DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TEMA: ANÁLISIS DE MÉTRICAS DE DESEMPEÑO DE VOZ SOBRE IP EN REDES INALÁMBRICAS BASADAS EN EL ESTÁNDAR IEEE 802.11

AUTOR: FREIRE CONRADO, ANTHONY BRYAN

DIRECTOR: ING. BERNAL OÑATE, CARLOS PAÚL SANGOLQUÍ

2017

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **"ANÁLISIS DE MÉTRICAS DE DESEMPEÑO DE VOZ SOBRE IP EN REDES INALÁMBRICAS BASADAS EN EL ESTÁNDAR IEEE 802.11"**, realizado por la Sr. ANTHONY BRYAN FREIRE CONRADO, ha sido revisado en su totalidad y analizado en el Software anti-plagio, el mismo cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la Sr. ANTHONY BRYAN FREIRE CONRADO para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Agosto del 2017.

Ing. Carlos Paúl Bernal Oñate
DIRECTOR

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, ANTHONY BRYAN FREIRE CONRADO, con cédula de identidad No. 1726046350 declaro que este trabajo de titulación **"ANÁLISIS DE MÉTRICAS DE DESEMPEÑO DE VOZ SOBRE IP EN REDES INALÁMBRICAS BASADAS EN EL ESTÁNDAR IEEE 802.11"**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado derechos intelectuales de terceros, considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, Agosto del 2017.

Anthony Freire

Anthony Bryan Freire Conrado
C.I. 1726046350

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, ANTHONY BRYAN FREIRE CONRADO, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en la biblioteca virtual de la Institución el presente trabajo de titulación **"ANÁLISIS DE MÉTRICAS DE DESEMPEÑO DE VOZ SOBRE IP EN REDES INALÁMBRICAS BASADAS EN EL ESTÁNDAR IEEE 802.11"**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Agosto del 2017.

Anthony Bryan Freire Conrado
C.I. 1726046350

DEDICATORIA

Deseo dedicar este trabajo para las personas que tuvieron fe en mí y que nunca dudaron de mis convicciones y conocimientos. Para todos los que aportaron con conocimientos, alegrías y tristezas, este trabajo es una prueba de que puedo lograr mis objetivos y es uno de los primeros que empiezo a cumplir.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a mi abuelito Gustavo, que gracias a él tuve la idea de empezar con esta carrera, que con sus conocimientos en electrónica pude realizarme como profesional y sé que acabo de cumplir su sueño, pero, aunque no esté aquí con nosotros, desde el cielo aprobrá este logro. De igual manera a mi abuelita Delia que puede observar este logro y concuerda con mi abuelito en estar igual de orgullosos y felices por mi título.

Sin olvidarme de agradecer a mis padres Edwin y Mónica que fueron los que siempre estuvieron conmigo, cada día de estudios y deberes se preocuparon por mí y me brindaron su apoyo incondicional.

Gracias de igual forma a mi hermano que siempre me apoyo y siempre ha estado conmigo a cada momento, fue uno de los que me ayudó y por eso debo ser agradecido y decirle que de igual forma cuenta conmigo para todo.

Para mis amigos y profesores que fueron mi segunda familia a lo largo de esta carrera quisiera darles el mayor agradecimiento, a mis compañeros de telecomunicaciones que son primordiales y a mis profesores que tuvieron siempre la paciencia y la sabiduría de guiarme por el buen camino.

A mi tutor y amigo Paúl Bernal gracias, ya que fue el mayor apoyo para que pueda alcanzar este logro, desde la materia de PDS no fue únicamente un profesor, sino que se convirtió en un amigo incondicional que me dió el gran honor de poder realizar este tema de titulación con él.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD iii
AUTORIZACIÓN iv
DEDICATORIA v
AGRADECIMIENTO vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS vii
ÍNDICE DE TABLAS ix
ÍNDICE DE FIGURAS x
RESUMEN xii
ABSTRACT xiii
CAPÍTULO 1 1
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Antecedentes. 1
1.2. Justificación e Importancia. 2
1.3. Alcance del Proyecto 4
1.4. Objetivos 5
1.4.1. General 5
1.4.2. Específicos 5
CAPÍTULO 2 7
2. MARCO TEÓRICO 7
2.1. Procesamiento de la voz 7
2.1.1. Características fundamentales 7
2.1.2. Modelo Lineal 7
2.2. Digitalización de la voz 8

2.2.1. Muestreo 8
2.2.2. Cuantificación 9
2.2.3. Historia de los CODEC 11
2.3. Medición de parámetros de desempeño de la red 12
2.3.1. Medición de Parámetros cuantitativos 12
2.3.1.1. Jitter 12
2.3.1.2. Delay 13
2.3.1.3. Paquetes Perdidos 13
2.3.1.4. Técnicas del dominio Cepstral 13
2.3.1.5. Medida de Distorsión Espectral 14
CAPÍTULO 3 16
3. Métodos de medición de los parámetros de la red 16
3.1. Medición de los parámetros cuantitativos 16
3.2. Medición de Parámetros Cualitativos 18
3.3. Cambio de las cualidades de la red 19
CAPÍTULO 4 21
4. ANALISIS DE RESULTADOS 21
4.1. Comparación entre CODECS de Audio 21
4.2. Parámetros Cuantitativos IEEE 802.11b 22
4.2.1. Delay 22
4.2.2. Jitter 23
4.2.3. Paquetes perdidos 24
4.2.4. Velocidad de transmisión 24
4.3. Parámetros Cuantitativos IEEE 802.11ac 26
4.3.1. Delay 26
4.3.2. Jitter 27

4.3.3. Paquetes perdidos 28

4.3.4. Velocidad de transmisión 29

4.4. Parámetros Cuantitativos en una red degradada con el estándar IEEE 802.11b 29

4.4.1. Delay 29

4.4.2. Jitter 30

4.4.3. Paquetes Perdidos 31

4.4.4. Velocidad de Transmisión 33

4.5. Parámetros Cuantitativos en una red degradada con el estándar IEEE 802.11ac 34

4.5.1. Delay 34

4.5.2. Jitter 35

4.5.3. Paquetes Perdidos 36

4.5.4. Velocidad de Transmisión 37

4.6. Parámetros Cualitativos de la red 38

4.6.1. MOS de la frase 39

4.6.2. MOS de la canción 40

4.7. Ancho de Banda para establecer la llamada 41

4.8. Medidas Objetivas basadas en el espectro 42

4.8.1. Medida Cepstral 42

4.8.2. Medida MBSD 43

CAPÍTULO 5 44

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 44

5.1. Conclusiones 44

5.2. Recomendaciones 45

5.3. Trabajos Futuros 46

REFERENCIAS 47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de CODECS de audio 12
Tabla 2: Detalle de los usuarios de la red 16
Tabla 3: Medición de la calidad de llamada 19
Tabla 4: Medición de las características del ruido 19
Tabla 5: Comparación de Delay IEEE 802.11b 22
Tabla 6: Comparación de Jitter IEEE 802.11b 23
Tabla 7: Comparación de Paquetes Perdidos IEEE 802.11b 24
Tabla 8: Comparación de Velocidad de transmisión 25
Tabla 9: Comparación de Delay IEEE 802.11ac 26
Tabla 10: Comparación de Jitter IEEE 802.11ac 27
Tabla 11: Comparación de Paquetes Perdidos IEEE 802.11b 28
Tabla 12: Comparación de Delay IEEE 802.11b en una red degradada 30
Tabla 13: Comparación de Jitter IEEE 802.11b en una red degradada 31
Tabla 14: Comparación de Paquetes Perdidos IEEE 802.11b red degradada 32
Tabla 15: Comparación de Velocidad de transmisión en una red degradada 33
Tabla 16: Comparación de Delay IEEE 802.11ac una red degradada 35
Tabla 17: Comparación de Jitter IEEE 802.11ac una red degradada 36
Tabla 18: Comparación de Paquetes Perdidos IEEE802.11ac red degradada 37
Tabla 19: Comparación de Velocidad de transmisión en una red degradada 38
Tabla 20: MOS de calidad de una frase 39
Tabla 21: MOS de ruido de una frase 40
Tabla 22: MOS de calidad de una canción 40
Tabla 23: MOS del ruido de una canción 41
Tabla 24: Ancho de Banda de la Red 42
Tabla 25: Medida de Cepstrum 42
Tabla 26: Medida MBSD 43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Topología de Red 16
Figura 2. Configuración de la red degradada 20
Figura 3. Comparación de resultados en CODECS de audio 21
Figura 4. Variación de Delay en el tiempo aplicando el estándar IEEE 802.11b 22
Figura 5. Variación de Jitter en el tiempo aplicando el estándar IEEE 802.11b 23
Figura 6. Paquetes perdidos estándar IEEE 802.11b 24
Figura 7. Variación de Velocidad de Transmisión estándar IEEE 802.11b 25
Figura 8. Variación de Delay estándar IEEE 802.11ac 26
Figura 9. Variación de Jitter estándar IEEE 802.11ac 27
Figura 10. Variación de Paquetes perdidos estándar IEEE 802.11ac 28
Figura 11. Variación de Delay (s) estándar IEEE 802.11b red degradada 29
Figura 12. Variación de Delay (ms) estándar IEEE 802.11b red degradada 30
Figura 13. Variación de Jitter estándar IEEE 802.11b red degradada 31
Figura 14. Paquetes Perdidos estándar IEEE 802.11b red degradada 32
Figura 15. Velocidad de Transmisión estándar IEEE 802.11b red degradada 33
Figura 16. Variación de Delay (s) estándar IEEE 802.11ac red degradada 34
Figura 17. Delay (ms) estándar IEEE 802.11ac red degradada 35
Figura 18. Jitter estándar IEEE 802.11ac red degradada 36
Figura 19. Paquetes Perdidos estándar IEEE 802.11ac red degradada 37
Figura 20. Velocidad de Transmisión estándar IEEE 802.11ac red degradada 38

RESUMEN

En la actualidad, las redes de comunicaciones inalámbricas permiten tener servicios de transmisión de voz, donde se puede tener información importante para una actividad específica. Por lo cual se debe garantizar la calidad de servicio de la voz, de manera objetiva como subjetiva, mediante el uso de parámetros cuantitativos QoS (*Quality of Service*) y cualitativos QoE (*Quality of Experience*) respectivamente. Es así que, con programas que permitan obtener las tramas de los datos y programas que permitan simular y definir las características de un canal de comunicaciones de manera real, como el *delay*, *jitter* paquetes perdidos, se pueden tomar muestras y establecer el correcto desempeño de la red. Teniendo en cuenta los parámetros más característicos, se puede definir la calidad de la llamada dependiente del uso de diferentes *CODECS* de audio. Se identificó y calculó las métricas de desempeño de VoIP en una red inalámbrica. Dicho esto, de igual forma para los parámetros subjetivos, se tuvo en cuenta la experiencia del usuario y mediante el uso de herramientas de sondeo de opinión, se estableció las métricas cualitativas del desempeño de la red. El objetivo fundamental de la investigación es determinar y proporcionar un mejor servicio para la voz sobre IP a ciertos flujos de datos que pasan por un modelo de canal inalámbrico. Mediante el uso de una central telefónica y usuarios definidos en aplicaciones de teléfonos IP. El resultado principal fue demostrar como en redes con mucha congestión de tráfico, el CODEC de audio que mejor funciona es el G.729.

Palabras claves:

- TRAMAS
- CODECS
- RED DEGRADADA
- CEPSTRUM
- FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD

ABSTRACT

At the present, wireless communication networks allow to have voice transmission services, where we can have important information for a specified activity. That is the reason for warrant the voice quality service, objective and subjective as well, through the use of quantitative parameters QoS (Quality of Service) and quantitative parameters QoE (Quality of Experience). In fact, with programs that allow to receive the data frames and programs can allow to simulate and define all the representative characteristics of the communication channel in real way, like the delay, jitter, and packet loss, can take samples and stablish the correct performance of the network. Taking into account the most characteristic parameters, it is possible to define the quality of the call dependent on the use of different audio CODECS. The main analyzes will try to define the most common problems at the moment of a transmission, in order to be able to be simulated and establish the metrics of the network performance. Having said that, in the same way for the subjective parameters, the user experience will be taken into account and through the use of opinion polling tools, the qualitative metrics of the performance of the network will be established. VoIP performance metrics were identified and calculated in a wireless network. With the use of a telephone exchange and user based in applications of IP Telephony. The main result was to demonstrate how in networks with a lot of traffic congestion, the audio CODEC that works best is G.729.

Keywords:

- FRAMES
- CODECS
- DEGRADED NETWORK
- CEPSTRUM
- PROBABILITY DENSITY FUNCTION

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

El servicio que más se encuentra en crecimiento en los últimos años es el de VOZ sobre IP (VoIP), debido a esto, es importante diseñar correctamente las redes y los terminales antes de brindar acceso al usuario, se debe también monitorizar constantemente las métricas de calidad de servicio en las redes de comunicaciones inalámbricas (A. Takahashi, 2004).

Las últimas tecnologías inalámbricas de banda ancha basadas en los estándares IEEE 802.11, ofrecen una capacidad mucho mayor logrando tasas de bits pico elevadas de hasta 1000kbps, lo que permiten mejorar la experiencia de los usuarios y soportar los servicios multimedia a costos de transmisión por bit más bajos que los que se pueden lograr con redes móviles como 2G y 3G (R. Pepinosa, 2013).

Lo que se puede destacar sobre el estándar IEEE 802.11ac, es que tiene mejoras de rendimiento con un *Throughput* mayor a 1 Gbps y trabaja en bandas inferiores a la de 6*GHz* por lo que puede satisfacer las necesidades en la comunicación de VoIP con bajo *delay* para solucionar los requerimientos de los usuarios (R. Hiertz, 2010). Debido a que el estándar IEEE 802.11ac posee un *delay* de propagación menor a $1\mu s$, lo cual es conveniente para la transmisión de VoIP. Mediante el uso de estándares de comunicaciones específicos como el IEEE 802.11ac, se ofrece un ancho de banda amplio que permitirá al usuario una mejor experiencia respecto al servicio de VoIP (E. Ong, 2011).

Para establecer las métricas objetivas de la comunicación, mediante servicios que permitan transmitir datos en la red, como centrales telefónicas, mensajes de voz, videoconferencias. Se plantea el uso de los medidores de estadísticas propios de los teléfonos por software (*softphones*) en una llamada realizada entre dos usuarios para capturar los datos transmitidos. Con estos datos se puede analizar los diferentes

parámetros que determinan el QoS (*Quality of Service*) del servicio como el *jitter*, el *delay*, la velocidad de transmisión y los paquetes perdidos de la conversación.

En el otro caso, para establecer métricas subjetivas, se plantea el uso de grabaciones de voz realizadas en cada uno de los *Softphone*s para que un usuario pueda establecer mediante encuesta la calidad de servicio que se le está ofreciendo, de esta manera se pueden establecer métricas primordiales para el análisis de QoE (*Quality of Experience*).

Se usan métricas de calidad de audio basadas en el análisis espectral de la señal. Parámetros que miden la distorsión espectral (*Cepstral*) y medidas que miden la distorsión espectral del ruido "*Modified Bark Spectral Distortion*" (MBSD). Con estas medidas se puede establecer de manera más critica la diferencia que existe entre la señal recibida y la señal original.

Con esta recopilación de datos y de encuestas, se puede conocer y garantizar la calidad del servicio que se está ofreciendo por medio de una red inalámbrica, se intenta conocer que no existan paquetes perdidos o que el *delay* sea alto, dejando una comunicación de mala calidad.

1.2. Justificación e Importancia.

En la actualidad, el servicio de VoIP ofrece varias ventajas como:

- Interoperabilidad con las redes telefónicas actuales.
- Calidad de Servicio.
- Red de alta disponibilidad.
- Calidad de voz garantizada.
- Reducción de costos.
- Facilita creación de extensiones telefónicas adicionales.
- Permite funciones útiles como: buzón de voz, ID de llamada, conferencias, entre otras (L. Ramos, 2016).

Razones por las cuales se debe garantizar la calidad de servicio de la misma, con la medición de parámetros tanto objetivos como subjetivos, se puede definir los principales problemas de la red inalámbrica para ser corregidos y solventar las necesidades que presente el usuario al momento de realizar una llamada con el uso de los *softphones*.

Según la Constitución de la República del Ecuador, capítulo Segundo Derechos del Buen Vivir, sección tercera Comunicación e Información establece que debe existir una comunicación libre y el acceso debe ser universal a las tecnologías de información y comunicación, por lo que es preciso ofrecer un servicio de calidad a todos los usuarios con el fin de garantizar y satisfacer las necesidades del mismo.

Existen estudios de calidad de servicio con parámetros MOS (*Mean Opinion Score*) respecto a los codificadores y decodificadores de señales (*CODECS)* usados en telefonía digital como el G.711 que es el más usado para voz, se requiere de un software para usar estos parámetros con la acotación de que se permitan modificar sus parámetros para su posterior estudio (E. Álvarez, 2009). Se debe tomar en cuenta que el *CODEC* se debe utilizar respecto al tamaño de la muestra y si se requiere del envió de varios a la vez, por lo que tendrán importancia respecto a la calidad de servicio ya que, si se minimiza demasiado el paquete, puede comprometer a la calidad para el usuario final. Los estudios realizados, estrictamente se ven regidos a redes alámbricas, por lo que no se ven afectados por factores externos en el canal de comunicaciones, lo que da validez al estudio en diferentes escenarios que si involucren dichos factores que afectan al canal.

El uso de los medidores de estadísticas propios de los *softphones*, permite obtener métricas primordiales para el estudio del desempeño de la red como:

- *Megabytes* transmitidos.
- Velocidad de transmisión.
- Paquetes transmitidos.
- *Delay*.
- Variación del retardo.

- Perdida de paquetes.
- Medidas Espectrales.

La diferencia entre el uso de los medidores propios de los usuarios *SIP (Session Initiation Protocol)* es que se pueden obtener datos en cada uno de los terminales en tiempo real, ya que las estadísticas que se obtienen son propiamente configuradas para cada uno de los servicios que está prestando la aplicación, en este caso funcionar como un usuario de telefonía IP. Estas métricas permiten obtener el rendimiento de la red inalámbrica por medio de una muestra variando entre las horas de conexión normales y la hora cargada de conexión (R. Granizo, 2016).

Asterisk es un sistema basado en el sistema operativo *Linux* de código abierto, el cual permite obtener ventaja de los muchos *plug-in* y está diseñado con modelo de desarrollo *publish-subscribe*, el cual es una arquitectura de software donde el transmisor y el receptor de la llamada no se comunican directamente (Zhou, 2016). Además, posee usuarios *SIP* que son de fácil configuración y acceso mediante teléfonos IP o *Softphones* (Asterisk, 2017).

Se definen estudios que muestran que el estándar IEEE 802.11ac con parámetros como: rangos de distancia de 0 a 100m, tiempo de medición de 50 segundos, tamaño de la ventana de 477*kbytes* y tamaño de *buffer* de 8*kbytes*. Con estos parámetros obtiene resultados concluyentes que la velocidad del enlace varia de 200*Mbps* a 700*Mbps*, por lo que dichos resultados presentan una importante ventaja al momento de realizar la transmisión de la voz sobre IP en una red inalámbrica (W. Lai, 2017).

1.3. Alcance del Proyecto

Dados estos antecedentes, en el proyecto de investigación se utilizó una central telefónica mediante el software que permita usar servicios de VoIP, además, mediante el uso de usuarios *SIP*, se estableció llamadas de prueba que permitan percibir dos métricas diferentes:

- Para las métricas objetivas, se requiere de un *Sniffer* el cual es implementado con los medidores de estadísticas de los *softphones* que permite capturar las tramas y determinar las métricas objetivas para determinar el desempeño de la llamada sobre la red inalámbrica con el uso del estándar IEEE 802.11, satisfaciendo las necesidades de *QoS*. La mayoría de *Softphones* tienen implementados sistemas de análisis de métricas de desempeño, los más usados para cada uno de los *CODECS* son *Zoiper* (Zoiper, 2017)y *CSipSimple* (CSIPSimple, 2011).

- En otro caso, para las métricas subjetivas se realizó la grabación de diferentes conversaciones que pasan por el canal, con el fin de determinar mediante encuestas, cual es el desempeño de la red, satisfaciendo las necesidades de QoE.

Para el análisis del desempeño, se debe tomar en cuenta que los *CODECS* tienen sus propias características y funciones, las medidas de cada uno de ellos permiten identificar el correcto desempeño de la red inalámbrica cuando existe una llamada entre dos usuarios *SIP* con un *CODEC* definido por la central telefónica.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Identificar y calcular las métricas de desempeño de VoIP en una red inalámbrica con el uso del estándar IEEE 802.11.

1.4.2. Específicos

- Definir las principales métricas tanto objetivas como subjetivas para analizar el desempeño de la comunicación.
- Implementar una central telefónica que permita la comunicación entre dos *softphones*.
- Establecer un analizador de tramas para determinar métricas objetivas de la comunicación en tiempo real.

- Comparar el desempeño de la red con los *CODECS* más usados en telefonía como son el G.711, G.726 y G.729.
- Implementar una red de comunicaciones inalámbrica para interconectar los dos *softphones*.
- Degradar la red para comprobar el rendimiento de los *CODECS* de audio frente a fenómenos externos del canal de comunicaciones.
- Calcular medidas de desempeño objetivas basadas en un análisis de distorsión espectral de la señal.
- Tabular y analizar los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Procesamiento de la voz

2.1.1. Características fundamentales

El proceso de voz está caracterizado por la frecuencia fundamental F_O, llamada *pitch*, además, cuenta con harmónicos que caracterizan el tono de voz y la afinación de la misma. Cada uno de los picos de intensidad más altos de la magnitud de la *FFT* (*Fast Fourier Transform*) en el espectro de sonido son llamados formantes de la voz ya que son concentraciones de energía de una frecuencia determinada, los mismos que son producidos por la resonancia de las cuerdas vocales y se encuentran denotados por F_1, F_2, F_3, etc.

2.1.2. Modelo Lineal

El modelo lineal está basado en un filtro que describe la voz $s(n)$ como la señal de salida $\tilde{s}(n)$ que es producto de la señal de excitación $\tilde{e}(n)$ que es considerada como una secuencia de pulsos regularmente espaciados, los mismos que poseen un periodo T_0 y una amplitud variable σ. Esta excitación también puede ser modelada como una señal con ruido blanco Gaussiano σ^2 (T. Dutoit, 2007).

Para minimizar errores de modelado, de una determinada señal, el principal inconveniente es encontrar los coeficientes de predicción más exactos que permitan además disminuir la diferencia que existe entre la señal de la voz original y la señal que es producida por el modelo predictivo. Las estimaciones de los coeficientes de predicción son independientes de que se estime o no el periodo fundamental T_0, además, pueden ser calculados simultáneamente con la amplitud del pulso. Para denotar la diferencia exacta que existe entre la señal original y la generada por el modelo, se plantean la comparación entre los valores fundamentales que destacan la voz, que son los siguientes:

- Periodo y frecuencia fundamental.

- Ganancia.
- Coeficientes de predicción.

Existen varios problemas como reconocer si se encuentra o no hablando la persona, lo que es conocido como la decisión V/UV (*Voiced/Unvoiced*). Otro problema es que la voz no es periódica (T. Dutoit, 2007), por lo que se encuentra al momento de realizar un análisis acústico de la voz con los problemas que pueden afectar en la comprensión del usuario receptor como el *delay* y el *jitter*.

Uno de los problemas más difíciles es respecto a la determinación de la frecuencia fundamental ya que la señal está compuesta por silencios a lo largo del tiempo de producción del habla, debido a que las palabras, frases o las oraciones, generalmente no se consideran uniformes, por lo que la señal tuvo muestras que no tuvieron ningún valor, caso contrario se tendrán valores de ruido generados por diferentes factores externos a la señal de voz.

2.2. Digitalización de la voz

Es necesario transformar las señales analógicas en digitales, se sigue un proceso de digitalización de la voz. Este proceso es esencial ya que la mayoría de sistemas de comunicación son digitales y la voz requiere de un procesamiento riguroso para tener altos estándares para garantizar la calidad de llamada. Generalmente este proceso consta de tres pasos fundamentales como son el muestro que permite discretizar una señal en tiempo continuo, la cuantificación que es la encargada de reducir el rango de la amplitud de las muestras y la codificación que asigna valores a dichas amplitudes. Lo más común para transformar la señal analógica de la voz es el uso de un conversor de 16 bits ya que dependiendo del número de bits usados en la conversión, existirá una mayor o menor diferencia respecto a la amplitud de la señal original.

2.2.1. Muestreo

En la primera etapa de la digitalización de la voz, la señal llega de forma analógica por lo que debe ser tratada para su procesamiento digital.

Mediante intervalos periódicos se toman las muestras de la señal, lo que se debe considerar que dichos intervalos deben estar en coherencia con el intervalo de muestreo (J. Ferreira, 2016). El teorema de muestreo tendrá la utilidad de que cuando se intenta reconstruir la señal, se obtiene una señal más fiel a la señal original, por lo que se ha usado como frecuencia mínima de muestreo al doble de la frecuencia de la señal a digitalizarse, basado en el principio de Nyquist (J. Tonfat Seclen, 2008).

2.2.2. Cuantificación

Para la transmisión de información, las señales que son analógicas deben seguir un proceso para ser transmitidas, uno de los pasos fundamentales es el uso de una operación no lineal que está basada en encontrar valores aproximados para los niveles de cuantificación, cuyo objetivo principal es transformar una señal continua en una señal discreta o la transformación de una señal analógica a digital, la misma que debe ser aproximada de la manera más óptima dependiente del procesamiento que se le quiera dar a la señal original.

2.2.2.1 Error de cuantificación

Dependiendo de la capacidad de elegir correctamente los valores de cada uno de los niveles de cuantificación y de la aproximación de las muestras a los mismos, se obtuvieron diferentes resultados al momento de obtener el error de cuantificación con media cero. Existen varios tipos de cuantificadores, que, dependiendo de sus características específicas, dicho error de cuantificación cambiará. Asumiendo que $|s(n)| \leq S_{max}$ es simétrico a la función de densidad de probabilidad, se tiene que el error de cuantificación definido por e_q está en el rango descrito en la ecuación 2.1.

$$-\frac{\Delta}{2} \leq e_q \leq \frac{\Delta}{2} \tag{2.1}$$

Donde,

Δ: Es el intervalo de cuantificación de la señal.

e_q: Es el error de cuantificación.

2.2.2.2 Intervalo de cuantificación

La distancia entre cada uno de los niveles es llamado intervalo de cuantificación Δ, el mismo que para el caso de los cuantificadores uniformes se mantiene constante. Uno de los cuantificadores que produce mayor error es el uniforme ya que establece valores fijos para cada uno de los niveles de cuantificación. Se pueden establecer diferentes cuantificadores uniformes, respecto al número de bits que se desee, dado el caso, mientras más niveles de cuantificación se establezcan, menor será el error de cuantificación de la señal discreta. El resultado final del proceso de cuantificación será de entregar al codificador una señal cuantificada X_Q, formada por un conjunto de bits o de dígitos binarios que permitirán tener una representación aproximada de la señal original para que pueda ser tratada posteriormente.

2.2.2.3 Cuantificador Uniforme

Es el más básico de los cuantificadores, una de sus características fundamentales, por la cual es nombrado como uniforme, es debido a que su intervalo de cuantificación Δ es constante en todo el proceso de digitalización de la señal. Los niveles de cuantificación están dados por 2^B, donde B es el número de bits usados. Para obtener un error de cuantificación bajo, se debe tomar en cuenta dos parámetros importantes como son los niveles de cuantificación y el tamaño de su intervalo.

2.2.2.4 Cuantificador Óptimo

La manera de disminuir el error de cuantificación y de obtener un cuantificador óptimo para el servicio que se esté ofreciendo es mediante la selección óptima de los niveles de cuantificación y la selección de la posición de dichos niveles hasta que los valores que dan el desempeño de la red se vean óptimos.

Se requiere optimizar estos parámetros para obtener maximizar la tasa de la señal para alcanzar el ruido de cuantificación mínimo respecto a la variable aleatoria que estima la probabilidad de que tome un determinado valor (Función Densidad de

Probabilidad PDF) de la señal, dado que la señal de voz no tiene una función de densidad de probabilidad uniforme (A. Kondoz, 2004).

Se debe considerar que, para la voz, uno de los principales factores que muestran la calidad de la transmisión es la relación señal a ruido, la misma que aumenta para el caso de una cuantificación no uniforme ya que busca obtener un mejor resultado al momento de encontrar la mejor coincidencia para la función de densidad de probabilidad del habla.

De igual forma con los cuantificadores no uniformes, se aumenta la precisión para captar las señales de baja amplitud que son las que generalmente producen ruido, por lo que, si estas señales son más exactas, se obtendrá una mejor aproximación y por lo tanto una mayor calidad de sonido.

2.2.3. Historia de los CODEC

En los inicios de las comunicaciones, se empezaron a usar canales físicos y conmutaciones manuales para poder establecer la conexión entre dos usuarios. A medida que el tiempo transcurrió y como se vio en la necesidad de extender su capacidad debido al aumento de usuarios de telefonía, se implementaron nuevos canales digitales con multiplicación de circuitos. Estos canales digitales necesitaban de mayores prestaciones para poder brindar un buen servicio, por lo que se debió hacer uso de nuevas técnicas que cambiarían por completo a la telefonía.

La telefonía PSTN (*Public Switched Telephone Network*), encargada de proveer señales de un portador a una central, requería usar canales digitales, por lo que se desarrolló el primer *CODEC* en el año de 1972 que fue desarrollado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*UIT*). Se implementó el G.711 (A. Kondoz, 2004) para varias redes de telefonía pública, lo que fue represento el primer paso de las comunicaciones digitales.

A medida que avanzan las comunicaciones, cada vez se requieren más servicios que exigen a la red un mayor desempeño, por lo que los *CODECS* han ido

evolucionando y cambiando sus parámetros para poder satisfacer las demandas que le exige una comunicación telefónica como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Comparación de CODECS de audio

CODEC	Bit Rate (Kbps)	Delay (ms)	Año	Algoritmo
G.711	64	0	1972	PCM
G.723.1	5.3	67.5	1995	A/MP-MLQ CELP
G.726	40/32/24/16	0.25	1990	VRB-ADPCM
G.729A	8	35	1996	CS-ACELP

Fuente: (A. Kondoz, 2004)

2.3. Medición de parámetros de desempeño de la red

2.3.1. Medición de Parámetros cuantitativos

Para la obtención de los parámetros cuantitativos, se establece una central telefónica con el software Asterisk. Mediante el archivo de configuración de la central se varían cada uno de los *CODECS* de voz y se comparan sus principales características con la finalidad de establecer cuál de ellos representa el mejor desempeño para la red. El primer escenario se utiliza un router Huawei con el estándar de comunicaciones inalámbrico IEEE 802.11b. Para el segundo escenario se usa un equipo *TPLINK* (TP-Link, 2017) con el estándar de comunicaciones IEEE 802.11ac trabajando con la frecuencia de 5*GHz*.

2.3.1.1. Jitter

Al momento de transferir datos por un canal de comunicaciones, se tiene en el receptor los datos de llegada. Estos datos deben llegar en un tiempo determinado por el procesador, pero no siempre llegan en dicho tiempo.

El *jitter* es considerado como la variación o el efecto de desplazamiento del dato, ya sea señal o bit, con la posición que debería haber llegado y que fue estimada por el

receptor. El dato que llega con un efecto de *jitter*, puede tener un adelanto o un retraso en un tiempo medido.

2.3.1.2. Delay

El *Delay* es uno de los parámetros más importantes al momento de tratar el tema de tiempo real. Puede ir cambiando respecto a la aplicación y al servicio que se esté ofreciendo. Si bien es cierto que se necesita ser lo más bajo posible que para aplicaciones que requieren de tiempo real como: televisión, video llamadas.

Para el caso de la voz, el oído humano no es capaz de detectar si existe un *Delay* que se encuentra en el orden de los mili segundos (ms). Pero es importante que se mantenga en un valor bajo ya que hay muchos factores externos que interfieren con el canal de comunicaciones, especialmente inalámbrico.

2.3.1.3. Paquetes Perdidos

Al existir colas de tráfico en la red, existe paquetes que son desechados, los mismos que contienen información de la señal que se está transmitiendo por el canal. Estos paquetes perdidos pueden ser recuperados por diferentes métodos, pero dichos métodos generan carga en el receptor y aumentar el tiempo de procesamiento de la señal.

Al aumentar los paquetes perdidos en una transmisión, la señal de audio cambiara y no podrá ser completamente reconstruida por lo que será detectado por el oído humano y afectara a la calidad de audio que se esté recibiendo.

2.3.1.4. Técnicas del dominio Cepstral

El Cepstrum (C_k) es una medida de distorsión del habla, que se encuentra basada en la transformada inversa de Fourier del logaritmo de la potencia del espectro de una serie discreta $x(n)$, representada por la ecuación 2.2 cuyo equivalente se lo describe con la ecuación 2.3.

$$c_k^x = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} \ln\left|X_m\left(e^{j\omega}\right)\right|^2 e^{j\omega}\, d\omega \tag{2.2}$$

$$\ln\left|X_m\left(e^{j\omega}\right)\right|^2 = C_o^x + 2\sum_{k=1}^{\infty} C_k^x \cdot \cos(\omega k) \tag{2.3}$$

En la ecuación 2.3, c_k^x es considerado la ponderación del coeficiente espectral de la señal $x(n)$. Este parámetro permite expresar la distorsión espectral en términos de la distancia del dominio espectral, el cual se encuentre expresado en término del dominio Cepstral dado por en la ecuación 2.3 (S. Demolitas, 1989).

En consecuencia, mientras menor sea el parámetro Cepstral, menor será la distorsión espectral que exista entre la señal original y la señal recibida.

2.3.1.5. Medida de Distorsión Espectral

Es una medida objetiva de la calidad del habla, se encuentra basada en un umbral de enmascaramiento de ruido, el mismo que es estimado por un análisis de banda critica. La cantidad de ruido del umbral es comparado con el del habla original para determinar si es perceptible la distorsión en la señal (Y. Wonho, 2002).

$$MBSD = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\left[\sum_{i=1}^{K} M(i)\left|L_x^j(i) - L_y^j(i)\right|\right] \tag{2.4}$$

Donde,

N: Número de tramas procesadas

K: Número de bandas críticas.

$L_x^j(i)$: Distorsión espectral de la señal original.

$L_y^j(i)$: Distorsión espectral de la señal codificada.

$M(i)$: Indicador de distorsión de la banda critica.

En la ecuación 2.4 se considera que el número de muestras procesadas es de 160 ya que se trabaja con un intervalo de tiempo de $20ms$ debido a que la frecuencia de muestreo es de $8kHz$, tanto para la señal original como para la señal distorsionada, en razón que en este intervalo de tiempo se considera la señal de voz, estacionaria en sentido amplio (L. Rabiner, 1978).

CAPÍTULO 3

3. Métodos de medición de los parámetros de la red

3.1. Medición de los parámetros cuantitativos

Considerando que el *CODEC* G.711, uno de los más básicos usados para la telefonía IP, viene instalado por defecto en la configuración de los módulos iniciales de Asterisk, por lo que se lo puede usar sin inconvenientes. Se configura dos dispositivos móviles conectados a la red de *WiFi* con usuarios *SIP*, los mismos que se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2.

Detalle de los usuarios de la red

USUARIO	TIPO	ID	IP	ESTÁNDAR INALÁMBRICO
USUARIO 1	SIP	111	192.168.100.252	IEEE802.11b/ac
USUARIO 2	SIP	222	192.168.100.47	IEEE802.11b/ac
CENTRAL TELEFÓNICA	ASTERISK		192.168.100.37	IEEE802.11b/ac

Se plantea la topología de red mostrada en la Figura 1, tomando en cuenta el uso de los *Smart phones* con la aplicación de *Softphone Zoiper* para poder hacer una conversación telefónica entre dos usuarios SIP por medio de la central telefónica implementada en *Asterisk* (Asterisk, 2017).

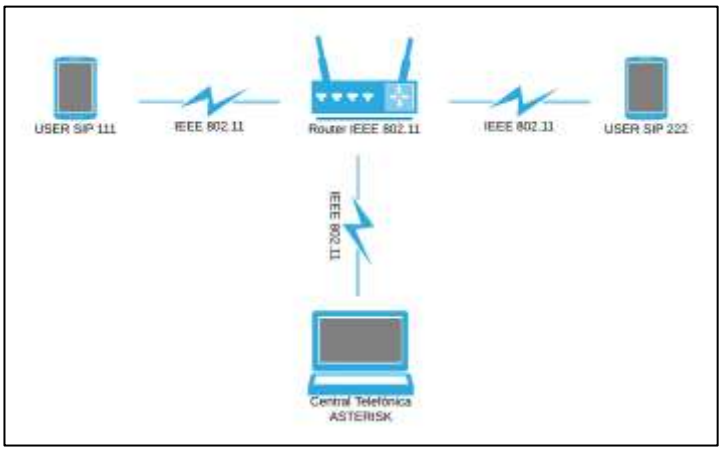

Figura 1. Topología de Red

Se deben cargar cada uno de los módulos de los respectivos *CODECS*, el que viene instalado por defecto en el software *Asterisk* y en la mayoría de los *softphones*, como *Zoiper*, es el G711, el más usado para la telefonía IP.

La central telefónica se encuentra en una maquina conectada directamente al *Router*, al igual que los *softphones*. El paquete es transmitido por el *Router* hacia la central telefónica, la cual establece el canal digital, permitiendo la comunicación entre los usuarios.

Para cada uno de los módulos se debe implementar un modelo "*pass-thru*", interpretado únicamente como un camino opcional, es decir, si los dispositivos permiten y tienen soporte para los *CODECS* especiales, como el G729 o el G726, se estableció la conexión entre dos usuarios *SIP* con dicho *CODEC*.

Para el códec G729 se debe establecer una configuración especial, dado que es un *CODEC* no gratuito, se puede usar un Softphone que si permita su uso para pruebas, como es el C*SipSimple* que usa las características de la telefonía IP brindadas por "fututel" para poder hacer uso gratuito del *CODEC* (Fututel, 2017).

Mediante la realización de pruebas, se determina que el *CODEC* G.723 se encuentra obsoleto, ninguno de los *softphones* disponibles al momento cuentan con la implementación de dicho *CODEC*, por lo que fue reemplazado por el G.726, que si se encuentra disponible en la mayoría de los *softphones.*

La mayoría de *Softphones* poseen medidores de parámetros característicos en la red como son:

- Velocidad actual y promedio de entrada.
- Velocidad actual y promedio de salida.
- Paquetes enviados y paquetes recibidos, por lo que se puede determinar los paquetes perdidos en el canal de comunicaciones.
- *Jitter*.
- *Delay*.

Estos parámetros permitirán definir el desempeño de la red dependiendo de cada uno de los *CODECS* que se implementan. Se debe considerar que para los *CODECS* G.711, G.726 y G.729 se usa el *Softphone CSipSimple* para medir el *delay* de la llamada ya que es el que cuenta con dicha estadística, para el resto de parámetros cuantitativos se usa el *Softphone Zoiper*.

Con el fin de analizar cómo varían los parámetros en el transcurso de la llamada y medir el desempeño de la red frente a flujo constante de datos por medio del canal, se realizan medidas objetivas cada intervalo de 10 segundos durante la duración de una llamada promedio que es de 3 minutos (S. Guevara, 2011).

Se realiza únicamente una llamada bidireccional entre los usuarios SIP, ya que se puede considerar para trabajos futuros el aumento de terminales. Por el momento, se necesita establecer los parámetros del canal entre dos usuarios.

3.2. Medición de Parámetros Cualitativos

Para la medición de los parámetros cualitativos o subjetivos, se considera la opinión de los usuarios que están haciendo uso del servicio o el *Mean Opinion Score* (MOS). Para esto se implementa un sistema de encuestas en línea que permite tabular los datos y definir el desempeño de la red.

Se consideran dos aspectos importantes para identificar la calidad del servicio. El primero es respecto a la calidad de la llama y el segundo es respecto a que tan molesto puede ser el ruido de fondo después de pasar por el canal de comunicaciones inalámbrico.

Para el primer caso, en el que se valora la calidad de la llamada, se tendrán la calificación de acuerdo a las características presentadas en la Tabla 3.

Se estableció que con una muestra de 21 individuos como mínimo, se obtiene un nivel de confianza de aproximadamente el 85%, con una constante $k = 1.44$ (Feedback Networks, 2013).

Tabla 3.

Medición de la calidad de llamada

Calificación	Calidad de la llamada	La llamada
5	Clara	Se entiende perfectamente
4	Buena	Se entiende medianamente
3	Regular	Se entiende
2	Opaca	Es confusa
1	Mala	No se entiende nada

Para el segundo caso, se quiere comprobar que tan fuerte y molesto es el ruido de la llamada. Se presenta en la Tabla 4 los diferentes niveles de ruido.

Tabla 4.

Medición de las características del ruido

Calificación	Nivel del ruido	El ruido es
5	Extremo	Muy molesto
4	Alto	Molesto
3	Medio	Es un poco molesto
2	Bajo	Ruido Imperceptible
1	Ninguno	No existe ruido

3.3. Cambio de las cualidades de la red

Para poder comprobar la efectividad y el correcto desempeño de cada uno de los *CODECS* de audio, se cambió la configuración de la interfaz de red virtual de la máquina en la que se encuentra implementada la central telefónica.

El objetivo de degradar la red es para verificar el rendimiento de los *CODECS* en una red que ofrece bajas prestaciones con el fin de satisfacer las necesidades de los usuarios pese a las bajas características que ofrecerá la red inalámbrica.

Se comprueba mediante varias pruebas de campo que la velocidad mínima necesaria para que se puede establecer una llamada entre dos usuarios *SIP* es de $64kbps$. Si no se usa esta velocidad de transmisión, no se puede establecer la llamada

ya que la central telefónica no puede cargar por completo los protocolos que envía el usuario.

Por lo tanto, dadas estas consideraciones para que las medidas de los parámetros sean más fieles, se configura el adaptador de la red virtual, reduciendo el ancho de banda de la conexión que existe en la comunicación entre la máquina virtual y el adaptador de red del computador, como se observa en la Figura 2.

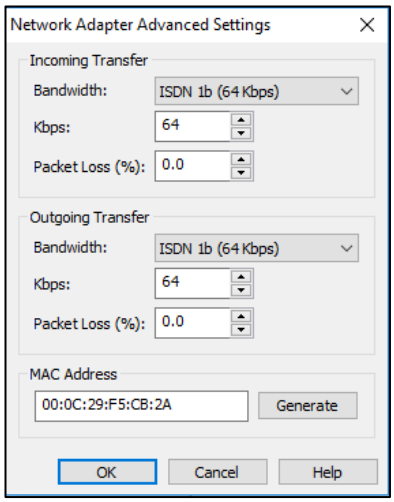

Figura 2. Configuración de la red degradada

En el ANEXO B. se describe como crear el adaptador de red virtual para ser utilizado por la central telefónica en degradación de la red.

CAPÍTULO 4

4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. Comparación entre *CODECS de Audio*

La diferencia más marcada entre los diferentes tipos de *CODECS* es el tipo de cuantificador usado, mientras mejor sea la cuantificación usada, mejor será la señal reconstruida en el receptor, pero a la vez el procesamiento aumenta.

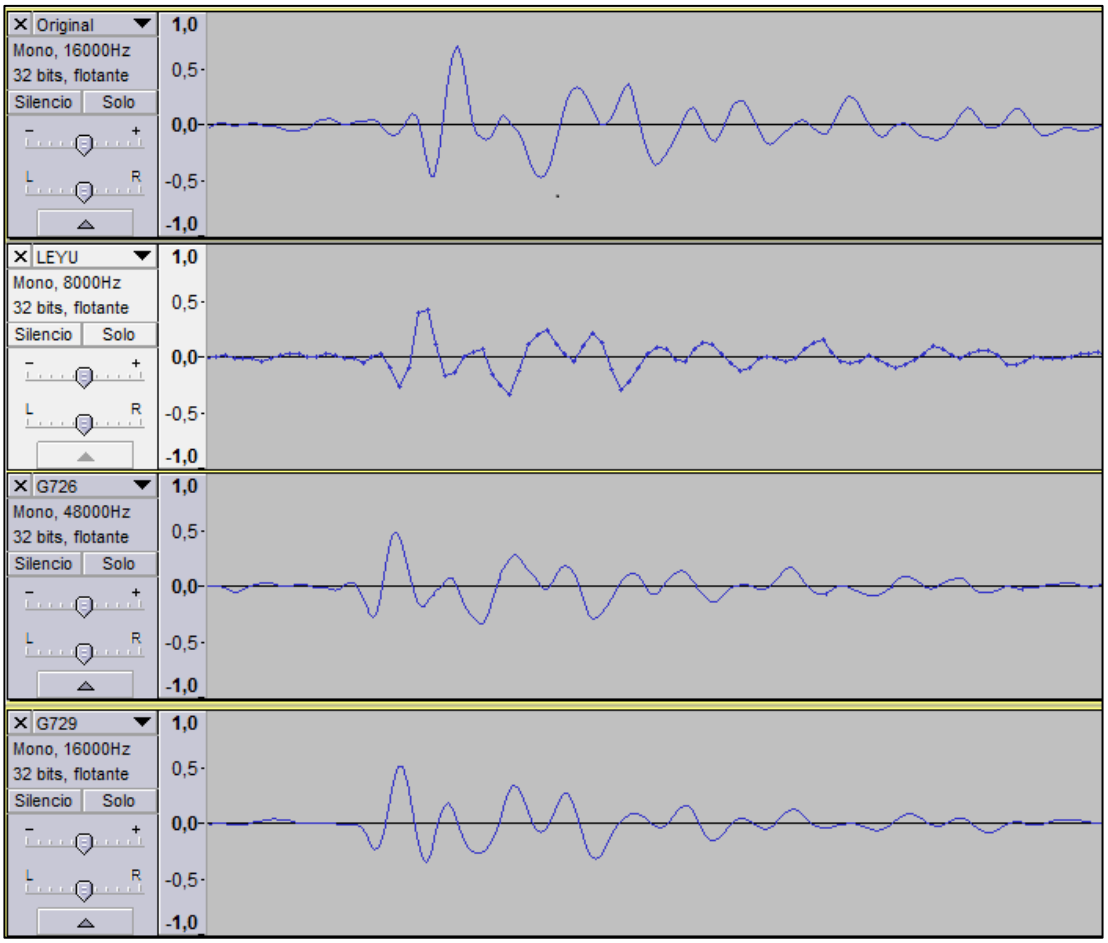

Figura 3. Comparación de resultados en CODECS de audio

En la Figura 3 se identifica que el *CODEC* más parecido a la señal original es el G.729 aunque existe una ligera atenuación en la amplitud de la señal, es la que tiene las mismas características y forma de onda que la señal original. Sin embargo, se puede definir que los cambios en los intervalos de codificación afectan al audio volviéndolo con un tono diferente al original.

4.2. Parámetros Cuantitativos IEEE 802.11b

4.2.1. *Delay*

En comparación entre los tres *CODECS* planteados, se observa en la Figura 4 que el que mejor rendimiento tiene respecto al *delay* es el G.711 ya que es el que está destinado para llamadas de voz sobre IP. Sin embargo, este parámetro tiene importancia respecto a las comunicaciones en tiempo real. A pesar de que para aplicaciones de transmisión de voz la medida del *delay* debe ser menor a $150ms$ para que no se vea afectada la señal ni pueda ser detectado por el oído humano (ITU, 2003). De tal forma todos los *CODEC* presentan esta característica y cumplen con las normativas planteadas.

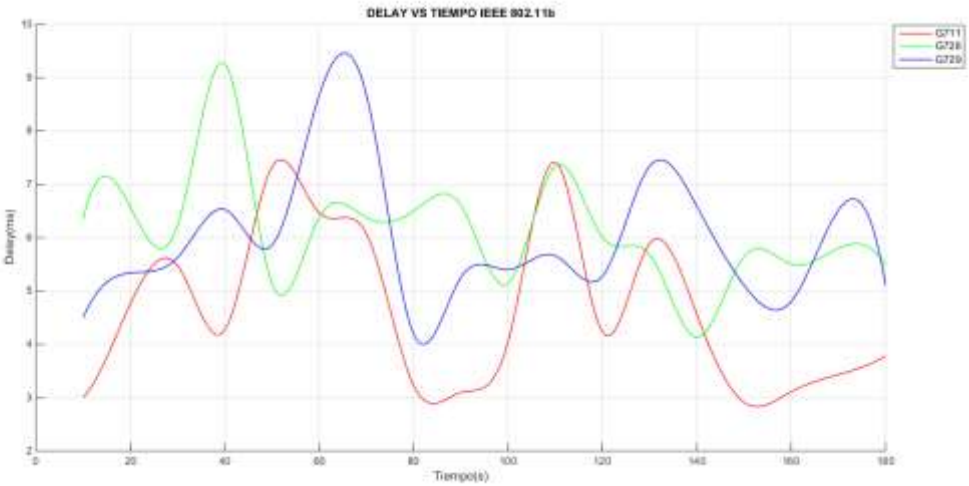

Figura 4. Variación de Delay en el tiempo aplicando el estándar IEEE 802.11b

El *delay* promedio de cada uno de los *CODECS* se muestra en la Tabla 5, donde se nota que el mejor rendimiento es el G.711, ya que ocupa más ancho de banda para establecer la llamada.

Tabla 5.

Comparación de Delay IEEE 802.11b

CODEC	***Delay* máximo(ms)**	***Delay* promedio(ms)**
G.711	7.415	4.6168
G.726	9.262	6.1200
G.729	8.682	5.9148

4.2.2. *Jitter*

En el caso del *jitter*, se tiene que de igual forma que en el *delay* las métricas más bajas son las que tiene el *CODEC* G.711 cómo se observa en la Figura 5, el resto posee métricas y picos más altos. De igual forma que el *delay*, este parámetro para que no afecte a la comunicación entre los usuarios, debe ser menor a $100ms$ (ITU, 2003). Todos los *CODECS* de audio están dentro del rango permitido en el estándar de comunicaciones telefónicas por lo que los mismos son válidos para este servicio.

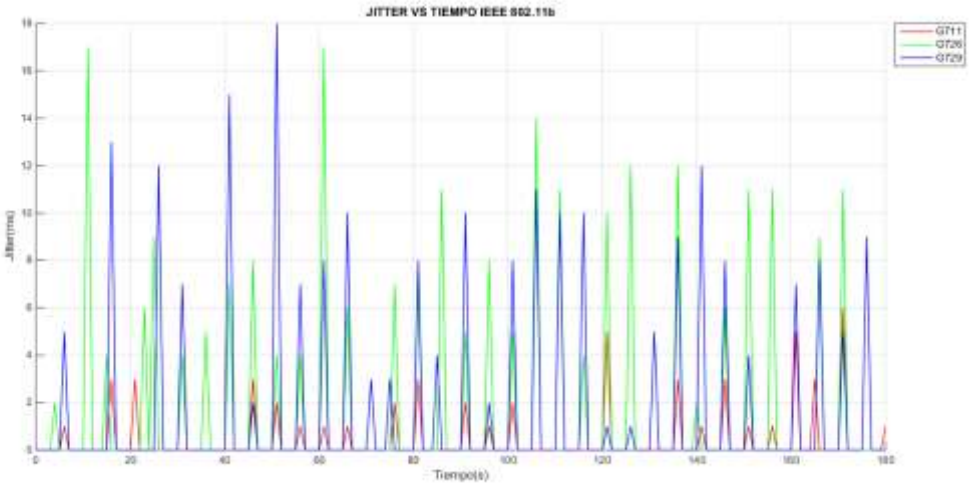

Figura 5. Variación de *Jitter* en el tiempo aplicando el estándar IEEE 802.11b

En la Tabla 6 se presentan los valores máximos y promedio del *jitter* para cada uno de los *CODECS*, donde también sobre sale el rendimiento del G.711:

Tabla 6.

Comparación de *Jitter* IEEE 802.11b

CODEC	*Jitter* máximo(ms)	*Jitter* promedio(ms)
G.711	24	0.62777
G.726	17	1.4833
G.729	18	1.3055

La medición del *jitter* varia respecto a los otros parámetros, se obtienen valores a diferentes instantes de tiempo, únicamente donde existe *jitter* ya que en el resto de la llamada tiene un valor de $0ms$.

4.2.3. Paquetes perdidos

A diferencia de los anteriores parámetros en los cuales el que mejores prestaciones ofrecía era el *CODEC* G.711, en la Figura 6 se nota que, para el caso de los paquetes perdidos, el que mejor trabaja frente a este parámetro es el *CODEC* G.726 ya que se encuentra con menor cantidad de paquetes perdidos, a pesar de que presentaba un valor alto en cuanto al *delay* y al *jitter*.

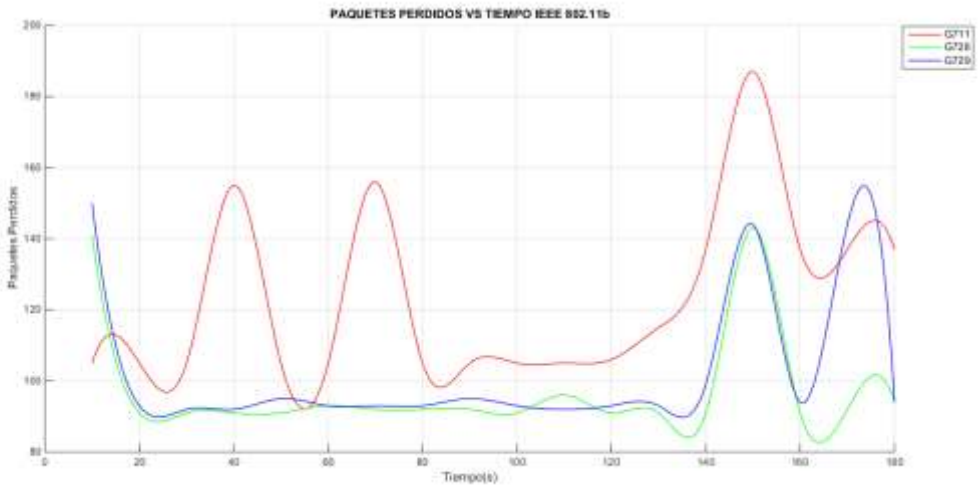

Figura 6. Paquetes perdidos estándar IEEE 802.11b

Se presenta en la Tabla 7 la diferencia que existe entre los *CODECS* respecto a los paquetes perdidos, dando como mejor rendimiento al G.726. Los CODECS cumplen con la normativa de que los paquetes perdidos deben ser menor al 3% (T. ITU, 1996)

Tabla 7.

Comparación de Paquetes Perdidos IEEE 802.11b

CODEC	Máximo número de paquetes perdidos	Número de paquetes perdidos promedio	Porcentaje de Paquetes Perdidos
G.711	187	122.8888	1.52%
G.726	143	97.4444	1.03%
G.729	150	102.3333	1.10%

4.2.4. Velocidad de transmisión

La Figura 7 muestra la velocidad de transmisión de acuerdo al *CODEC*, se establece que el G.711 respecto al G.726 y G.729 tiene un mayor desempeño en 37,38% y 64,76% respectivamente.

Figura 7. Variación de Velocidad de Transmisión estándar IEEE 802.11b

Los valores máximo y promedio de la velocidad de transmisión de la llamada se presentan en la Tabla 8, que ya que el ancho de banda del canal no tiene restricciones, el que presenta un mejor desempeño es el G.711.

Tabla 8.

Comparación de Velocidad de transmisión

CODEC	**Velocidad de transmisión máxima (Kb/s)**	**Velocidad de transmisión promedio (Kb/s)**
G.711	83	82.7777
G.726	52	51.8333
G.729	31	29.1667

4.3. Parámetros Cuantitativos IEEE 802.11ac

4.3.1. *Delay*

Tomando en cuentas las características del estándar IEEE 802.11ac trabajando a la frecuencia de 5*GHz*, como se observa en la Figura 8, el *CODEC* que representa un mejor rendimiento es el G.729, ya que conforme se establece la llamada y se ve afectado el canal por interferencias externas, el *CODEC* trabaja de mejor manera en redes de mala calidad.

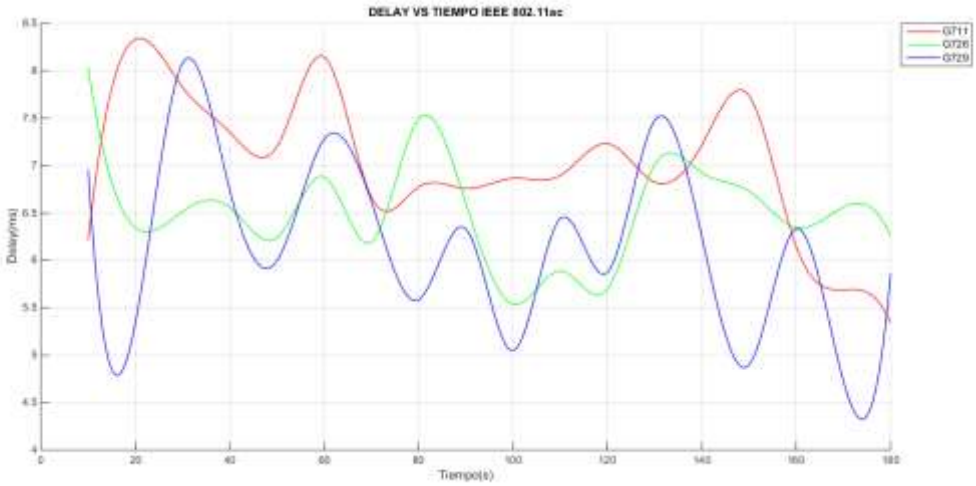

Figura 8. Variación de *Delay* estándar IEEE 802.11ac

Tomando en cuenta que se tienen las mismas consideraciones planteadas para evaluar la calidad de una llamada respecto al delay, su medida es menor a los 150ms que establece la norma respecto a las llamadas telefónicas (ITU, 2003).

Tabla 9.

Comparación de Delay IEEE 802.11ac

CODEC	***Delay* máximo(ms)**	***Delay* promedio(ms)**
G.711	8.331	6.9570
G.726	8.041	6.5459
G.729	8.081	6.2138

Como se observa en la Tabla 9, los valores son parecidos para todos los *CODECS*, no tienen una gran variación por lo que se podría definir que para el estándar de

comunicaciones inalámbricas IEEE 802.11ac, el *delay* no es dependiente de los *CODECS*.

4.3.2. *Jitter*

En comparación con el desempeño de la red respecto al *jitter* con el estándar IEEE 802.11b, se aprecia en la Figura 9 que para el caso del estándar IEEE 802.11ac se tienen menos picos por lo que representa una mejor respuesta del canal frente a interferencias de fenómenos externos presentados en el canal de comunicaciones.

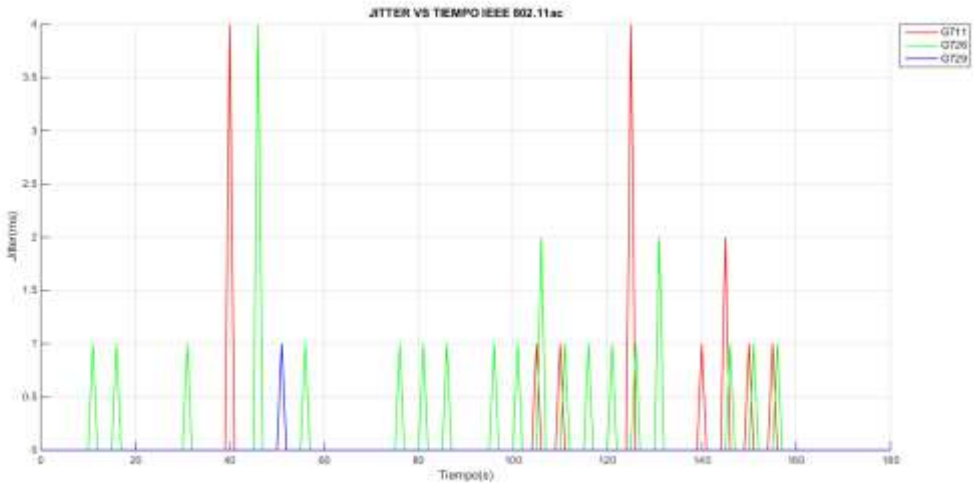

Figura 9. Variación de *Jitter* estándar IEEE 802.11ac

Una de las principales observaciones que se tiene con estos resultados mostrados en la Tabla 10 es que como hay menos dispositivos que se encuentren trabajando en la banda de 5*GHz* se tendrán menos interferencias por parte de otros dispositivos que se encuentren enviando datos a través de la red inalámbrica.

Tabla 10.

Comparación de *Jitter* IEEE 802.11ac

CODEC	*Jitter* máximo(ms)	*Jitter* promedio(ms)
G.711	4	0.0833
G.726	4	0.1388
G.729	1	0.0056

4.3.3. Paquetes perdidos

De igual forma que para el caso del estándar IEEE *802.11b* el *CODEC* que representa un mejor desempeño en este caso es el G.726. La diferencia que se puede definir es que tiene un mejor rendimiento trabajando en la banda de frecuencia de 5GHZ como se observa en la Figura 10.

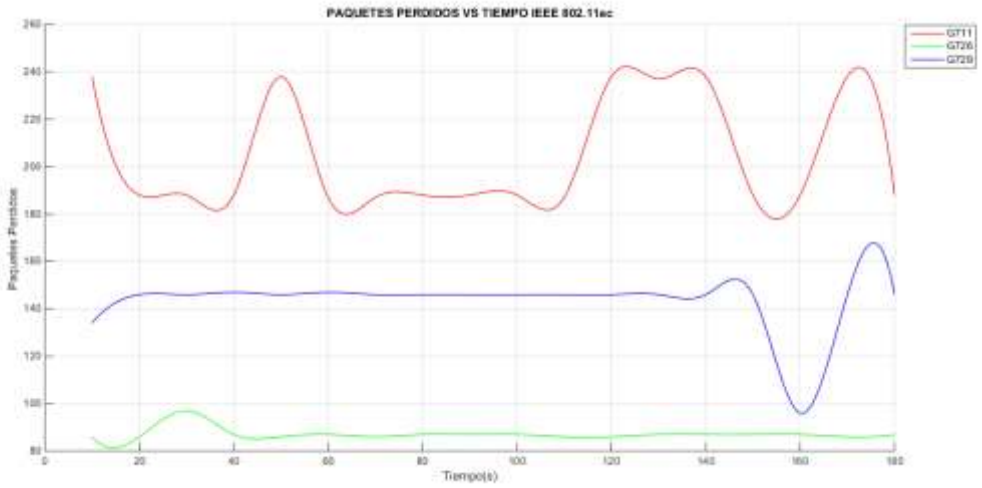

Figura 10. Variación de Paquetes perdidos estándar IEEE 802.11ac

Como se observa en la Tabla 11, el *CODEC* que representa un mejor rendimiento en cuanto a paquetes perdidos es el G.726, en comparación a la Tabla 7, se tiene una reducción de paquetes perdidos en un 20%. De igual forma todos los *CODECS* cumplen con la normativa (T. ITU, 1996).

Tabla 11.

Comparación de Paquetes Perdidos IEEE 802.11ac

CODEC	Máximo número de paquetes perdidos	Número de paquetes perdidos promedio	Porcentaje de Paquetes Perdidos
G.711	238	204.4444	2.02%
G.726	97	87.1667	0.95%
G.729	147	142.6677	1.62%

4.3.4. Velocidad de transmisión

La velocidad de transmisión para el estándar de comunicaciones IEEE *802.11ac*, es igual que para el estándar IEEE *802.11b*, debido a que se cuenta con todo el ancho de banda de la red, por lo que cada *CODEC* puede hacer uso de la misma y transmitir a su máxima velocidad de transmisión.

4.4. Parámetros Cuantitativos en una red degradada con el estándar IEEE 802.11b

Con la configuración de la red planteada en Figura 2, se obtienen diferentes medidas de desempeño en la red. Cada *CODEC* se comporta diferente cuando se limita el ancho de banda.

4.4.1. *Delay*

Como se observa en la Figura 11 y Figura 12 existe una gran diferencia entre los *CODECS*, el que presenta un mejor desempeño es el G.729, ya que ocupa poco ancho de banda y como la red se encuentra degradada, trabaja con mayor eficiencia.

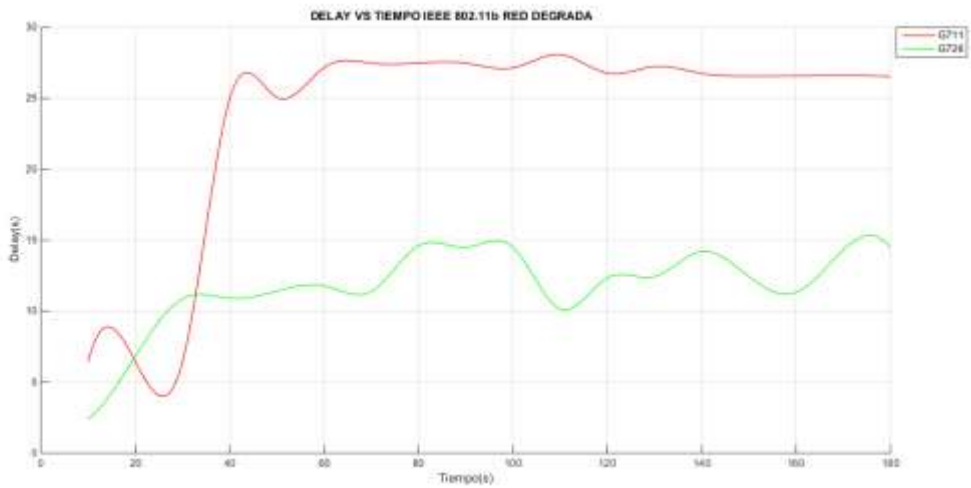

Figura 11. Variación de *Delay* (s) estándar IEEE 802.11b red degradada

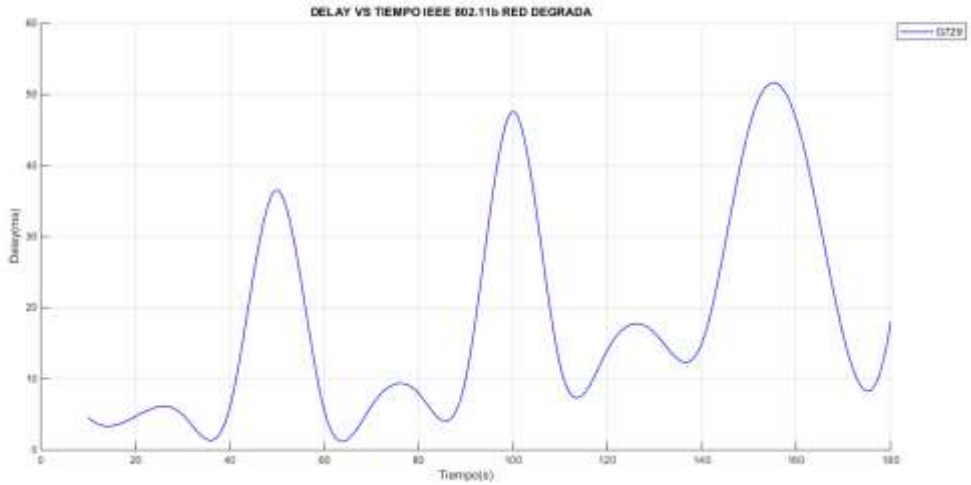

Figura 12. Variación de *Delay* (ms) estándar IEEE 802.11b red degradada

En comparación con los datos obtenidos en la Tabla 5, el valor del *delay* para los *CODECS* aumentara en alto porcentaje, con excepción del G.729 que aumenta únicamente en $11.73ms$, que se encuentran dentro de lo especificado por las normas para telefonía (ITU, 2003).

Tabla 12.

Comparación de *Delay* IEEE 802.11b en una red degradada

CODEC	***Delay* máximo(ms)**	***Delay* promedio(ms)**
G.711	28074	23402.7222
G.726	14611	11718.77778
G.729	47,6	17.64616667

Como se observa en la Tabla 12, el valor del *delay* es demasiado alto, esto se nota claramente en la llamada, el audio llega con aproximadamente 24 segundos después de lo que fue enviado debido a la degradación de la red.

4.4.2. *Jitter*

Para los valores de *Jitter* se tienen valores altos para todos los *CODECS* como se puede observar en la Figura 13, pero el único que es representa un valor menor al establecido en la norma de telefonía de 150ms es el G.729. Como se observa en la

siguiente gráfica y en el valor promedio, todos tienen valores muy altos pero el *CODEC* mencionado presenta un mejor rendimiento.

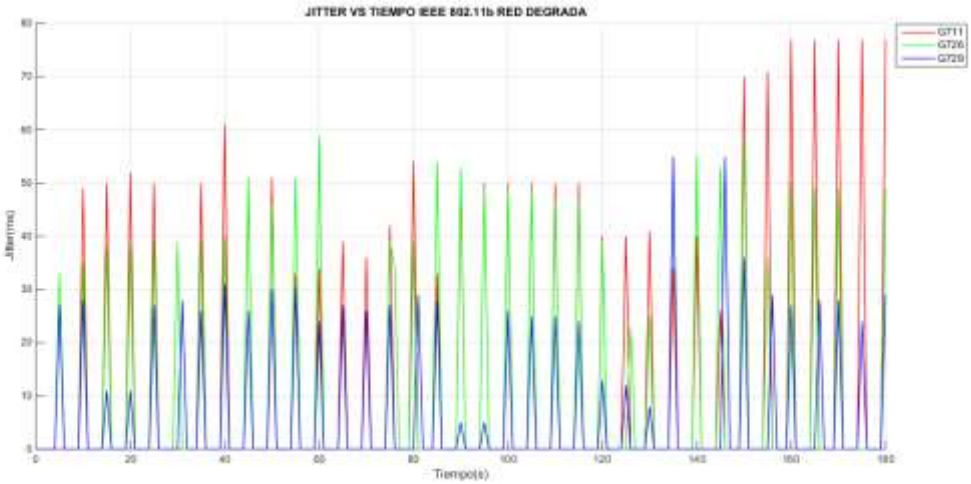

Figura 13. Variación de *Jitter* estándar IEEE 802.11b red degradada

Se verifican los valores del *jitter* en la Tabla 13, donde se presentan valores altos con excepción del *CODEC* G.729.

Tabla 13.

Comparación de *Jitter* IEEE 802.11b en una red degradada

CODEC	***Jitter* máximo(ms)**	***Jitter* promedio(ms)**
G.711	77	9.6611
G.726	59	8.6500
G.729	55	4.9444

4.4.3. Paquetes Perdidos

Para los paquetes perdidos pasa de igual forma que para el caso del *delay* tomando en cuenta que el ancho de banda se encuentra restringido, el número de paquetes perdidos aumenta excesivamente como se puede identificar en la Figura 14, en comparación al caso que se tenía completamente disponible todo el ancho de banda para el uso del canal que establece la llamada entre los dos usuarios.

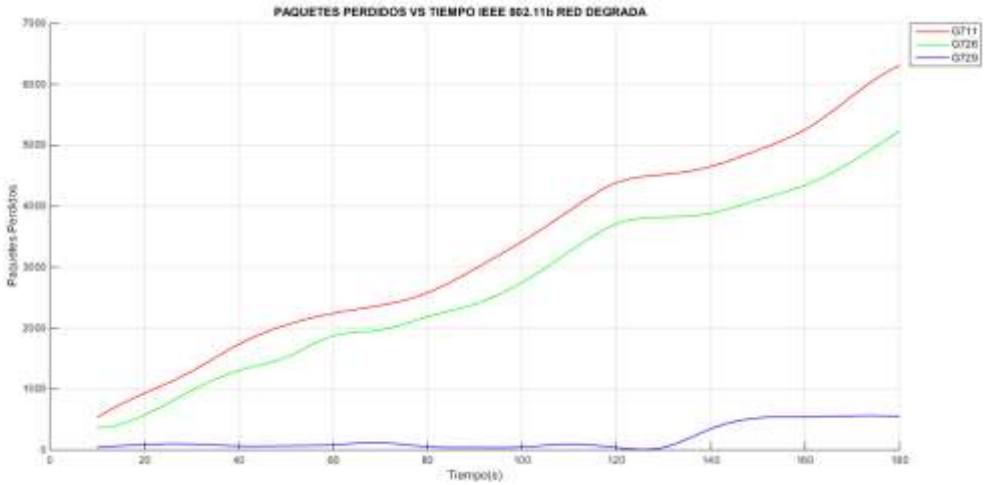

Figura 14. Paquetes Perdidos estándar IEEE 802.11b red degradada

En comparación con la Figura 6, el *CODEC* que ofrecía un mejor rendimiento frente a los paquetes perdidos era el G.726, para este caso se corrobora con la Tabla 14 que el mejor es el G.729, ya que sus valores son casi similares al caso en el que la red tenía disponible todo su ancho de banda para establecer la llamada.

Tabla 14.

Comparación de Paquetes Perdidos IEEE 802.11b red degradada

CODEC	**Máximo número de paquetes perdidos**	**Número de paquetes perdidos promedio**	**Porcentaje de Paquetes Perdidos**
G.711	6310	3328.5	68.65%
G.726	5237	2722.8333	51.54%
G.729	559	189.3888	1.66%

Se verifica que el valor de paquetes perdidos del *CODEC* G.729 únicamente aumenta en 87,0588 paquetes por lo que es el mejor para este caso de escenarios donde no se pierden tantos paquetes como en los otros *CODECS*. En consecuencia tiene un porcentaje de paquetes perdidos dentro de la normativa (T. ITU, 1996).

4.4.4. Velocidad de Transmisión

De acuerdo a la configuración planteada para la degradación de la red, se disminuye el ancho de banda del canal virtual de comunicaciones en el adaptar de red.

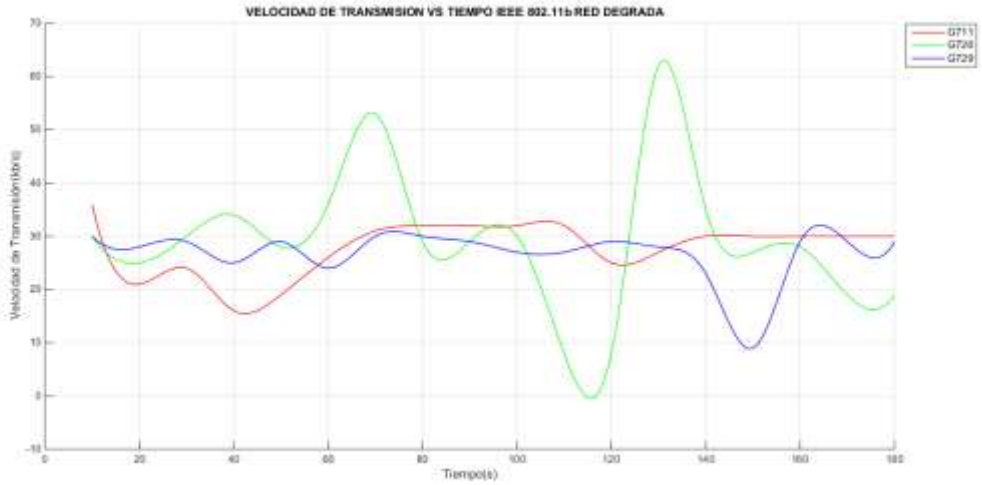

Figura 15. Velocidad de Transmisión estándar IEEE 802.11b red degradada

Como se muestra en la Figura 15, se demuestra que la red se encuentra degradada debido a la limitación del ancho de banda. Cada uno de los *CODECS* para este tipo de red presentan una similitud en sus velocidades de transmisión, lo que no pasaba en el caso de la Figura 7, donde, claramente si distingue que el *CODEC* que presenta un mejor rendimiento es el G.711.

Tabla 15.

Comparación de Velocidad de transmisión en una red degradada

CODEC	Velocidad de transmisión máxima (Kb/s)	Velocidad de transmisión promedio (Kb/s)
G.711	36	27.9444
G.726	62	29.4444
G.729	30	26.8889

Como se observa en la Tabla 15, el *CODEC* que presenta una mejor velocidad de transmisión es el G.726, pero, el que presenta un mejor rendimiento es el G.729 ya que

obtiene el mismo desempeño que se obtuvo cuando no se estaba limitando el ancho de banda de la red. Es decir, el G.729 presenta un mejor rendimiento que los otros *CODECS* a pesar que el canal presenta factores externos que afectan la calidad de servicio de la llamada.

4.5. Parámetros Cuantitativos en una red degradada con el estándar IEEE 802.11ac

Con la configuración de la red planteada en Figura 2, se obtienen diferentes medidas de desempeño en la red. Cada *CODEC* se comporta diferente cuando se limita el ancho de banda. Con la diferencia que se transmite por medio de un canal inalámbrico con el estándar IEEE 802.11ac.

4.5.1. *Delay*

De igual forma que el caso anterior observado en la Figura 11 y Figura 12, los valores varían respecto al *CODEC* G.729 con los otros dos como se observa en la Figura 16 y Figura 17. La diferencia radica en que el valor del *Delay* disminuye ya que la red tiene un mejor desempeño con este estándar a pesar que se encuentra limitado su ancho de banda.

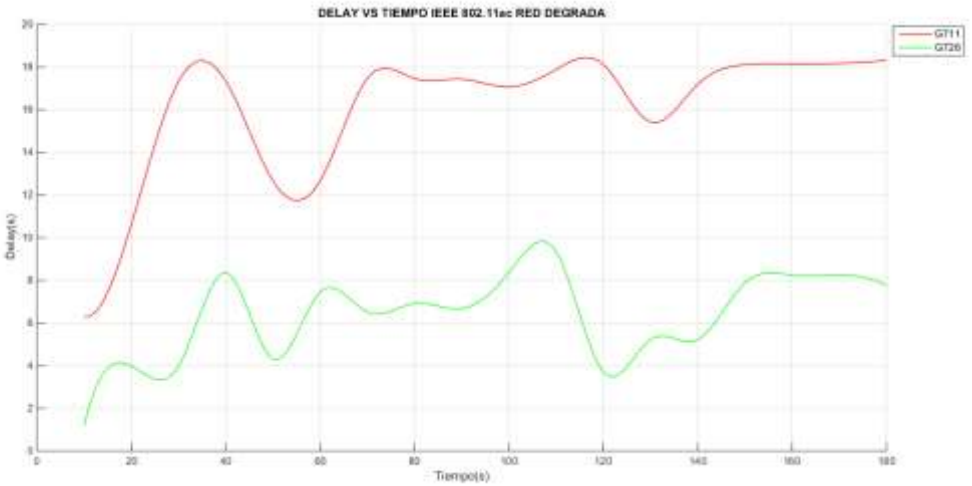

Figura 16. Variación de *Delay* (s) estándar IEEE 802.11ac red degradada

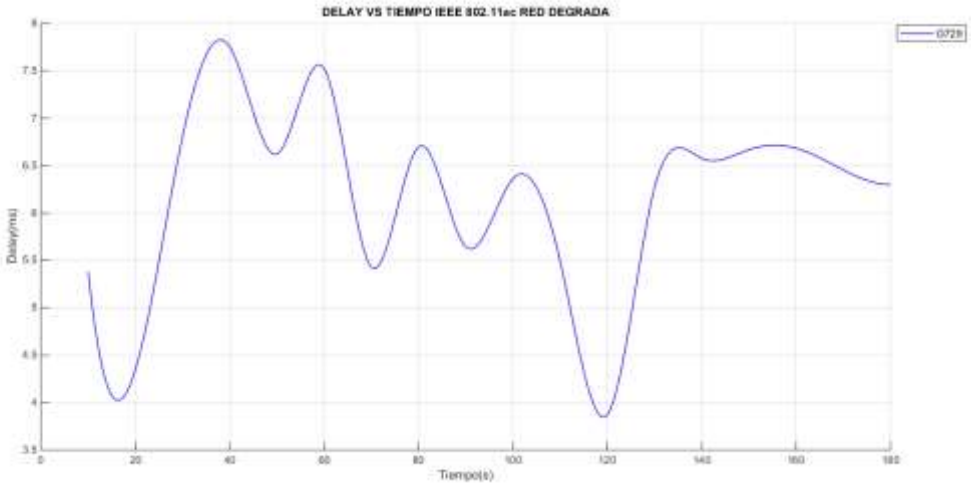

Figura 17. *Delay* (ms) estándar IEEE 802.11ac red degradada

En comparación con los datos obtenidos en la Tabla 12, el valor del *Delay* en el *CODEC* G.729 es mejor. Los valores del mismo no pasan de 8ms a diferencia del otro caso que están alrededor de los 50ms como se puede verificar en la Tabla 16.

Tabla 16.

Comparación de *Delay* IEEE 802.11ac red degradada

CODEC	***Delay* máximo(ms)**	***Delay* promedio(ms)**
G.711	18311	15985.33
G.726	9341	6299.28
G.729	7.751	6.21

4.5.2. *Jitter*

De igual forma que en el caso que se tiene la red degradada como se muestra en la Figura 18, el *CODEC* que presenta un mejor rendimiento en cuanto al *jitter* es el G.729, se observan picos máximos de 40ms a diferencia del caso anterior que los picos eran de casi 60ms.

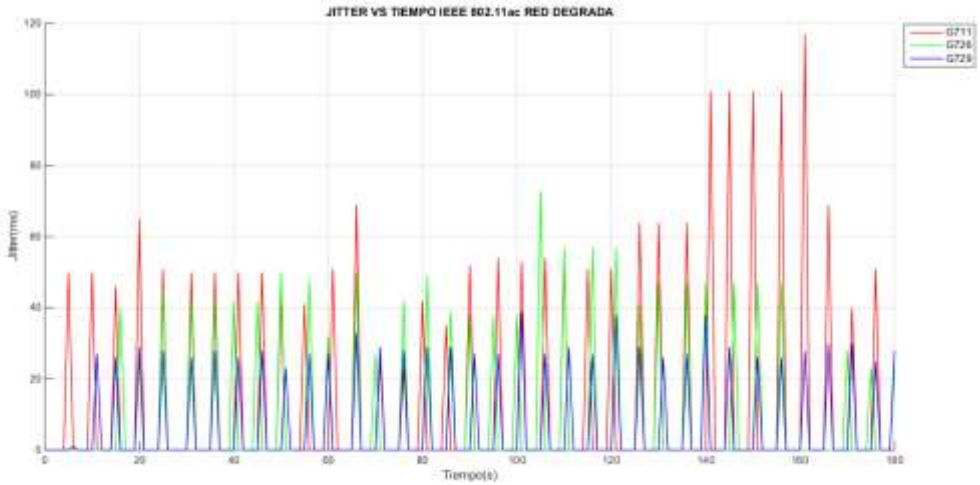

Figura 18. *Jitter* estándar IEEE 802.11ac red degradada

Se verifican los valores en la Tabla 17, donde se presentan valores óptimos del *CODEC* G.729.

Tabla 17.

Comparación de *Jitter* IEEE 802.11ac red degradada

CODEC	***Jitter* máximo(ms)**	***Jitter* promedio(ms)**
G.711	117	58.06
G.726	73	42.84
G.729	39	27.77

A pesar que el valor máximo y promedio del *jitter* aumentan con diferencia del estándar IEEE 802.11b, los valores son más constantes y tienen menos picos a lo largo de la llamada, lo que permite que la misma sea más eficiente si se implementan métodos de corrección de datos que lleguen con retraso o adelanto.

4.5.3. Paquetes Perdidos

El número de paquetes perdidos de igual forma que los observados en la Figura 14 aumentan en proporciones de miles, el *CODEC* que tiene un mejor desempeño es el G.729 ya que se encuentra bajo los 50 paquetes perdidos como se evidencia en la Figura 19.

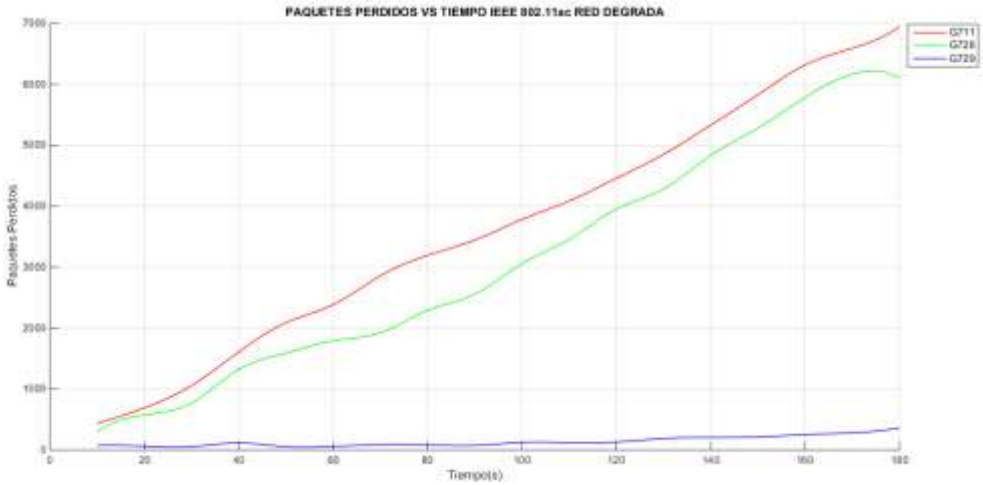

Figura 19. Paquetes Perdidos estándar IEEE 802.11ac red degradada

Los paquetes perdidos comparando con la Tabla 14 tienen un igual desempeño, con excepción del *CODEC* G.729 que presenta una diferencia de 50 paquetes perdidos como se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18.

Comparación de Paquetes Perdidos IEEE 802.11ac en una red degradada

CODEC	Máximo número de paquetes perdidos	Número de paquetes perdidos promedio	Porcentaje de Paquetes Perdidos
G.711	6948	3665.11	76.06%
G.726	6173	3114.11	66.81%
G.729	365	141.44	1.65%

Se verifica que el valor de paquetes perdidos del *CODEC* G.729 únicamente aumenta en 37 paquetes por lo para todos los casos el uso de este con el estándar de comunicaciones IEEE 802.11ac es el más óptimo y con menos perdidas en el canal.

4.5.4. Velocidad de Transmisión

De acuerdo a la configuración planteada para la degradación de la red, se disminuye el ancho de banda del canal virtual de comunicaciones en el adaptar de red para el estándar IEEE 802.11ac.

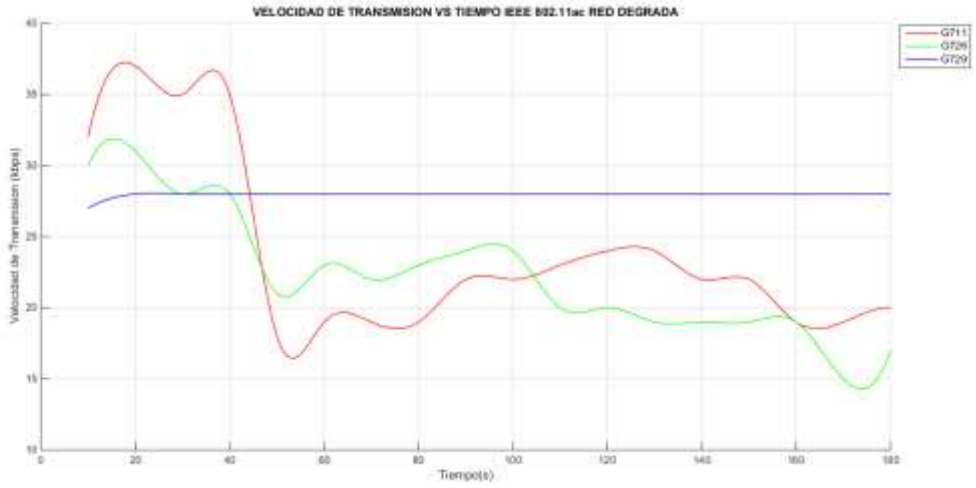

Figura 20. Velocidad de Transmisión estándar IEEE 802.11ac red degradada

Como se muestra en la Figura 20, la red se encuentra degradada debido a la limitación del ancho de banda. En este caso todos los *CODECS* presentan un pobre rendimiento al momento de transmitir.

Tabla 19.

Comparación de Velocidad de transmisión en una red degradada

CODEC	Velocidad de transmisión máxima (Kb/s)	Velocidad de transmisión promedio (Kb/s)
G.711	37	23.94
G.726	31	22.33
G.729	28	27.94

Como se observa en la Tabla 19, el *CODEC* que presenta una mejor velocidad de transmisión es el G.729, lo que no ocurría cuando se disponía de todo el ancho de banda.

4.6. Parámetros Cualitativos de la red

Tomando en cuenta las calificaciones establecidas en la Tabla 3 y Tabla 4 se toman dos casos que presentan diferentes valores, como son los de transmitir por el canal una

frase de 3 palabras y el otro caso el de transmitir 30 segundos de una canción como se especifica en las transmisiones de calidad óptima (A. Cruz, 2011).

Para los dos casos se toman las mismas consideraciones respecto a la amplitud de la señal o la velocidad de reproducción, pero se obtienen resultados concluyentes respecto a la transmisión de varias frases y la transmisión de sonidos de instrumentos musicales y voces.

4.6.1. MOS de la frase

En consecuencia, para la calidad de la llamada el valor que tendría un mejor desempeño sería el de 5, caso contrario para calificar el valor del ruido, se necesitaría un valor cercano a 0 para poder establecer que en el canal no existe ruido (A. Kondoz, 2004).

Tabla 20.

MOS de calidad de una frase

CODEC	Clara Se entiende perfectamente	Buena Se entiende medianamente	Regular Se entiende	Opaca Es confusa	Mala No se entiende	Calificación Final
G.711	19	18	3	1	0	4.34
G.726	24	15	2	0	0	4.54
G.729	20	12	9	0	0	4.27

Como se observa en la Tabla 20 para lo que es únicamente una frase, el *CODEC* que presenta una mejor calificación de la muestra es el G.726 considerando que posee un mejor cuantificador lo que hace que la voz no se escuche “robotizada” y se entienda correctamente, dándole una buena calidad y por tanto un buen desempeño a la red.

Tabla 21.

MOS de ruido de una frase

CODEC	No existe ruido	El ruido es Imperceptible	El ruido es poco molesto	El ruido es molesto	El ruido es muy molesto	Calificación Final
G.711	7	33	1	0	0	1.85
G.726	13	26	2	0	0	1.73
G.729	10	24	4	0	0	1.71

En el caso del ruido como se presenta en la Tabla 21, el *CODEC* que presenta un mejor desempeño es el G.729 debido a que es el que menos ancho de banda ocupa, a pesar de esta limitación para los usuarios es el que tiene menos ruido en la señal de salida.

4.6.2. MOS de la canción

A diferencia de la frase, la canción se encuentra compuesta por muchos tonos que forman parte de la armonía de la música. Compuesta por varios instrumentos, percusión y voces, es más notorio el cambio respecto a la frase analizada anteriormente.

Tabla 22.

MOS de calidad de una canción

CODEC	Clara Se entiende perfectamente	Buena Se entiende medianamente	Regular Se entiende	Opaca Es confusa	Mala No se entiende	Calificación Final
G.711	2	6	9	4	0	3.29
G.726	0	1	0	16	4	1.90
G.729	0	1	7	10	3	2.29

En el caso de transmitir una canción, se requiere de métodos más avanzados, lo que no sucede con la telefonía IP y con los *CODECS* de audio ya que se encuentran más optimizados para transmitir voz.

Además, el *CODEC* que presenta un mejor rendimiento como se muestra en la Tabla 22 es el G.711, que de igual forma que en la mayoría de parámetros cuantitativos, es el que tiene un mejor desempeño en varias categorías como el *delay* y el *jitter*, además, considerando que es uno de los que tiene la menor cantidad de paquetes perdidos y una velocidad de transmisión constante.

Tabla 23.

MOS del ruido de una canción

CODEC	No existe ruido	El ruido es Imperceptible	El ruido es poco molesto	El ruido es molesto	El ruido es muy molesto	Calificación Final
G.711	0	4	14	3	0	2.95
G.726	0	0	1	12	8	4.33
G.729	0	1	2	15	3	3.95

De igual forma como se observa en la Tabla 23, es evidente que el valor del ruido creció respecto a cuándo únicamente se transfiere la frase, tomando en cuenta que existe la distorsión propia de los instrumentos musicales, así como las variaciones de los tonos en la voz, genera un mayor ruido.

Para ser eliminado el ruido se necesita de procesos más complejos respecto a lo que es producción musical, además, necesita de un canal de comunicaciones con un ancho de banda más grande para poder transmitir con mayor fidelidad cada uno de los componentes que forman la armonía de la música.

4.7. Ancho de Banda para establecer la llamada

Como se muestra en la Tabla 24, dependiendo del ancho de banda del canal, ciertos *CODECS* no permiten establecer la llamada y en otras ocasiones la red se encuentra demasiado degrada que no permite tener una conversación fluida.

Tabla 24.

Ancho de Banda de la Red

ANCHO DE BANDA kbps	G.711	G.726	G.729
28.8	NO SE CONECTA	NO SE CONECTA	MALA CALIDAD DE LLAMADA
56	NO SE CONECTA	NO SE CONECTA	MALA CALIDAD DE LLAMADA
64	NO SE CONECTA	MALA CALIDAD DE LLAMADA	LLAMADA PERFECTA
128	MALA CALIDAD DE LLAMADA	MALA CALIDAD DE LLAMADA	LLAMADA PERFECTA
192	LLAMADA PERFECTA	LLAMADA PERFECTA	LLAMADA PERFECTA

El ancho de Banda óptimo para que se pueda obtener una buena calidad de llamada y no existan problemas con la conexión es de *192kbps*.

4.8. Medidas Objetivas basadas en el espectro

4.8.1. Medida Cepstral

En la Tabla 25 se presentan los valores de la distorsión Cepstral (*Cepstrum*) que se obtuvieron al comparar las señales distorsionadas de cada uno de los *CODECS* con la señal original.

Tabla 25.

Medida de Cepstrum

CODEC	Cepstrum
G.711	0.1043
G.726	0.3130
G.729	0.3009

El *CODEC* que presenta una distorsión espectral más cercana a cero es el G.711, es el que se aproxima de mejor forma a la señal original. A pesar de que en el dominio

del tiempo el *CODEC* que más se aproxima a la señal original es el G.729, pero en espectro es uno de los que más diferencia tiene, dado que, ocupa un menor ancho de banda que el resto.

4.8.2. Medida MBSD

Tomando en cuenta que se tiene una ventana de 160 muestras, cada una es ponderada por una ventana de Hanning, por lo que se encuentra optimizada para minimizar el máximo lóbulo lateral y tener una medida óptima.

Tabla 26.

Medida MBSD

CODEC	MBSD
G.711	0.4804
G.726	0.3017
G.729	0.3811

Como se observa en la Tabla 26, el *CODEC* que presenta un mejor desempeño en relación al umbral de enmascaramiento del ruido es el G.726, la cantidad de ruido es más cercana a la de la señal original. El hecho de que posean el mismo ruido es favorable al momento de trabajar con la señal distorsionada, ya que, se puede aplicar el mismo filtraje y tener una mejor aproximación.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se comprobó que, el *CODEC* que representa un mejor desempeño cuando se tiene un ancho de banda sin limitaciones es el G.711, ya que puede trabajar con su velocidad de transmisión al máximo. Este *CODEC* al trabajar a su máxima velocidad presentara grandes prestaciones como son: mínimo de paquetes perdidos en la transmisión, un *delay* y *jitter* bajo.

- Se comprobó que el *CODEC* G.711 es el que obtiene mejores calificaciones respecto a las medidas de parámetros subjetivos. El G.711 presento un mejor rendimiento cuando se evaluó una canción, tomando en cuenta que la música está compuesta por instrumentos musicales y por voz, que aumentaran la distorsión y el ruido de la señal.

- Se evidenció que la velocidad de transmisión mínima que se necesita para tener un correcto funcionamiento de los *CODECS* es de $192kbps$, ya que, si no se tiene esta velocidad, las llamadas no son establecidas o se tiene un *delay* alto. El mayor *delay* que se obtuvo al establecer una llamada es de $28s$, lo que resulta muy perceptible al oído y no permite una conversación fluida.

- Para el caso de una red degradada, el único *CODEC* que permite transmitir por el canal es el G.729, debido a que no ocupa mucho ancho de banda. Por lo tanto es el único que puede ser calificado por los usuarios para obtener las medidas subjetivas.

- Se demostró que el *CODEC* G.729 representa una mejor reconstrucción de la señal original en el dominio del tiempo, cuenta con niveles de cuantificación óptimos que minimizan el error de cuantificación de la señal.

- Se determinó que, para una red degradada, con un ancho de banda limitado, el *CODEC* que presenta un mejor desempeño es el G.729, en comparación con el G.711. El G.729 es el que conserva su rendimiento a pesar de que la red se encuentra degrada, los paquetes perdidos son menores al promedio y el *delay* y *jitter* se encuentran dentro de los valores establecidos por las normas de telefonía. En cuanto a la velocidad de transmisión, el G.729 mantiene constante la misma a pesar de que la red se encuentra degradada, por lo que es considerado para trabajar en redes de bajo desempeño o de poca cobertura.

- Se determinó que el estándar de comunicaciones inalámbrico IEEE 802.11ac muestra un mejor desempeño que el IEEE 802.11b, tanto para una red con un ancho de banda limitado como para una red sin limitaciones.

- Se evidenció que el *CODEC* que representa una menor distorsión espectral es el G.711, por lo tanto, se puede definir que es el que el espectro de dicho audio es similar al del audio Original por tener un mayor ancho de banda para transmitir la señal en el canal de comunicaciones inalámbrico.

- Se demostró que el *CODEC* G.726 es el que presenta una cantidad de ruido similar a la del audio original, por lo que se pueden aplicar las mismas técnicas de filtraje de ruido y poder reconstruir la señal de forma más fiable.

5.2. Recomendaciones

- Para la simplificación del conteo de encuestas se recomienda el uso de herramientas online que permiten obtener una mejor validación de los resultados, ya que implementan un mejor análisis al poseer aplicaciones de filtraje de datos.

- Se recomienda aumentar el número de encuestas realizadas, ya que se obtiene un mejor nivel de confianza al momento de obtener las medidas de los parámetros subjetivos.

5.3. Trabajos Futuros

- Los parámetros tanto objetivos como subjetivos de la investigación, fueron resultado de transmitir un audio a través de la central telefónica en Asterisk, la cual contaba con algunos módulos cargados, por lo que, los trabajos a futuro serian evaluar con nuevos *CODECS* de audio que vayan siendo presentados para la telefonía IP, obteniendo mejores medidas de desempeño.

- De igual forma, se pueden implementar estudios con diferentes estándares de comunicaciones inalámbricos que pueden ser presentados en el futuro o que se encuentran en investigación como el estándar IEEE 802.16, conocido como WiMAX.

- Como proyecto futuro se plantea replicar el análisis de desempeño de la red con un mayor número de usuarios, de forma que se pueda tener una aproximación más cercana a la red telefónica convencional.

- Se proyecta trabajar en un escalamiento de red, implementando nuevas centrales telefónicas e interconectándolas entre ellas para dividir el tráfico, y verificar si existe un mejor desempeño de la red en cuanto al escenario planteado en este trabajo de investigación.

- Aumentar el número de llamadas entre los usuarios para obtener datos más fiables, tomando en consideración que el canal inalámbrico varía en función de factores externos como la lluvia, interferencia, entre otros.

REFERENCIAS

A. Cruz. (2011). VERIFICACION DE LA CALIDAD OPTIMA DEL AUDIO EN EL SISTEMA DE MONITOREO DIGITAL DE LA DIRECCION DENERAL DE RADIO, TELEVISION Y CINEMATOGRAFIA. *INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.*

A. Kondoz. (2004). Digital Speech Coding for Low Bit Rate Communication Systems. (pp. 28-56). John Wiley & Sons.

A. Takahashi, Y. H. (2004). Percentual QoS Assessment Technologies for VoIP. *IEEE Communications Magazine* (pp. pp. 28-34). doi: 10.1109/MCOM.2004.1316526.

Asterisk. (2017). *Next-generation IP phones*. Retrieved from http://www.asterisk.org/

CSIPSimple. (2011). *CSIPSimple*. Retrieved from VoIP Phone Reviews: https://www.onsip.com/voip-phone-reviews/csipsimple

E. Álvarez. (2009). *Analisis e implementación de un sistema experimental de voz sobre IP empleando el protocolo SIP*. Retrieved from Tesis para la obtener el grado de maestro en ciencias, Instituto Politécnico Nacional: http://itzamna.bnct.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/20394/Alvarez%20Hern%C3%A1ndez%2c%20Eva%20Guadalupe_DP.pdf?sequence=1&isAllowed=y

E. Ong, K. J. (2011). IEEE 802.11ac: Enhacements for Very High Throughput WLANs. *IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications* (pp. pp. 849-853). doi: 10.1109/PIMRC.2011.6140087.

Feedback Networks, 1. (2013). *Calcular la muestra correcta*. Retrieved from https://www.feedbacknetworks.com/cas/experiencia/sol-preguntar-calcular.html

Fututel. (2017). *SuperVoz - Puntos de Recarga Directa*. Retrieved from https://fututel.com/es/voz-ip-voip/recargar/puntos-de-recarga-directa

ITU. (2003). SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS.

J. Ferreira, G. G. (2016). EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF A NETWORK LAN OVER POWERLINE COMMUNICATIONS FOR THE TRANSMISSION OF VOIP. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia Bucaramanga, Colombia*, (pp. pp. 84-88). Colombia.

J. Tonfat Seclen, C. C. (2008). Diseño de un modulador FM basado en la tecnología Software Radio. *XIV Iberchip Workshop* . ISBN-13 978-968-7938-03-5.

L. Rabiner, R. S. (1978). Digital Processing of Speech Signals. Prentice Hall.

L. Ramos. (2016). *Diseño de una red VPN para la integración de los servicios de VoIP y video vigilancia para los infocentros comunitarios.* Retrieved from Perfil del trabajo previo a la obtención del título de master en redes de comunicación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12606/DISE%C3%91O%20DE%20UNA%20RED%20VPN%20PARA%20LA%20INTEGRACI%C3%93N%20DE%20LOS%20SERVICIOS%20DE%20VOIP%20%20Y%20VIDEO%20VIGILANCIA%20PARA%20LOS%20INFOCENTROS%20COMUNITARIOS..pdf?sequence=1&isAllowe

R. Granizo, A. T. (2016). *Guía referencial para el manejo de QoS en redes WLAN prioritizando tráfico* . Retrieved from Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: https://www.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1077/948

R. Hiertz, D. D. (2010). The IEEE 802.11 Universe. *IEEE Communications Magazine* (pp. pp. 62-70). doi: 10.1109/MCOM.2010.5394032.

R. Pepinosa, Z. R. (2013). Revisión de la Implementación del servicio de IPTV sobre Redes Inalámbricas y Móviles con Calidad de Servicio. *Facultad de Ingenierías Fisiomecánicas* (pp. pp. 40-50). ISSN: 2145-8456.

S. Demolitas, D. P. (1989). Objective speech distortion measures and their relevance to speech quality assessments. (pp. pp. 317-324). DOI: 10.1049/ip-i-2.1989.0045.

S. Guevara, B. V. (2011). Telephone support: A strategy of intervention for family caregivers in chronic health conditions. *Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.*

T. Dutoit, N. M. (2007). How is speech processed in a cell phone conversation? *Faculté Polytechnique de Mons, Belgium*, (pp. pp. 1-9).

T. ITU, 1. (1996). ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL. *Recomendación UIT-T G.764.*

TP-Link. (2017). *Router Gigabit de Banda Dual Inalámbrico AC1750*. Retrieved from http://www.tp-link.ec/products/details/cat-9_Archer-C7.html

W. Lai, F. N. (2017). Cross-Layer selective routing for cost and Delay minimization in IEEE 802.11ac wireless mesh network. *Department of Electrical Engineering, National Taiwan Normal University, Taipei.* doi: 10.1007/s11276-017-1462-9.

Y. Wonho, M. D. (2002). A modified bark spectral distortion measure which uses noise masking threshold. DOI: 10.1109/SCFT.1997.623893.

Zhou, G. (2016). The Study and Implementation of VoIP Intelligent Voice Communication System Based on SIP Protocol. *Xiamen University Zhangzhou Campus.* doi: 10.1145/3028842.3028861.

Zoiper. (2017). *Zoiper*. Retrieved from https://www.zoiper.com/en