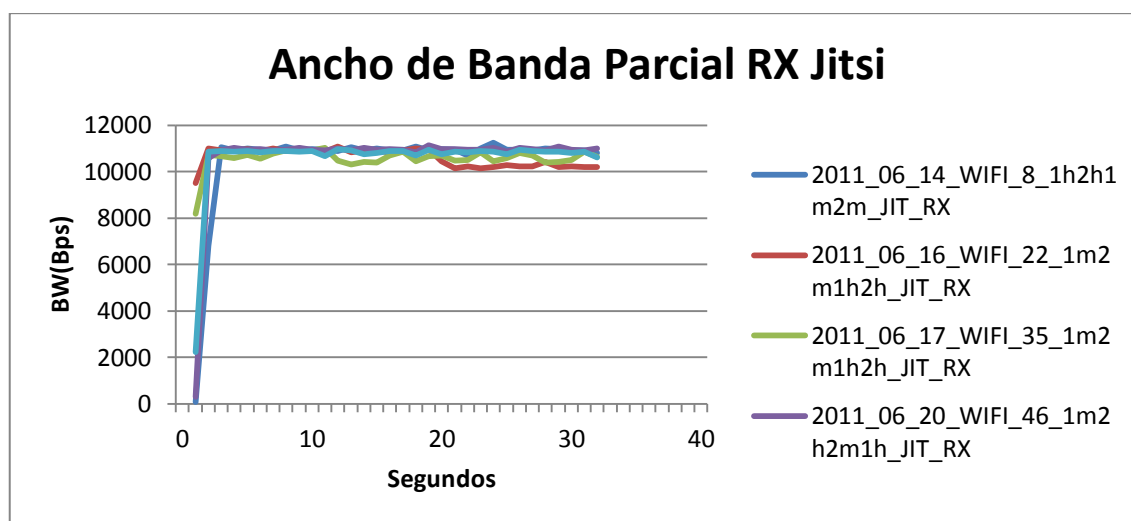


Figura 5.21: Ancho de banda parcial Rx Jitsi.

5.3.3.2 Tamaño Medio de los Paquetes

En las siguientes gráficas (figuras 5.22 y 5.23) podemos ver la comparación del tamaño medio de los paquetes en origen y en destino, de cada una de las aplicaciones analizadas.

La aplicación que utiliza paquetes con mayor tamaño es Jitsi, tanto en el extremo transmisor como en el extremo receptor.

- En el caso de Skype, el tamaño medio de los paquetes se mantiene en 146 Bytes.
- En el caso de Jitsi, el tamaño medio de los paquetes se mantiene en 218 Bytes.

Esto demuestra que el tamaño medio de los paquetes es igual de estable tanto en Jitsi como Skype.

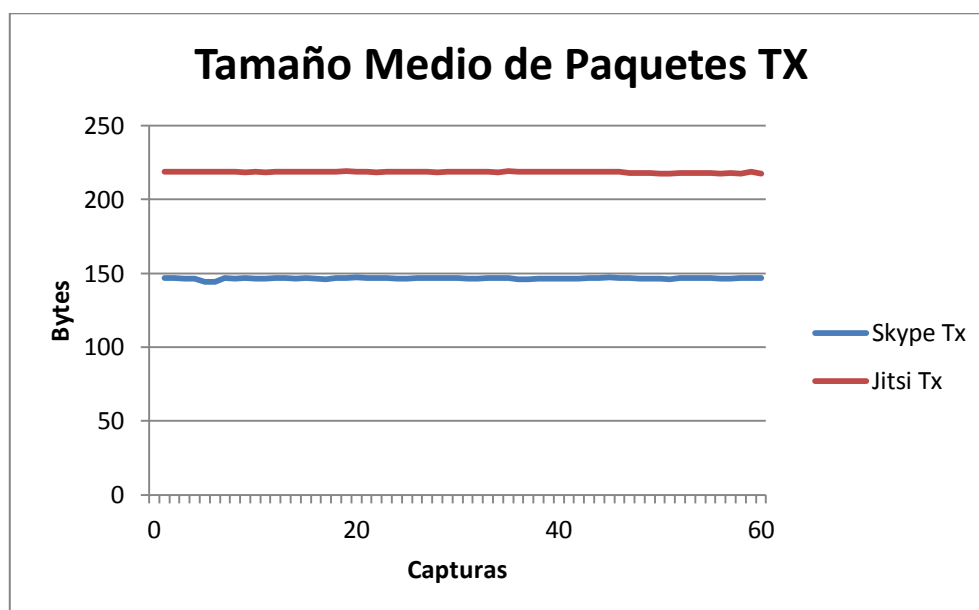


Figura 5.22: Tamaño medio de los paquetes Tx.

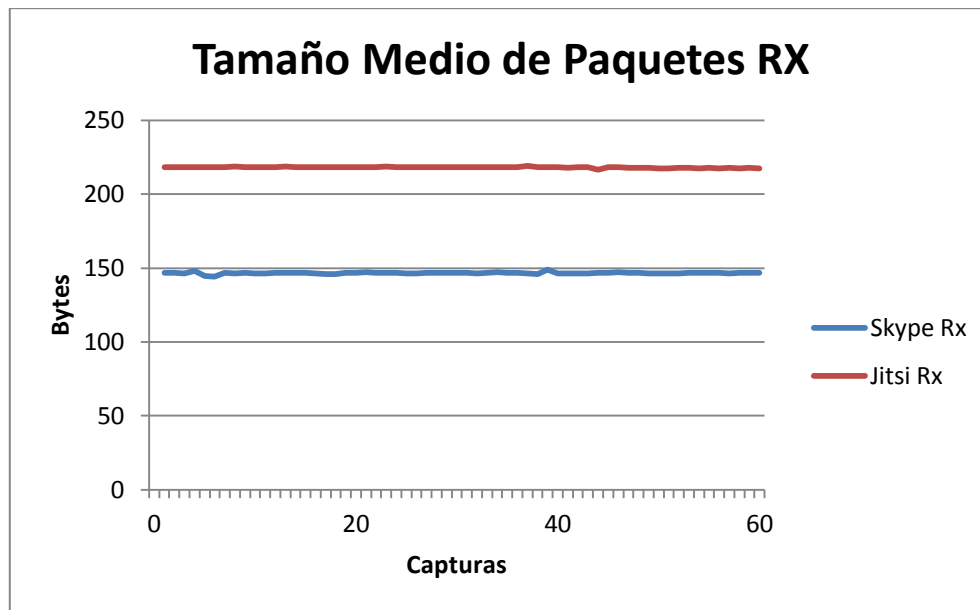


Figura 5.23: Tamaño medio de los paquetes Rx.

Si observamos los datos obtenidos en función de la aplicación (figuras 5.24 y 5.25), es decir, teniendo en una misma gráfica, para cada aplicación, el tamaño medio de los paquetes enviados y el de los recibidos tenemos:

- **Skype:** Aunque se produce una menor variación (con respecto a Jitsi) en el tamaño medio de los paquetes para las distintas conversaciones realizadas, ocurre que para una misma conversación el tamaño medio de los paquetes es muy similar, para algunas conversaciones el tamaño medio de los paquetes en transmisión y recepción varía en el caso máximo 2.8 Bytes
- **Jitsi:** Aunque se produce una mayor variación (con respecto a Skype) entre el tamaño medio de los paquetes para las distintas conversaciones realizadas, ocurre que para una misma conversación el tamaño medio de los paquetes es muy similar, para algunas conversaciones el tamaño medio de los paquetes en transmisión y recepción varía en el caso máximo 1.7 Bytes.

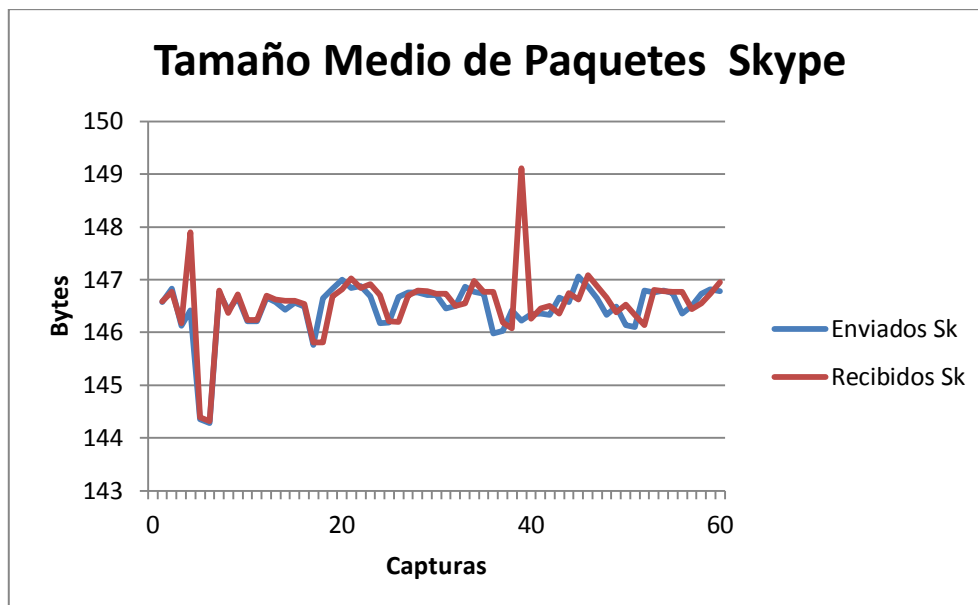


Figura 5.24: Tamaño medio de los paquetes Skype.

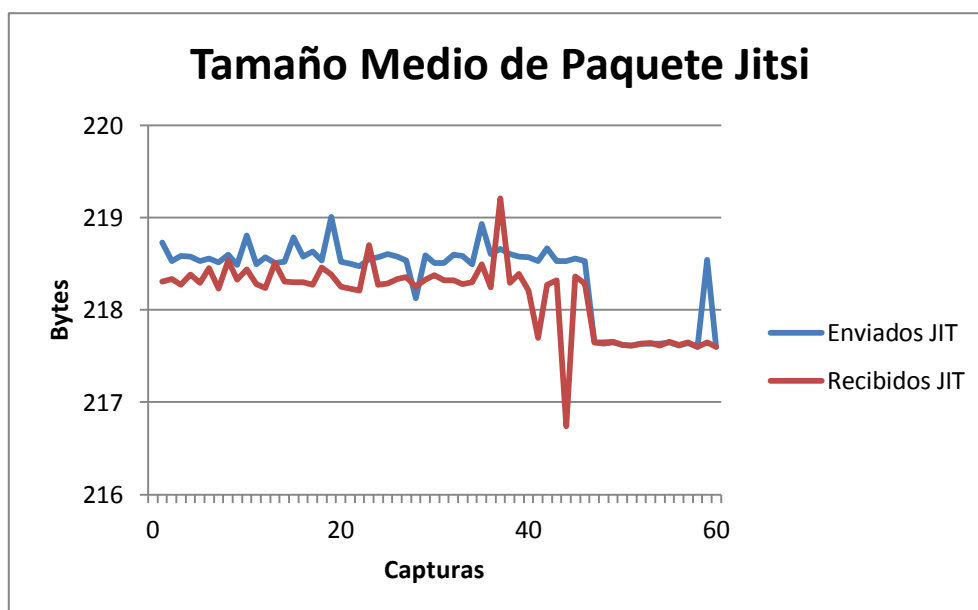


Figura 5.25: Tamaño medio de los paquetes Jitsi.

5.3.3.3 Desviación Estándar del Tamaño de los Paquetes

En las siguientes gráficas (figuras 5.26 y 5.27) podemos ver la desviación estándar del tamaño de los paquetes en origen y en destino, para cada una de las dos aplicaciones analizadas.

En Transmisión los valores de la desviación estándar del tamaño de los paquetes sufren unas mínimas variaciones de un programa a otro, en la mayoría de las capturas este valor es levemente mayor en Jitsi que en Skype. Los valores oscilan según el programa:

- Jitsi: Se tienen valores entre los 16 Bytes y los 29 Bytes.
- Skype: Se tienen valores entre los 17 Bytes y los 21 Byte.

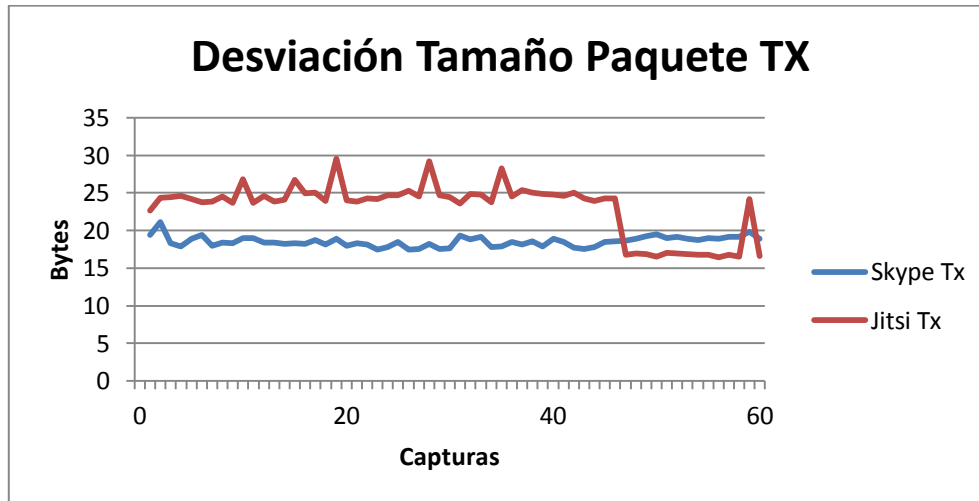


Figura 5.26: Desviación estándar del tamaño de los paquetes en Tx.

En recepción los valores de la desviación estándar del tamaño de los paquetes son parecidos en ambos programas, aunque en la mayoría de las capturas, este valor es levemente mayor en Jitsi que en Skype (en este caso la diferencia entre ambos programas es menor que en transmisión). La variación de los valores es también similar entre los dos programas.

- Jitsi: Se tienen valores entre los 15 Bytes y los 28 Bytes aproximadamente, aunque en este caso el valor máximo es producido por la variación más grande que se produce en las capturas, concretamente es el caso de la captura 37, que tiene un valor de 28.8005 Bytes.
- Skype: Se tienen valores entre los 16 Bytes y los 25 Bytes.

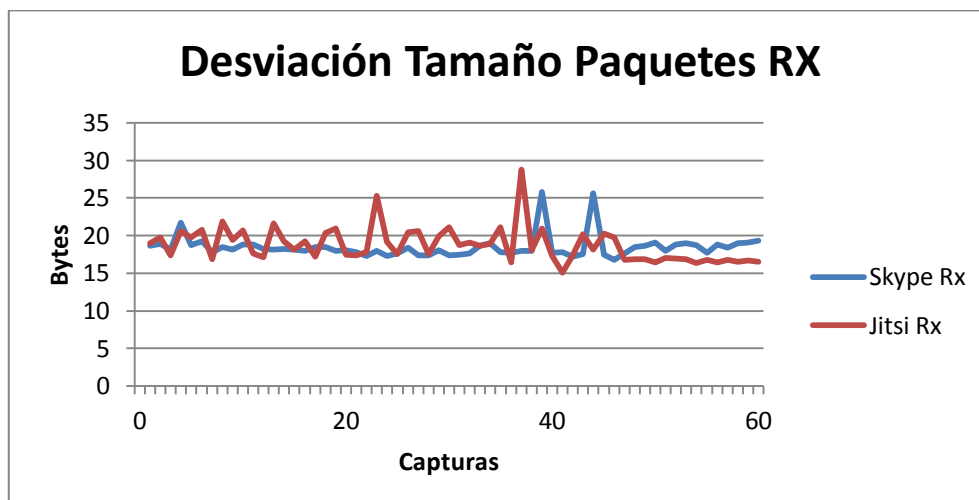


Figura 5.27: Desviación estándar del tamaño de los paquetes en Rx.

5.3.3.4 Media de la Diferencia de Tiempos

El tiempo que debe existir en la recepción entre los paquetes de voz tiene que ser un valor bajo ya que si fuera alto el oyente percibiría que la conversación no es fluida y se entrecortaría debido al retraso que se provocaría de un paquete a otro.

En las siguientes gráficas (figuras 5.28 y 5.29) podemos ver la media de diferencia de tiempos en origen y en destino, para cada una de las dos aplicaciones analizadas.

Para cada una de las conversaciones y para cada uno de los programas la media de la diferencia de tiempos es muy similar en transmisión y recepción. En Jitsi se producen más variaciones (con respecto a Skype) de la media de diferencia de tiempos entre las distintas capturas.

En transmisión:

- Skype: Toma valores entre 0,019 segundos y 0.022 segundos.
- Jitsi: Toma valores entre 0,020 segundos 0,022 segundos.

En recepción:

- Skype: Toma valores entre 0,019 segundos y 0.023 segundos.
- Jitsi: Toma valores entre 0,0097 segundos 0,009 segundos.

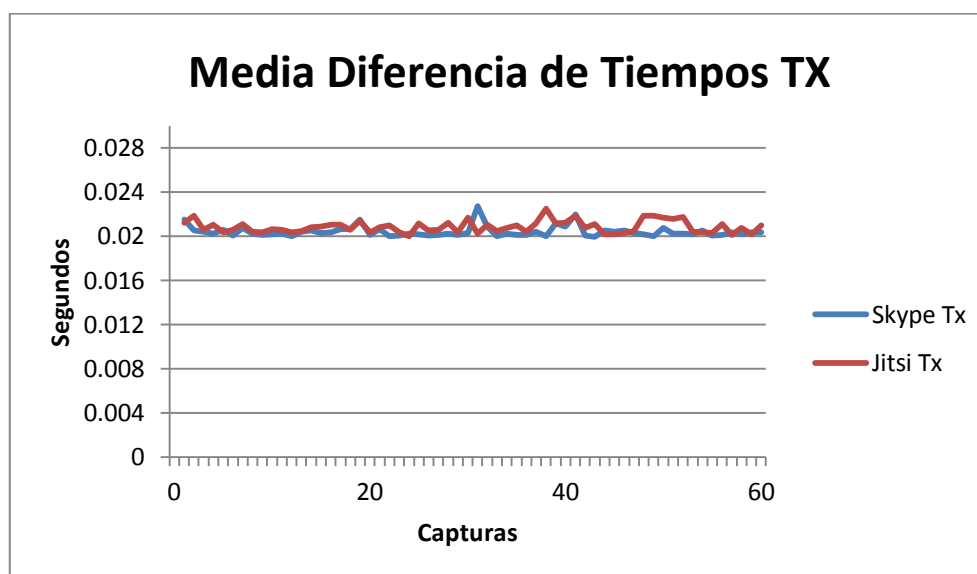


Figura 5.28: Media de la diferencia de tiempos en TX.

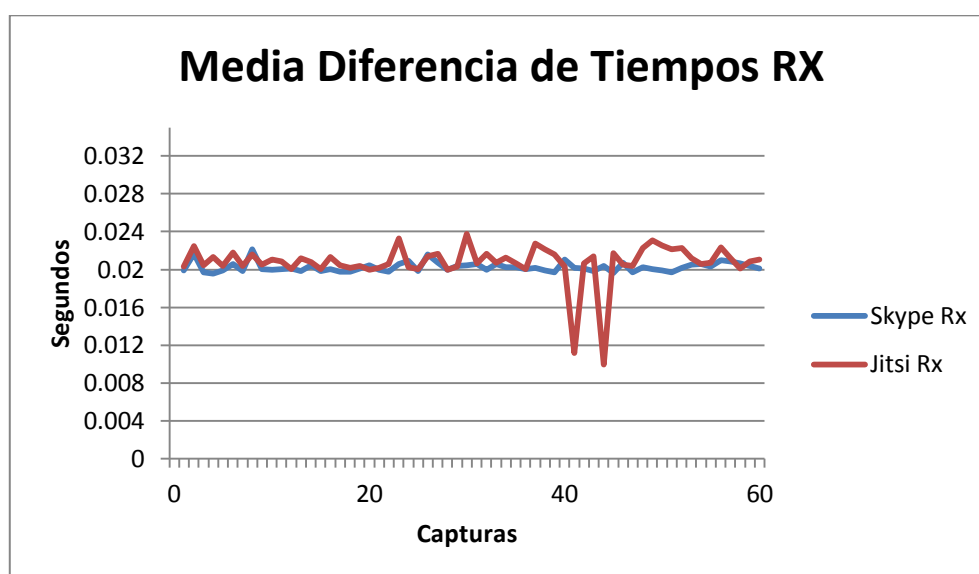


Figura 5.29: Media de la diferencia de tiempos en TX.

5.3.3.5 Desviación Estándar de la Diferencia de Tiempos

En las siguientes gráficas (figuras 5.30 y 5.31) podemos ver la desviación estándar de diferencia de tiempos entre paquetes consecutivos en origen y en destino, para cada una de las dos aplicaciones analizadas.

Para cada uno de los programas la desviación estándar de la diferencia de tiempos es muy similar en transmisión y recepción. Se puede observar que se producen grandes variaciones en las gráficas, pero al tratarse de unidades tan pequeñas, la diferencia en la desviación estándar de la diferencia de tiempos en cada una de las capturas es muy poco notable.

En transmisión:

- Skype: Toma valores entre 0,018 segundos y 0.13 segundos.
- Jitsi: Toma valores entre 0,021 segundos 0,13 segundos.

En recepción:

- Skype: Toma valores entre 0,006segundos y 0.13 segundos.
- Jitsi: Toma valores entre 0,016 segundos 0,23 segundos, siendo este último valor un dato puntual muy atípico con respecto a los demás.

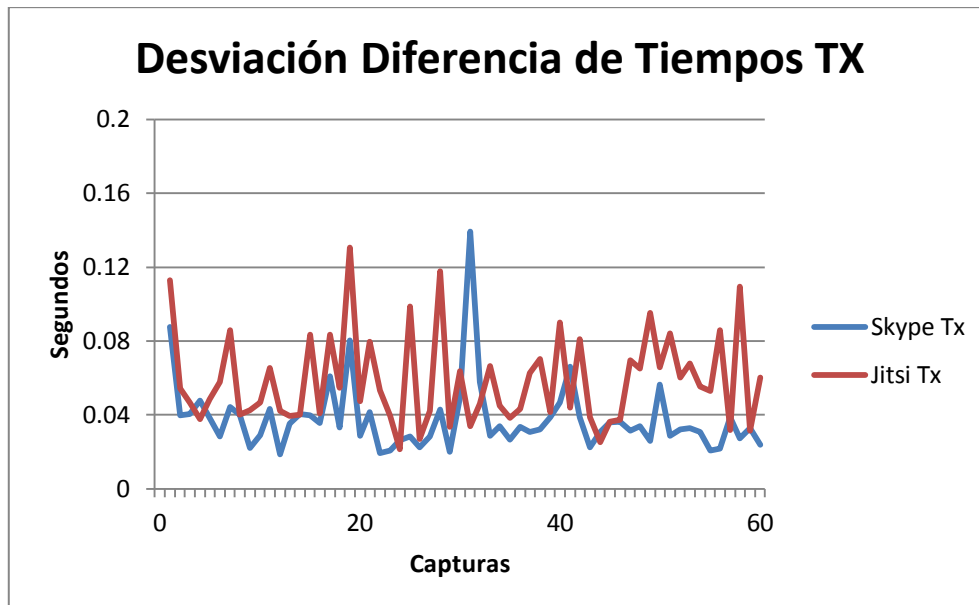


Figura 5.30: Desviación estándar de la diferencia de tiempos en RX.

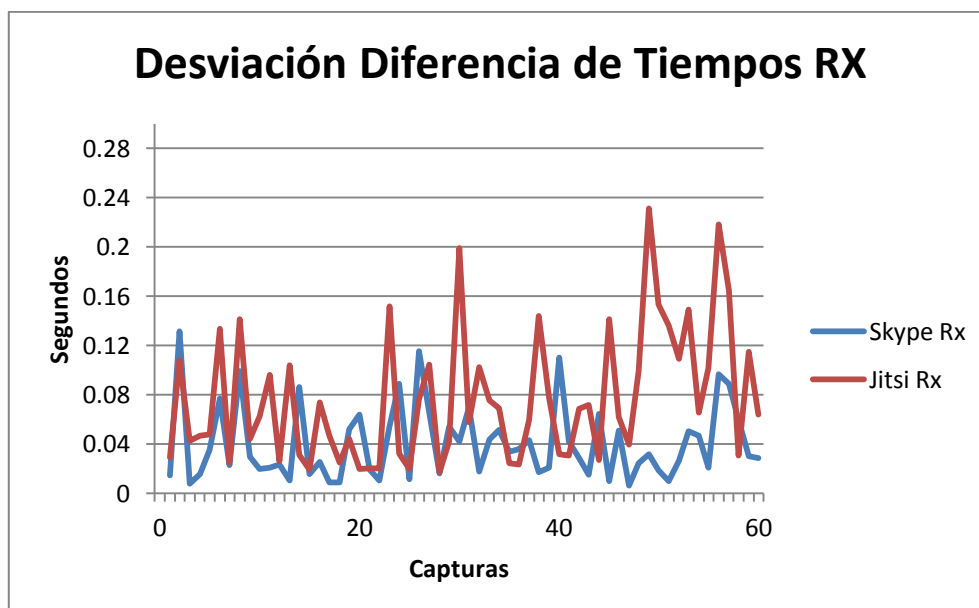


Figura 5.31: Desviación estándar de la diferencia de tiempos en RX.

5.3.3.6 Pérdida de Paquetes

El principal problema de la voz IP es que las aplicaciones están basadas en tiempo real y usan el protocolo UDP. Este protocolo de transporte es poco tolerante a la pérdida de paquetes ya que no tiene posibilidad de retransmisión. Por ello la pérdida de paquetes supone una disminución de la calidad en la conversación.

La calidad de servicio ofrecida por una de estas aplicaciones no se ve disminuida con un porcentaje de pérdidas inferior al 5% [CINI01], más de esto supone una gran degradación en la calidad de la conversación.

En la figura 5.32 podemos ver la pérdida de paquetes producida en cada una de las capturas para cada uno de los programas.

Los valores que se obtienen no superan el 3,24% de paquetes perdidos por lo no se supera en ningún caso el requisito de 5% para que sea aceptable la pérdida de paquetes.

En este caso y refiriéndose a ambos programas no se observa una monotonía en los valores de las distintas capturas, produciéndose las siguientes variaciones:

- Skype: Se tienen valores entre 0% y 2,16%.
- Jitsi: Se tienen valores entre 0,006% y 3,24%.

Como se puede observar el rango es mayor en jitsi que en skype.

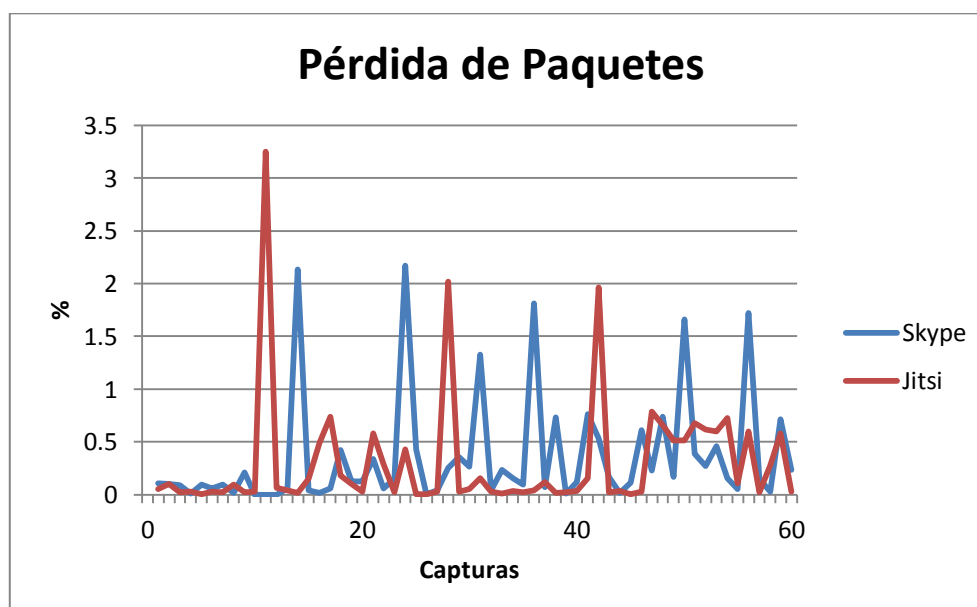


Figura 5.32: Pérdida de paquetes.

5.3.3.7 Ancho de Banda No VoIP

En este apartado analizamos el ancho de banda no perteneciente a las aplicaciones VoIP bajo estudio que podría afectar al desempeño final (figura 5.33 y 5.34).

Tanto en transmisión como en recepción el ancho de banda utilizado por otras aplicaciones distintas a las de VoIP es muy variable, debido a que las pruebas están realizadas en una red wifi de la universidad a la que se pueden conectar todos los alumnos.

En transmisión:

- Skype: Toma valores entre 6,97 Bytes y 14237,4 Bytes.
- Jitsi: Toma valores entre 66,61 Bytes y 14507,5 Bytes.

En recepción:

- Skype: Toma valores entre 13,50 Bytes y 2592, 85 Bytes.
- Jitsi: Toma valores entre 138,67 Bytes y 3095,54 Bytes.

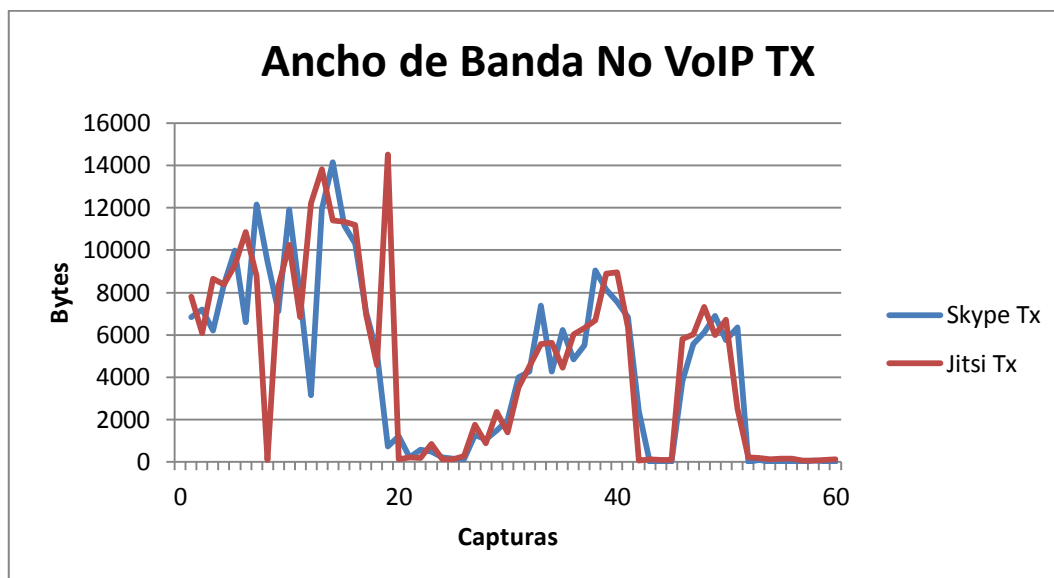


Figura 5.33: Ancho de banda no VoIP en TX.

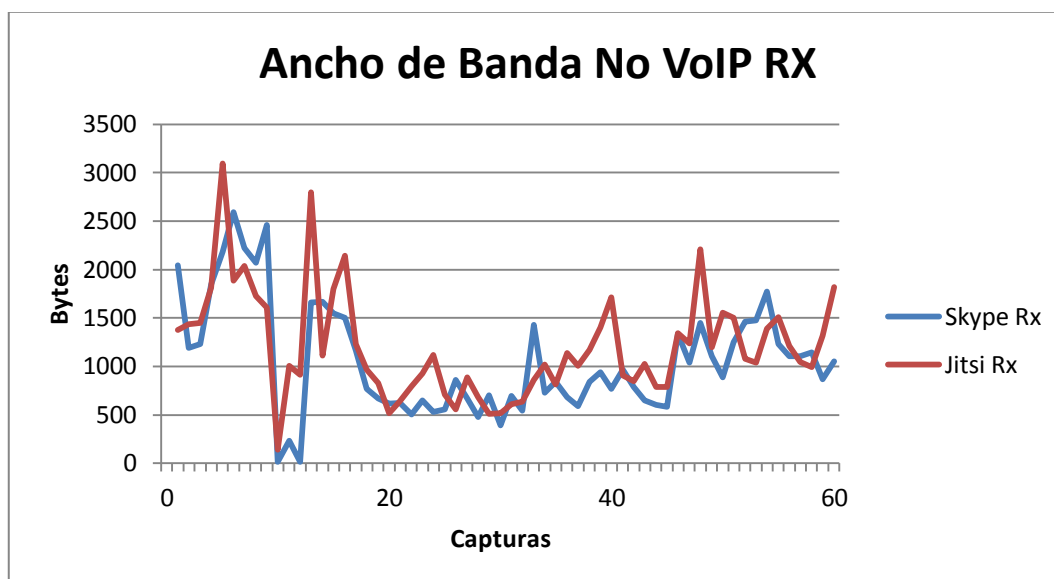


Figura 5.34: Ancho de banda no VoIP en TX.

5.3.3.8 Retardo de la Red

El retardo es también otro factor fundamental que deriva de la calidad de la transmisión y de presentarse, el usuario percibiría que en su conversación lo que dice se superpone con lo que escucha. En caso de que el retraso sea mayor a 300ms, las conversaciones pueden llegar a ser muy molestas, razón por la cual, la recomendación G.114 de la UIT-T [ITU03] establece que el retraso en ida-vuelta no puede ser mayor a 300ms.

Antes de la realización de cada una de las capturas se realizó un ping al otro extremo para obtener el retardo de red en cada caso. Los resultados obtenidos se pueden observar en la siguiente gráfica (figura 5.35).

Se obtienen valores comprendidos entre los 1 ms y los 10 ms, siendo bastante menores de 300 ms, por lo cual se satisface la recomendación G.114 de la UIT-T y por tanto las necesidades de los usuarios.

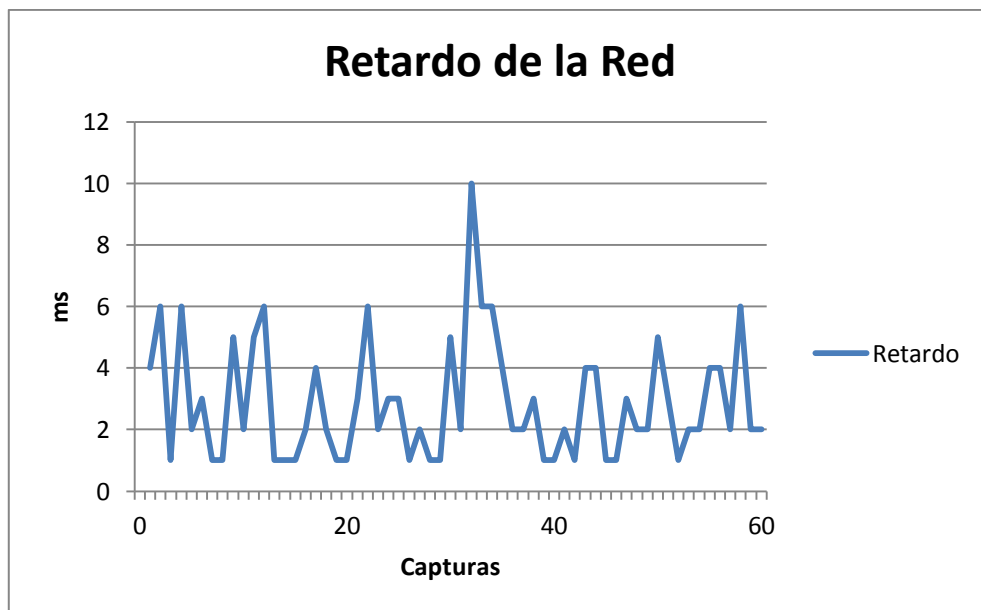


Figura 5.35: Retardo de la red.

CAPITULO 6

Conclusiones

En este trabajo se han obtenido una serie de parámetros de rendimiento y calidad de servicio sobre una red inalámbrica 802.11. Para ello, se han utilizado unas herramientas que han permitido obtener una serie de medidas y graficas para valorar las prestaciones de dicha red en términos de QoS y QoE.

En las mediciones realizadas, los parámetros QoS que han sido considerablemente diferentes, y que por tanto, se puede decir que más incidencia tienen en la calidad de conversación son el tamaño medio de paquete y el ancho de banda utilizado. En ambos casos Jitsi presenta valores mayores que Skype porque lo que podemos definir a Jitsi como la mejor aplicación frente a Skype. Los demás parámetros son similares entre ambas aplicaciones, e incluso muy variantes pero dentro de los valores aceptables.

Al realizar las encuestas y obtener los resultados de las mediciones de QoE, nos encontramos que la aplicación mejor valorada por los usuarios es Skype. La diferencia es mínima, pero Skype ha sido mejor valorada en el caso de la calidad de la señal vocal y el esfuerzo de comprensión en Jitsi es ligeramente superior a Skype. Como pudimos ver durante la realización de esta evaluación la kurtosis y el sesgo muestran que ambas aplicaciones tienen una valoración muy semejante.

Por esto podemos decir que no existe una clara relación entre los resultados obtenidos en las pruebas de QoS y los obtenidos en las pruebas de QoE. Dado que Jitsi presenta un mayor ancho de banda, sin embargo, es Skype la que esta mayor valorada por los usuarios.

Todo esto nos lleva a la conclusión de que el ancho de banda utilizado por la aplicación no es proporcional a las valoraciones de los usuarios. Por esto cabe destacar que también influyen parámetros en las mediciones de QoE como puede ser la utilización o el género. Estos parámetros no modifican los valores medidos para QoS en la transmisión de la voz. Sin embargo si son valorados subjetivamente y en los resultados de las encuestas queda demostrado que existe una ligera dependencia con ellos.

Las comunicaciones de VoIP en las redes inalámbricas tienen límites abruptos, esto quiere decir una vez que se supera el límite de capacidad, una comunicación siguiente queda sin ninguna probabilidad de ser soportada. Por esto si se dispone de una red inalámbrica con soporte de Calidad de Servicio para aplicaciones VoIP, entonces es factible implementar comunicaciones mediante dispositivos capaces de generar tráfico de voz sobre IP cuando perciben una conexión WiFi, aportando movilidad, productividad y ahorro de costos a los usuarios finales. Todo indica que el futuro de la telefonía tradicional se encuentra fuertemente amenazado por esta tecnología que cada día gana más adeptos.

ANEXO A

Métodos Subjetivos para Audio

En la recomendación P.800 [ITUP96] se describen los distintos métodos separados en dos grandes categorías, test de conversación y test en los que solo se escucha (*Listening test*).

Test de conversación

En este tipo de test la idea es reproducir en un laboratorio una conversación telefónica con las condiciones reales de servicio. Para eso se colocan dos personas en cabinas acústicamente aisladas. La recomendación especifica la dimensión de las cabinas, la decoración, la atenuación al sonido externo, la densidad espectral de ruido ambiente, etc. Al final de cada conversación los participantes le asignan un valor a la calidad de acuerdo a la figura A.1.

Excelente	5
Buena	4
Razonable	3
Pobre	2
Mala	1

Figura A.1: Valores de calidad según ACR

A la media aritmética de la colección de resultados se le llama valor medio de opinión de la conversación (*mean conversation-opinion score*) y se representa por el símbolo MOSc. Si bien este test es lo más adecuado para asignar valores subjetivos de calidad a conversaciones telefónicas los requisitos técnicos son inalcanzables para nosotros, así como la implementación de las conversaciones complicada. Por esto optamos en utilizar el segundo tipo de test, los *Listening test*.

Listening test-Absolute Category Rating (ACR)

Estos test consisten en que distintas personas escuchen muestras de audio (frases cortas) y les asignen un valor a la calidad utilizando la escala presentada anteriormente. El nombre de *absolute category rating* viene de que las personas juzgan la calidad solo escuchando la señal "distorsionada" (ya transmitida) y no tienen acceso a la señal original. En este método no se espera el mismo realismo que en los test de conversación (no se está simulando una conversación) y por lo tanto las restricciones son menos severas. Al igual que en el otro método se especifica el lugar en que se deben realizar los test y la calidad del sistema de reproducción y grabación de las muestras de audio.

Las muestras de audio consisten en cierto número de frases simples, con sentido y de corta duración. Las frases se agrupan de manera aleatoria de forma que no tengan sentido entre sí. La duración debe ser de entre 2 y 3 segundos.

La persona escucha las distintas muestras de audio, separadas entre sí por unos diez segundos. En este tiempo el sujeto debe dar un valor de calidad a la muestra que acaba de escuchar, siguiendo la escala antes mencionada. A la media aritmética de los resultados de las distintas personas se denomina resultado de opinión media (*mean opinion score*) MOS.

Listening test-Degradation Category Rating (DCR)

Este método es una modificación del anterior, las muestras se presentan en parejas, separadas entre sí por 1 segundo, donde la primera es la señal de referencia (sin deterioro) y la segunda es la señal ya transmitida. Una vez que escucharon ambas los individuos tienen que asignarle un valor a la degradación sufrida de acuerdo a la siguiente escala (figura A.2).

La degradación es inaudible	5
La degradación es audible pero no molesta	4
La degradación es un poco molesta	3
La degradación es molesta	2
La degradación es muy molesta	1

Figura A.2: Valores de degradación de calidad según DCR

El valor medio de los resultados obtenidos es el DMOS (*degradation mean opinion score*).

Listening test-Comparison Category Rating (CCR)

Este método es muy similar al anterior. Las muestras se presentan en parejas, señal de referencia y señal distorsionada. Pero a diferencia del DCR donde la primera señal es siempre la de referencia, en el CCR el orden es aleatorio. Las personas asignan un valor a la calidad de la segunda señal comparada con la primera de acuerdo a la siguiente escala (figura A.3).

Mucho mejor	3
Mejor	2
Apenas mejor	1
Igual	0
Apenas peor	-1
Peor	-2
Mucho peor	-3

Figura A.3: Valores de calidad según CCR

El valor medio de los resultados es el CMOS (*comparison mean opinion score*).

La ventaja de los dos últimos métodos (DCR y CCR) es que permiten evaluar la influencia que tiene el sistema de transmisión en la degradación de la calidad.

ANEXO B

E-Model

El E-Model, abreviado de *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) *Computational Model*, definido en el ETSI *Technical Report* ETR 250 [ETSI96] y luego estandarizado en la *ITU-T Recommendation G.107* [ITUT05], surge como una herramienta para la planificación de redes telefónicas híbridas (mezcla de redes de circuitos conmutados (SCN) y de paquetes conmutados (PSN)). Esta herramienta permite a los proyectistas ver como los distintos parámetros de transmisión afectan la calidad que percibirán los usuarios finales. Si bien no existe un acuerdo para esto [ITUT05], el E-Model está siendo ampliamente utilizado como un método no intrusivo para estimar la calidad de servicio (QoS) en aplicaciones de voz sobre IP (VoIP).

El principio fundamental del E-Model se basa en un concepto introducido por J. Allnatt: “Factores psicológicos en la escala psicológica son aditivos”; esto simplifica bastante lo que al principio podría ser una relación muy compleja entre los distintos factores que determinan la calidad. La salida del E-Model es el factor de clasificación de la transmisión (*transmission rating factor*) R, el cual se calcula como:

$$R = R0 - Is - Id - Ie-eff + A \quad (6)$$

Donde:

- **R0** (relación señal a ruido básica, en el punto de 0 dBr): representa los efectos del ruido. Depende de los distintos ruidos presentes, desde el ruido ambiente hasta el ruido introducido por los circuitos que forman la red.
- **Is** es la suma del deterioro que se produce de forma simultánea con la transmisión de la voz (ruido de cuantización, sidetone, nivel de recepción de la voz). Tanto este factor como el anterior están determinados por parámetros de la telefonía convencional.
- **Id** es la suma del deterioro que se produce de forma retardada. Está determinado por el eco del lado receptor y transmisor y el retardo absoluto boca-oído. Este factor además del eco da cuenta de la pérdida de interactividad que sufren los usuarios por retardos muy grandes. Los parámetros que influyen son el retardo medio de ida, ida y vuelta, y el retardo desde el lado receptor hasta el punto en la conexión donde se produce el acoplamiento de señales como fuente de eco. Por interesarnos en una conexión sobre IP exclusivamente, tomamos este último igual que el retardo medio de ida.
- **Ie-eff** tiene en cuenta la distorsión de la voz producida por el códec que se utilice y por la pérdida de paquetes. Se calcula como:

$$I_{e-eff} = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{P_{pl}}{\frac{P_{pl}}{BurstR} + B_{pl}}$$

Donde:

- ✓ **Ie** representa la distorsión introducida por el códec, y está cuantificada de forma empírica para distintos códecs, en [ITUT02] se encuentran valores para los diferentes códecs.
- ✓ **Ppl** es la probabilidad de pérdida de paquetes, que incluye tanto los paquetes perdidos en la red (por ejemplo descartados en las colas de los routers), como los paquetes perdidos en el buffer del códec debido al jitter.
- ✓ **Bpl** (*Packet-loss Robustness*) es una medida de la robustez del códec frente a la pérdida de paquetes, depende de si el códec implementa algún algoritmo de reconstrucción. En [ITUT02] se encuentran valores para distintos codecs.
- ✓ **BurstR** (*Burst Ratio*) permite incluir el efecto de pérdidas en ráfagas. Se define como el cociente entre el largo medio de las ráfagas observadas en la secuencia de llegada sobre el largo medio de ráfagas esperado suponiendo pérdidas independientes. Un valor de uno implica pérdidas independientes mientras que un valor mayor implica pérdidas en ráfagas.

- **A** (factor de expectativa o ventaja) se debe a los diferentes niveles de exigencia de acuerdo al sistema de comunicación utilizado (por ejemplo teléfono cableado $A=0$, celular $A=10$)

El E-Model será utilizado en una red de conmutación de paquetes, simplificándose así el modelo implementado. De esta forma el resultado sólo dependerá de los parámetros de transporte de la red IP.

Para lograr esta simplificación se tomaron los valores por defecto dados en [ITUT05] para los parámetros clásicos de una red SCN, quedando como variables del modelo la probabilidad de pérdida de paquetes, el *Burst Ratio*, el retardo absoluto de ida y vuelta, y los parámetros dependientes del códec (**Ie** y **Bpl**).

Una vez obtenido el valor **R**, es posible mapearlo a parámetros utilizados en las medidas subjetivas de calidad como el **MOSc** (*Conversational MOS*).

Si bien el E-Model es atractivo para la predicción de calidad presenta varias limitaciones. Está basado en fórmulas empíricas y por lo tanto es aplicable solamente a un cierto conjunto de códecs y condiciones de la red. Para cada configuración es necesaria la validación del modelo de forma experimental, comparando los resultados con medidas subjetivas de calidad (costosas en tiempo y recursos). Actualmente ha sido verificado para cierto rango de valores de los parámetros de entrada [ITUT05].

ANEXO C

Instalación de los Programas

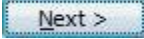

C.1 Instalación Wireshark

1. Una vez que se obtiene el instalador de la aplicación desde el siguiente link, <http://www.wireshark.org/download.html> se ejecuta el archivo wireshark-setup-1.0.0.exe (en este caso la versión es 1.0.0) para iniciar la instalación. Es importante mencionar que las librerías necesarias como WinPcap están incluidas en el instalador.

Se muestra la siguiente pantalla del asistente (figura C.1):



Figura C.1: Instalación Wireshark 1.

2. Presionando el botón  se despliega la especificación de la licencia y al presionar el botón  se despliega la siguiente ventana (figura C.2) para seleccionar los componentes que se desean instalar.

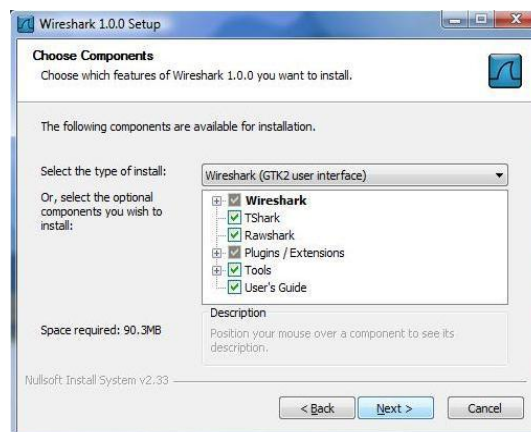


Figura C.2: Instalación Wireshark 2.

Para esta instalación se seleccionarán los siguientes:

- Wireshark, GUI del analizador de protocolos.
 - TShark, línea de comando del analizador de protocolos. *Plugins/Extensions*, especificar *plugins* y extensiones para TShark y Wireshark en este punto deberá seleccionar todos los ítems listados.
 - Tool, ofrece herramientas adicionales para aplicar a los archivos que contienen los paquetes para su análisis seleccionar todas las ofrecidas.
 - *Editcap*, para manipular los archivos.
 - *Text2Pcap*, convierte un archivo ASCII en formato libpcap.
 - *Mergecap*, permite obtener un archivo desde la combinación de 2 o más archivos de paquetes capturados.
 - *Capinfos*, es un programa que proporciona información de los paquetes capturados.
3. La siguiente pantalla (figura C.3) permite seleccionar si se desea crear un acceso directo a la aplicación en el escritorio, crear un menú de inicio y visualizar el icono en la barra de tareas. Adicionalmente se tiene la posibilidad de permitir, que los archivos generados por otros analizadores de tráfico puedan ser visualizados con Wireshark (opción que debemos seleccionar).

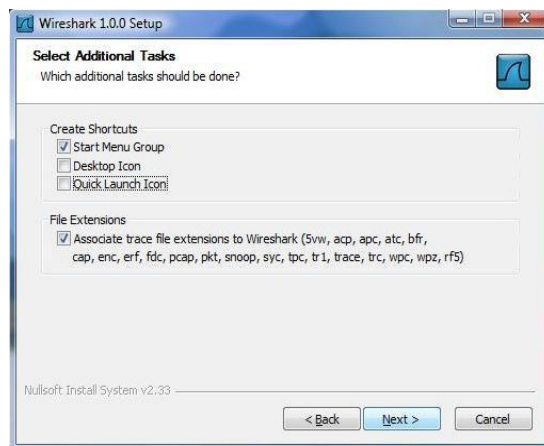


Figura C.3: Instalación Wireshark 3.

4. A continuación se deberá seleccionar el directorio donde se instalará la aplicación, en este punto se acepta el indicado por defecto en el instalador.

El instalador de WireShark contiene una versión de WinPcap se verifica si se debe actualizar versión en el PC donde se está realizando la instalación y ofrece la opción de agregar un servicio para que usuarios que no tiene privilegios de administrador pueda capturar paquetes, como se observa en la figura C.4. En este punto se seleccionan ambos ítems.

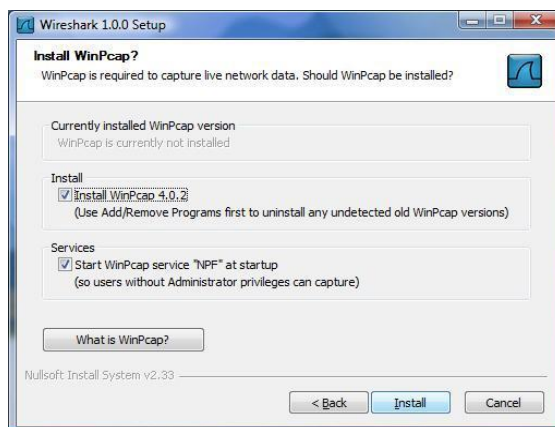



Figura C.4: Instalación Wireshark 4.

Se presiona el botón  para iniciar el proceso de instalación. Aparecerá una ventana como la figura C.5.

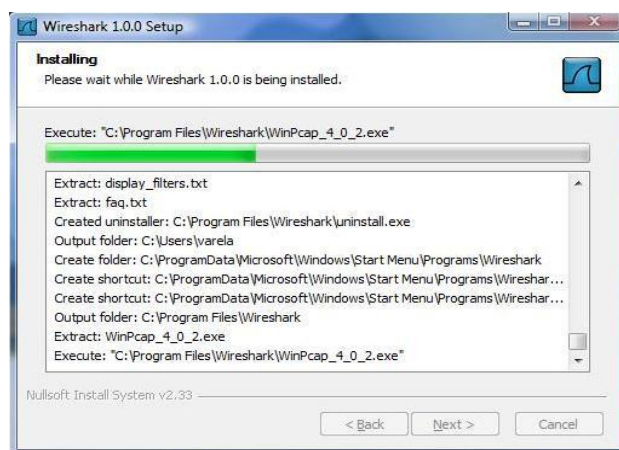
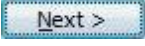


Figura C.5: Instalación Wireshark 5.

- Como se mencionó anteriormente el instalador de WireShark para Windows permite hacer la instalación de las librerías, *plugins*, servicios, etc. Particularmente para el caso de WinPcap se interrumpe la instalación en el punto que muestra la pantalla arriba e inicia el asistente para la instalación de WinPcap. Se debe seleccionar  hasta finalizar la instalación, tal y como se muestra en la figura C.6:

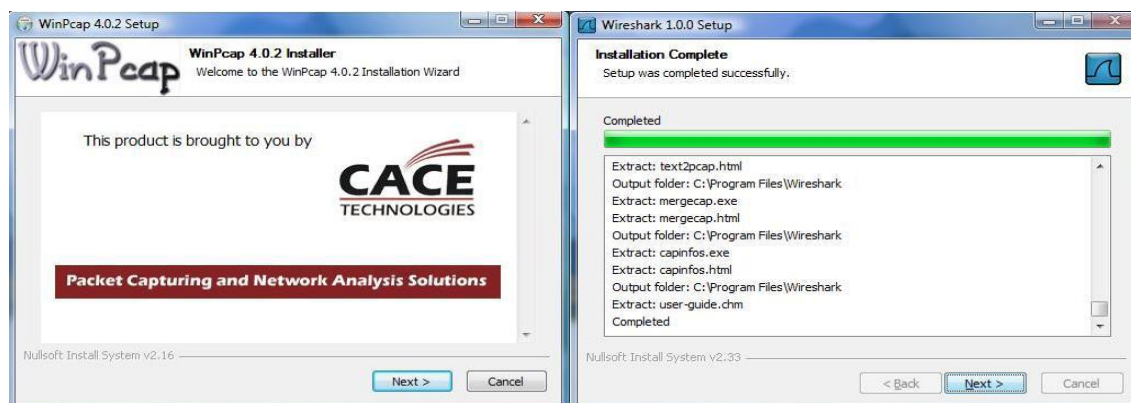


Figura C.6: Instalación Wireshark 6.

La siguiente pantalla (figura C.7) indica que la instalación ha finalizado exitosamente.



Figura C.7: Instalación Wireshark 7.

C.2 Instalación Skype

Como Skype es una aplicación gratuita se puede descargar directamente desde la página oficial de dicha aplicación, por lo que solamente hay que seguir el siguiente link:

<http://www.skype.com/intl/es/download/skype/windows/downloading/>

Es posible que tu navegador no comience la descarga inmediatamente. Va a estar esperando que confirmes la descarga desde la barra amarilla que se mostrará en la parte superior. (Ver figura C.8)



Figura C.8: Instalación Skype 1.

Haz click sobre esta barra y elige la opción Descargar Archivo. Inmediatamente se mostrará el diálogo de descarga, tal como se muestra en la figura C.9.

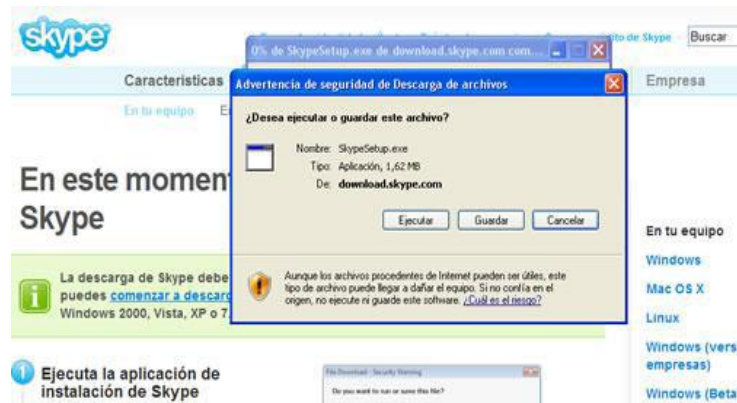


Figura C.9: Instalación Skype 2.

Elije Ejecutar y acto seguido comenzará la descarga. (Figura C.10)



Figura C.10: Instalación Skype 3.

Al finalizar la descarga, se lanzará la aplicación de instalación de Skype. Deberás elegir el idioma para que el instalador de Skype comience a descargar e instalar la aplicación en tu PC. (Figura C.11).



Figura C.11: Instalación Skype 4.

Una vez finalizado el proceso, la instalación te propone crear una nueva cuenta, tal y como se muestra en la figura C.12. Ingresas los datos solicitados y haz click sobre Acepto Crear una Cuenta. Si ya tienes una cuenta de Skype, debe presionar en la opción Iniciar Sesión.



Figura C.12: Instalación Skype 5.

Una vez creada la cuenta aparecerá una ventana como la que se observa en la figura C.13, ingresa los datos solicitados para completar tu perfil y confirma haciendo click en Aceptar.

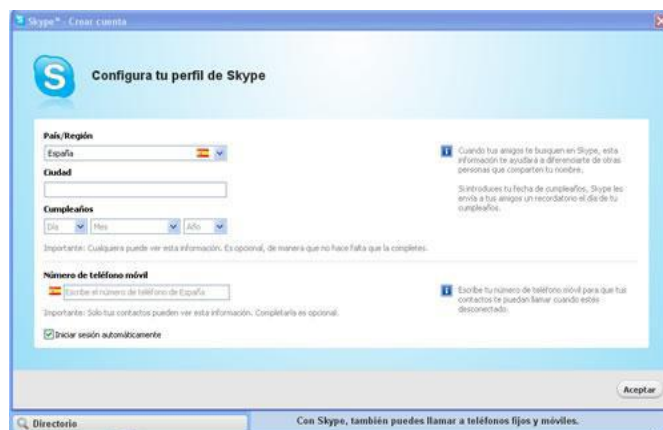


Figura C.13: Instalación Skype 6.

En la Bienvenida a Skype (figura C.14) vas a poder acceder a una Guía para aprender a utilizarlo, y a una herramienta para chequear que los parlantes y micrófonos de tu PC funcionen correctamente.



Figura C.14: Instalación Skype 7.

Para la realización de este proyecto además de la instalación de Skype se ha tenido que realizar la siguiente configuración.

Pinchar en la pestaña *tools > option*, y aparecerá una ventana como la que se observa en la figura C.15.

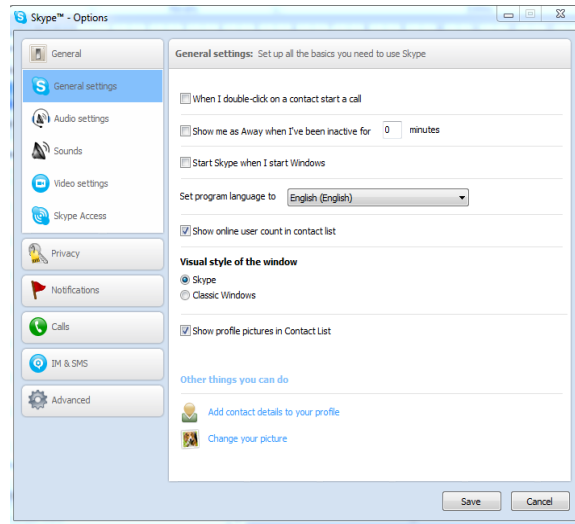


Figura C.15: Instalación Skype 8.

Pinchamos en *Audio settings* y tendremos una ventana igual a la figura C.16. Elegimos en la opción del micrófono “Mezcla Estéreo”.

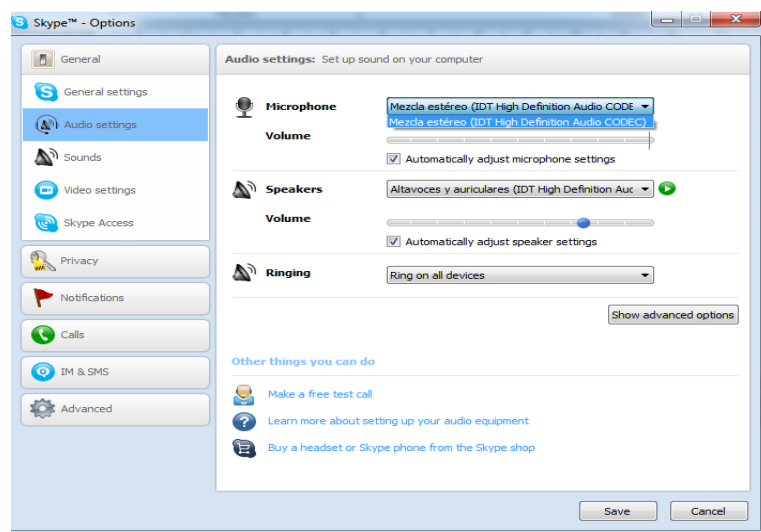


Figura C.16: Instalación Skype 9.

C.3 Instalación Jitsi

Como Jitsi es una aplicación de código abierto se puede descargar directamente desde la página oficial de dicha aplicación, por lo que solamente hay que seguir el siguiente link:

<http://download.jitsi.org/jitsi/windows/>

Al ejecutar el instalador nos aparecerá la siguiente ventana (figura C.17).



Figura C.17: Instalación Jitsi 1.

Ahora aparecerá la siguiente ventana (figura C.18), en la que se debe señalar la opción de aceptación de los términos de licencia y pinchar en Next

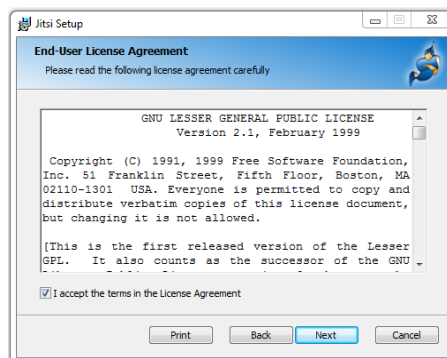


Figura C.18: Instalación Jitsi 2.

En la siguiente ventana se debe pulsar Next y aparecerá la siguiente ventana (figura C.19), en la que se deben marcar las opciones que se observan en la imagen y volver a pinchar en Next.

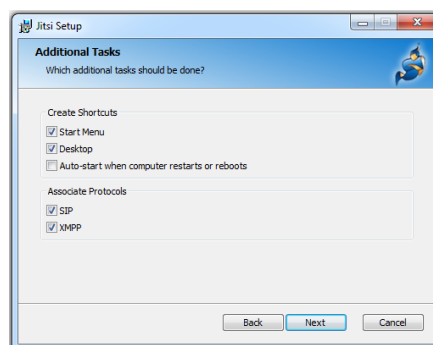


Figura C.19: Instalación Jitsi 3.

En la ventana que aparece a continuación (figura C.20) pulsar en *Install*.

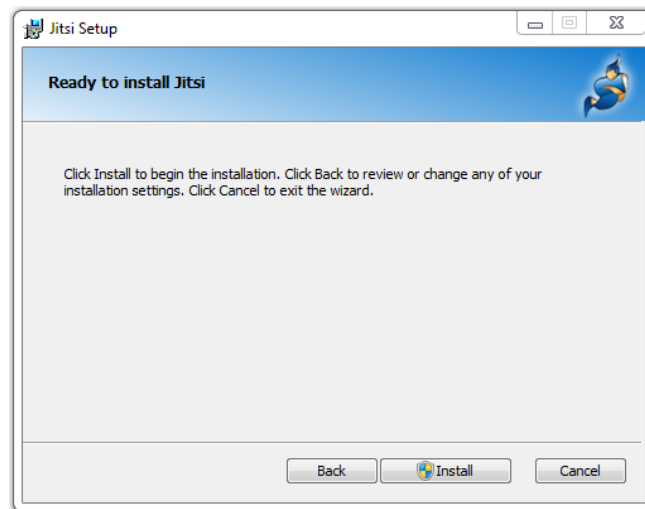


Figura C.20: Instalación Jitsi 4.

Con estos pasos ya se habrá instalado correctamente Jitsi.

Para la realización de este proyecto además de la instalación de Jitsi se ha tenido que realizar la siguiente configuración.

Pinchamos en *Herramientas > opciones*, y en la opción de Audio se eligen los parámetros tal y como aparecen en la figura D.21.

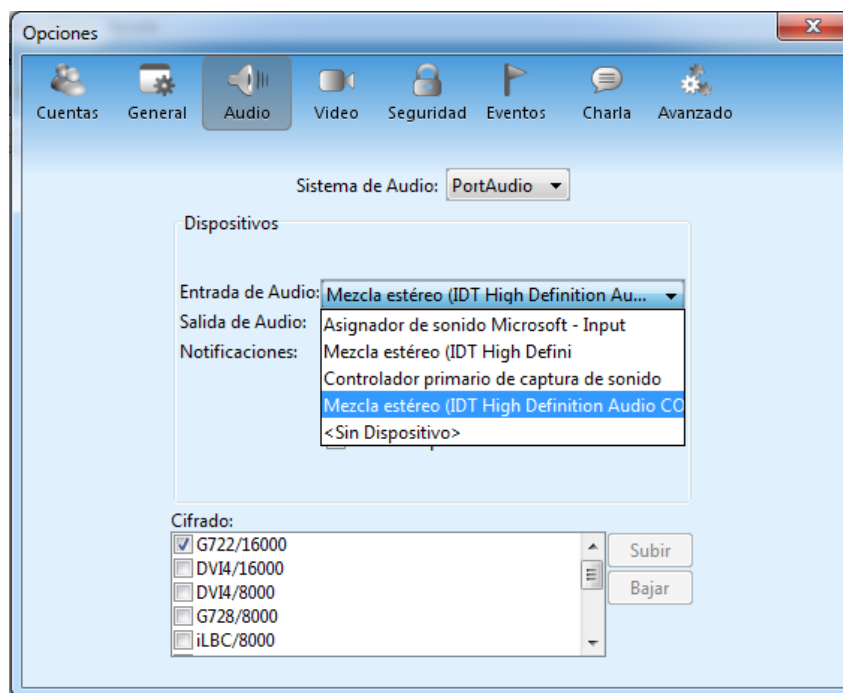


Figura C.21: Instalación Jitsi 5.

ANEXO D

Cuestionario para el Análisis de QoE

ID Cuestionario:

SOFTWARE:

ORDEN GRABACIÓN:

Códec:

Edad:

Sexo: Hombre Mujer

Valore según la escala la calidad de la señal vocal.

Excelente
Buena
Regular
Mediocre
Mala

¿Tuviste dificultades para hablar u oír por este enlace? Sí No

En caso afirmativo, indique cuál:

– poco volumen
– ruido o zumbido
– distorsión
– variaciones de nivel, interrupciones
– diafonía
– eco
– corte completo
– otras (especifíquense):

Esfuerzo necesario para comprender el significado de las frases.

Audición perfecta; ningún esfuerzo
Cierta atención es necesaria; ningún esfuerzo apreciable
Esfuerzo moderado
Esfuerzo considerable
Significado incomprensible, aun con el mayor esfuerzo

¿Qué grabaciones has escuchado con mayor calidad?

Grabaciones Hombre
Grabaciones Mujer
Ambas calidad similar

Indique con qué frecuencia utiliza usted aplicaciones de VoIP(similares a las utilizadas en estas pruebas).

Muy a menudo
A menudo
De vez en cuando
Alguna vez
Nunca

Indique con qué frecuencia utiliza usted Internet.

Muy a menudo
A menudo
De vez en cuando
Alguna vez
Nunca

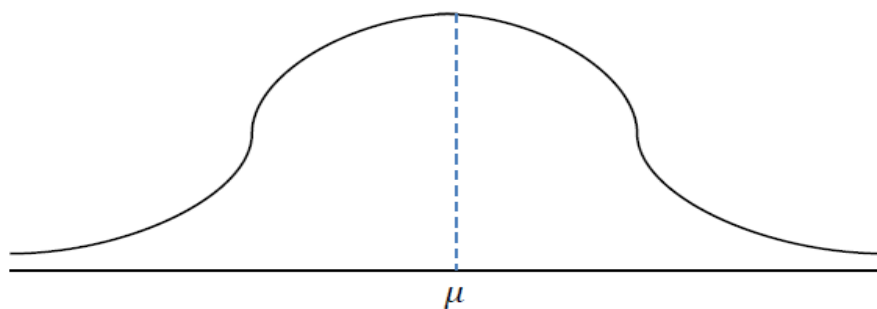
Demostración Intervalo de Confianza y Tabla t-student

E.1 Construcción de un Intervalo de Confianza con α^2 desconocida.

- Primero buscamos intervalos simétricos en probabilidad

$$\Pr(\mu \in (a_{x_1, \dots, x_n}, b_{x_1, \dots, x_n})) = (1 - \alpha) \quad (8)$$

$$\Pr(\mu > b_{x_1, \dots, x_n}) = \Pr(\mu < a_{x_1, \dots, x_n}) = \alpha/2 \quad (9)$$

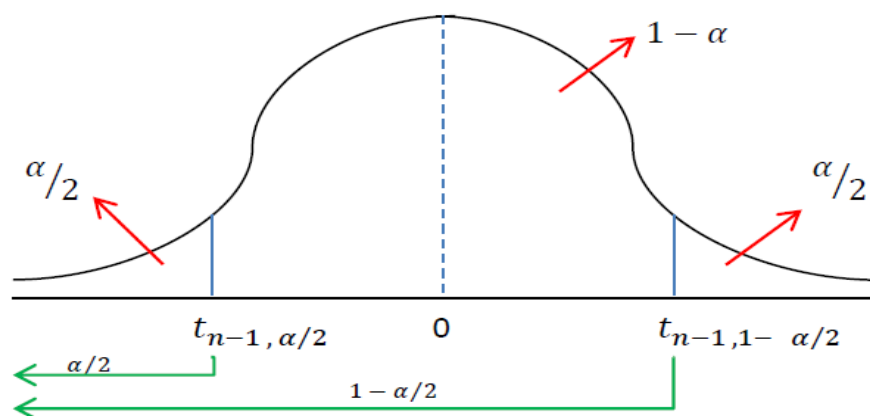


- Buscamos un estimador de μ con distribución conocida para poder calcular probabilidades. En este caso el estimador será:

$$\frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \sim t_{n-1} \quad (10)$$

- Fijado $1 - \alpha$. Sabemos:

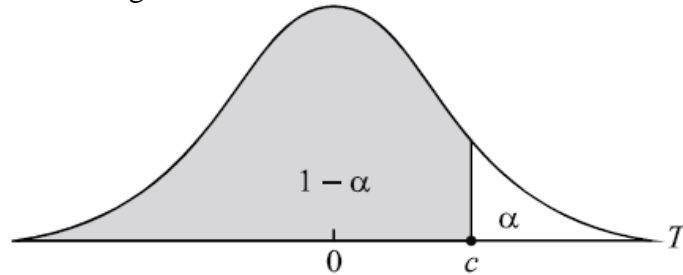
$$t_{n-1, \alpha/2} = -t_{n-1, 1 - \alpha/2} \quad (11)$$



$$\begin{aligned}
& \Pr\left(t_{n-1, \alpha/2} \leq \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \leq t_{n-1, 1-\alpha/2}\right) = 1 - \alpha \quad \Rightarrow \\
& \Rightarrow \Pr\left(t_{n-1, \alpha/2} S/\sqrt{n} \leq \bar{X} - \mu \leq t_{n-1, 1-\alpha/2} S/\sqrt{n}\right) = 1 - \alpha \quad \Rightarrow \\
& \Rightarrow \Pr\left(-\bar{X} + t_{n-1, \alpha/2} S/\sqrt{n} \leq -\mu \leq -\bar{X} + t_{n-1, 1-\alpha/2} S/\sqrt{n}\right) = 1 - \alpha \quad \Rightarrow \\
& \Rightarrow \Pr\left(\bar{X} - t_{n-1, \alpha/2} S/\sqrt{n} \geq -\mu \geq \bar{X} - t_{n-1, 1-\alpha/2} S/\sqrt{n}\right) = 1 - \alpha \quad \Rightarrow \\
& \Rightarrow \Pr\left(\mu \in \left(\bar{X} - t_{n-1, 1-\alpha/2} S/\sqrt{n}, \bar{X} + t_{n-1, 1-\alpha/2} S/\sqrt{n}\right)\right) = 1 - \alpha \\
& \quad \boxed{\left(\bar{X} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} S/\sqrt{n}\right)} \quad (12)
\end{aligned}$$

E.2 Tabla t-student

La tabla da áreas $1 - \alpha$ y valores $c = t_{1-\alpha,r}$ donde, $P [T \leq c] = 1 - \alpha$ y donde T tiene distribución t -Student con r grados de libertad.



k	$t_{0.75}$	$t_{0.80}$	$t_{0.85}$	$t_{0.90}$	$t_{0.95}$	$t_{0.975}$	$t_{0.99}$	$t_{0.995}$
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Referencias

- [ADMA08] Adoracion Marin Soler. *Analisis de la Calidad Experimentada en Aplicaciones de Voz sobre IP de Libre Distribucion*. Septiembre 2008.
- [EEIV08] *Evaluación experimental de la capacidad de IEEE 802.11b para soporte de VoIP*. Guefry Leider Agredo Méndez, Jaime Andrés Gaviria Molano. Agosto 2006
- [JOKR07] *Medida de la calidad de voz en redes IP*. José Joskowicz, Rafael Sotelo Bovino. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, ISSN 1510-7450, N°. 5, 2007
- [JUZE10] Juan Gonzalez Zepeda. *Dualidad y Calidad de Servicio en Redes Inalambricas*. Abril 2010.
- [ITUR02] ITU-R, Recommendation BT.500-11, Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, 2002.
- [ITUP96] ITU-P, Recommendation P.800, Methods for subjective determination of transmission quality, 1996.
- [ITUT03] ITU-T, Recomendación G.114, "Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales. Tiempo de transmisión en un sentido", Mayo 2003.
- [ITUT05] ITU-T, Recommendation G.107, "The E-model, A Computational Model for Use in Transmission Planning", Marzo 2005.
- [ITUT05] ITU-T Recommendation P.862, "PESQ towards Measuring Speech Intelligibility with Vocoders". Abril 2005.
- [ITUT06] ITU-T, Recommendation G.723.1, "Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s", Mayo 2006.
- [ITUT08] ITU-T Recommendation G.729, "Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP)". <http://www.itu.int>
- [ITUT08] ITU-T, Recommendation G.729, Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP) . 2008.
- [ITUT09] ITU-T, Recommendation H.323, "Packet-based multimedia communications systems". Diciembre 2009.
- [ITUT12] ITU-T, Recommendation G.168, "Transmission systems and media, digital systems and networks". Digital network echo cancellers. Febrero 2012.
- [ITUT88] ITU-T, Recommendation G.722, "7 kHz audio-coding within 64 kbit/s ". Noviembre 1988.
- [ITUT90] ITU-T, Recommendation G.726, "40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)", Diciembre 1990 .

[ITUT93] ITU-T, Recommendation G.165, “Características generales de las conexiones y circuitos telefónicos internacionales”, Marzo 1993.

[ITUT98] ITU-T Recommendation P.800, “Methods for Subjective determination of Transmission”. Junio 1998.

[RFC4566] M. Handley, V. Jacobson y C. Perkins “SDP: Session Description Protocol”, July 2006.

[SILK09] Skype *SILK Data Sheet*, Retrieved 2009-09-01.

[SKYP12] Skype. <http://www.skype.com/intl/es/home.2012>.

[WIKI12] PBX, Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/PBX.2012>.

[WIKI12] PSTN, Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/PSTN.2012>.