

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA MEDICIÓN DE CALIDAD DE
SISTEMAS DE TELEFONIA IP IMPLEMENTADO SOBRE REDES DE DATOS
EMPRESARIALES HETEROGENEAS**

PRESENTA:

JUAN CAMILO MARQUEZ PARRA
1310011726

ASESOR:

Msc. WILMAR JAIMES FERNANDEZ

DICIEMBRE DE 2016

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	MARCO TEORICO.....	9
2.1	Telefonia IP o VoIP	9
2.2	Rtp (Real Time Protocol)	9
2.3	Modelo OSI.....	11
2.4	Protocolo SIP (session internet protocol)	12
2.5	Codecs	14
2.6	Asterisk.....	15
2.7	Licencia GNU	16
2.8	Transformada de Fourier	16
3.	ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	18
3.1	Planificacion	18
3.2	Metodo de Analisis.....	18
3.3	Plan de Pruebas.....	19
3.4	Analisis Espectral.....	20
3.5	Analisis Estadistico	20
3.6	Indice.....	20
4.	DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN.....	20
4.1	Puesta en marcha de Asterisk	20
4.2	Instalacion Elastix	21
4.3	Acceso a la interfaz grafica de Elastix.....	25
4.4	Extensiones SIP en Elastix	27
4.5	Registro de extensiones en Softphone	27
4.6	Configuracion de tarjetas de audio	29
4.7	Ejecución Plan de Pruebas	29
4.8	Analisis en Scilab	32
4.8.1	Transformada rapida de Fourier	32
4.8.2	Error Cuadratico Medio.....	33
5.	RESULTADOS.....	34
6.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	49
7.	REFERENCIAS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Codigos de respuesta en protocolo SIP	14
Tabla 2. Codecs en VoIP	16
Tabla 3. Resultados ECM	48
Tabla 4. Resultados ECM dB.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Encabezado de RTP	11
Figura 2 Capas del modelo de OSI.....	12
Figura 3 Protocolo SIP	14
Figura 4 Estrategia metodológica.....	19
Figura 5 Diagrama de bloques del proyecto	20
Figura 6 Topología LAN	20
Figura 7 Topología WLAN.....	21
Figura 8 Elaborado en Scilab	21
Figura 9 Versiones de Elastix.....	23
Figura 10 Instalación de Elastix	23
Figura 11 Instalación de Elastix	24
Figura 12 Instalación de Elastix	24
Figura 13 Instalación de Elastix	25
Figura 14 Instalación de Elastix	25
Figura 15 Instalación de Elastix	26
Figura 16 Instalación de Elastix	26
Figura 17 Ingreso al servidor de voz mediante root	27
Figura 18 Acceso a la administración del servidor.....	27
Figura 19 Ingreso a la interfaz web	28
Figura 20 Página principal de la interfaz web.....	28
Figura 21 Crear extensiones en Elastix.....	29
Figura 22 Crear extensiones en Elastix.....	29
Figura 23 Registro de cuentas SIP en softphone.....	30
Figura 24 Registro de cuentas SIP en softphone.....	30
Figura 25 Seleccionar dispositivos de grabación Audacity.....	31
Figura 26 Cambio de codecs softphone ext 1001	31
Figura 27 Cambio de codecs softphone ext 1002	31
Figura 28 Selección de codecs en la interfaz web.....	32
Figura 29 Tono sinusoidal enviado.....	32
Figura 30 Audio capturado en Audacity.....	33
Figura 31 FFT elaborado en Scilab.....	33
Figura 32 Espectro de la señal original.....	34
Figura 33 Espectro de la señal capturada	34
Figura 34 Calculo del Error Cuadrático Medio en Scilab	35
Figura 35 FFT Codec GSM, LAN	35
Figura 36 FFT Codec GSM, LAN	36
Figura 37 FFT Codec G711, LAN	37
Figura 38 FFT Codec G711, LAN	38
Figura 39 FFT Codec G726, LAN	39
Figura 40 FFT Codec G726, LAN	40
Figura 41 FFT Codec GSM, WLAN.....	41
Figura 42 FFT Codec GSM, WLAN.....	42
Figura 43 FFT Codec G711, WLAN.....	43

Figura 44 FFT Codec G711, WLAN.....	44
Figura 45 FFT Codec G726, WLAN.....	45
Figura 46 FFT Codec G726, WLAN.....	46
Figura 47 Índice IndCod, LAN	47
Figura 48 Índice IndCod, WLAN.....	48

RESUMEN

En el presente documento se aborda el estudio espectral de los codecs GSM, G711 y G726 en telefonía IP implementado en las topologías LAN y WLAN en un entorno empresarial.

El análisis se realiza ejecutando un plan de pruebas el cual consiste en enviar una serie de tonos sinusoidales de distintas frecuencias mediante la red, con el fin de poder comparar el tono original con el enviado. La comparación se realiza a través del espectro generado en ambas muestras mediante la transformada de Fourier y el modelo estadístico de Error Cuadrático Medio.

Se encontró que el codec con mejor índice de calidad es el G711 para las dos topologías y se comprueba que el codec GSM se comporta mejor en WLAN ya que fue diseñado para funcionar mejor en un entorno inalámbrico. El codec G726 es un equilibrio entre los dos ya mencionados anteriormente con una buena relación calidad y banda ancha.

ABSTRACT

The present document deals an spectral study of codecs, GSM, G711 and G726 in telephony IP implementing in topologies LAN and WLAN in a business environment.

The analysis is done by running with a testing plan which consists in send a set of sinusoidal tones with different frequencies through the network, in order to compare the original tone with the sent one. The comparison will be realize through the spectrum generated in the both samples through Fourier Transform and the statistical model of mean square error.

The codec with the best quality index was found and that is G711 for the both topologies and was verified that GSM codec behaves better in WLAN because it was designed to work better in a wireless environment. The G726 codec is a balance between the both abovementioned with a good relation of quality and broadband.

PALABRAS CLAVE

Telefonía IP, Análisis Espectral, Calidad de Codecs, Topologías.

KEY

Telephony IP, Spectral Analysis, Quality of Codecs, Topologies.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de tecnologías de última generación en los últimos años trae consigo grandes retos y avances para la construcción de un mundo digital globalizado. Uno de los principales avances fue lograr convergencia total en la red de datos con el objetivo de obtener una mejor administración, calidad de servicio y una mejor escalabilidad.¹ Dentro de las tecnologías convergentes de la actualidad se encuentra la telefonía IP. Las centrales telefónicas digitales (IP PBX) utilizan la red de datos para establecer una conversación telefónica entre dos o más personas, por lo que las mismas poseen dentro su estructura cierto tipo de conmutación que permite la codificación y decodificación de voz, para ser transmitida mediante paquetes de datos.

En 1937 el científico Inglés Alec Hc Reeves a partir de la segunda guerra mundial vio la necesidad de tener sistemas de comunicaciones más eficientes por lo que desarrolló en gran parte la Modulación por impulsos codificados (PCM). Debido a que no se había dado el desarrollo del transistor fue hasta 1948 que se logró implementar. [1]

Cabe resaltar que el oído humano puede escuchar hasta 20 kHz, siendo este el límite, sin embargo, donde se centra la mayoría de la energía disipada por la voz normalmente se encuentra por debajo de los 4 kHz.

Los codecs son dispositivos que permiten la codificación de la voz en el origen y decodificación en el destino, poseen características importantes como el ancho de banda, retardo, tasa en bits y medio por el cual es transmitido. La ITU-T es la organización encargada de estandarizar los codecs de distintas tecnologías.

Viendo la necesidad que presenta la empresa Rastrack S.A.S en cuanto a los costos de operación y un bajo desempeño en sus comunicaciones unificadas se decidió implementar IP PBX, basado en Asterisk. Adicionalmente se vio la necesidad de realizar un estudio en codecs de telefonía IP que logre evaluar el desempeño que tiene cada uno frente a distintas topologías de red que se conocen actualmente.

En la primera parte del presente documento se encontrará la revisión de literatura, la cual contrasta con la estrategia metodológica. En la estrategia metodológica se documenta detalladamente los pasos necesarios que se realizaran en el desarrollo e implementación para lograr un índice de calidad de codecs de voz IP en la sección de resultados. Por último, se expresan las conclusiones en base a los resultados obtenidos y a la experiencia adquirida durante el desarrollo del proyecto.

¹ Actualmente los sistemas y dispositivos tecnológicos se desarrollan con el fin de ejecutar varias tareas simultáneas y similares. Las redes convergentes hoy día hacen referencia a los sistemas de comunicaciones que antiguamente se tenían separados tales como internet (acceso a la nube), video (sistemas de CCTV) y voz (características de telefonía), entre otros.

JUSTIFICACION

En la actualidad las comunicaciones unificadas (Voz IP) se han visto afectadas frente a su bajo rendimiento debido a una incorrecta implementación, sin haber tenido un estudio previo que permita conocer características importantes para lograr un mejor costo - beneficio. Por lo que se ha visto en la necesidad de hacer un plan de pruebas apoyado en transformadas matemáticas que logre identificar y corregir la forma en que se transmite la voz por medio de la red de datos.

Teniendo en cuenta la insatisfacción de los clientes y empleados de la compañía Rastrack S.A.S, durante el periodo de 2015 - 2016, frente al servicio de telefonía y considerando en primera instancia las falencias económicas que presenta la empresa, se ha requerido solucionar este problema. Teniendo claro la débil infraestructura que posee la misma, sin necesidad de hacer grandes inversiones y mejorando la calidad de servicio ofrecido.

En el estudio a realizar se espera analizar el comportamiento que tienen las comunicaciones unificadas, implementadas en distintas topologías de red con el propósito de alcanzar un equilibrio entre rendimiento, calidad y alcance.

El análisis expuesto anteriormente manifestará distintos indicadores que permitan garantizar la correcta elección del codec en un servidor de voz, con lo cual, la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano podrá incluir este tipo de estudios para entornos de carácter de investigación, apoyando así la formación como Ingeniero en Telecomunicaciones.

OBJETIVO GENERAL

Documentar la propuesta metodológica para el análisis de la calidad de codecs en una red heterogénea para la transmisión de voz IP. Se establecerá un índice que permita la correcta elección de un codec frente a una topología en un entorno empresarial.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar un conjunto de pruebas el cual permita comparar las características de los codecs en un servicio de telefonía IP. Se propone elaborar un conjunto de tonos sinusoidales a distintas frecuencias para ser transmitidos sobre la red de datos.
- Construir el análisis a partir de los espectros en frecuencia y mediante un método estadístico poder comparar la distorsión de una señal transmitida en un sistema de voz IP.
- Elaborar un índice general para el rango de frecuencia de la voz a partir de los resultados obtenidos que indique el desempeño en una red heterogénea.
- Documentar en su totalidad el proceso y la metodología utilizada en el proyecto que permita al lector aplicarla en el posible estudio de nuevos codecs de voz.

2. MARCO TEORICO - ANALISIS ESPECTRAL EN CODECS DE TELEFONIA IP – RASTRACK S.A.S

Para lograr comprender algunas características durante el desarrollo del proyecto, es necesario tener en cuenta algunos parámetros importantes acerca del funcionamiento que posee la telefonía IP, a continuación, se lista y explica los más relevantes.

2.1 TELEFONIA IP O VOIP

Las tecnologías de información y comunicación [2] han tenido una gran evolución en los últimos años y de ahí el gran auge que posee internet. La telefonía sobre internet como su nombre lo indica utiliza protocolo IP, por lo que para transmitir la voz en forma de datos siempre estará ligado con la capa de red. Con su desarrollo y aplicaciones surge el término VoIP ² que considera su aplicación no solo sobre una red de área local, también mediante plataformas web, redes de larga distancia tipo WAN ³, y conexiones netamente en la nube. Al utilizar IP se permite realizar llamadas telefónicas convencionales en dispositivos como PC's, teléfonos IP, celulares y teléfonos convencionales mediante uso de un gateway o ATA ⁴.

2.2 RTP (Real Time Protocol)

En español, Protocolo de Transporte en Tiempo Real, es uno de los más importantes y relevantes en el mundo de las telecomunicaciones actualmente. Debido a su funcionamiento y mecanismo permite hoy en día tener servicios multimedia como videoconferencia, video, música y telefonía sobre internet, entre otros.

Request for Comments son artículos y publicaciones basadas en internet, protocolos y redes, elaborados por IETF⁵, en español Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet. En 1996 fue el organismo que estandarizó RTP dando como referencia RFC1889. [3]

RTP utiliza como protocolo de transporte a UDP, esto garantiza velocidad en su transmisión, pero no fiabilidad en entrega de paquetes y tiempos adecuados conocido como calidad de servicio.

² Voice Over Internet Protocol

³ Wide Area Network

⁴ Analog Telephony Adapter o Gateway, hace referencia a un dispositivo que permite la convergencia entre teléfonos convencionales, para poder ser incluidos en la red IP.

⁵ The Internet Engineering Task Force

En RTP, la multiplexación es proporcionada por la dirección de transporte de destino (dirección de red y número de puerto), que define una sesión RTP. Por ejemplo, en una video conferencia compuesta de audio y vídeo son codificados por separado, cada medio debe utilizar una sesión RTP. [3]

La cabecera de RTP es conformada por 3 palabras, cada una de 32 bits que poseen algunas importantes características, a continuación, se explica la estructura que conforma un paquete de dicho protocolo, según [3].

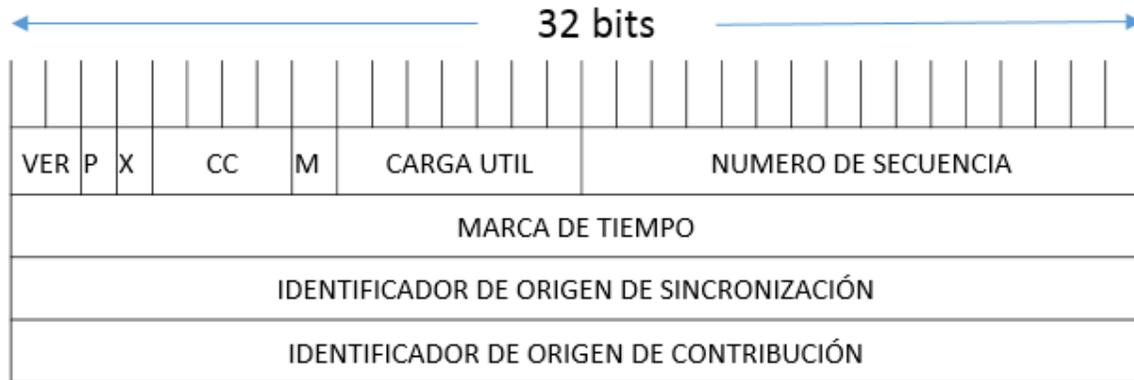


Figura 1 Encabezado de RTP, elaborado en base a [3]

PRIMERA PALABRA:

- Ver: Indica la versión de RTP. (2 bits)
- P: Indica si el paquete se ha rellenado a un múltiplo de 4 bytes. El último byte de relleno indica cuántos bytes se agregaron. (1 bit)
- X: Indica si hay un encabezado de extensión. (1 bit)
- CC: Indica cuántos orígenes de contribución están presentes, de 0 a 15 (4 bits)
- M: Es un marcador específico de la aplicación, normalmente un marcador de inicio. (1 bit)
- Tipo de carga útil: Indica cuál es el algoritmo de codificación que se ha utilizado. (7 bits)
- Número de secuencia: Contador que se incrementa en cada paquete RTP enviado. (16 bits)

SEGUNDA PALABRA:

- Marca de tiempo: Indica cuándo se creó la primera muestra en el paquete. (32 bits)

TERCERA PALABRA:

- Identificador de origen de sincronización: Indica a cuál flujo pertenece el paquete. Es el método para de multiplexar/demultiplexar varios flujos de datos en un solo flujo de paquetes UDP. (32 bits)
- Por último, los Identificadores de origen de contribución, en caso de que haya, se utilizan cuando los mezcladores están presentes en el estudio. En ese caso, el mezclador es el origen de sincronización, y los flujos que se mezclan se listan en esta palabra.

2.3 Modelo OSI

El modelo de OSI (Open System Interconnection), que da referencia a la arquitectura capa a capa sobre los protocolos que requiere internet para su funcionamiento, en telefonía IP es destacable conocer que se opera casi en la gran mayoría de estas capas. En la capa de transporte se encuentra situado RTP que tiene mecanismos guiados hacia distintas capas y es transportado mediante UDP.

A continuación, se muestra en qué capas y que protocolos proporcionan el funcionamiento de voz sobre internet.



Figura 2 Capas del modelo de OSI, elaborado en base a [4]

2.4 Protocolo SIP (Session Internet Protocol)

SIP es un protocolo de internet basado en la comunicación en tiempo real y su principal característica es la señalización. Donde comprende actividades como la creación, modificación y culminación de sesiones multimedia con uno o más participantes de una red. Posee gran similitud con HTTP⁶ debido a que su funcionamiento se desarrolló con el mecanismo de petición y respuesta, en inglés (request - response) [5] y de igual forma se apoya en un modelo cliente/servidor. Fue desarrollado por la IETF y estandarizado como RFC 3261 [6].

La estandarización RFC 3261 define seis solicitudes o métodos que describen el estado y la conformación de la llamada, a continuación, se describe cada uno de ellos según la IETF [6].

- Invite o invitación, es el método utilizado con el fin de establecer sesión entre dos terminales SIP y contiene información de ambas partes y el tipo de intercambio de datos que se va a generar ya sea voz o video.
- ACK⁷, es el método que recibe una respuesta del INVITE y genera la confirmación de tipo “busy” o “answer”, el ACK es enviado al servidor para establecer la llamada o para terminar la misma.
- BYE, es el método que puede ser enviado en cualquier momento en el que se cursa la llamada y puede ser emitido por cualquiera de las partes, su principal cualidad es liberar una sesión que previamente fue establecida.
- REGISTER, por lo particular es el método encargado de registrar dos clientes SIP, y enviar al servidor su dirección de contacto, dirección IP.
- CANCEL, es utilizado para el abandono de la llamada que aún no ha sido respondida por el destinatario.
- OPTIONS, es el método que incluye la determinación de capacidades de un cliente o servidor.

⁶ HTTP, Hypertext Transfer Protocol. Protocolo que permite la transferencia de información en internet.

⁷ Acknowledgement en español es el acuse de recibido, en redes es utilizado como función de repetición automática, su estructura por lo general es corta.

En la siguiente tabla se describe los tipos de respuesta que genera el destinatario SIP después de haber recibido algún requerimiento.

Tabla 1. Códigos de respuesta en protocolo SIP

CLASE 1XX	Información, el requerimiento ha sido recibido y está en curso de tratamiento
CLASE 2XX	Éxito, el requerimiento ha sido recibido, entendido y aceptado
CLASE 3XX	Reenrutamiento, la llamada requiere otros procesamientos antes de poder determinar si puede ser realizada.
CLASE 4XX	Error requerimiento cliente, el requerimiento no puede ser interpretado o servido por el servidor. El requerimiento tiene que ser modificado antes de ser reenviado.
CLASE 5XX	Error servidor, el servidor fracasa en el procesamiento de un requerimiento aparentemente valido.
CLASE 6XX	Fracaso global, el requerimiento no puede ser procesado por ningún servidor.

Nota: Elaborada en base a [7]

Según la RFC3261 [6], a continuación, se describe brevemente el funcionamiento que posee el protocolo SIP en una llamada de tipo cliente/servidor.

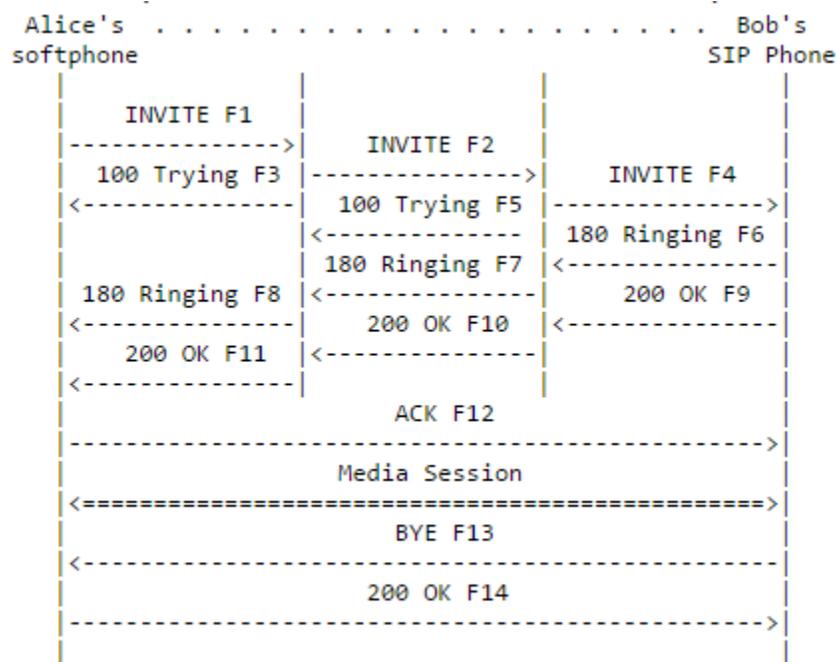


Figura 3 Protocolo SIP, tomado de RFC 3261 [6]

- En primera instancia el cliente que desea llamar envía una solicitud *INVITE* al servidor proxy que contiene información del destino, consecuente a eso el

servidor verifica la misma y envía una respuesta *TRYING 100* al origen que indica que está trabajando para intentar conectar al destino.

- El servidor proxy verifica en sus registros y envía un *INVITE* al destino. Nuevamente el proxy envía una notificación de *TRYING 100* al origen para indicarle que envió una solicitud de conexión al destino.
- El destino se encuentra activo y disponible entonces responde positivamente al *INVITE* con un *RINGING 180* que típicamente se convierte en el momento en el que el origen escucha que timbra hacia el destino y envía su dirección IP en su cabecera.
- En este momento el destino responde a la llamada y justo cuando se descuelga el teléfono o se responde en el softphone⁸, el destino envía una respuesta *200 OK* al proxy que contiene información como el tipo de sesión que esta por establecerse junto con otros campos importantes como ID de identificación y tipo de medio.
- El *ACK* es establecido de extremo a extremo debido a que por medio del *INVITE/200 OK*, los dos clientes SIP aprendieron la dirección IP.
- En este momento es posible establecer la llamada mediante el protocolo RTP por medio de UDP.
- Cuando la llamada llega a su fin y una de las partes cuelga e inmediatamente se genera un mensaje de tipo *BYE*, que se envía nuevamente de extremo a extremo sin pasar por el servidor.
- El cliente SIP que recibe el *BYE*, debe enviar confirmación al otro cliente y nuevamente se envía un mensaje de tipo *200 OK*.

El protocolo descrito anteriormente puede variar y se vuelve completamente dependiente del estado que presente cada uno de los clientes SIP.

2.5 Codecs

Las siglas correspondientes de estos dispositivos son (*COmpresor-DEscompresor*) y son utilizados para transmitir la voz sobre una red IP. Su principal función es transformar la voz análoga a digital en el origen, llamando a este fenómeno codificación, con el fin de empaquetarla y ser enviada mediante protocolos UDP/RTP. La función en el destino de estos dispositivos es desempaquetar la voz para poder ser reproducida en tiempo real.

Existen múltiples codecs de voz que son utilizados en voz IP, algunos con características especiales como tasa de muestreo, ancho de banda, calidad de audio y uso de recursos.

Fueron elaborados en principio para trabajar en donde se concentraba gran parte de la energía disipada por la voz humana, es decir en un rango de 50 Hz a 4 KHz y

⁸ Softphone es una combinación de software y de teléfono, diseñado para operar en redes LAN y se puede asociar a plataformas conocidas como Skype, utiliza protocolo SIP.

se les dio a conocer como codecs de banda estrecha [8]. La ITU-T estandarizó un nuevo rango de frecuencias que se les dio por nombre codecs de banda ancha, con operación entre los 50 Hz y 7 KHz. Actualmente esta misma organización ha referenciado codecs de súper banda ancha ubicándose en 50 Hz y 14 KHz y de banda completa operando en un rango de frecuencia de 50 Hz a 20 KHz. Los codecs de operación libre (no licenciada) son los de banda estrecha.

Los codecs más utilizados en telefonía IP son los que se muestran a continuación, se encuentran en continuo desarrollo y son estandarizados por la ITU a excepción de GSM que fue estandarizado por la ETSI.

Tabla 2. Codecs en VoIP

CODEC	ESTANDARIZADO	TIPO	ANCHO DE BANDA	TASA DE MUESTREO	RETARDO(ms)	TIPO	NOTAS
G711	ITU-T	PCM: Modulación por código de impulsos	64 Kbps	8000/S	0,125	Banda Estrecha	Este codec se divide en versión <i>u-law</i> para Estados Unidos y Japón. La versión <i>a-law</i> utilizada en Europa y resto del mundo, ver más características en [9].
G726	ITU-T	ADPCM: Modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa	16,24,32,40 Kbps	8000/S	0,125	Banda Estrecha	La configuración más adecuada es 32 kbps, ya que duplica el uso de G711 consumiendo menos ancho de banda, ver más características en [10].
G729	ITU-T	CS-ACELP: Conjugación lineal por estructura de código abierto.	8 Kbps	8000/S	15	Banda Ancha	Tiene la particularidad de ser un codec de excelente calidad y con poco consumo de ancho de banda, debido a esto es uno de los codecs licenciados, ver más características en [11].
GSM	ETSI	RPE-LTP: Predicción lineal excitado por pulsos regulares de larga duración.	13 Kbps	8000/S	20	Banda Estrecha	Codec estandarizado por la ETSI (European Telecommunications Standards Institute), es especialmente utilizado en telefonía celular, ver más características en [12].

Nota: Elaborado en base a los estándares de la ITU-T y ETSI

2.6 Asterisk

Asterisk en principio fue ofertada como una PBX corriente, pero con la particularidad que podía operar a través de internet, por eso con el tiempo gracias al avance que ha tenido internet dejó de ser una central de telefonía común para convertirse en un servidor de telefonía IP, para dar paso a grandes proyectos de telefonía y convergencias de red. Opera bajo sistema operativo Linux lo que lo convierte en un sistema estable con pocas probabilidades de error y actualizaciones inoportunas.

Asterisk es un desarrollo netamente de software con licenciamiento libre, puede operar perfectamente en un ordenador común, debido a su poco consumo de recursos, como también en un entorno virtualizado e incluso ofrecer servicios en la nube para cualquier tipo de empresas. Además, es posible incluir base de datos de tipo SQL, contestador automático, transferencia de llamadas, servidor de correo, conexiones remotas de tipo VPN, grabador de llamadas y entre otras funcionalidades. Consta con módulos de seguridad de tipo firewall, gateways GSM y también módulos para la interconexión hacia la PSTN ya sea de tipo FXO o FXS.

Una de sus ventajas es que puede operar en pequeñas, medianas y grandes empresas con un total estimado de hasta 10.000 clientes por servidor, posee una fácil escalabilidad y tiene la enorme característica de poder ser migrada de lugar en cuestión de minutos, únicamente es necesario una red de datos LAN, conexión a la red de telefonía pública e internet.

La plataforma continua en constante desarrollo por la comunidad y grandes empresas han implementado sus servidores de telefonía bajo esta tecnología debido a su costo-beneficio ya que las llamadas pueden ser cursadas mediante internet lo que se ve reflejado en el valor a pagar por las mismas, incluso las llamadas a larga distancia día a día crecen debido a este tipo de tecnología.

2.7 Licencia GNU

Asterisk es un software de código abierto al público, con licenciamiento GPL que permite compartir, modificar y distribuir las mismas, dependiendo de la necesidad, es una licencia pública, y aunque posee este tipo de libertades, no significa que es completamente gratis.

Debido a que se mantiene en constante cambio este tipo de licencias, la organización no ofrece ningún tipo de garantías por lo que el usuario debe hacerse responsable de cualquier tipo de seguridad o fallos en el sistema [13]. Este tipo de licenciamiento opera sobre plataformas Linux.

2.8 Transformada de Fourier

La transformada de Fourier, es una optimización de la transformada discreta de Fourier, pero ambas parten de las series de Fourier que son utilizadas para el

análisis de señales periódicas, sin embargo, se conoce que no todas las señales son de esta característica, como por ejemplo la voz o sistemas analógicos de medición y entre otros.

El principal objetivo de las transformadas de Fourier es poder expresar todas las señales en términos de senos y cosenos. El término transformada es derivado del poder expresar cualquier tipo de señal no en función del tiempo como normalmente suele expresarse, si no poderla expresar en función de la frecuencia.

A continuación, se describirá brevemente la transformada matemática, basado en [14].

Las series de Fourier tienen la siguiente forma.

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n \cdot e^{j2\pi n F_0 t} ; F_0 = \frac{1}{T}$$

El coeficiente de Fourier X_n , está dado por la siguiente expresión.

$$X_n = \frac{1}{T} \cdot \int_{-T/2}^{T/2} X(t) \cdot e^{j2\pi n F_0 t} dt$$

Lo anterior garantiza el poder expresar cualquier tipo de señal periódica como una sumatoria de sinusoides, lo que indica que la derivada e integral de una serie de Fourier tendrá la misma frecuencia que la señal original.

Para señales aperiódicas, el método indicado es expresar la señal en términos exponenciales (senos y cosenos) y suponer que existe una sumatoria de señales periódicas, por lo que sería indicado aplicar el teorema de las series de Fourier.

Por lo que según [14] *“En una señal periódica de período T y como tal podrá representarse mediante un desarrollo en serie de Fourier. A medida que T aumenta, el intervalo de representación se hace más grande y cuando T es infinito la señal periódica se habrá convertido en aperiódica”*

Por consecuencia de lo anterior podemos afirmar que:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} x_T(t) = x(t)$$

La transformada de Fourier toma la siguiente forma cuando la ecuación anterior es aplicada en este tipo de señales.

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x).e^{-j2\pi xf} dx$$

2.9 Error Cuadrático Medio

El error cuadrático medio es un modelo estadístico que permite medir la diferencia entre dos muestras del mismo tamaño y está dado por la siguiente ecuación.

$$ECM = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2 + \dots + (X_n - Y_n)^2$$

Donde X_x es el conjunto de valores de una muestra y Y_y es el conjunto de valores de la segunda muestra. N esta dado por la cantidad de muestras o pronósticos.

3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

La metodología a aplicar en el presente proyecto tiene como parámetros principales los que se listarán a continuación y serán descritos detalladamente para su correcta ejecución.



Figura 4 Estrategia metodológica.

3.1 PLANIFICACION

Desde primera instancia al elaborar el itinerario que debe tener el proyecto, se debe pensar en las etapas principales que tiene el mismo, para tener un estimado de tiempos, costos y poder garantizar siempre el servicio de red a la compañía para no ver afectadas sus telecomunicaciones. No todas las etapas tienen el mismo periodo de duración, esto debido a que en alguna de ellas se depende de la aprobación del departamento de ingeniería y gerencia. También en los tiempos de demora que pueda presentar el ISP para entregar o modificar servicios para el servidor.

3.2 METODO DE ANALISIS

El método de análisis en el presente proyecto, debe medir la calidad de los codecs de voz de licenciamiento libre, G711, G726 y GSM. Estos operan mediante una red de datos de área local. Por lo que se decidió optar por elaborar un plan de pruebas que permitiera analizar espectralmente cada uno de los codecs en distintas topologías de red. A continuación, se muestra en un diagrama de bloques.

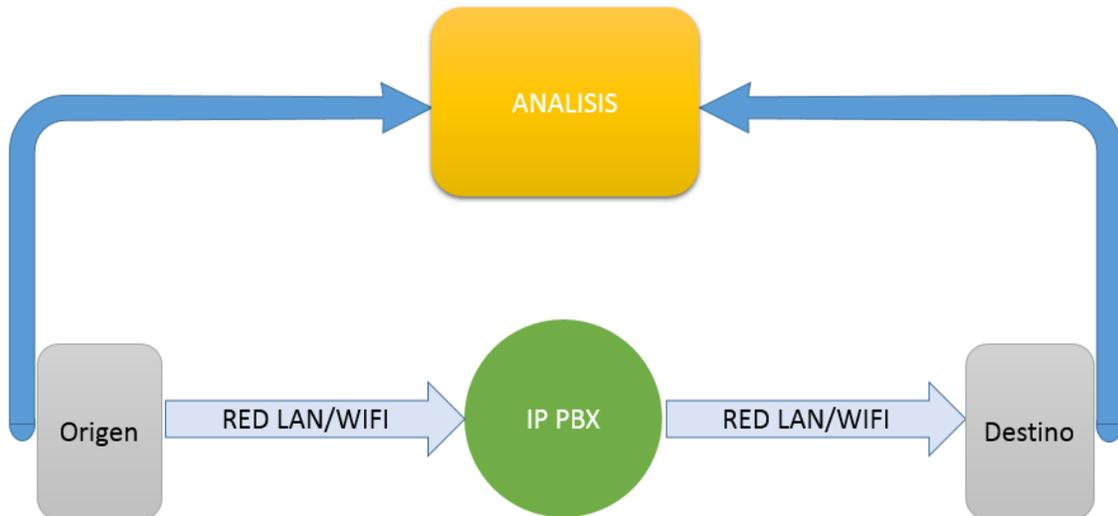


Figura 5 Diagrama de bloques del proyecto

El análisis demanda comparar el espectro de una señal o muestra de audio original contra la misma ya codificada y decodificada por la red de voz IP.

Las pruebas a realizar en la topología LAN se realizará en un entorno empresarial que posee un total de 25 clientes, la infraestructura con la que se cuenta posee cable UTP categoría 6, un enrutador administrable y switch con calidad de servicio.

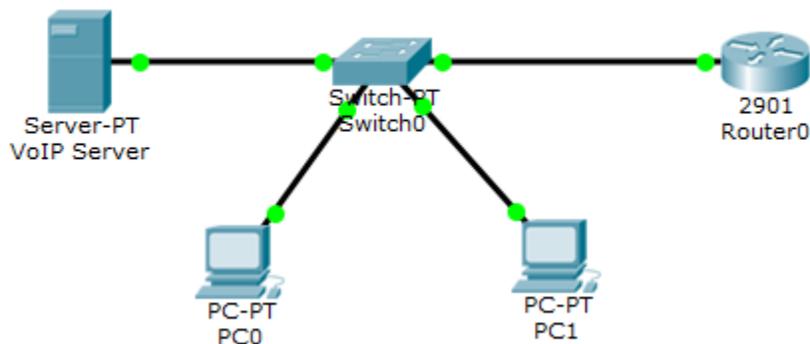


Figura 6 Topología LAN

El plan de pruebas así mismo será ejecutado en un entorno WLAN que tiene las mismas características que se mencionaron anteriormente, incluyendo un punto de acceso AP. Los clientes inalámbricos se ubicarán a una distancia de 6 mts.

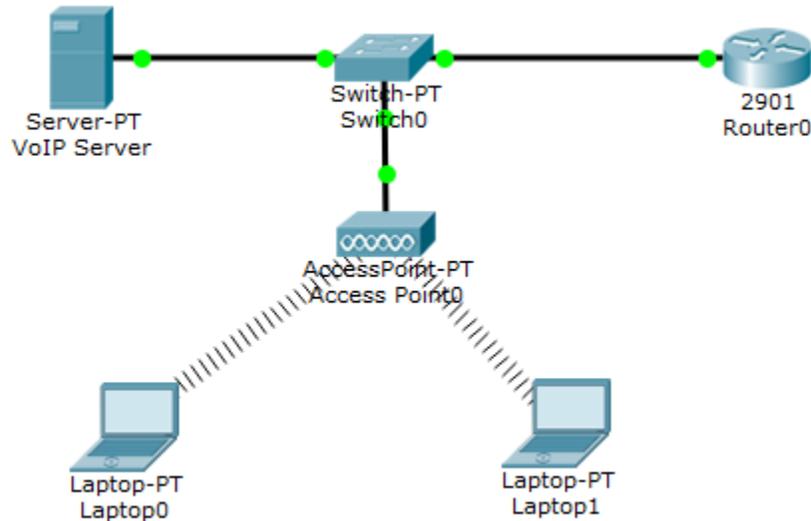


Figura 7 Topología WLAN

3.3 PLAN DE PRUEBAS

Se requiere elaborar un plan de pruebas el cual sea estable y no sufra variaciones de ruido y frecuencia. Siguiendo estos parámetros se desarrollará una serie de tonos sinusoidales con variación en frecuencia, los cuales serán enviados y codificados por el agente (origen) y serán recibidos-decodificados en el destino.

Los tonos serán generados en la herramienta Scilab y almacenados por el mismo software. A continuación, se muestra la estructura general que tendrá cada tono elaborado para este plan de pruebas.

```
1 Sr=;//Frec.de-muestreo
2 Fr=;//Frecuencia-en-Hz
3 T=;//Tiempo
4 t=0:1/Sr:T;//Vector-tiempo
5 x=sin(Fr*2*%pi*t);//Señal-sinusoidal
6 wavwrite(x, Sr, 'RutadeDestino.wav');//Destino-de-almacenamiento
```

Figura 8 Elaborado en Scilab

En la siguiente instancia se pretende enviar los tonos elaborados, mediante la red de datos a través de un ordenador y poder capturar en el destino el mismo tono. Con el fin de evaluar punto a punto el espectro de la señal original frente a la recibida

y determinar mediante un método estadístico cuanto ruido, interferencia, y cambios tiene cada tipo de codec en topologías heterogéneas.

3.4 ANALISIS ESPECTRAL

Para poder hacer un análisis más profundo y específico en el presente proyecto, se propone evaluar la señal enviada y capturada mediante la transformada rápida de Fourier, para poder observar las distorsiones generadas por el tipo de codificador y también el ruido que genera la red de datos.

Se optó que la herramienta más indicada para realizar este análisis era el software Scilab, quien permite tener un amplio manejo y fácil manipulación entre vectores y variables.

3.5 ANALISIS ESTADISTICO

A partir de los resultados que genera el análisis espectral se pretende utilizar el método estadístico error cuadrático medio, para conocer en que frecuencias la señal puede fluctuar. Es en esta etapa del proyecto es donde las dos señales se comparan punto a punto mediante los vectores que genera la transformada rápida de Fourier.

3.6 INDICE

Partiendo de este modelo estadístico se espera que las muestras coincidan en su totalidad sí el resultado obtenido tiende a menos infinito, lo anterior debido a que los resultados serán normalizados y expresados en dB. De lo contrario cuando el error cuadrático medio tienda a 0 será de baja calidad. En base a estos resultados se podrá elaborar el índice el cual permita conocer la calidad de cada codec.

4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación correcta del proyecto se debe hacer énfasis en el tipo de servidor en el cual se implementó los servicios de voz sobre IP, en la siguiente sección se explica brevemente la metodología para la instalación de Asterisk y los aspectos a tener en cuenta para la interconexión hacia la red de telefonía pública.

4.1 PUESTA EN MARCHA DE ASTERISK

Asterisk es un software que opera sobre sistema operativo Linux, tiene sub distribuciones que permiten el uso de sus ficheros y librerías para la creación de nuevas estructuras de comunicaciones, las cuales tienen características diferentes en cuanto a rendimiento, complementos y administración. Por lo general todas las versiones que incorporan en su estructura a Asterisk tienen que ser administrados mediante la herramienta de interfaz de línea de comandos CLI.

En el presente proyecto se decidió junto con el departamento de ingeniería de la compañía, poner en marcha la versión de Asterisk administrable mediante interfaz web, esto debido a un primer acercamiento de todo el departamento. Esta

distribución es nombrada como Elastix por la empresa desarrolladora Palosanto Solutions, la cual permite una rápida y guiada administración y es basada en otras distribuciones como FreePbx. Disponible para operar en versiones de 32 y 64 bits.

4.2 INSTALACION ELASTIX

- Para obtener la imagen con el software requerido, se debe acceder a la pagina del fabricante y descargarlo⁹, para enseguida ser instalado en el servidor.

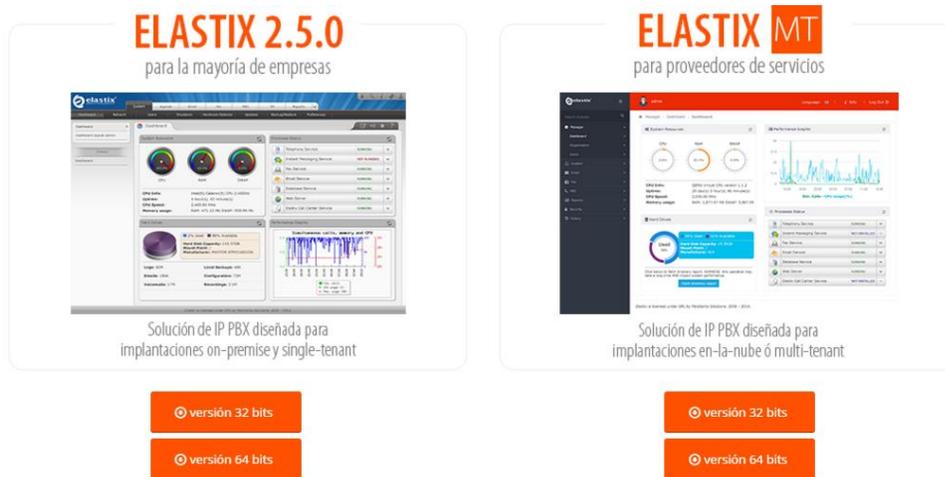


Figura 9 Versiones de Elastix, tomado de www.elastix.org

- Luego de su descarga, se debe montar la imagen en el disco duro y seleccionar el modo grafico de instalación.

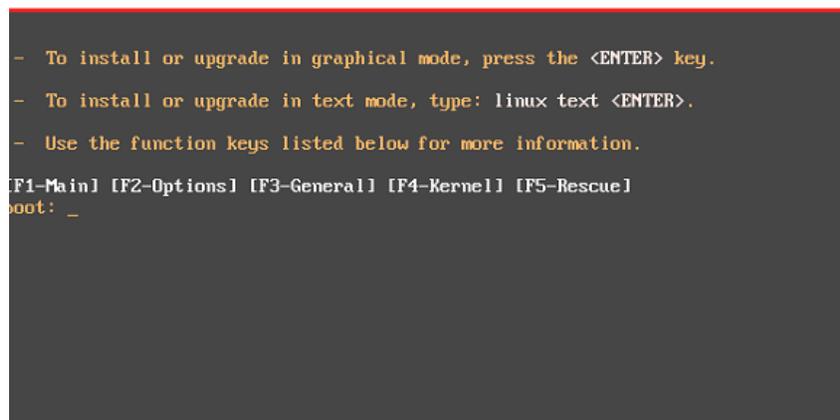


Figura 10 Instalación de Elastix

⁹ Enlace de descarga para Elastix <http://www.elastix.org>

- En este momento se ejecuta el instalador del software, por lo que se debe elegir parámetros principales como el idioma en el que operara todo el sistema.

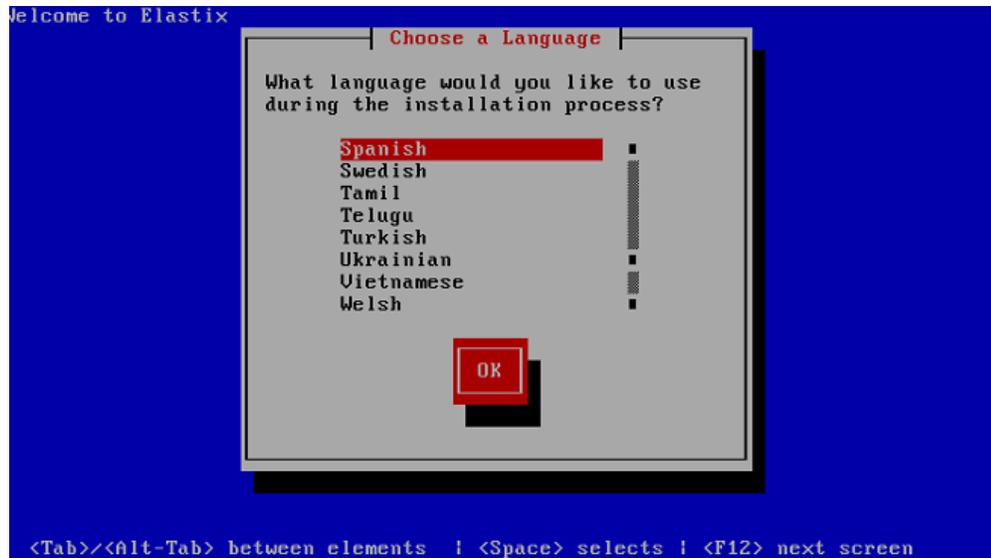


Figura 11 Instalación de Elastix

- Según el tipo de servicios que se tengan en el servidor se debe elegir en esta etapa de instalación la partición del disco duro que mejor convenga a el administrador. Es muy importante tener referencia si el servidor será virtualizado, para crear correctamente el espacio de asignación.



Figura 12 Instalación de Elastix

- Es importante en este momento de la instalación asignar un direccionamiento de red estático al servidor, esto debido a que los abonados deben registrarse siempre mediante la misma dirección IP¹⁰

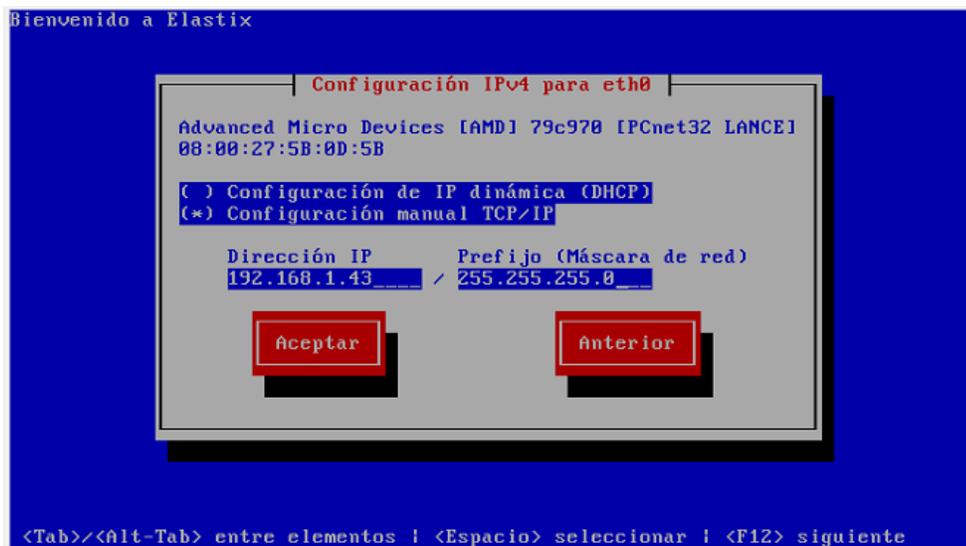


Figura 13 Instalación de Elastix

- Debe elegirse correctamente la zona horaria en donde se encuentra el servidor, lo anterior para tener prioridad en los registros de llamada, para el caso de Bogotá GMT-5. Por ejemplo, si se llegara a cursar una llamada hacia otro destino con diferente zona horaria el pudiese identificar el destino.

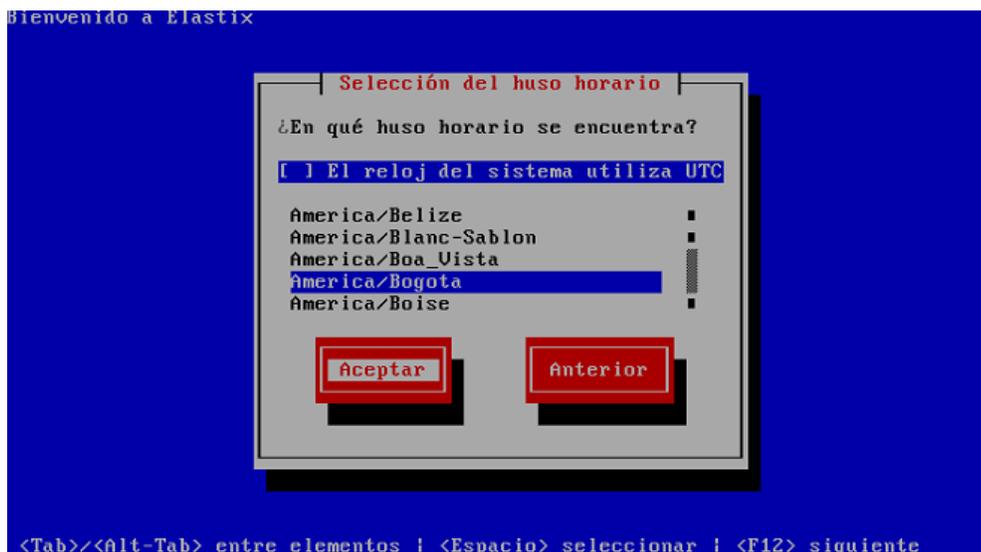


Figura 14 Instalación de Elastix

¹⁰ Normalmente los servidores de voz deben tener dos o más tarjetas de red, para la conexión con redes externas como proveedores SIP y telefonía de red pública.

- El usuario root es quien tiene acceso administrativo al sistema en un entorno Linux, por lo que será el usuario por defecto quien podrá ejercer las primeras configuraciones en el servidor. La clave del usuario root es indispensable para el administrador, por lo que debe ser robusta para evitar ataques al sistema.



Figura 15 Instalación de Elastix

- A continuación, se empieza a instalar los paquetes de Asterisk que incluyen drivers para la operación de elementos externos y librerías para su operación, sobre Linux.

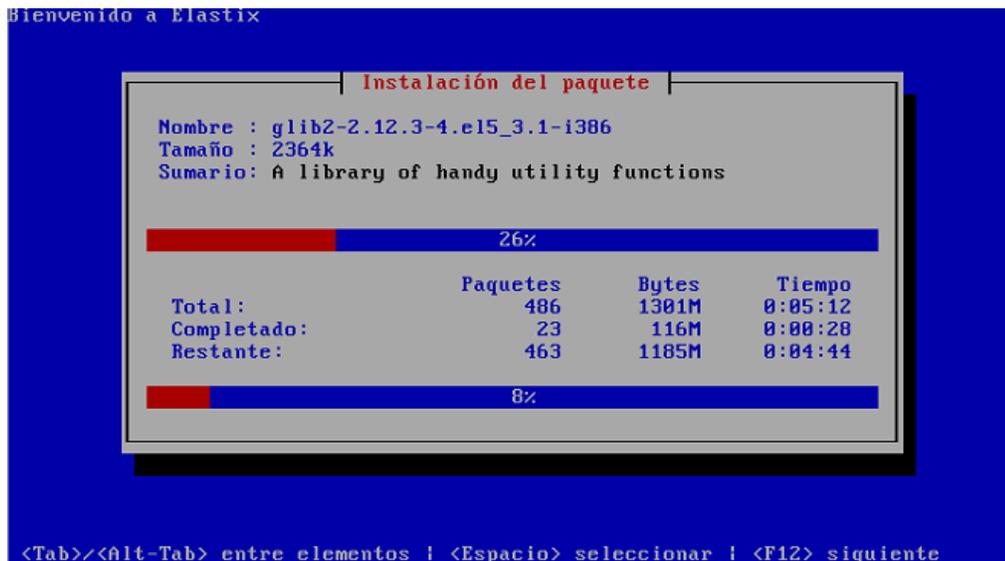


Figura 16 Instalación de Elastix

- Luego de haber culminado exitosamente el proceso de instalación de Asterisk, debe mostrar la siguiente pantalla indicando al administrador

ingresar el usuario y la contraseña; debe ingresarse el usuario y contraseña asociado al root que se estableció en la instalación previa.

```
CentOS release 5.9 (Final)
Kernel 2.6.18-348.6.1.el5 on an i686

as login: root
Password: _
```

Figura 17 Ingreso al servidor de voz mediante root

- En el momento en que se registra el administrador tiene posibilidad de operar el servidor vía CLI o desde la interfaz gráfica. La interfaz web se encuentra en la dirección IP con la que se configuro la tarjeta de red, como se muestra a continuación.

```
Welcome to Elastix
-----

Elastix is a product meant to be configured through a web browser.
Any changes made from within the command line may corrupt the system
configuration and produce unexpected behavior; in addition, changes
made to system files through here may be lost when doing an update.

To access your Elastix System, using a separate workstation (PC/MAC/Linux)
Open the Internet Browser using the following URL:
http://192.168.1.43

[root@as ~]# _
```

Figura 18 Acceso a la administración del servidor.

4.3 ACCESO A LA INTERFAZ GRAFICA DE ELASTIX

En el momento de ingresar al servidor en red, se tiene el administrador que volver a autenticar con los mismos datos de autenticación que en el servidor. A continuación, se muestra la página de ingreso.

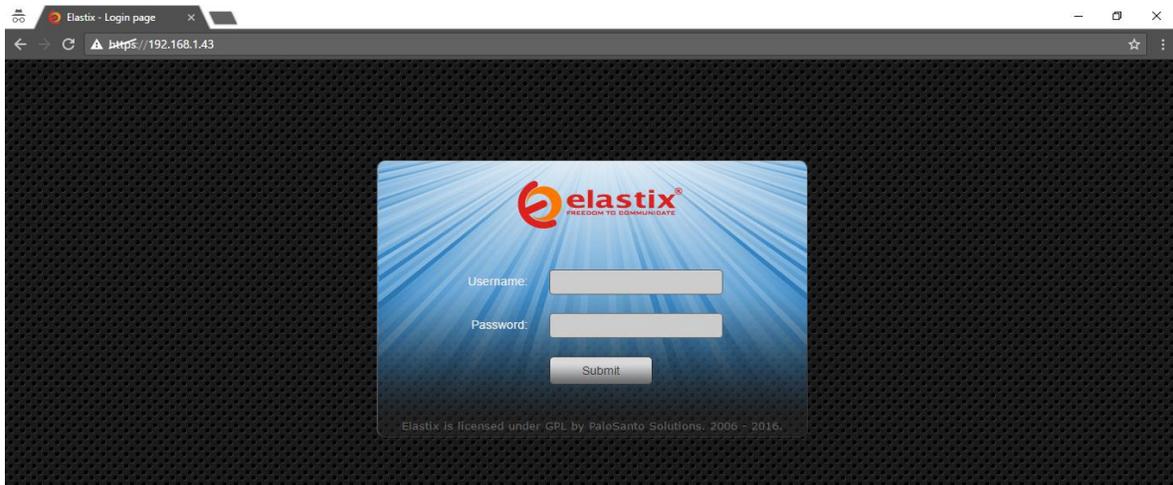


Figura 19 Ingreso a la interfaz web

Dentro de esta interfaz se tienen herramientas completas con el fin de lograr una convergencia total de la red, con posibilidades de monitorear el estado del servidor, hacer backups automáticos de tipo FTP¹¹, obtener reportes mensuales, incluir un servidor de correo, mensajería instantánea y entre otras aplicaciones. De manera análoga se pueden crear troncales de telefonía, extensiones SIP, tipos de marcación entrante como saliente y entre muchas configuraciones más. Haciendo de la interfaz un lugar de convergencia total de muchos servicios.

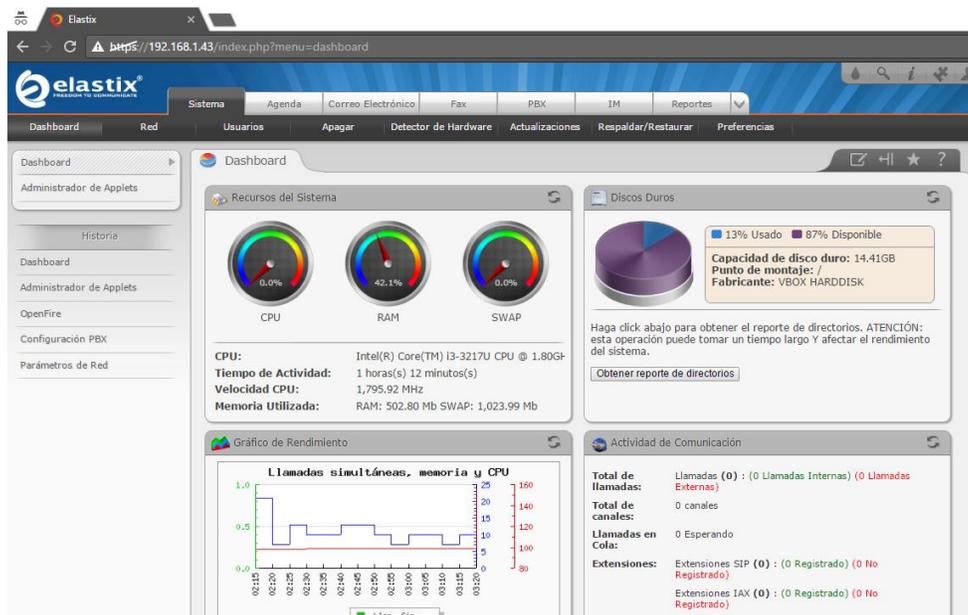


Figura 20 Página principal de la interfaz web.

¹¹ File Transport Protocol, es un protocolo para el almacenamiento de documentos y archivos en red, en Elastix se puede configurar de forma automática ya sea diaria, semanal o mensualmente para evitar que el disco duro del servidor se llene.

4.4 EXTENSIONES SIP EN ELASTIX

Para crear los abonados SIP en el servidor de voz se deben llenar los campos que se muestran a continuación, sin embargo, existen muchas más opciones a crear dentro de la extensión, con el fin que pueda ser registrada por el servidor de voz correctamente.

Extensión del usuario.

Nombre para mostrar.

Contraseña de la extensión

A continuación, se muestra las capturas de pantalla en el momento de crear las extensiones SIP en la interfaz gráfica del servidor.

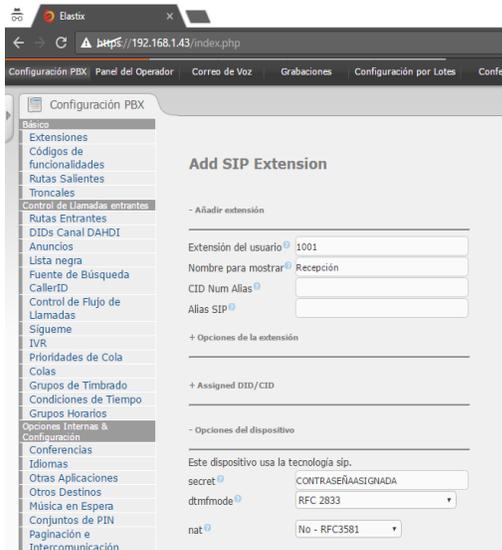


Figura 21 Crear extensiones en Elastix

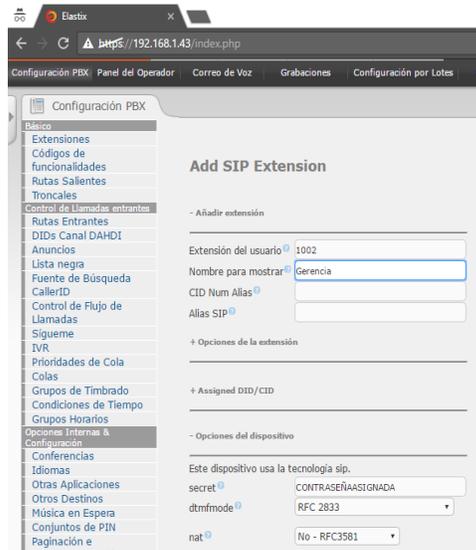


Figura 22 Crear extensiones en Elastix

Se crearon dos extensiones de tipo SIP, la 1001 de recepción para hacer referencia a la extensión origen y la 1002 gerencia correspondiente al destino, para el periodo de pruebas que se realizaran en el presente proyecto.

4.5 REGISTRO DE EXTENSIONES EN SOFTPHONE

Se recomienda utilizar el softphone Zoiper, el cual posee los codecs a valuar en el presente proyecto, a continuación, se registran los abonados y de inmediatos son registrados por el servidor Elastix.

Figura 23 Registro de cuentas SIP en softphone

Figura 24 Registro de cuentas SIP en softphone

En la etapa actual las extensiones luego de ser registradas por el servidor ya pueden establecer una llamada.

4.6 CONFIGURACION DE TARJETAS DE AUDIO

Normalmente al establecer una llamada mediante un softphone, es necesario contar con un microfono para poder comunicarse mediante el ordenador, sin embargo para efectos de la calidad de audio transmitido y evitar niveles de ruido no deseados en el momento de realizar las pruebas, se propuso transmitir desde el origen o extension 10001 mediante el mezclador que posee la tarjeta de audio. De manera analoga se captura la señal recibida en el destino o extension 1002, utilizando el mezclador estereo como dispositivo de grabacion.

4.7 PLAN DE PRUEBAS

Las pruebas a realizar en la presente etapa del proyecto, se desarrollaran de la siguiente manera.

Para realizar las pruebas se hizo uso de el software llamado Audacuty, el cual tiene la capacidad de utilizar el mezclador estereo para grabar la decodificacion de la señal enviada.

Se debe ir al menu de preferencias del software y seleccionar la tarjeta de audio como dispositivo de grabacion en el ordenador donde se hara la captura.

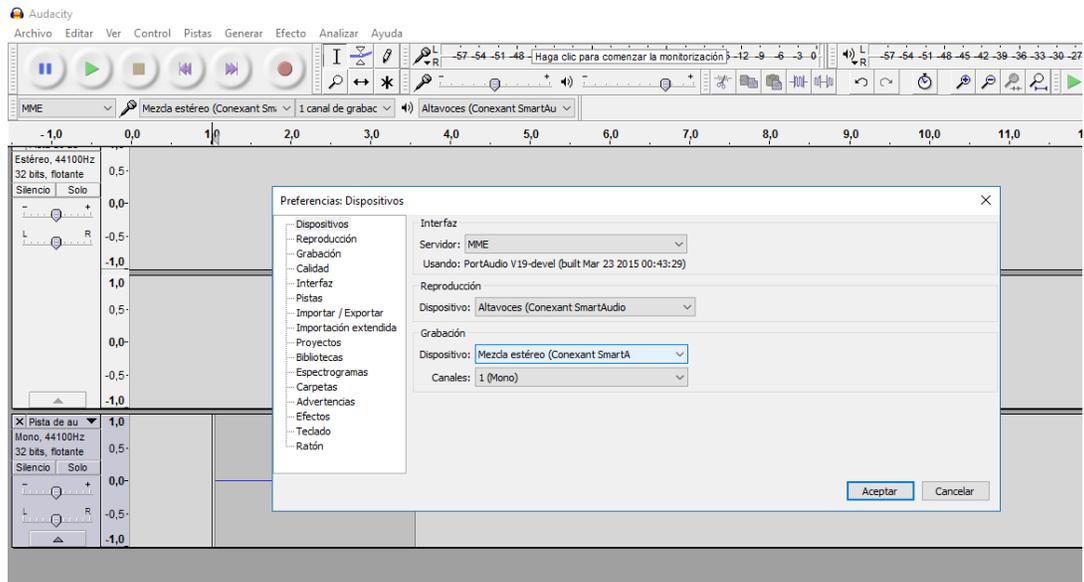


Figura 25 Seleccionar dispositivos de grabación Audacity

- Dar inicio a la captura de audio mediante el software Audacity en el destino o extensión 1002.
 - Seleccionar el codec a operar durante la llamada que esta por cursarse tanto en la extensión 1001 y 1002 como en el servidor, como se muestra a continuación.
- En el softphone Zoiper se encuentra el apartado de codecs en el menu preferencias.



Figura 26 Cambio de codecs softphone ext 1001



Figura 27 Cambio de codecs softphone ext 1002

Para cambiar el codec en Elastix, es necesario hacerlo desde la interfaz de FreePbx que se encuentra en las configuraciones de PBX. Ya dentro de la

interfaz de FreePbx en el apartado configuración de Asterisk SIP, elegimos el codec a operar.

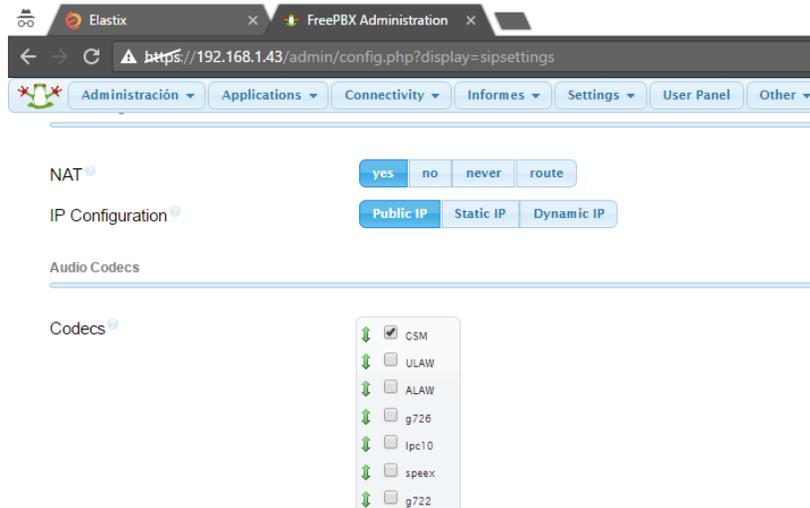


Figura 28 Selección de codecs en la interfaz web

- Cursar la llamada correspondiente de la extensión 1001 hacia la extensión 1002.



Figura 29 Estableciendo llamada

- Luego de que la llamada haya sido contestada por la extensión 1002. En el ordenador donde se encuentra la extensión 1001 registrada se reproduce el tono sinusoidal elaborado, como se muestra en la Figura 28.



Figura 30 Tono sinusoidal enviado

En la imagen anterior se puede observar que la llamada está siendo cursada con el tipo de codec que se designó antes de cursar la llamada y que el tono de 200 Hz está siendo reproducido.

- Cuando la llamada ya culmino y el tono fue transmitido satisfactoriamente, se procede a detener el captador de audio en el destino o extensión 1002 y por medio de Audacity se recorta únicamente del tamaño del tono enviado.

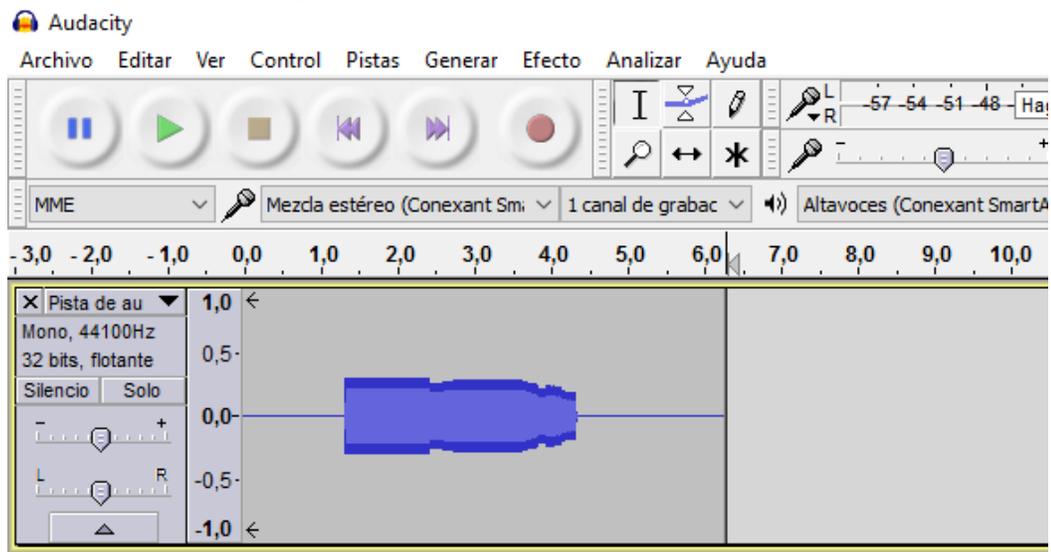


Figura 31 Audio capturado en Audacity

El proceso mostrado anteriormente se repite enviando 8 tonos de distintas frecuencias por cada codec, en las dos topologías de red ya establecidas LAN y WLAN. Se hizo el análisis en 3 codecs diferentes. Las pruebas

anteriormente nombradas serán analizadas a continuación y se documentará en la sección de resultados.

4.8 ANALISIS EN SCILAB

4.8.1 TRANSFORMADA RAPIDA DE FOURIER

Para el análisis en Scilab, se debe cargar el tono original y pasarlo como parámetro de la transformada rápida de Fourier, normalizar el vector para poder tener un análisis en frecuencia y no en cantidad de muestras, para ello se elaboró el siguiente código y el resultado obtenido fue el siguiente.

```
1 [y,Fs,bits]=wavread("C:\Audios\Tonos-Generados\Seno200.wav");
2 x=fft(y); //transformada de Fourier
3 u=abs(x); //Valor absoluto
4
5 x=x/norm(x); //Normalización
6 w=0:1/(length(y)-1):1; //Vector de Freq
7 W=w*Fs;
8
9 plot(w,x) //Grafica
10 xgrid(1); //Cuadrícula
11 title("FFT-SENO-200-HZ-ORIGINAL") //Titulo
12 ylabel("Magnitude"); //Titulo-Y
13 xlabel("Frequency-Hz"); //Titulo-X
```

Figura 32 FFT elaborado en Scilab

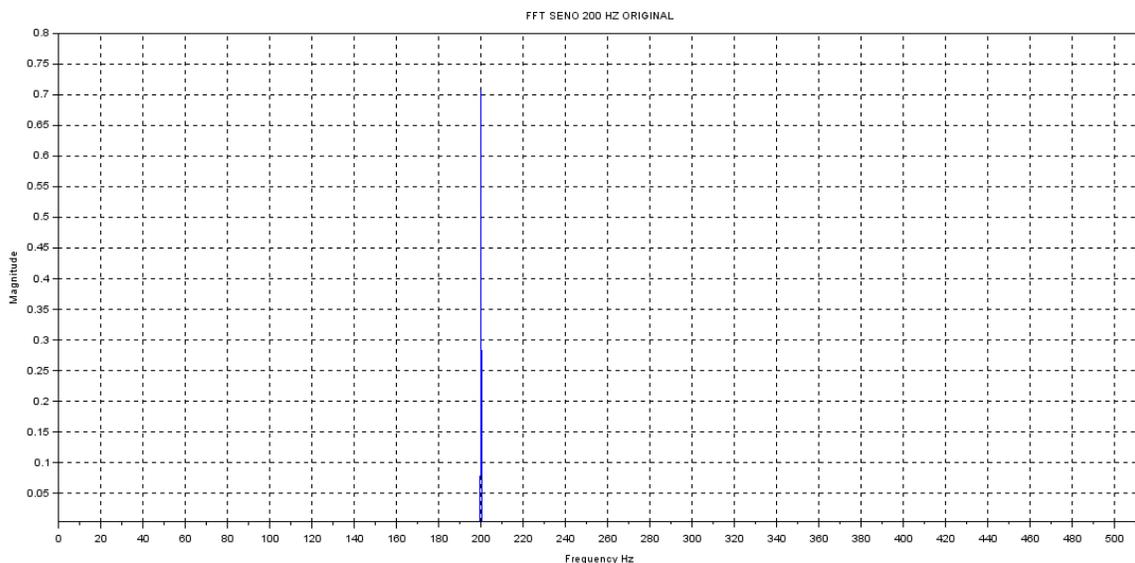


Figura 33 Espectro de la señal original

Como se puede observar en la figura anterior se sitúa la frecuencia central en 200 Hz y no posee ningún otro tipo de armónicos o distorsión.

Para obtener el análisis espectral de la señal capturada en el destino, se siguió la misma metodología explicada anteriormente y arrojó como resultado el siguiente

espectro, donde según el tipo de codec, frecuencia de audio y topología, se puede observar cómo le añade ruido a la muestra original.

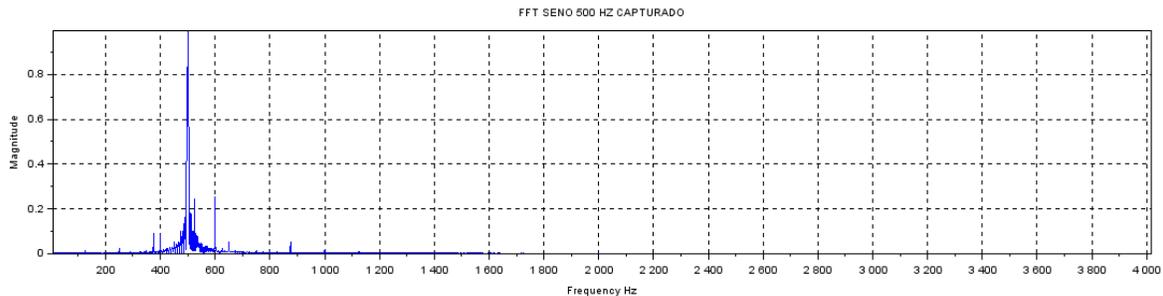


Figura 34 Espectro de la señal capturada

4.8.2 ERROR CUADRÁTICO MEDIO

Para poder comparar tanto la señal original como la capturada, se estableció en el presente proyecto el análisis estadístico mediante el error cuadrático medio. Para lograr un óptimo análisis se debe garantizar que las dos muestras sean del mismo tamaño, por lo que se analizó mediante Scilab, herramienta que facilita la manipulación entre vectores y variables.

Las siguientes líneas de código describen como se calcula el error cuadrático medio entre dos señales para cualquier tipo de señal de audio.

```
27 g=u(1:4000) -// -Tamaño-de-muestras
28 r=l(1:4000)
29 Dif=g-r -// -Resta-entre-vectores
30 et=Dif.^2 -// -Elevar-al-cuadrado
31 Sum=sum(et) -// -Sumatoria
32 Res=Sum/length(Dif) -// -ECM
```

Figura 35 Calculo del Error Cuadrático Medio en Scilab

A partir de la línea 27 se define el algoritmo para calcular el error cuadrático medio. Debido a que la señal original no se encuentra codificada posee diferente tamaño que la señal capturada, por lo que con la variable g y r se garantiza que tengan el mismo tamaño. Se efectúa la diferencia punto a punto entre los dos vectores y enseguida se eleva la diferencia al cuadrado para garantizar que todos los valores sean positivos.

Por último se realiza la sumatoria de todo el vector y se divide entre la longitud total.

5. RESULTADOS

A continuación, se muestra los resultados obtenidos para el plan de pruebas en la topología LAN

- **CODEC GSM**

En la figura 33 y 34 se muestra la transformada de Fourier para cada tono enviado del codec GSM para la red de datos LAN.

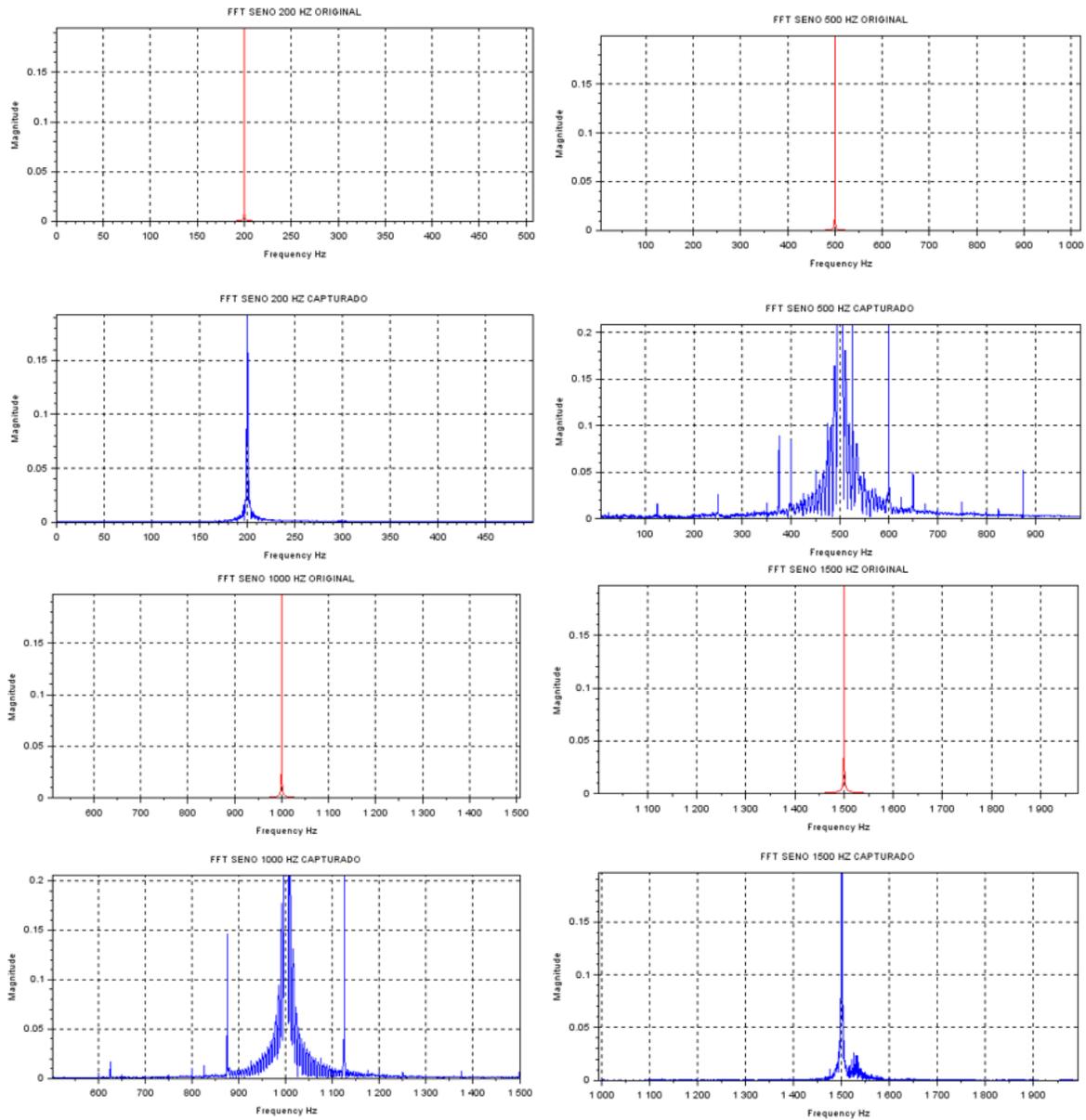


Figura 36 FFT Codec GSM, LAN

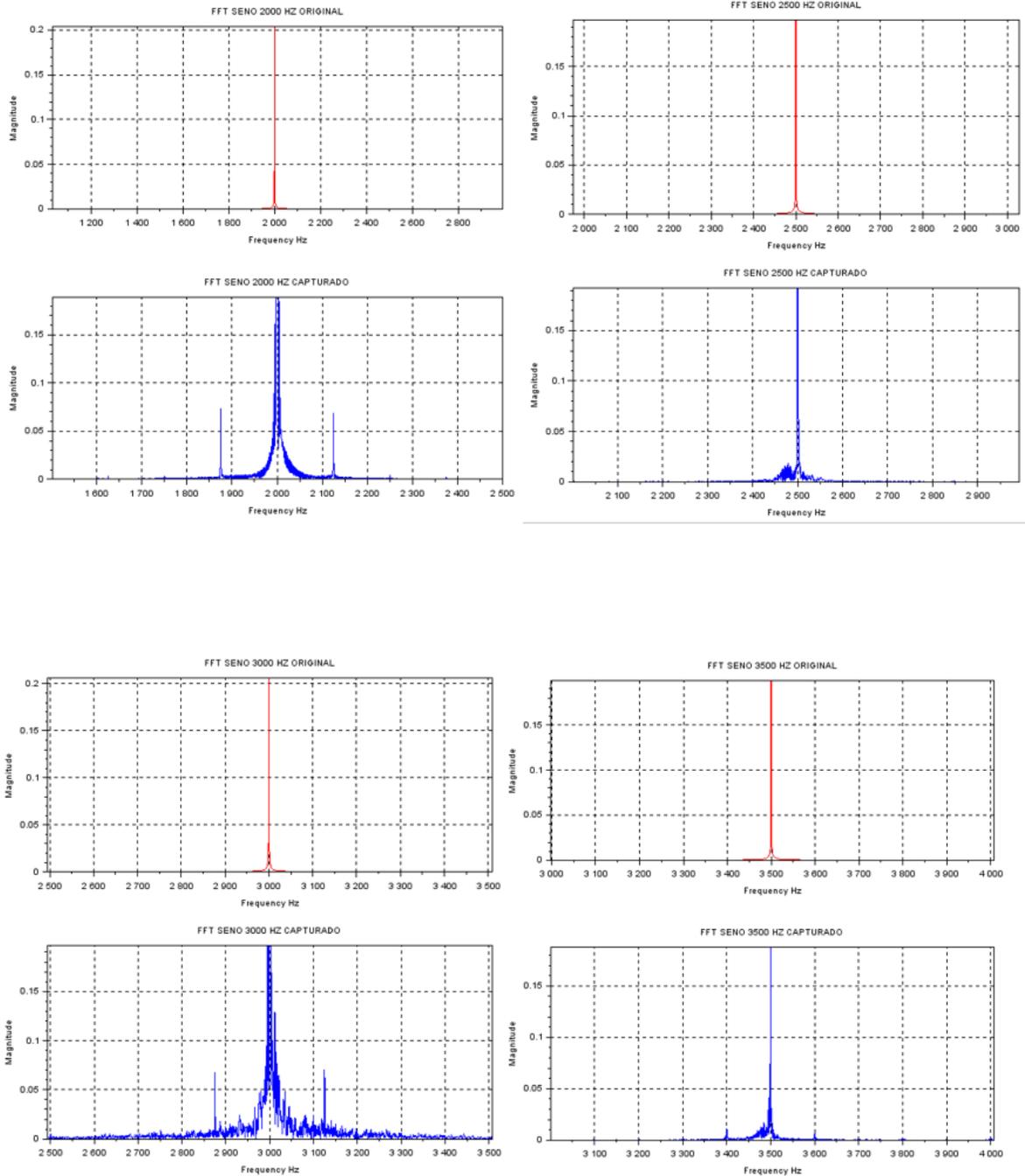


Figura 37 FFT Codec GSM, LAN

- **CODEC G711**

En la figura 35 y 36 se muestra la transformada de Fourier para cada tono enviado del codec G711 para la red de datos LAN.

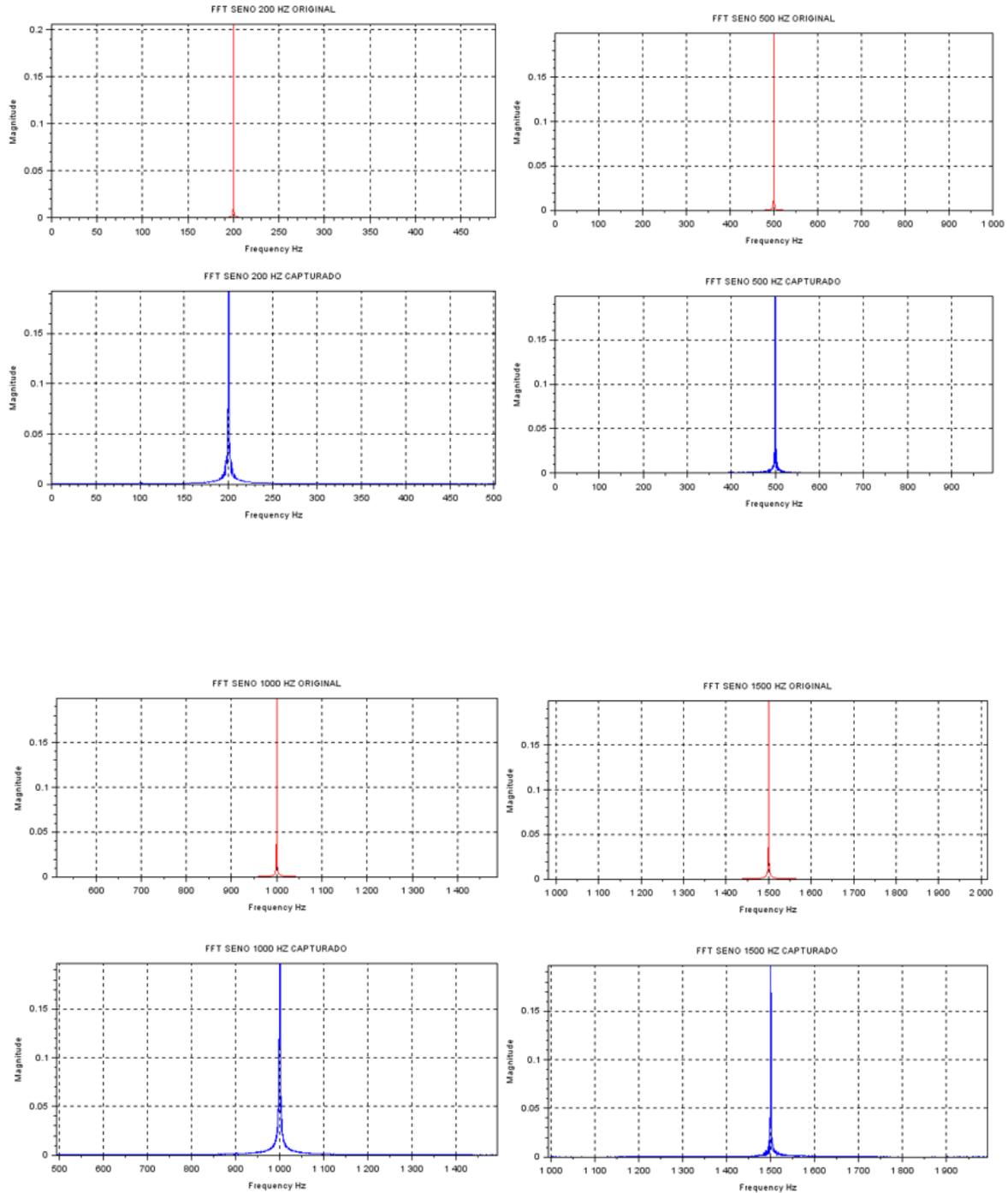


Figura 38 FFT Codec G711, LAN

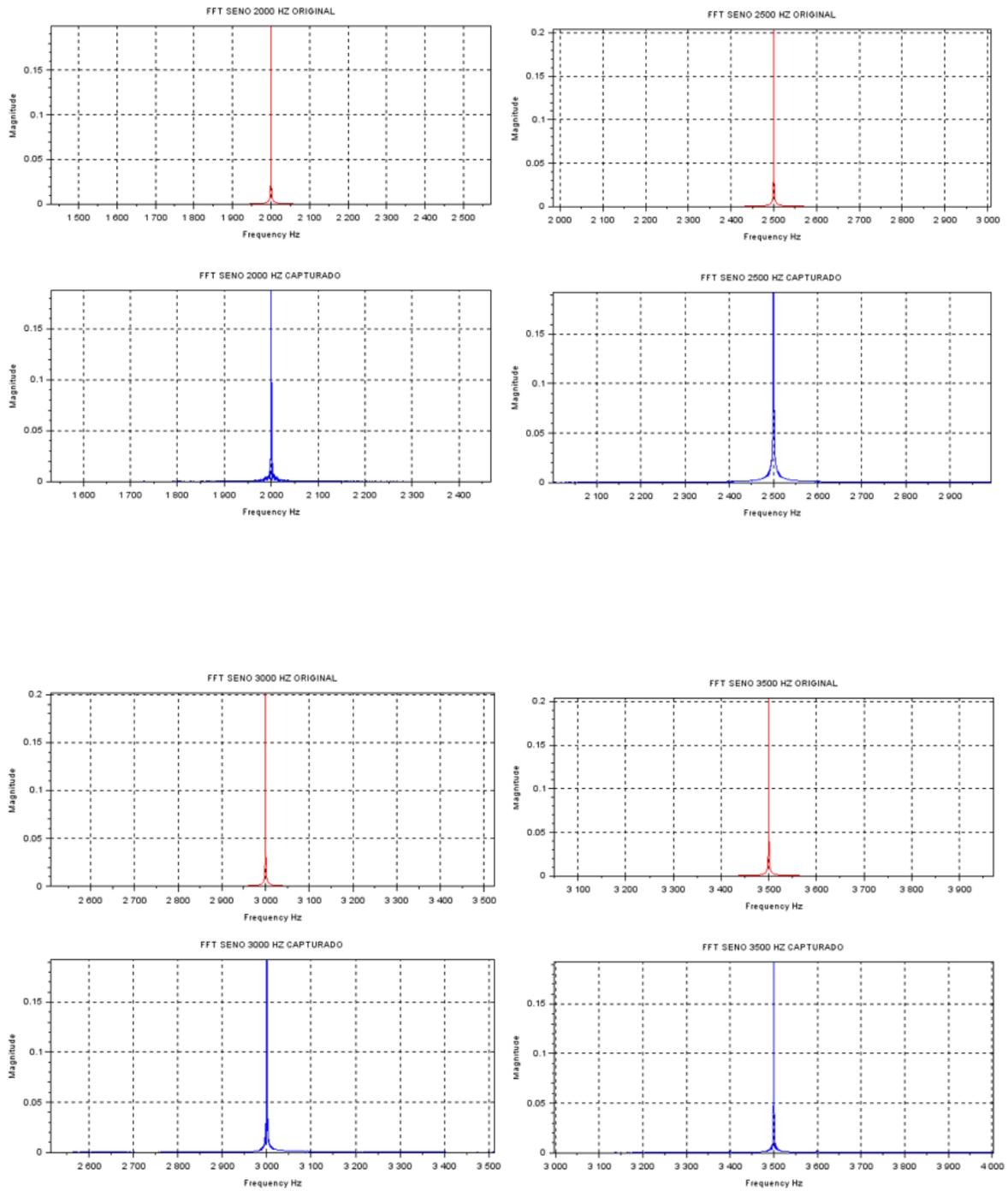


Figura 39 FFT Codec G711, LAN

- **CODEC G726**

En la figura 37 y 38 se muestra la transformada de Fourier para cada tono enviado del codec G726 para la red de datos LAN.

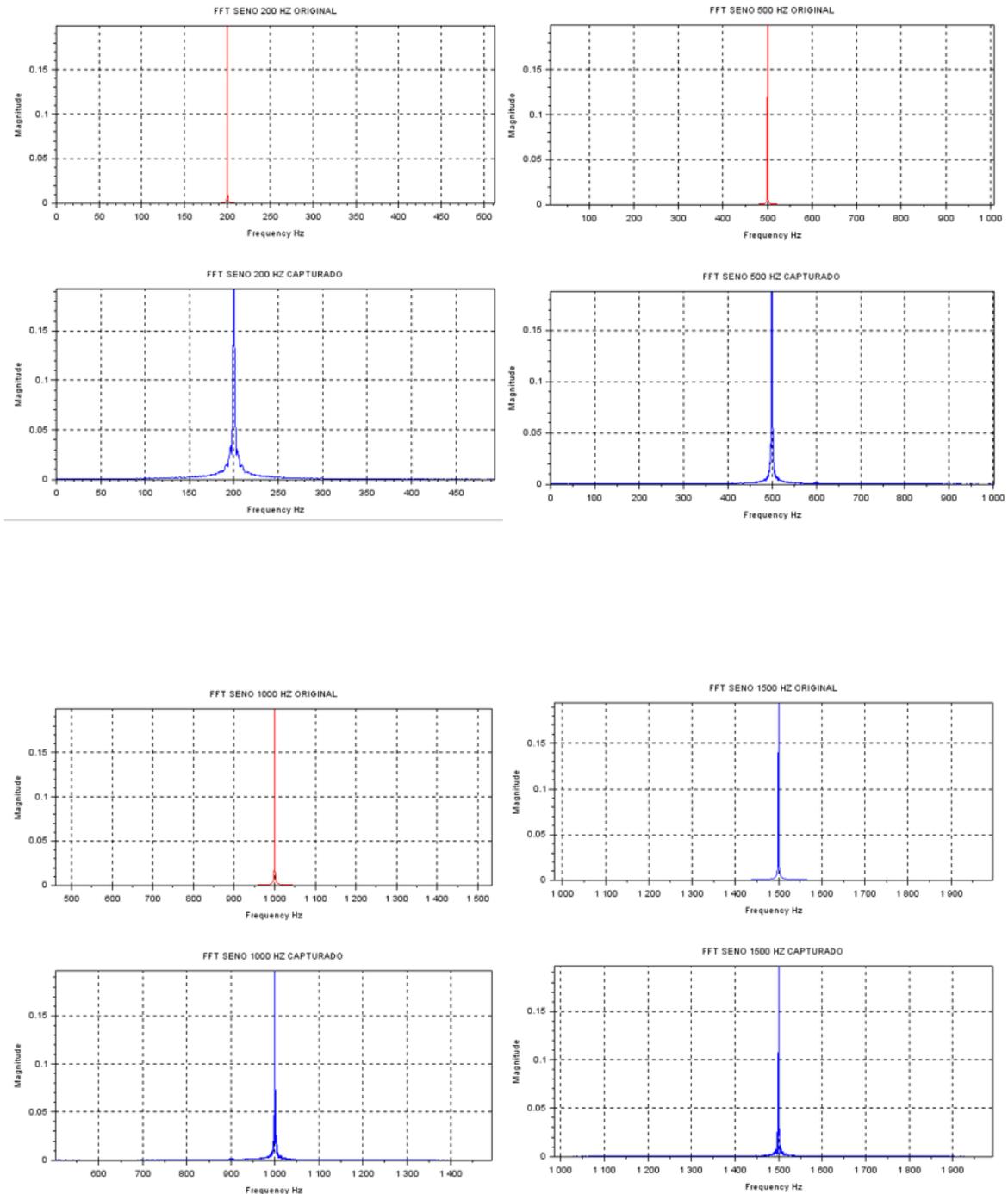


Figura 40 FFT Codec G726, LAN

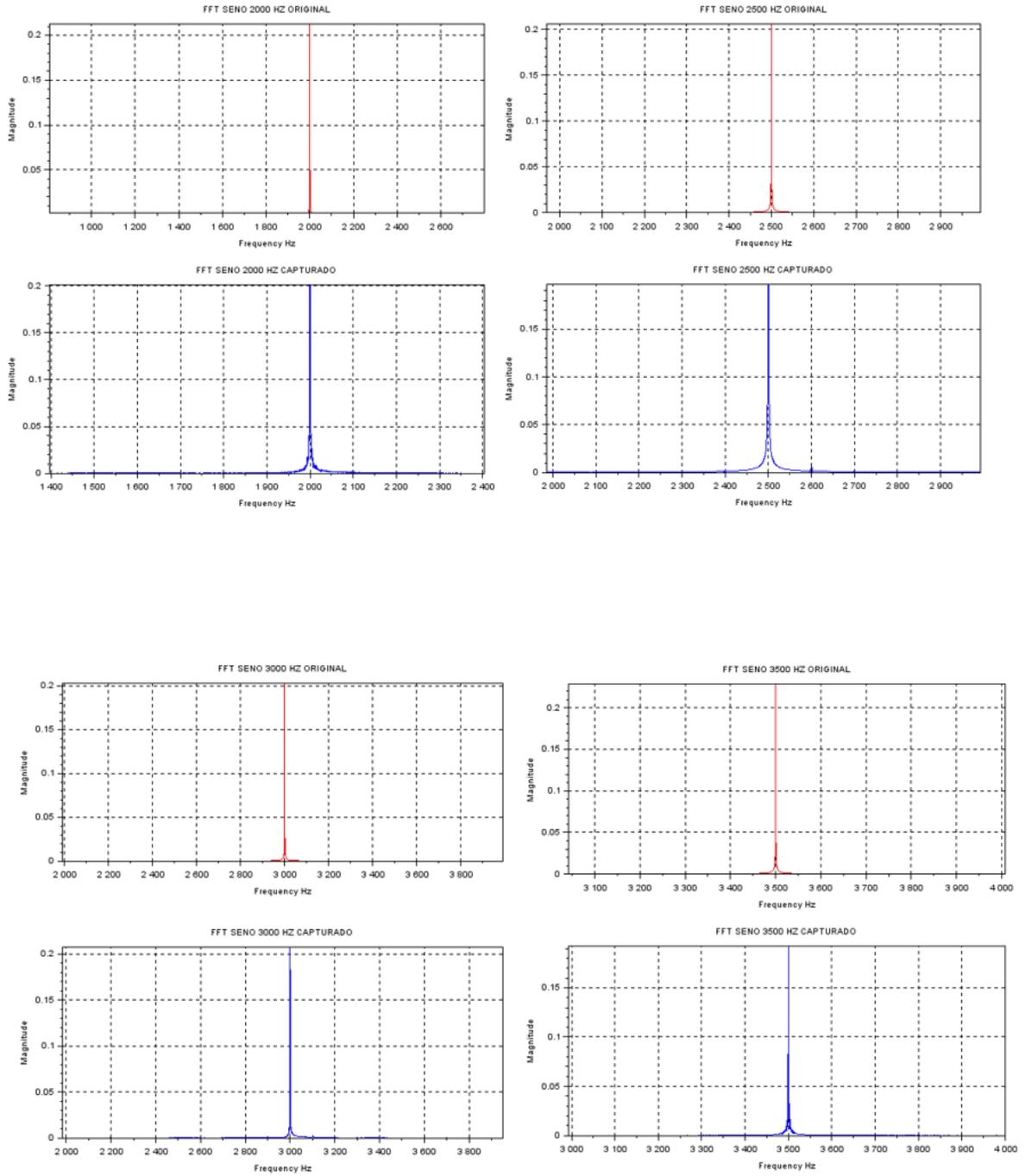


Figura 41 FFT Codec G726, LAN

A continuación, se muestra los resultados obtenidos para el plan de pruebas en la topología WLAN

- **CODEC GSM**

En la figura 39 y 40 se muestra la transformada de Fourier para cada tono enviado del codec GSM para la red de datos WLAN.

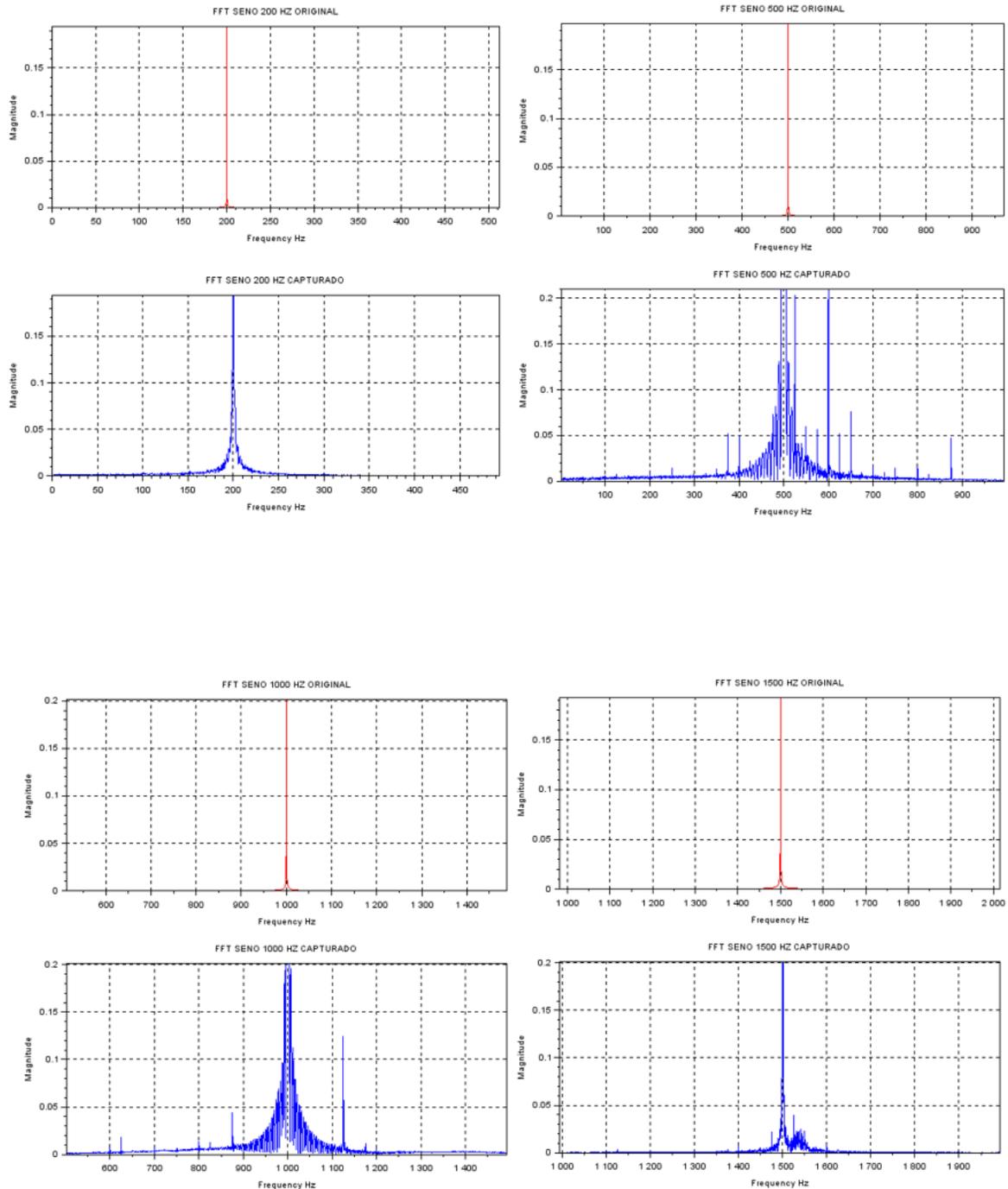


Figura 42 FFT Codec GSM, WLAN

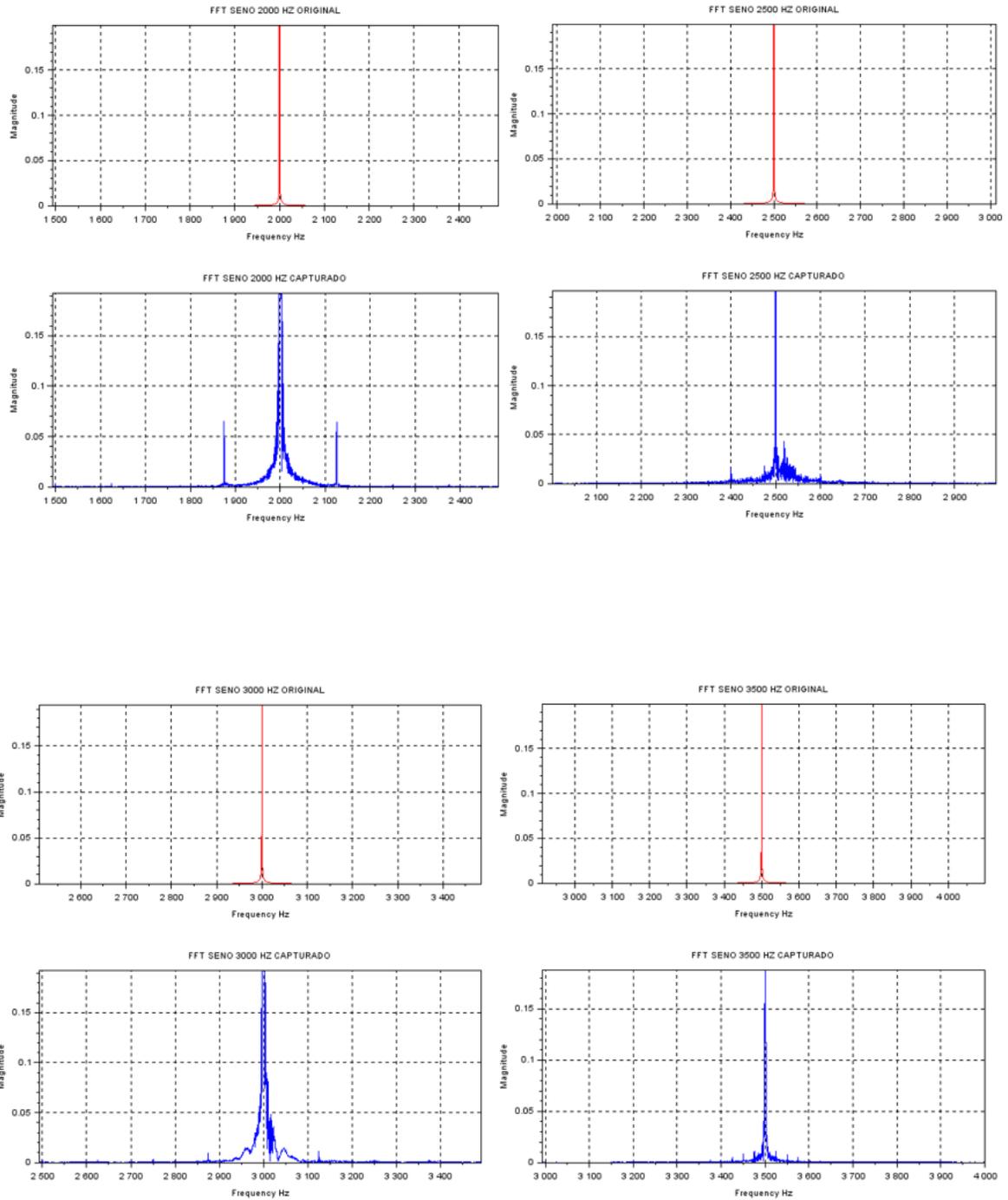


Figura 43 FFT Codec GSM, WLAN

- **CODEC G711**

En la figura 41 y 42 se muestra la transformada de Fourier para cada tono enviado del codec G711 para la red de datos WLAN.

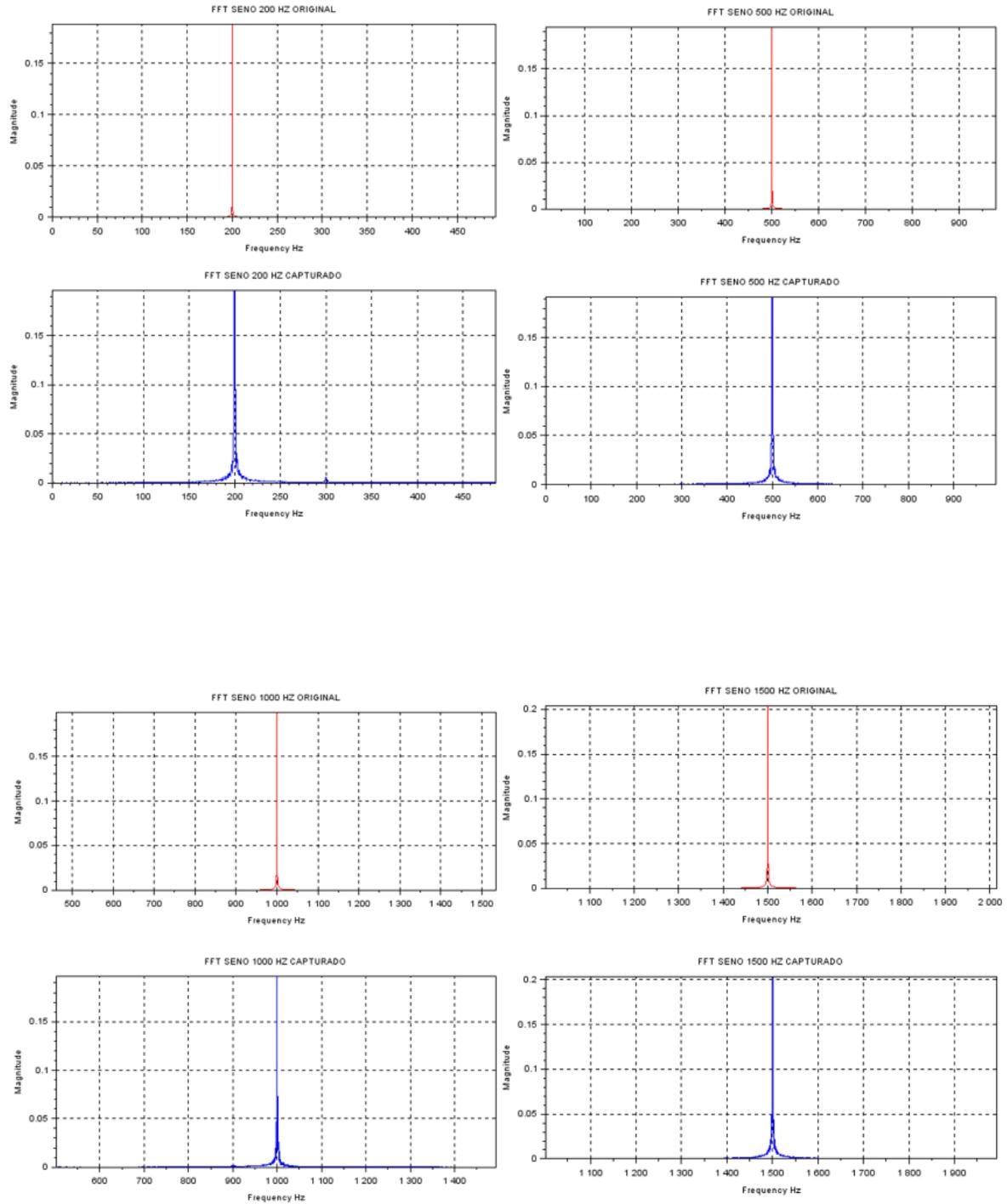


Figura 44 FFT Codec G711, WLAN

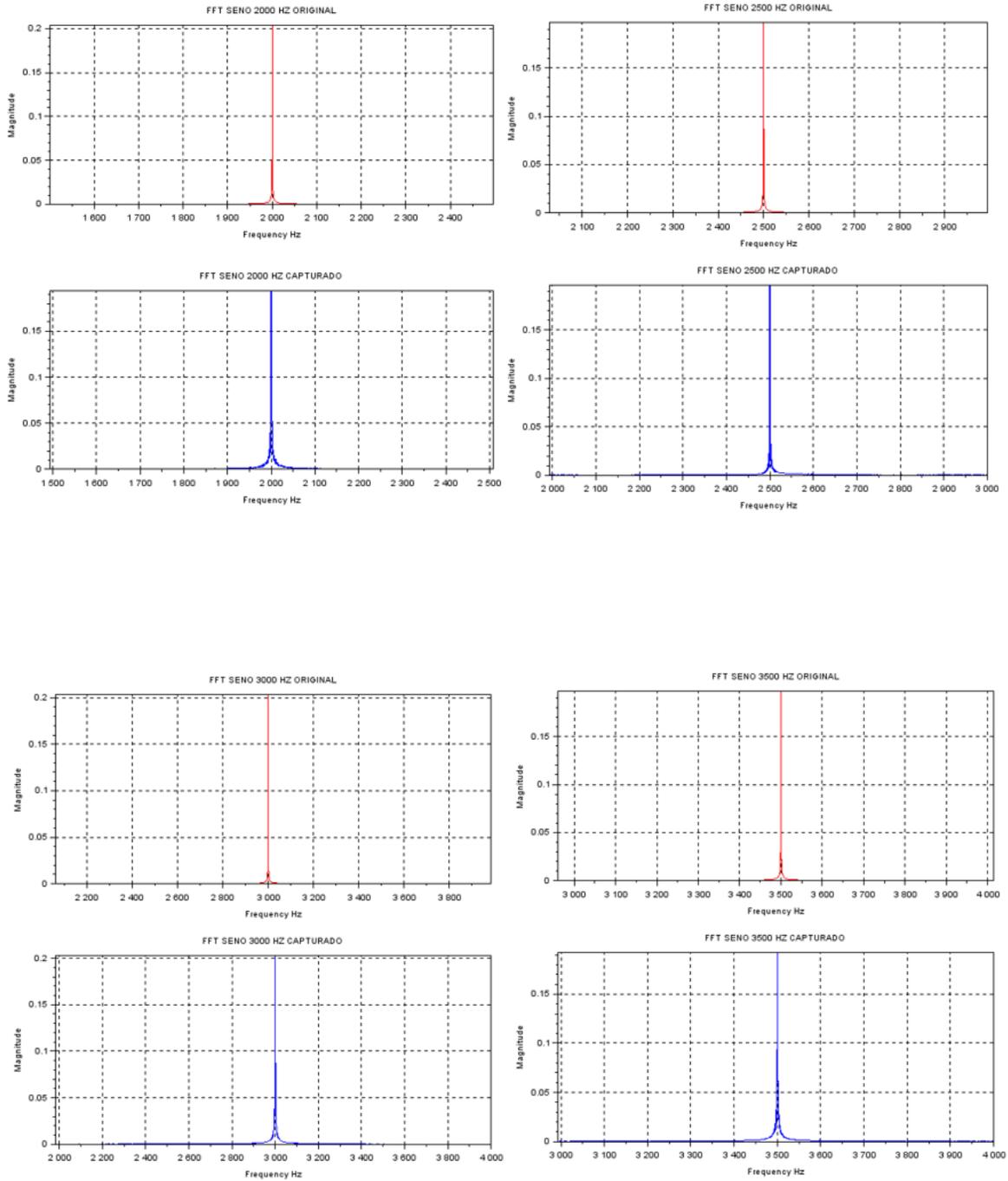


Figura 45 FFT Codec G711, WLAN

- **CODEC G726**

En la figura 43 y 44 se muestra la transformada de Fourier para cada tono enviado del codec G726 para la red de datos WLAN.

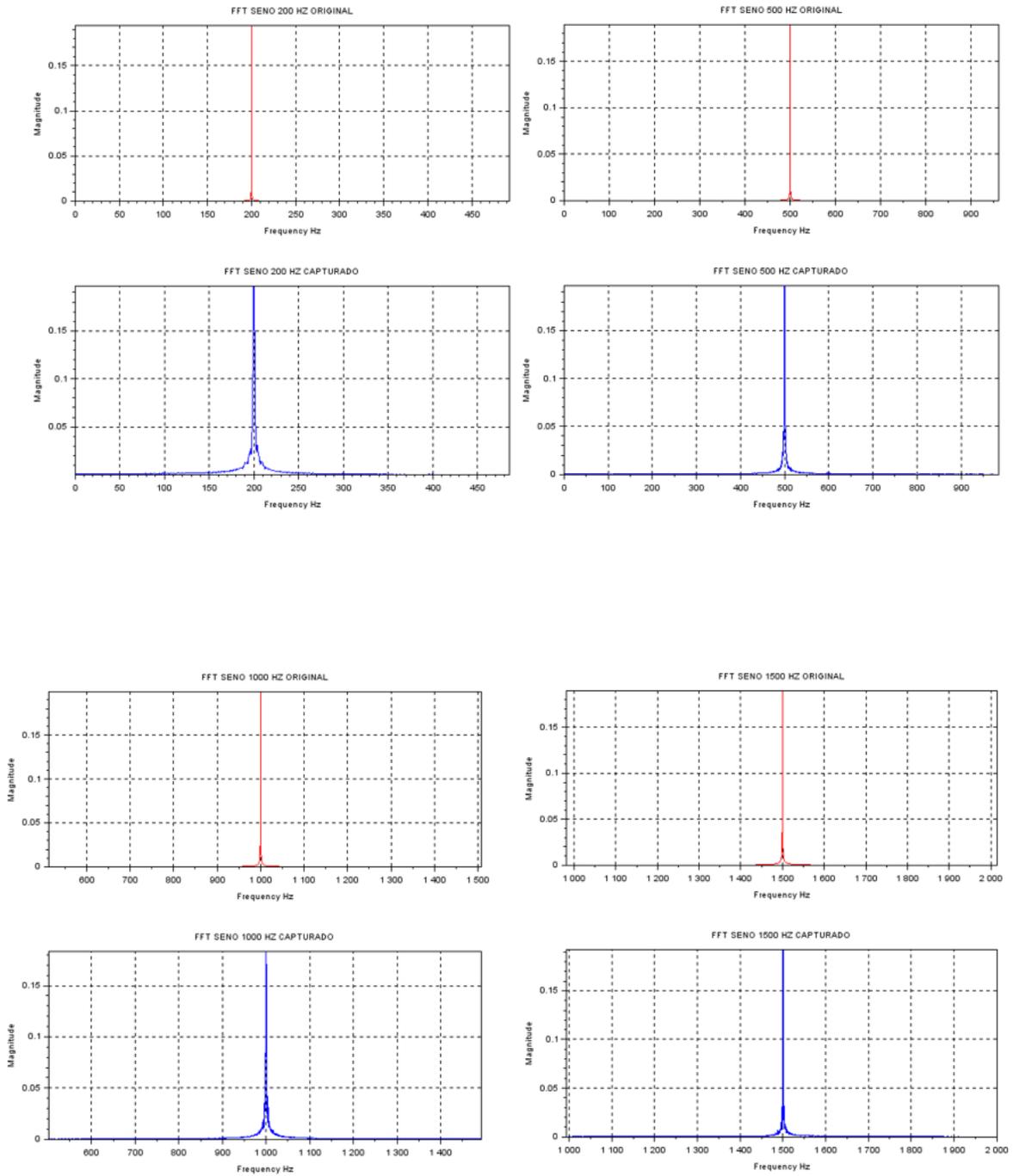


Figura 46 FFT Codec G726, WLAN

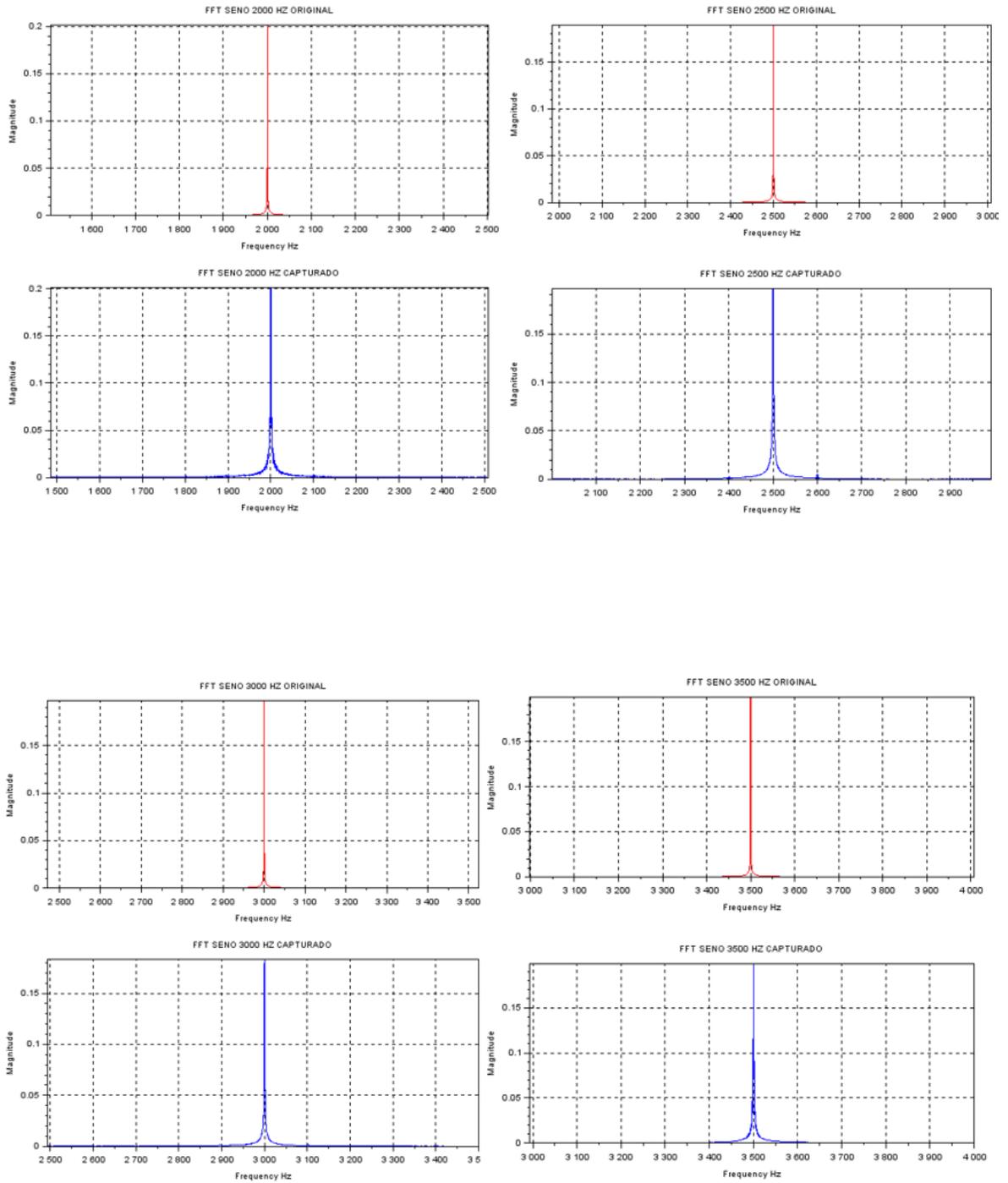


Figura 47 FFT Codec G726, WLAN

Luego de haber aplicado la transformada de Fourier en cada una de las muestras como se muestra en la sección anterior y como fue establecido desde un principio, se procedió a calcular el modelo estadístico, error cuadrático medio (ECM).

Debido a que se normalizo la potencia de las transformadas de Fourier para garantizar que el error cuadrático medio fuera fiable, los resultados mostrados a continuación tienden a 0, sin embargo, es posible tener referencia de la fluctuación que se presenta.

Tabla 3. Resultados ECM

ECM						
	LAN			WIFI		
FRECUENCIA Hz	GSM	G711	G726	GSM	G711	G726
200 Hz	1,51E-05	2,55E-05	3,21E-04	7,25E-04	5,08E-04	5,37E-04
500 Hz	3,69E-03	1,07E-05	5,58E-04	2,20E-03	5,48E-04	5,58E-04
1 KHz	1,40E-03	7,32E-04	4,66E-04	3,41E-03	2,52E-04	6,23E-04
1.5 KHz	1,98E-05	3,19E-05	2,52E-08	4,05E-08	9,34E-10	2,14E-08
2 KHz	9,15E-05	2,08E-10	9,62E-09	3,77E-08	5,22E-09	2,97E-08
2.5 KHz	6,40E-06	1,54E-08	2,82E-08	3,77E-09	3,28E-08	3,22E-08
3 KHz	1,00E-07	2,18E-08	6,39E-08	3,01E-08	1,83E-08	7,44E-08
3.5 KHz	2,42E-06	5,49E-09	7,70E-06	4,77E-09	3,13E-08	1,29E-08
PROM	6,53E-04	1,00E-04	1,69E-04	7,93E-04	1,64E-04	2,15E-04

Nota: 1 Elaboración propia a partir de ECM

Para tener una mejor referencia de los resultados anteriores, a continuación, se muestran los resultados del promedio de cada codec expresados en *dB*.

Tabla 4. Resultados ECM dB

ECM dB						
	LAN			WIFI		
CODEC	GSM	G711	G726	GSM	G711	G726
INDICE dB	-31,85	-40,00	-37,72	-32,01	-37,86	-36,68

Nota: 2 Elaboración propia resultados en dB

IndCod es el nombre que se le dará al índice calculado en el presente proyecto. Según los resultados obtenidos anteriormente en el estudio de la calidad de codecs de banda estrecha.

IndCod se define de la siguiente manera para una topología LAN en un entorno empresarial.

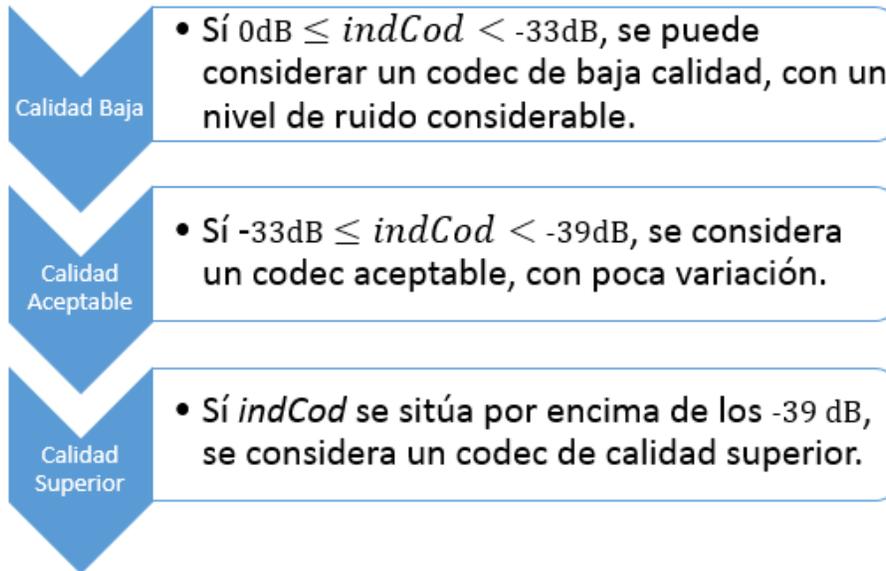


Figura 48 Índice *IndCod*, LAN

IndCod se define de la siguiente manera para una topología WLAN en un entorno empresarial.

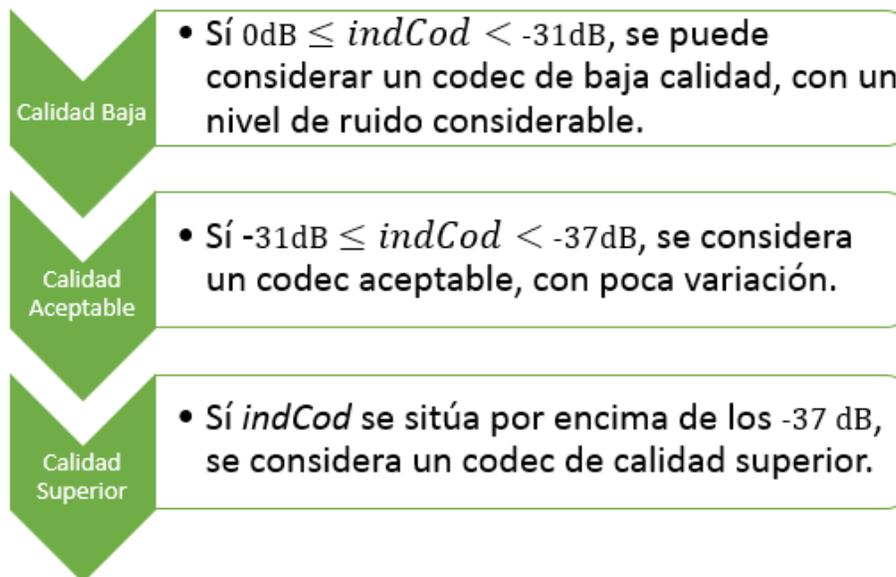


Figura 49 Índice *IndCod*, WLAN

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Es evidente como se logran comparar varios aspectos que desde la teoría implican un rumbo hacia la implementación de los codecs dentro de la red de datos, por lo que en el presente proyecto se evidenció y se comprendió otros factores que se involucran y afectan el equilibrio entre rendimiento, recursos y calidad y que en el momento de hacer una implementación de telefonía IP en un entorno empresarial deberían ser tenidos en cuenta.

Los objetivos que se propusieron desde un principio, fueron cumplidos a cabalidad, sin embargo, se tuvo limitaciones en cuanto a la cantidad de codecs que querían ser analizados para llegar a una hipótesis más certera. Lo anterior debido a que la gran mayoría de los mismos son de licenciamiento pago. También se vio afectado el planteamiento del plan de pruebas debido a que no se logró hacer el análisis en una frecuencia distinta a la de la voz, esto debido a la frecuencia de operación de los codecs de banda estrecha.

Dentro del análisis que se realizó se encontró que, el codec GSM no presenta un buen desempeño en frecuencias menores a 1500 Hz y según *IndCod* se consideraría un codec de calidad aceptable. Sin embargo, se puede evidenciar y justificar que este tipo de codec debido a sus características de creación y operación funciona mejor en un entorno inalámbrico, gracias a su ancho de banda. No obstante, es el codec con más distorsión y ruido de los que fueron analizados y documentados.

Análogamente se encontró que el codec G711 también presenta anomalías para operar a bajas frecuencias, aunque es el codec que mejor comportamiento tuvo durante el plan de pruebas en ambas topologías de red, ubicándose como el codec de calidad superior, según *IndCod*. Este dispositivo presenta algunas ventajas y desventajas una de ellas es que en el momento de encabezar sus tramas RTP no realiza ningún tipo de compresión por lo que genera mejor calidad de audio, pero ocupa más ancho de banda.

Por último, el codec G726 no presenta grandes cambios debido a que tiene un ancho de banda considerable, pero su calidad no es superior que G711, se encontró que es capaz de operar mejor en un entorno LAN.

Se encontró que el codec G711 tiene un buen rendimiento en las topologías planteadas para el análisis, sin embargo, su implementación es totalmente dependiente de la cantidad de tráfico que se presente en una red empresarial. Si se desea calidad de voz se recomienda el uso de G711, en otros casos donde la prioridad es el consumo de ancho de banda se recomendaría el codec GSM.

Se puede recomendar en futuras investigaciones el uso de la metodología planteada en el presente proyecto, con un enfoque hacia las redes de telefonía móvil, en estándares 3G, LTE y la posible llegada de 5G para el año 2018.

7. REFERENCIAS

- [1] A. H. Reeves, «The Past Present and Future of PCM,» de *IEEE Spectrum*, 1965, pp. 58-62.
- [2] J. M. Huidobro, «Tecnologías de información y comunicación,» 1 1 1. [En línea]. Available: <http://cmapspublic3.ihmc.us/rid=1H3108YC5-BYQQP-R83/Tecnologias%20de%20Informaci%C3%B3n%20y%20Comunicacion.pdf>. [Último acceso: 10 09 2016].
- [3] IETF, «www.ietf.org,» Enero 1996. [En línea]. Available: <https://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt>. [Último acceso: 10 19 2016].
- [4] J. G. Cabezas, «www.uco.es,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.uco.es/~i62gicaj/RTP.pdf>. [Último acceso: 22 09 2016].
- [5] Octavio Salcedo, Danilo López, Cesar Hernández, «Estudio comparativo de la utilización de ancho de banda con los protocolos SIP e IAX,» *Tecnura*, vol. 16, nº 34, 28 08 2012.
- [6] IETF, «www.ietf.org,» 06 2002. [En línea]. Available: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>. [Último acceso: 01 11 2016].
- [7] Simon Znaty, Jean-Louis Dauphin, Roland Geldwerth, «www.enfort.com,» 2005. [En línea]. Available: http://www.enfort.com/media_pdf/SIP_ESP.pdf. [Último acceso: 09 11 2016].
- [8] ITU-T, «www.itu.int,» 13 04 2015. [En línea]. Available: <http://www.itu.int/net/itu-t/sigdb/speaudio/Gseries.htm>. [Último acceso: 18 11 2016].
- [9] ITU-T, «<https://www.itu.int>,» 1990. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.711-198811-I/en>. [Último acceso: 12 11 2016].
- [10] ITU-T, «www.itu.int,» 12 1990. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.726/es>. [Último acceso: 13 11 2016].
- [11] ITU-T, «www.itu.int,» 06 2012. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.729/es>. [Último acceso: 13 11 2016].
- [12] ETSI, «www.etsi.org,» 06 1991. [En línea]. Available: <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/mobile/gsm>. [Último acceso: 13 11 2016].
- [13] F. S. Foundation, «www.gnu.org,» 02 06 1991. [En línea]. Available: <https://www.gnu.org/licenses/old-licenses/gpl-2.0.html>. [Último acceso: 15 11 2016].
- [14] J. E. B. Márquez, Principio de las Comunicaciones, Mérida: ULA, 2012.

