



SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Análisis del servicio de Voz sobre IP en una red inalámbrica de Cuarta Generación en La Libertad, Provincia de Santa Elena, Ecuador.

AUTORA:

Ing. María Belén García Sánchez

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de Magister en Telecomunicaciones

TUTOR:

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, 27 de octubre de 2020



SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Ing. María Belén García Sánchez, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

M. Sc. Manuel de Jesús Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Manuel de Jesús Romero Paz

Guayaquil, 27 de octubre de 2020



SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, MARÍA BELÉN GARCÍA SÁNCHEZ

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación “**Análisis del servicio de Voz sobre IP en una red inalámbrica de Cuarta Generación en La Libertad, Provincia de Santa Elena, Ecuador**” previo a la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 27 de octubre de 2020

LA AUTORA

Ing. María Belén García Sánchez



SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

YO, MARÍA BELÉN GARCÍA SÁNCHEZ

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **“Análisis del servicio de Voz sobre IP en una red inalámbrica de Cuarta Generación en La Libertad, Provincia de Santa Elena, Ecuador”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 27 de octubre de 2020

LA AUTORA

Ing. María Belén García Sánchez.

REPORTE URKUND

The screenshot displays the URKUND interface. At the top left, the logo 'URKUND' is visible. The main area shows document metadata: 'Documento: TI Maria Belén García Sánchez.docx (2410190)', 'Presentado: 2023-10-14 11:45:00:00', 'Presentado por: Luis Córdoba Rivadeneira (lcordova@yaho.com)', and 'Recibido: luis.cordova.luzg@enahya.uy/ind.com'. A note indicates 'de estos 36 págs, se compusieron de texto presente en 3 Fuentes'. On the right, a 'Lista de Fuentes' panel lists sources with categories and file names like 'GARCIA BELÉN MET.VI.docx' and 'TEMA URGENTE VILLI FINAL.docx'. The bottom section contains the document's content, including the title 'SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES', the author 'AUTORA: Ing. María Belén García Sánchez', and a certification statement.

Documento: TI Maria Belén García Sánchez.docx (2410190)
Presentado: 2023-10-14 11:45:00:00
Presentado por: Luis Córdoba Rivadeneira (lcordova@yaho.com)
Recibido: luis.cordova.luzg@enahya.uy/ind.com
de estos 36 págs, se compusieron de texto presente en 3 Fuentes

Lista de Fuentes

Categoría	Enlace/título de archivo
	BUEN GARCIA, Teju (Maestría Telecom URG. VI. Tema 1) 2023.docx
	GARCIA BELÉN MET.VI.docx
	https://www.comuni.uca.edu/boletines/boletin/COMUNICACIONES/2023/10/14/URGENTE/URGENTE/TEMA URGENTE VILLI FINAL.docx
	TEMA URGENTE VILLI FINAL.docx

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES
TEMA
Análisis del servicio de voz sobre IP en una red inalámbrica de Cuarta Generación en La Libertad, Provincia de Santa Elena, Ecuador.
AUTORA: Ing. María Belén García Sánchez
Trabajo de titulación previo a
la obtención del grado de Magister en Telecomunicaciones
TUTOR: MSc. Manuel Romero Paz
Guayaquil, a los 18 días del mes diciembre año 2023
SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES
CERTIFICACIÓN: Certificamos que el presente trabajo fue realizado en la totalidad por el Magister María Belén García Sánchez, como requisito parcial para la obtención del Título de Magister en Telecomunicaciones.

Dedicatoria

En primer lugar a Dios por que en todo el camino de mi vida, siempre ha estado presente en diferentes momentos y circunstancias, levantándome y fortaleciéndome, siempre demostrándome su amor a través de diferentes personas que han permitido que alcance cada meta planteada, siendo en mi vida la más importante mi mami Lcda. María Esther Sánchez, mi ángel, quien con su ejemplo me supo demostrar que toda meta es alcanzable, que todo esfuerzo y sacrificio vale la pena, así que estoy muy orgullosa de dedicar esta meta y saber que gracias a su formación puedo llegar siempre más lejos.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, mis hermanos Andrés García y Juan García quienes siempre estuvieron ahí, apoyándome a que siga luchando por más metas, que siga creciendo y sobre todo quienes siempre me supieron fortalecer con sus palabras “ñaña tú puedes. Dale”, son personas que siempre estarán en mi vida, son mi fuerza y fortaleza.

No puedo dejar de agradecer a Ing. Manuel Romero, quien durante todo este proceso de estudio ha estado ahí brindándome el apoyo, las facilidades, apoyo con todo respecto a este estudio de graduación, siendo la persona más importante de la carrera y me siento muy agradecida con Dios por poner personas tan buenas en mi vida y que me han apoyado para cumplir esta meta.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

MSc. Manuel Romero Paz
TUTOR

f. 

MSc. Manuel Romero Paz
DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. 

MSc. Luis Córdova Rivadeneira
REVISOR

f. 

MSc. Edgar Quezada Calle
REVISOR

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
Resumen	XV
Abstract.....	XVI
Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención.	17
1.1. Introducción.	17
1.2. Antecedentes.....	17
1.3. Definición del problema	18
1.4. Justificación del Problema a Investigar.....	19
1.5. Objetivos.....	19
1.5.1. Objetivo General:.....	19
1.5.2. Objetivos específicos:.....	19
1.6. Hipótesis o Idea a Defender	20
1.7. Metodología de investigación.	20
Capítulo 2: Evolución de la Tecnología de Voz sobre IP.	21
2.1. Introducción de la telefonía IP	21
2.2. Voz sobre IP	23
2.3. Evolución de la tecnología de la telefonía móvil	25
2.3.1. Primera Generación (1G)	26
2.3.2 Segunda Generación (2G)	26
2.3.3 Generación de Transición GPRS (2.5G)	27
2.3.4 Tercera Generación (3G)/WCDMA.....	27
2.3.4.1 Evolución del WCDMA	28
2.3.4.2 Tecnología UMTS.....	29
2.3.5 Redes de Cuarta Generación LTE	31
2.3.5.1 Arquitectura de redes de 4G LTE	32
2.3.5.2 Capa física de LTE	34
2.3.5.3 Modulación y codificación en redes LTE	35
2.3.5.4 Interfaz de Radio LTE.....	37
2.3.5.5 Packet Scheduling.....	37
2.3.5.5.1 Scheduling semi-persistente	38

2.3.5.5.2	Mecanismos de Packet Scheduling.....	39
2.4.	VOLTE: Voz sobre IP en LTE.....	40
2.4.1	Ventajas de Volte.	40
2.4.2	Desventajas de VoLTE.....	41
2.4.3	Parámetros de calidad en VOIP.	41
2.5.	Estándares de los parámetros de Calidad.....	42
2.6.	Diseño actual de la estructura de la red LTE en Ecuador.....	43
2.7.	Bandas de frecuencias establecidas en LTE en Ecuador.....	43
2.7.1.	Análisis de la banda de 900MHz	44
2.7.2.	Análisis de la Banda AWS.....	45
Capítulo 3:	ATOLL.....	46
3.1.	Diseño de una red LTE mediante la Herramienta Atoll.....	46
3.1.2	Global Mapper.....	47
3.2	Modelado de la Voz sobre IP en LTE ATOLL.....	48
3.2.1	Portadores de Radio (radio Bearers).....	48
3.2.2	Receiver Sensitivity	49
3.2.3	Transmission Time Interval Bundling.....	50
3.2.4	Codecs del servicio VoLTE	51
3.2.5	Semi- persistent Sheduling (SPS)	52
3.3	Predicciones de Cobertura ATOLL.....	52
3.4	Simulaciones Montecarlo.....	54
Capítulo 4.	Diseño y Análisis de la Cobertura de Voz en redes LTE	56
4.1.	Proceso de Diseño de la Red LTE en Atoll.....	56
4.1.1.	Recopilación de Información	56
4.1.2.	Creación del Proyecto	58
4.1.2.1.	Área de Estudio con Global Mapper.....	58
4.1.3.	Creación del proyecto de Red LTE en la ciudad de La Libertad	59
4.2.	Configuración del servicio de Voz, terminales, movilidades y perfil del usuario de la Red LTE.....	62
4.2.1.	Cobertura de la red a nivel de señal.....	66
4.3.	Análisis de las Predicciones	66
4.3.1.	Predicciones de Cobertura según la calidad de la Señal.....	67
4.3.2.	Coverage by C/(I+N).....	67

4.3.3. Service Area Analysis	68
4.3.4. Efective Service Area Analysis	70
4.3.5. Coverage by Throughput	70
4.3.6. Coverage by Quality Indicator	72
Capítulo 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
5.1. Conclusiones	74
5.2. Recomendaciones.....	76
Glosario	77
Referencias Bibliográficas	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Redes Convergentes	22
Figura 2. 2: Tecnología ADSL.....	23
Figura 2. 3: Proceso de Transmisión de Voz mediante IP	24
Figura 2. 4: Evolución de las tecnologías Móviles	26
Figura 2. 5: Modos de Operación 2G.....	27
Figura 2. 6: Evolución del WCDMA.....	28
Figura 2.7 Arquitectura de la Tecnología UMTS	30
Figura 2. 118: Ejemplo de Estructura LTE en Ecuador.....	43

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Proceso de Diseño y Optimización de la Red	47
Figura 3. 2. Configuración de Zona horaria.....	48
Figura 3. 3: Configuración de Portadoras de radio para Volte.....	49
Figura 3. 4: Recepción de enlace ascendente	50
Figura 3. 5: Configuración del servicio de Voz.....	51

Capítulo 4:

Figura 4.1: Red LTE CNT Ciudad La Libertad	57
Figura 4.2: Estado Actual de la Red en la ciudad de la Libertad	58
Figura 4. 3: Área de Estudio La Libertad.....	58
Figura 4. 4 : Zona de análisis Ciudad La Libertad.....	60
Figura 4. 5 Ubicación de los eNodeB Ciudad “La Libertad”	61
Figura 4. 6 Configuración de parámetros para el servicio de Voz	63
Figura 4. 7: Configuración Móvil Terminal.....	64
Figura 4. 8 Configuración MIMO Terminal	65
Figura 4. 9. Características de perfiles de usuarios de la red LTE	65
Figura 4. 10 Características de perfiles de usuarios de la red LTE	66
Figura 4. 11 Predicción de Cobertura por señal.....	66
Figura 4. 12 Predicción de Cobertura por C/(I+N) DL	67
Figura 4. 13 Predicción de Cobertura por señal ruido en el canal de carga....	68

Figura 4. 14	Predicción de Cobertura por señal.....	68
Figura 4. 15	Predicción de Cobertura por señal.....	69
Figura 4. 16	Análisis de los radios Bearers.....	69
Figura 4. 17	Predicción de Cobertura por señal.....	70
Figura 4. 18	Predicción de Cobertura por Throughput DL.....	71
Figura 4. 19	Predicción de Cobertura por Throughput DL.....	71
Figura 4.20	Predicción de Cobertura por Throughput UL.....	72
Figura 4. 21	Predicción de Cobertura por indicador calidad DL_UL.....	72
Figura 4. 22	Predicción de Cobertura por indicador calidad UL	73

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Velocidades de Trasterencia UMTS.....	29
Tabla 2. 2: Aspectos Técnicos de LTE.....	31
Tabla 2.3: Niveles de calidad de la Voz	42
Tabla 2. 4: Parámetros de Calidad de la Voip según UIT.....	42
Tabla 2. 5: Canalización de la banda 900Mhz.	44
Tabla 2. 6: Portadoras GSM, UMTS y LTE banda 900 Mhz Ecuador.....	45

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Predicciones de Cobertura Atoll.....	53
--	----

Capítulo 4:

Tabla 4. 1: Predicciones de Cobertura Atoll.....	53
--	----

Resumen

Debido al avance tecnológico en telefonía móvil, enfocado cada día más a un mundo gobernado por redes IP, surge una red telefónica avanzada de cuarta generación LTE, con un despliegue a nivel mundial, la misma que ofrece mejores anchos de banda y velocidades para los usuarios, siendo esta red el punto de concentración para desarrollar un diseño que permita, a más de las mejoras indicadas, utilizar el nuevo servicio Volte (Voz sobre IP en LTE), lo cual se prueba en la ciudad de La Libertad, provincia de Santa Elena. La primera fase fue la investigación teórica, del sistema LTE, su estructura y capa de acceso, lo cual permitió definir un nuevo diseño, más robusto y mejorado para la ciudad escogida y en base al mismo desarrollar predicciones que permitan validar la calidad de la red en función de la configuración establecida e investigada. Como resultado de este diseño, se logró demostrar una mejora de la cobertura de la red y de los parámetros de Voz sobre IP del 100% de la ciudad La Libertad, Provincia de Santa Elena, basado en la herramienta ATOLL.

Palabras clave: VoIP, WCDMA, UMTS, LTE, Packet Scheduling, VoLTE

Abstract

Due to technological advancement in mobile telephony increasingly focused on a world governed by IP networks, an advanced fourth-generation LTE telephone network with a worldwide deployment is emerging, one that offers better bandwidths and speeds for users, this network being the concentration point to develop a design that allows, in addition to the improvements indicated, using the new Volte service (Voice over IP in LTE), which is being tested in the city of La Libertad, province of Santa Elena . The first phase was the theoretical investigation of the LTE system, its structure and access layer, which allowed defining a new, more robust and improved design for the chosen city and, based on this, developing predictions that allow for validating the quality of the performance of the established and investigated configuration. As a result of this design, it was possible to demonstrate an improvement in the network coverage and the Voice over IP parameters of 100% of the city of La Libertad, Province of Santa Elena, based on the ATOLL tool.

Keywords: VoIP, WCDMA, UMTS, LTE, Packet Scheduling, VoLTE

Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención.

Para iniciar este proyecto, se ha realizado un resumen de como el sistema de telecomunicaciones ha ido evolucionando en el pasar del tiempo, desde los sistemas, canales de comunicación y equipos de telefonía móvil inteligente que se posee hoy en día.

1.1. Introducción.

La tecnología día a día ha ido evolucionando, desde las llamadas telefónicas utilizando centrales fijas hasta su evolución a la telefonía móvil celular, donde la utilización de esta tecnología marcó un gran salto en las telecomunicaciones. A partir de esta transición se inicia el desarrollo de las diferentes generaciones de la telefonía celular y los sistemas de comunicación, comenzando en 1980 con la red de primera generación 1G, evolucionando con el pasar de los años a través de diferentes tecnologías (GSM (Global System for Mobile Communications), GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), pasando de los servicios de voz por líneas de cobre a VoIP (Voice over IP).

En la actualidad la tecnología está implementando una red de alta cobertura y gran capacidad, esto es la cuarta generación 4G conocida como LTE (Long Term Evolution), por lo cual aprovechando los beneficios que ésta presenta, este trabajo de investigación desarrolla un análisis de la configuración del servicio VoIP en redes LTE denominado VoLTE (Voice over LTE), mediante el diseño y simulación de la implementación de este servicio en la ciudad de La Libertad, provincia de Santa Elena, Ecuador, mediante el simulador ATOLL.

1.2. Antecedentes.

El desarrollo y la innovación tecnológica, crecen exponencialmente día a día, como se puede recordar desde la aparición de internet en Ecuador alrededor de los años 90s, los servicios de comunicación fueron

desarrollándose e innovándose rápidamente. Antes de aquello la comunicación se basaba en los servicios de telefonía fija, telégrafos, fax, etc. Con internet, los servicios de comunicación fueron avanzando pasando de los mensajes de fax a correos electrónicos, de llamadas de centrales fijas a comunicaciones móviles, cada vez con mejor tecnología, desarrollándose y creándose de manera rápida servicios basados en IP (Internet Protocol).

Los servicios IP se intensifican en los últimos años en Ecuador, debido a una gran demanda de utilizar Teléfonos inteligentes (SP, Smart Phones), aplicaciones y diferentes servicios para establecer video conferencias, multimedia, etc., en tiempo real por parte de grandes empresas en el ámbito de negocios, laboral y por los mismos usuarios como un medio masivo de comunicación, lo que ha generado que la tecnología que utiliza redes basadas en IP, evolucione de los sistemas de transporte de voz por Conmutación de Circuitos (SCN, Switched Circuit Network) a redes de Paquetes Conmutados (PSN, Packet Switched Network), proporcionando cada vez más servicios de comunicaciones eficaces y confiables, capaces de cumplir y satisfacer las necesidades de los diferentes usuarios, dentro del servicio VoIP, donde la voz se transporta por medio de IP.

Debido a que en la actualidad se disponen de redes móviles que proporcionan servicios de internet IP, con lo cual se puede establecer comunicaciones VoIP como son video conferencias mediante SKYPE, WhatsApp y otras aplicaciones, la demanda de estos servicios se ha intensificado, por lo cual teniendo un mayor ancho de banda que proporciona la tecnología LTE o 4G, se establece el presente estudio para analizar sobre esta nueva red, cual es la capacidad, la cobertura del servicio de voz mediante paquetes de datos VoLTE, en la ciudad de La Libertad, Provincia de Santa Elena, Ecuador.

1.3. Definición del problema

En diferentes ciudades del Ecuador se mantienen servicios solo de redes de telefónica móvil en 2G, 3G y con poca o nada de cobertura 4G (LTE),

por ejemplo la ciudad de La Libertad, por lo cual la red actual no dispone al 100% de cobertura de datos con el suficiente ancho de banda para establecer servicios de comunicaciones móviles IP confiables, donde el transporte de paquetes de datos se establezca en tiempo real sin interrupciones del servicio, por lo cual: **se requiere el análisis de una red LTE con configuración para el servicio de Voz sobre IP en la ciudad de la Libertad, provincia de Santa Elena, Ecuador.**

1.4. Justificación del Problema a Investigar.

El despliegue de una red de cuarta generación a nivel nacional, es uno de los mayores avances tecnológicos que impulsan al desarrollo de nuevos servicios y beneficios, tanto para las operadoras móviles nacionales como para los usuarios. Aprovechando los beneficios que entrega una red LTE con un ancho de banda superior a las redes móviles actuales de datos (3G), se establece el análisis del servicio Volte mediante el diseño, optimización y simulación de una red LTE en el simulador ATOLL, en la localidad en estudio.

1.5. Objetivos

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación, se desarrollan los siguientes objetivos:

1.5.1. Objetivo General:

Diseñar y analizar una red LTE en la ciudad de La Libertad, Provincia de Santa Elena, Ecuador, mediante estrategias favorables al servicio de Voz sobre IP.

1.5.2. Objetivos específicos:

- ✓ Desarrollar una breve investigación de las comunicaciones móviles hasta llegar a Cuarta Generación.

- ✓ Definir que es Voz sobre IP en redes de cuarta generación, cuáles son sus requerimientos y su alcance en la actualidad.
- ✓ Desarrollar el diseño y optimización de una red LTE, en la ciudad de La Libertad, Provincia de Santa Elena, Ecuador, mediante el simulador ATOLL.
- ✓ Analizar los parámetros de configuración para el servicio VoLTE, en base a la optimización realizada.

1.6. Hipótesis o Idea a Defender

En base al diseño y análisis de la red LTE, mediante el simulador ATOLL se podría obtener un mayor rendimiento (Throughput), para establecer comunicaciones VoLTE confiables, brindando un mejor servicio de calidad de Voz sobre IP al usuario que utilice este tipo de servicios.

1.7. Metodología de investigación.

La metodología de investigación que se utiliza para analizar el problema, tendrá un alcance investigativo-descriptivo en la recopilación de información, lo que permitirá determinar puntos de análisis, causas de la mala calidad, factores que interfieren en el mismo, permitiendo alcanzar el objetivo de esta investigación que es mejorar el Throughput del canal de VoIP en redes de Cuarta Generación.

La primera fase de la investigación es teórica-descriptiva en donde se determina todos los parámetros que conlleva una red LTE, características, bandas de frecuencia y normativas establecidas en Ecuador. Como segunda fase de investigación es teórica - practica, en la cual se investiga y desarrolla en la herramienta ATOLL el diseño de la red actual de la ciudad de La Libertad, provincia de Santa Elena. La tercera fase de investigación es experimental, donde en base a los estudios realizados se realiza el diseño de optimización y se configuran los parámetros de voz establecidos para los protocolos VoLTE.

Capítulo 2: Evolución de la Tecnología de Voz sobre IP.

El desarrollo de las actividades personales, empresariales y laborales, marcan la gran importancia para el ser humano de estar comunicado y establecer mecanismos de comunicación confiables y disponibles para cada necesidad, por lo cual la comunicación ha tenido que ir evolucionando con el tiempo y prestando mejores servicios.

Uno de los mayores avances tecnológicos a través de la historia, fue conseguir establecer comunicaciones de voz a través de internet, definiéndose de esta manera comunicaciones mediante Protocolos de Internet (IP) denominado VoIP. En el presente capítulo se definirán ciertos fundamentos teóricos necesarios para comprender como se establece la comunicación de telefonía convencional y como se establece la comunicación mediante IP, con lo cual se definirán aspectos primordiales y una comparación entre las ventajas y desventajas que presenta cada una de estas tecnologías.

2.1. Introducción de la telefonía IP

Los sistemas de comunicación a través de la historia fueron muy variados, desde una simple llamada de telefonía fija, la cual estaba basada en un sistema simple e ineficiente denominado conmutación de Circuitos (CS, Circuit Switched), la misma que ha venido siendo utilizada por más de 100 años. Ese sistema se establece mediante canales de comunicación lógicos, por medio de los cuales se establece la llamada entre dos usuarios, mediante la dedicación de un canal lógico para establecer la comunicación mediante el siguiente proceso:

- 1. Establecimiento del circuito:** El transmisor envía una solicitud de conexión al receptor, la cual es recibida por éste y al ser aceptada se establece la comunicación, el proceso para transmitir la señal de voz es

ocupando un canal lógico mediante el cual se desarrolla un proceso de transformación de la voz analógica a una señal digital.

La digitalización de la señal se opera mediante sistemas de codificación, la señal analógica del transmisor es codificada mediante un Conversor Analógico-Digital (ADC, Analog-to-Digital Converter), la misma que es fraccionada en paquetes que se transmiten por el medio digital. En el receptor la señal digital recibe un proceso opuesto, donde la señal es decodificada y convertida en la señal original analógica mediante un Conversor Digital-Analógico (DAC, Digital-to-Analog Converter) para la recepción. Este proceso es transparente para los usuarios, a más de que exista una mala calidad del servicio (QoS, Quality of Service).

2. **Transferencia de Datos:** Cuando la comunicación se encuentra establecida, se inicia la transferencia de datos, la misma que consiste en la información que se genere del transmisor al receptor y viceversa durante el tiempo de conexión.
3. **Desconexión del circuito:** La desconexión del circuito es generada cuando uno de los usuarios, ya sea del transmisor o el receptor finalizan la llamada, por lo cual se libera el canal de comunicación, quedando libre para una nueva comunicación.

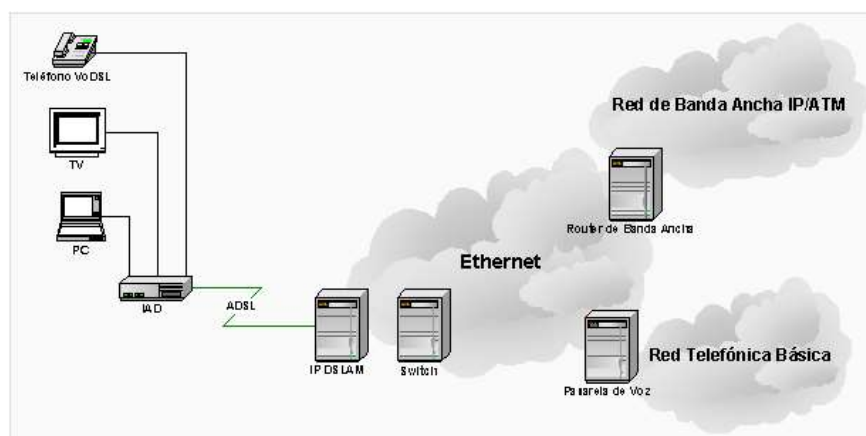


Figura 2. 1: Redes Convergentes
Fuente: (Huawei, 2016)

En la actualidad se dispone de sistemas de comunicación, capaces de establecer comunicaciones confiables de gran calidad, mediante paquetes de datos en tiempo real denominados VoIP.

La tecnología ADSL (Asymmetric Digital Subscriber) proporciona acceso de datos de alta velocidad a través de líneas telefónicas de cobre, mediante el uso de frecuencias arriba de la banda de voz no utilizada anteriormente (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2016)

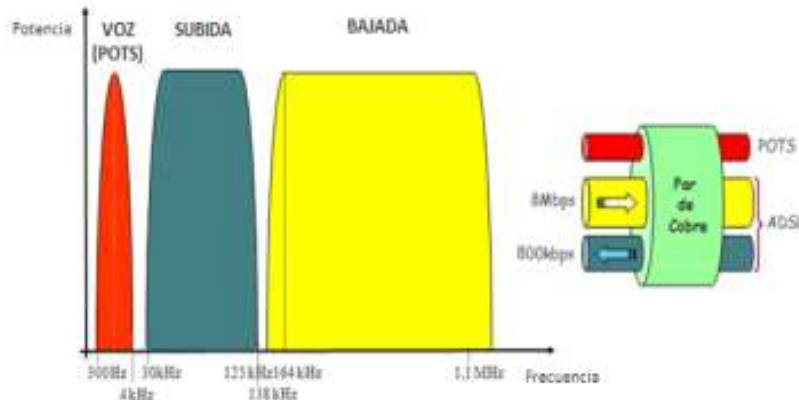


Figura 2. 2: Tecnología ADSL
Fuente: (Huawei, 2016)

La tecnología VoIP permite a los servicios de tecnología tradicional operar a través de redes informáticas utilizando protocolos de conmutación de paquetes. Estos servicios son interoperables, lo que significa que funcionan bien en todo tipo de redes (Ovalle & Yamile, 2020)

Por lo cual es básico analizar brevemente VoIP y la evolución de la tecnología móvil, gracias a la cual la capacidad de transmisión ha mejorado significativamente, hasta la actualidad en la que se encuentra el despliegue de la red LTE y LTE-ADVANCE, donde la velocidad y el ancho de banda definen la calidad del servicio de voz que es necesario para el desarrollo del servicio de Voz en redes 4G VoLTE.

2.2. Voz sobre IP

VoIP, implica voz transmitida sobre protocolos basados en Internet, esto es la transmisión de la voz analógica, digitalizada mediante un ADC y transmitidas hacia direcciones IP determinadas, por lo cual VoIP está definida como una tecnología.

Como se puede observar en la figura 2.3, el proceso de digitalizar la voz analógica, consiste en que esta señal pase por una técnica de muestreo, cuyas muestras se cuantifican y codifican y pasan al proceso de empaquetamiento y es transmitida a la dirección IP de destino.

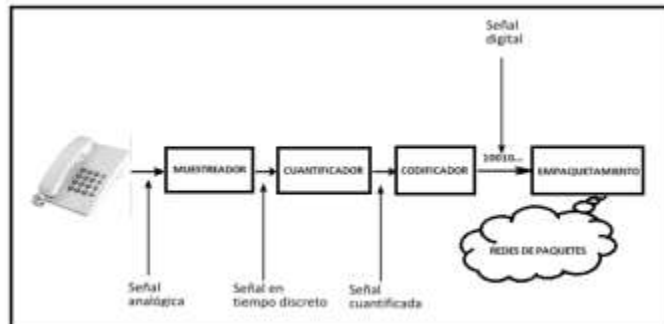


Figura 2. 3: Proceso de Transmisión de Voz mediante IP
Fuente: (Gutiérrez, 2019)

En el lado del receptor la señal pasa por un proceso inverso, que se encarga de decodificar la señal y convertirla nuevamente a una señal analógica. Este procedimiento es imperceptible para el usuario, el cual recibe su señal analógica tal cual fue enviada.

Esta tecnología trae consigo grandes beneficios para el usuario, entre los principales la disminución del costo, ya que al establecer comunicaciones por un medio IP (Internet) mediante el uso de diferentes aplicaciones, el usuario no tiene que acceder al costo de establecer llamadas de centrales fijas al exterior, a dispositivos móviles, etc.

Además de los beneficios, esta tecnología fue presentando inconvenientes, debido a que cada día se integran más usuarios a utilizar estos servicios, lo cual demanda un mayor ancho de banda, mejores seguridades IP, los cuales dependen básicamente de la tecnología en la cual se está estableciendo la comunicación.

Al tener mejores redes de comunicación tanto móviles como fijas, se puede brindar mejores prestaciones de servicios de datos, mejor confiabilidad y seguridad a los mismos.

La telefonía IP demanda velocidades de transmisión y anchos de banda confiables, por lo que desde la aparición de internet en los años 90"s, día a día ha ido evolucionando la tecnología hasta la actualidad que se dispone de redes HSPA (High-Speed Packet Access) - PLUS, LTE y LTE-Advanced, desplegándose a nivel mundial, brindando mejores redes, mayores capacidades, menor tiempo de sincronismo, mayor alcance, confiabilidad y seguridad, los mismos que se definen a continuación.

2.3. Evolución de la tecnología de la telefonía móvil

La tecnología día a día se vuelve más importante para el desarrollo de diferentes actividades del ser humano, por lo cual incrementa la demanda de un mayor ancho de banda, rapidez de información y capacidad. Si se enfoca las necesidades actuales, se puede ver que conectarse a redes móviles, la descarga de datos y el uso de llamadas telefónicas son indispensables, he ahí donde la tecnología y el avance tecnológico de redes de comunicación, se ve proyectado a un desarrollo rápido y eficaz pasando de la reutilización de frecuencia y modulación analógica como AMPS (Advanced Mobile Phone System), TACS (Total Access Communication System) o NMT (Nordic Mobile Telephone), a establecer comunicaciones digitales móviles como GSM, CDMA (Code Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access) o PDC (Personal Digital Cellular).

La tecnología móvil ha ido evolucionando, como se puede apreciar en la figura 2.4, donde los servicios de internet marcan el inicio a nuevas plataformas y avances tecnológicos, por lo cual se ha desarrollado desde la primera Generación alrededor de los años 80, hasta la tecnología móvil actual 4G y con proyecciones a un 5G.

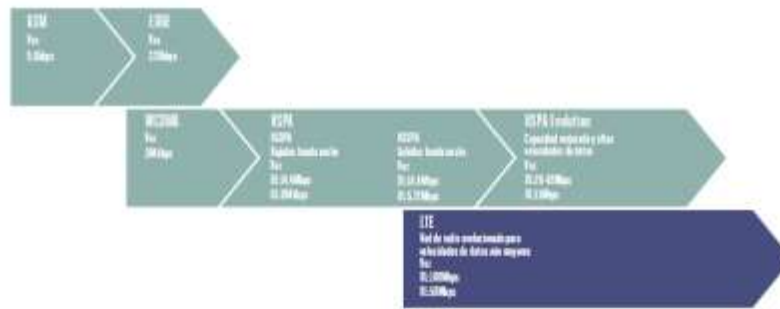


Figura 2. 4: Evolución de las tecnologías Móviles
Fuente: (GSMA, 2014)

2.3.1. Primera Generación (1G)

Inicia en 1981 con el sistema NMT450, a una frecuencia de 450 MHz, donde la transmisión era a través de canales analógicos por modulación de frecuencia FDMA (Frequency Division Multiple Access). Evoluciona en 1986 al sistema NMT900, a 900 MHz, captando una mayor cantidad de receptores y haciéndose más global, pero con limitaciones en los servicios de transmisión de datos, falta de privacidad, alta vulnerabilidad a la interceptación y malversación de los números telefónicos.

Dentro de esta generación, y gracias a la innovación de digitalizar la señal, nace la idea de VoIP, debido a la necesidad de integrar varios servicios en una misma red, con lo cual se pretendía minimizar el costo de la implementación de cada uno de los servicios y desarrollar sistemas más eficaces con mejor calidad de servicio.

2.3.2 Segunda Generación (2G)

Nace en los 90s con nuevos sistemas como GSM (Global System for Mobile) y D-AMPS (Digital AMPS), a frecuencias entre 900 y 1800 MHz. Su mejora fue tomar los sistemas antiguos analógicos y digitalizar la transmisión de la señal de voz por medio de mejoras como TDMA y CDMA, para así alcanzar una mayor rapidez, fidelidad y seguridad en la señal. Incluyó la multiplexación, con lo cual aumentó el número de usuarios e integró el servicio de mensajes SMS (Short Message Service).



Figura 2. 5: Modos de Operación 2G
Fuente: (GSMA, 2014)

Con el despliegue del uso de internet, se establecen los sistemas de VoIP mediante la conmutación de paquetes, donde se da el despliegue de los servicios integrados de voz y datos por un mismo canal de comunicación.

2.3.3 Generación de Transición GPRS (2.5G)

El despliegue de paquetes por radio o GPRS (General Packet Radio Service) (2.5G) establece una conmutación basada en el protocolo IP, desarrollada mediante técnicas de digitalización de datos alcanzando velocidades de hasta 115 Kbps, incorporando sistemas como el EMS (Enhanced Messaging Services) y el MMS (Multimedia Messaging Services), como mejoras del SMS y WAP (Wireless Application Protocol), en base a las tecnologías GPRS y EDGE (hasta 384 Kbps).

GPRS: Implementa la facturación por cantidad de información transferida, beneficiando a aquél que más consuma información, en vez de por tiempo de conexión como sucede en redes GSM.

EDGE: Las operadoras utilizan las bandas de radiofrecuencia GSM existentes, para ofrecer servicios y aplicaciones multimedia basadas en el protocolo IP a velocidades de hasta 384 Kbps por usuario.

2.3.4 Tercera Generación (3G)/WCDMA

La 3G (Tercera Generación), inició con la utilización de la tecnología de acceso por radio WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), permitiendo servicios multimedia interactivos de alta velocidad tales como

voz, acceso a Internet y videoconferencia, mediante la utilización de códigos con una velocidad mucho mayor que la señal a transmitir. La tecnología proporciona velocidades de hasta 2 Mbps en áreas locales, y 384 Mbps en áreas de acceso amplias con movilidad total.

Modos de Operación WCDMA

- FDD (Frequency División Duplexing): Permite a los usuarios que compartan la misma portadora al simultáneamente. Es utilizado para dar cobertura tipo macro celda el cual soporta servicios de gran movilidad.
- TDD (Time Division Duplex): Añade al código el recurso temporal para de esta forma, permitir diferenciar a un usuario de otro dentro de un mismo canal. Este modo es usado para dar cobertura tipo micro/picocelda soportando servicios de baja movilidad en interiores.

2.3.4.1 Evolución del WCDMA

La 3G mejora del WCDMA, debido a que incorpora el sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), aumentando la capacidad de transmisión de datos e incorporando servicios como Internet, teleconferencias (VoIP), transmisión de datos, multimedia, entre otros. Se aumenta la frecuencia a 2600 MHz para captar más usuarios y se llega a velocidades de descarga de hasta 7.2 Mbps, manteniendo la compatibilidad con 2G.



Figura 2. 6: Evolución del WCDMA
Fuente: (Iqual Networks, 2014)

Estas mayores velocidades de transmisión requieren una banda de radiofrecuencias más amplia, en concreto la banda de 1.8-2,2 GHz. Por este mismo motivo, se han seleccionado portadoras de 5 MHz en UMTS, a diferencia de los 200 Khz en GSM.

2.3.4.2 Tecnología UMTS

Es uno de los principales sistemas de comunicaciones móviles de 3G, debido a la incorporación de componentes de redes de satélites como de radio terrestre alcanzando mayores velocidades como se indica en la tabla 2.1.

Además integra todos los servicios ofrecidos distintas tecnologías y redes que se encuentran en la actualidad, utilizando los diferentes terminales, fijos, inalámbricos o celulares.

Tabla 2. 1: Velocidades de Traslación UMTS

Velocidad transferencia	Situación
144kbps	Terminales sobre vehículos con velocidades altas menores a 500km/h
384 kbps	Terminales sobre vehículos con velocidades bajas menores a 120km/h
2Mbps	Interiores de Edificios o muy baja velocidad menor a 10km/h

Fuente: Autora

ARQUITECTURA DE UNA RED 3G

Los elementos importantes de un sistema UMTS son los siguientes:

➤ **Red de Control (CN)**

El CN (Control Network), gestiona las llamadas de voz y conexiones de datos dentro del sistema UMTS y pone en práctica las funciones de Conmutación y Ruteo.

- ✓ Funciones de Conmutación, que cumple con la conmutación de circuitos CS, para llamadas de voz y la conmutación de paquetes, PS (Packet Switched) para la transmisión de datos, encargado de tramitar los paquetes de VoIP.

- ✓ Funciones de Ruteo, que cumple con la función de encaminar el servicio de voz o datos, hacia y desde los respectivos elementos de red MSS (Mobile Switching Server) y SGSN (Server GPRS Support Node).

➤ **Red de Acceso de Radio UMTS (UTRAN)**

La UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), maneja todas las funciones a nivel de radio y proporciona la conexión entre los terminales y el núcleo de red (CN-Core Network) y está compuesta por un conjunto de entidades físicas (nodo B, RNC-Radio Network Controller).

- ✓ El **RNC** es usado para asignar y controlar los recursos de radio del Nodo B.
- ✓ El **Nodo B** sirve para convertir los flujos de datos entre el interfaz Iub y la interfaz Uu, y direcciona los recursos de radio.

Para enlazar la comunicación entre la RNC y el Node B se ocupan las siguientes interfaces:

- La interfaz Iu interactúa entre la RNC y el CN.
- La interfaz Iub interactúa entre el Nodo B y la RNC.
- La interfaz Iur interactúa entre las RNCs.

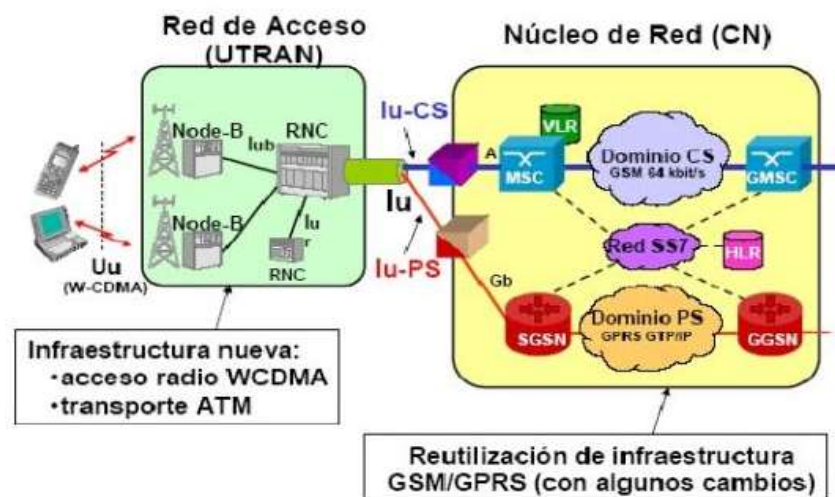


Figura 2.7 Arquitectura de la Tecnología UMTS
Fuente: (GSMA, 2014)

2.3.5 Redes de Cuarta Generación LTE

LTE (Long Term Evolution) es un conjunto de tecnologías y protocolos que permiten el máximo rendimiento de procesamiento, basado totalmente en IP, lo cual permite velocidades de hasta 100Mbps en movimiento y 1Gbps en reposo, admitiendo servicios de datos en cualquier momento. El ancho de banda que ofrece es de 20MHz tanto de Tx como de Rx. Emplea la banda de los 700MHz, logrando mejor cobertura y penetración en edificios, para mayor detalle se presentan los aspectos técnicos de esta tecnología en la Tabla 2.2.

Después del despliegue de la red LTE, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) estableció nuevos estándares, determinando que ésta tecnología no es reconocida como de 4ta Generación sino que LTE-Advanced lo es, por lo cual este estudio se enfoca en la VoIP en redes 4G con las características de LTE-ADVANCED.

Tabla 2. 2: Aspectos Técnicos de LTE

MÉTRICA	REQUERIMIENTO
Velocidad Máxima	DL: 326Mbps UL: 86.4Mbps (para un espectro de 20MHz)
Soporte de Movilidad	Hasta 500 Km/h. Optimizado a bajas velocidades de 0 a 15 Km/h
Latencia del Plano de Control (Tiempo de transición al estado activo)	Menos de 100ms para pasar de idle a active
Latencia del Plano de Usuario	Menos de 5ms
Capacidad del Plano de Control	Más de 200 usuarios por celda (para un espectro de 5Mhz)
Cobertura (Tamaño de las celdas)	De 5 a 100km (pequeña degradación a partir de los 30km)
Flexibilidad Espectral	1.4, 3, 5, 10, 15, y 20MHz
Modos de Operación	TDD y FDD

Fuente: (Iquall Networks, 2014)

LTE-Advanced, alcanza velocidades superiores a LTE, hasta 1Gbps en el enlace de descarga. Como ya se indicó LTE-Advanced es efectivamente 4G, la nueva generación de comunicación global que brinda acceso a un alto número de servicios de telecomunicaciones basados en paquetes, basado en redes móviles y fijas. IMT-Advanced (International Mobile

Telecommunications-Advanced) usa un espectro de radio frecuencia más eficiente que el actual, con mayores velocidades de transmisión y menor uso de ancho de banda (Iquall Networks, 2015).

LTE-Advanced para alcanzar los requerimientos establecidos, desarrolla un conjunto de mejoras siendo las siguientes:

- Agrega una banda de hasta 100 MHz, mediante la incorporación de múltiples componentes de 20 MHz para proporcionar velocidades de transmisión más elevadas.
- Soluciones multi-antena, con hasta 8 niveles en el downlink y 4 en el uplink, para incrementar las velocidades de transmisión alcanzables sobre el enlace.
- Coordinated multipoint (CoMP) transmission and reception, permite mejorar las prestaciones observables en el extremo de la célula efectuando la transmisión/recepción desde distintas células. CoMP es un término relativamente general, que incluye diferentes tipos de coordinación (*packet scheduling, beam-forming, etc.*) entre transceptores separados geográficamente.
- Incrementa repetidores para mejorar la cobertura y reducir el costo de despliegue (Ramón Agusti, Francisco Bernardo & Ramon Ferrús, Jordi Pérez-Romero, 2015)

2.3.5.1 Arquitectura de redes de 4G LTE

Para establecer un correcto entendimiento de cómo se maneja la arquitectura en las redes 4G, se describirá cada uno de sus elementos de la capa de red IP en LTE, siendo estos los siguientes:

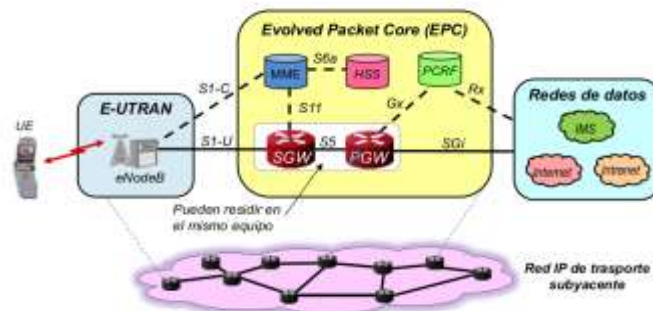


Figura 2.8 Arquitectura de la Tecnología LTE
Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

E-UTRAN: Como se puede observar en la figura 2.8, esta área se encarga de la conexión del equipo móvil (UE, User Equipment) mediante un eNodeB con la red EPC (Evolved Packet Core) a través de los eNodeB.

UE: Equipo Movil

eNodeB: Contiene la capa física, MAC (Media Access Control), RLC (Radio Link Control) y PDCP (Packet Data Control Protocol) que incluyen las funcionalidades del plano de usuario de compresión de cabecera y encriptación. Además cumple la función más importante que es la gestión de recursos de radio (radio Bearers), control de la administración de radio, el control de scheduling de paquetes, control de la movilidad y la asignación dinámica de los recursos tanto en downlink como en Uplink.

EPC (Evolved Packet Core): Se encarga de transportar los datos entre los diferentes equipos del Core hasta su destino, está constituido por pasarelas (conmutadores de paquetes), servidores de control y bases de datos, interconectados a través de un backbone IP. Los elementos que componen esta capa son:

MME (Mobility Management Entity): Como se puede observar en la figura 2.8, MME es el Servidor de señalización (funciones de control similares a un SGSN), gestión de movilidad y sesiones de actualización de posición, paging.

SGW (Serving Gateway): Es una pasarela de servicio, mediante la cual se realiza el intercambio de tráfico de usuario entre red de acceso y núcleo de red IP, adicional ancla para traspasos entre con otras redes 3GPP. Cuando el UE se mueve a través de los diferentes eNodeB el SGW sirve como un anclaje de movilidad, de modo tal que los paquetes ruteados atraviesan este nodo para el cambio de un equipo a otro, tanto dentro de LTE como con otras tecnologías 3GPP.

PGW o PDN-GW (Packet Data Network Gateway). Es la pasarela a redes de datos donde se desarrolla:

- Intercambio de tráfico con redes externas (Packet Data Networks).
- Clave para “policy enforcement” y recogida de datos de tarificación.
- Ancla para traspasos con redes no 3GPP.

HSS (Home Subscriber Server). Es el servidor de suscriptores abonados, en el cual se encuentra la base de datos central de usuarios del sistema EPS (Evolved Packet System), las identidades, datos de servicio y localización de usuarios

PCRF (Policy Charging and Rules Function): Es la gestión de políticas de QoS y tarificación.

EPS: Se encarga de la unión de la red E-UTRAN y la red EPC.

La figura 2.9 muestra la arquitectura implementada en Ecuador, en redes 2G, 3G y LTE, se puede apreciar que la red de acceso E-UTRAN y la troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas, tales como plataformas IMS (IP Multimedia Subsystem) u otras redes de telecomunicaciones como Internet en la red 4G.

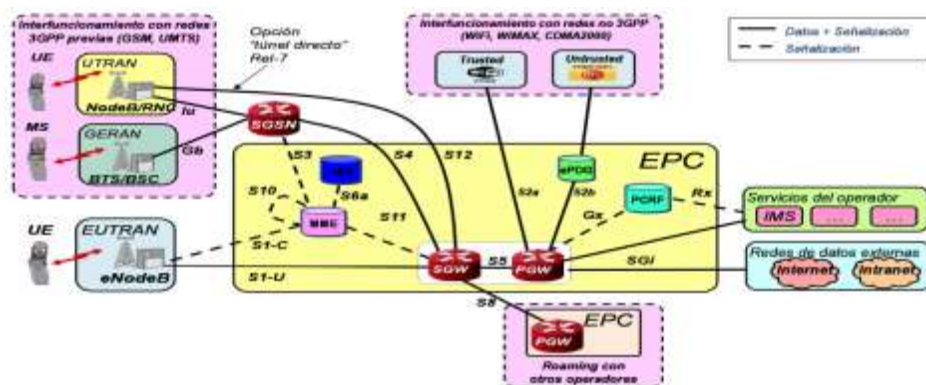


Figura 2.9 Arquitectura LTE VS Arquitectura 3G
Fuente: (Iqual Networks, 2014)

2.3.5.2 Capa física de LTE

La capa física de la red se encarga de la conexión del UE (Terminal móvil), la red de acceso E-UTRAN hacia la red troncal EPC.

La red de acceso está conformada por los diferentes eNodeB, que constituyen las estaciones Base (BS), son los encargados de la gestión de los recursos de radio (Radio Bearers, Control de Admisión de radio, control de movilidad, scheduling de paquetes y la asignación de dinámica

de recursos). Los ENodeB se encuentran conectados a los UE mediante la interface lógica X2 y hacia el EPC mediante la interface S1.

La red troncal EPC en cambio de encarga de proporcionar la conectividad IP para permitir el acceso a los servicios IMS (IP Multimedia Subsystem) y controlar el establecimiento de los Bearers. El EPC se encuentra conformado por el MME (Mobility Management Entity) y el S-GW (Serving-Gateway). El MME se encarga de las funciones y señalización del plano de control entre el UE y la red troncal EPC, se encarga de establecer, mantenimiento y liberación de los Bearers, así como de la conexión y la seguridad de la red y el UE.

En resumen es la capa encargada de la transmisión y/o recepción de la información que se genera desde el UE hacia las capas superiores, la conexión del eNodeB, mediante enlace o medio de transmisión hacia la red troncal EPC, hacia el enlace de recepción y el eNodeB de recepción.

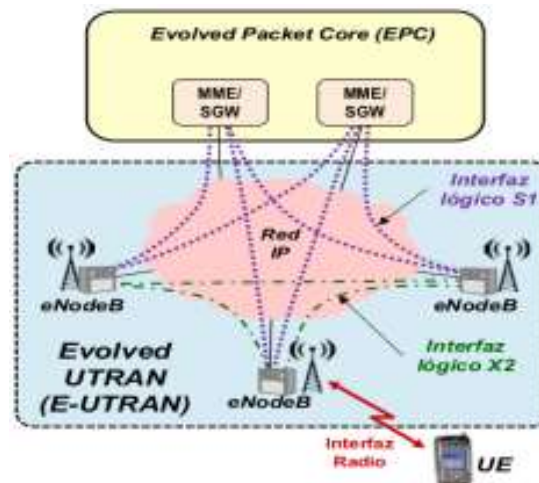


Figura 2.10 Capa Física LTE
Fuente: (Iquall Networks, 2014)

2.3.5.3 Modulación y codificación en redes LTE

LTE utiliza OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access), que permite la transmisión de señales de alta calidad sobre ambientes móviles gracias a las subportadoras presentes en OFDM (Orthogonal

Frequency-Division Multiple) (figura 2.11), por lo cual es capaz de adaptar la señal en función de su ancho de banda disponible en el momento de transmisión, mejorando la calidad de las señales, el incremento de la capacidad y baja latencia debido a las antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output), que reducen los desvanecimientos en frecuencia, mejoran la potencia y la calidad de la señal en recepción, junto con OFDM permiten el uso de la mayor capacidad de canal disponible en cada momento adaptando la señal de forma dinámica.

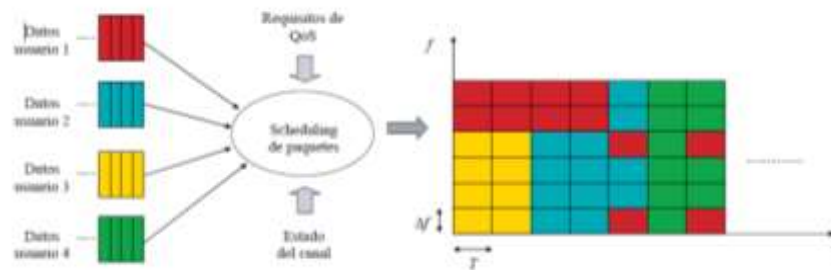


Figura 2.11 Ilustración del scheduling de paquetes en OFDMA
Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

Los esquemas de modulación utilizados en LTE son QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) y 64 QAM, que manejan un número de estados o combinaciones determinados para acomodar los símbolos OFDM (Figura 2.12).

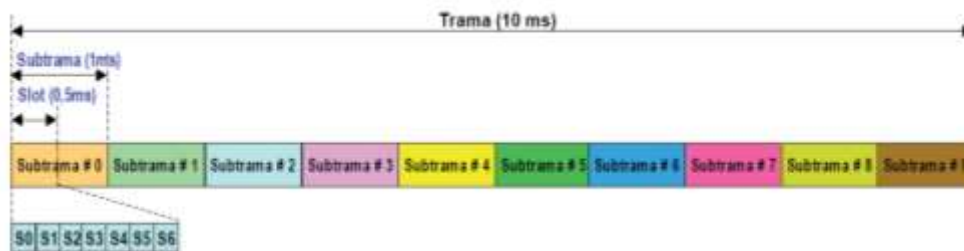


Figura 2.12 Modulación OFDM
Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

En un sistema la cantidad de estados posibles “N” se determina por la siguiente expresión, donde el “2” indica que es binario y el exponente “m” indica el número de bits usados para modular cada símbolo:

$$N = 2^m$$

En este caso, el valor de N es 4, 16 o 64 dependiendo si se trata de QPSK, 16 o 64 QAM respectivamente.

La codificación en LTE implementa los modos de ARQ (Automatic Repeat reQuest) y FEC (Forward Error Correction), mediante un código de bloque o convolucional. A esto se le suma el uso de turbo códigos que hacen posible la codificación a tasas más altas. Por otro lado, LTE maneja algunos símbolos para mecanismos de control en el PDCCH (Physical Downlink Control Channel), dependiendo si se usa un prefijo cíclico normal o extendido, dicha cantidad de símbolos varía entre 1 y 4 y tiene un impacto directo en la codificación utilizada por un UE.

2.3.5.4 Interfaz de Radio LTE

Es la interfaz aire que permite la interconexión y el envío de tráfico y señalización entre un terminal móvil (UE) y las estaciones base eNB (Fig. 2.13).

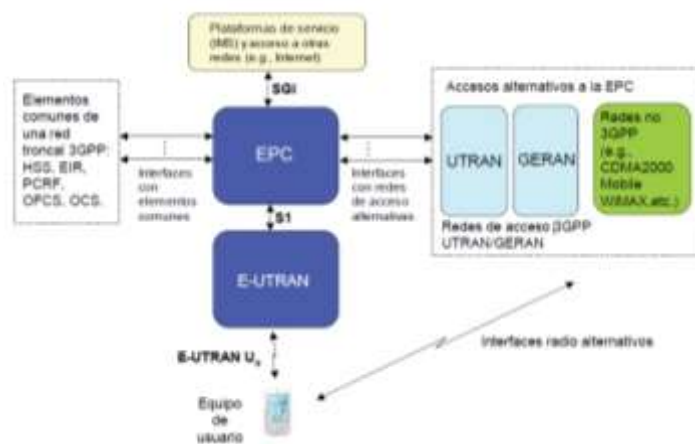


Figura 2.13 Arquitectura del sistema LTE
Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

2.3.5.5 Packet Scheduling

LTE basa su tecnología de transmisión de los servicios a través de la conmutación de paquetes, por lo cual surge la necesidad de estudiar nuevos mecanismos que permitan establecer un uso eficaz de los

recursos de radio entre los diferentes usuarios (MME), como se puede apreciar en la figura 2.10, lo cual constituye una parte fundamental en el funcionamiento del sistema LTE. La principal función de MME es el Packet Scheduling u horario de paquetes, que es la capacidad de asignar los recursos de radio a los usuarios dentro del área de cobertura de las celdas, captando la mayor cantidad de usuarios y garantizando los niveles de calidad de servicio.

En LTE, las funciones de Packet Scheduling se desarrollan en el eNodeB, para la asignación de recursos de radio tanto en Uplink como en downlink, tomando en cuenta los buffers (para asignar recursos solo a los usuarios que tengan información para enviar o recibir, las prioridades y los requisitos de QoS de los servicios asociados a los usuarios.

En este sistema los recursos no son dedicados sino compartidos, por lo que los recursos son asignados a los usuarios solo cuando tienen datos para enviar o recibir.

Debido a los canales compartidos se tiene el canal PDSCH (Physical Downlink Shared Channel), que lleva los datos del usuario en el canal descendente, así mismo el PUSCH (Physical Uplink Shared Channel), que se encarga de transportar los datos en el enlace ascendente. Y a su vez estos dos canales son controlados mediante el PDCCH (Physical Downlink Control Channel), encargado de comunicar a los usuarios la asignación de recursos.

2.3.5.5.1 Scheduling semi-persistente

Mediante el Scheduling semi-persistente, los recursos de radio son asignados a los diferentes usuarios mediante un conjunto de subtramas en lugar de cada TTI (Transmission Time Interval) duración de una subtrama de 1ms. El uso de un scheduling semi-persistente es de gran utilidad cuando se trata de volúmenes de tráfico pequeños, como VoIP,

debido a que reduce la cantidad de mensajes de señalización y permite ofrecer un servicio de voz con calidad comparable a los sistemas 3G (basados en conmutación de circuitos).

2.3.5.5.2 Mecanismos de Packet Scheduling

Una de las funcionalidades de MME es el Packet Scheduling, pero el estándar no especifica el tipo de algoritmo que se debe implementar, por lo cual cada una de las operadoras implementa el más recomendable, para cada una de sus redes.

A continuación, se detallan las características de cada una de las cuatro estrategias de packet scheduling que pueden configurarse dentro del simulador ATOLL, las mismas que serán efectivas para el presente estudio.

Roud Robing (RR). Esta técnica se encarga de asignar los recursos a los usuarios de manera cíclica por la misma cantidad de tiempo sin tomar en cuenta las condiciones del canal, es simple de implementar, pero no muy eficiente debido a que asigna los mismos recursos a los usuarios independientemente de las condiciones del canal, por lo cual no garantiza que exista una buena calidad en el enlace de la estación Base eNodeB al usuario UE.

Propotional Fail (PF). Esta técnica se basa en las condiciones del canal, optimizando el troughput de cada usuario, para ello el scheduler (MME) asigna los recursos a un usuario cuando la calidad instantánea del canal es mayor a la calidad media que el usuario ha percibido en el tiempo. Esta estrategia está enfocada en sacar provecho a la diversidad multiusuario y mantener los niveles comparables entre los Throughputs de los distintos usuarios.

Proportional Demand (PD). Esta técnica asigna los recursos de manera proporcional a las demandas máximas de troughput de los usuarios, de acuerdo a las cantidades que solicitan de rendimientos máximos.

Maximun C/I (Max C/I). Esta técnica pretende maximizar la capacidad de la celda, debido a que MME asigna los recursos de cada TTI a los usuarios que presenten mejores condiciones de SNR (Signal-to-Noise Ratio), lo cual es una estrategia injusta debido a que los recursos estarán disponibles para los usuarios con mejores condiciones de canal, a diferencia de los usuarios que se encuentren en el borde de la celda, donde se presentarán niveles menores de señal por la interferencia inter-celda, atenuaciones, etc.

2.4. VOLTE: Voz sobre IP en LTE

VoLTE es establecer llamadas de voz a través de una red LTE. En la actualidad las llamadas de voz entre terminales utilizan las redes GSM y UMTS y para transmitir datos utilizan las redes 3G y 4G.

Debido al desarrollo tecnológico y el avance de las necesidades con la optimización de recursos a nivel mundial, se establece que cada día existe mayor demanda de anchos de banda y velocidades de transmisión, por lo que se implementan nuevas redes con mayores capacidades como LTE y con proyección a 5G para el año 2021.

VoLTE establece generar o tramitar las llamadas de voz mediante pequeños paquetes de datos comprimidos. Un aspecto a analizar, del cual depende la comunicación, es el dispositivo móvil UE, el mismo que deberá ser capaz de conectarse a redes 4G para poder establecer la llamada en este tipo de redes.

2.4.1 Ventajas de Volte.

VoLTE establece grandes ventajas en la red 4G por lo cual brinda mayor velocidad y ancho de banda. Se instauran las siguientes ventajas:

- **Voz en alta definición:** La calidad de la llamada de voz (presente investigación), basada en el método de comprensión, que en las

llamadas tradicionales ocupa un códec de 8 kbps, en VoLTE llega a tener un códec de 13 kbps. Además, las frecuencias aumentan de 3000-3400Hz a 50-7000Hz. Estableciendo llamadas más claras que las convencionales (Luis Ortega 2015-05-13T13:05:03Z, n.d.)

- **Conversaciones enriquecidas:** Se podrán establecer video llamadas, video conferencias, transferencia de datos, enviar localizaciones o imágenes durante la conexión.
- **Conexión más rápida:** El tiempo de establecimiento de llamada se evaluará en el diseño de la red y en el análisis de la calidad del servicio, pero se indica que los resultados serán menores a los tiempos que se establecen para las llamadas en las redes GSM.
- **Menos consumo de batería:** Como la red 4G no establece muchos requisitos, el consumo de la batería es menor que en una red 3G.

2.4.2 Desventajas de VoLTE

En VoLTE, se presentan las siguientes desventajas:

- **Desconexión de llamadas:** Como la red LTE se encuentra en pleno despliegue, el tema de la sincronización establece celdas de baja cobertura, por lo cual existirán desconexiones de llamadas.
- **Limitación en dispositivos:** No todos los dispositivos son LTE, por lo cual hasta que esta red esté implementada en un gran porcentaje, existirá la limitación de realizar llamadas de VoIP a todos los dispositivos.
- **Sin Comunicación entre operadoras:** En principio solo se pueden establecer llamadas de VoLTE en redes de la misma operadora.

2.4.3 Parámetros de calidad en VOIP.

Para determinar la calidad de una llamada de Voz en protocolos IP, se debe desarrollar un gran análisis de la calidad o establecimiento de la llamada, mediante los siguientes parámetros:

- **Packet Loss:** Este parámetro indica la pérdida de paquetes, es decir la tasa de error cuando los paquetes no llegan a su destino. En VoLTE la pérdida de paquetes debe ser mínima para que la calidad de la llamada sea alta.
- **End-to-End delay:** Es el retraso que se produce en el envío y recepción del paquete. Esto se produce por fallas en el rendimiento de la red y la distancia del envío del nodo transmisor y del receptor.
- **Jitter:** Es la variación de tiempo que existe entre la llegada de cada paquete o la diferencia de tiempo que se recibe cada uno de los paquetes.
- **MOS:** Es una prueba de la opinión del usuario con respecto a la calidad de la red telefónica, que es valorada en un rango del 1-5 colocando a 1 como un valor malo y 5 excelente, según la medición objetiva de la calidad de la llamada como se muestra en la siguiente tabla.(Abreu, Villas, & Volte, 2017)

Tabla 2.3: Niveles de calidad de la Voz

Escala de Calidad	Opinión (MOS)
Excelente	5
Bueno	4
Admisible	3
Regular	2
Malo	1

Fuente: Elaborado por la autora

2.5. Estándares de los parámetros de Calidad

La ITU (International Telecommunication Union) desarrolla estándares para las telecomunicaciones, para establecer parámetros de calidad, en los cuales se basan las actuales comunicaciones como se representa en la siguiente tabla.

Tabla 2. 4: Parámetros de Calidad de la Voip según UIT

Parámetro	Promedio de calidad	Calidad Ideal
jitter	<60ms	<20ms
End-to-End Delay	<150ms	<50ms
Packet Loss Rate	<5%	<1%

Fuente: Elaborado por la autora

2.6. Diseño actual de la estructura de la red LTE en Ecuador.

LTE en Ecuador está establecido por diferentes operadoras móviles como Telefónica Movistar, Claro y CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones). Para detallar como ejemplo de la estructura de una red de telefonía LTE móvil en Ecuador se tomará como ejemplo en la figura: 2.14, la red LTE de la CNT.

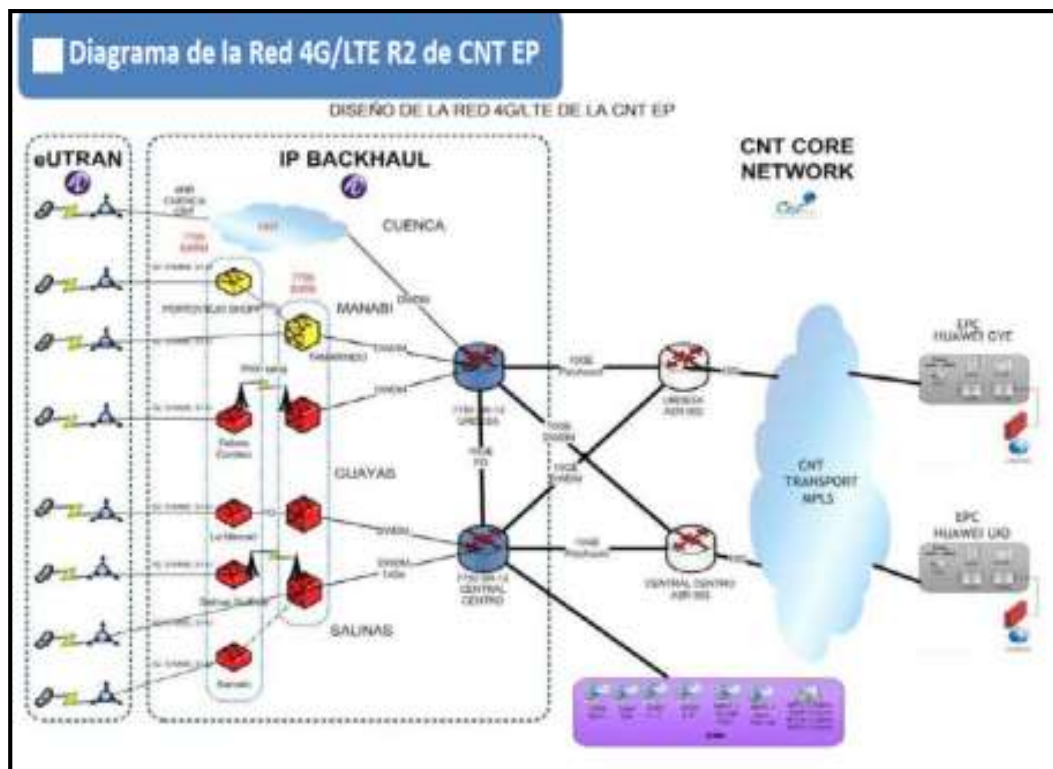


Figura 2. 14: Ejemplo de Estructura LTE en Ecuador
Fuente: (Garron, 2014)

2.7. Bandas de frecuencias establecidas en LTE en Ecuador

En Ecuador, el artículo 142 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, señala que: La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL es la entidad encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico y su gestión, así como de los aspectos técnicos de la gestión de medios de comunicación social que usen frecuencias del

espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes”(Asamblea Nacional del Ecuador, 2015).

En base a lo indicado, ARCOTEL regula la canalización y utilización del espectro radioeléctrico, lo cual es importante señalar en este estudio por las bandas de frecuencia que son utilizadas en Ecuador para cada una de las tecnologías, enfocando concretamente las bandas de 900 MHz y AWS.

2.7.1. Análisis de la banda de 900MHz

La banda de los 900MHz, mediante Resolución No. 03-02-ARCOTEL-2016, destina los rangos de frecuencia de la parte superior de la banda de 900 MHz correspondientes a 894-915 MHz y 940-960 MHz para la operación de sistemas IMT.



Figura 2. 15 Banda de Frecuencia 900MHz para IMT
Fuente: (ARCOTEL, 2016)

Para las tecnologías 3GPP (3ed Generation Partnership Project) y 4G, establece las bandas de frecuencia de la interfaz de aire (E-Utran) de los sistemas IMT, correspondiendo a la banda 8 en el rango de frecuencias de la banda de 900MHz, cuyas características son las siguientes:

Tabla 2. 5: Canalización de la banda 900Mhz

E –ULTRA Operating Band	Uplink (UI)operating band BS recive UE transmit	Downlink (DI)operating band BS transmit UE revicive	Dupkex Mode
8	Full low - Full High 880MHz – 915 MHz	FDL Low - FDL_high 925 MHz – 960 MHz	FDD

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

En resumen, para sistemas IMT en Ecuador, los rangos de frecuencias utilizables para todo el despliegue son: 895-915 MHz para Uplink y 940 - 960MHz para downlink, como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 2. 6: Portadoras GSM, UMTS y LTE banda 900 Mhz Ecuador

Sistema	UpLink	DownLink	Tecnología	Ancho de Banda Portadoras	Numero Máximo de portadoras pareadas
GSM (para Ecuador)	895 - 915	940-960	GSM	200 KHZ	100
			UMTS	5MHZ	4
			LTE	5, 10 Y 20 MHZ	a) 4 de 5 Mhz b) 1 de 15Mhz c) 2 de 10Mhz d) 1 de 20 Mhz

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

Como se puede observar en la tabla 2.6, se canaliza los rangos de frecuencia en bloques de 5Mhz para dar flexibilidad a las operadoras y técnicamente más conveniente.

2.7.2. Análisis de la Banda AWS

La banda AWS en base a la resolución N. TEL-804-29-CONATEL-2012, se encuentra canalizada en bloques de 5MHz, para los rangos comprendidos de 1710 – 1770 MHz para Uplink y 2110-2170 para Downlik, por lo cual se puede observar en el siguiente gráfico fig. 2.16 la canalización actual y los bloques asignados para las operadoras del servicio móvil Avanzado: CNT EP y CONECEL (Claro).



Figura 2. 16 Canalización AWS del servicio Móvil.
Fuente: (ARCOTEL, 2016)

Capítulo 3: ATOLL

Atoll es un software que permite realizar la planificación, diseño, análisis, simulación y optimización de redes móviles en el campo de las telecomunicaciones en múltiples tecnologías como GSM/UMTS/LTE, CDMA2000/LTE, además permite proyectar el análisis del diseño actual de la red, diferentes situaciones a futuro y parámetros, por lo cual es ideal para la proyección y optimización de la red 4G planteada en la presente investigación (ATOLL, 2015)

Dentro del estudio a desarrollar se plantea el diseño de la red y el análisis de la configuración de los parámetros Voz sobre IP en LTE, por lo cual vale resaltar que con esta herramienta se pueden desarrollar 8 tipos de predicciones, clasificadas en dos grupos, los primeros por el nivel de señal y los segundos por su calidad, las cuales son las características más importantes para la calidad de Voz sobre IP.

3.1. Diseño de una red LTE mediante la Herramienta Atoll

En la figura 3.1 se observa un diagrama de flujo del proceso para planificar, diseñar y optimizar la red con la herramienta Atoll, el cual se enfocará en el desarrollo del diseño y la optimización del presente estudio.

Atoll es una herramienta que permite ubicar nodos de redes 3G, LTE según las necesidades de la zona geográfica, por lo cual este software trabaja directamente con Global Mapper, que se encarga de extraer la zona geográfica, el relieve y áreas de interés en que se enfoca el estudio del Atoll (ATOLL, 2015)

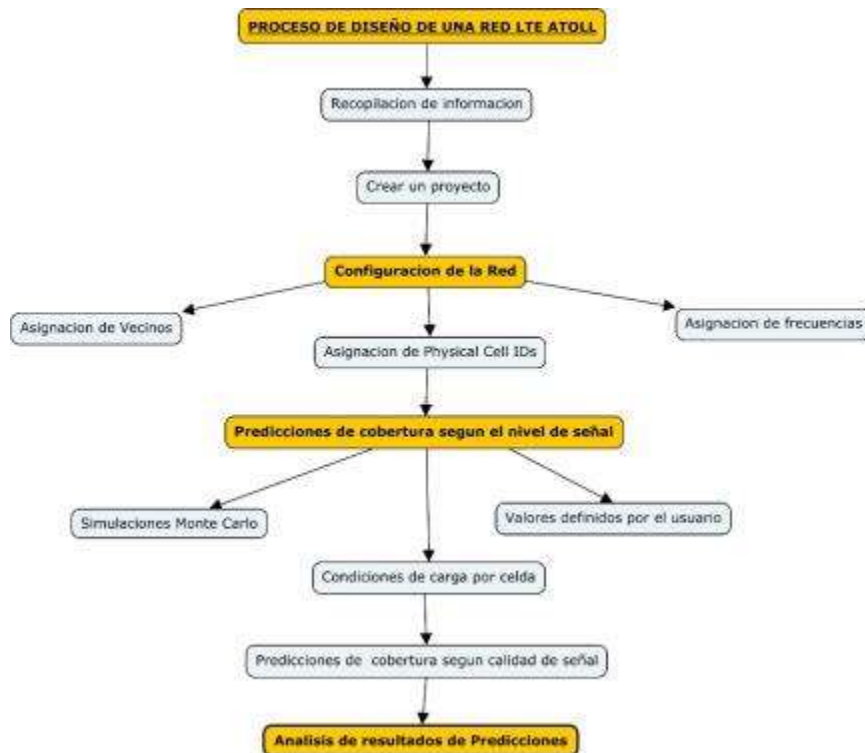


Figura 3. 1: Proceso de Diseño y Optimización de la Red
Fuente: Autora

3.1.2 Global Mapper

Es un software que trabaja con Atoll, el mismo ofrece una colección extensa de análisis y procesamiento de datos, mediante la extracción de las áreas geográficas con alto relieve actualizado, lo que permite visualizar una real área de estudio, así como acceso directo a bases de datos espaciales comunes.

Como se puede apreciar en la figura 3.2, permite especificar la zona horaria, y extraer correctamente el área de interés. Mediante Atoll se desarrolla la estructura y diseño de la red LTE, tanto física como lógica que se requiere para el servicio de Voz sobre IP en LTE.

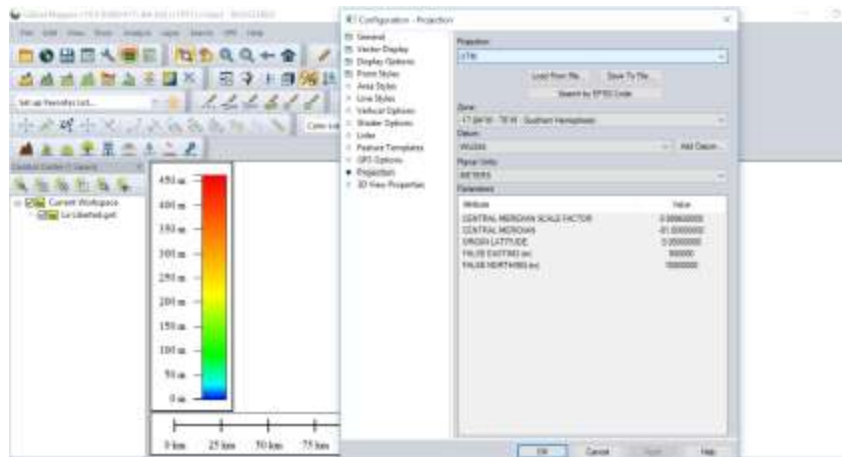


Figura 3. 2. Configuración de Zona horaria.
Fuente: Autora

3.2 Modelado de la Voz sobre IP en LTE ATOLL

Para desarrollar el estudio de la calidad de VoLTE en la presente red, es necesario modelar dentro de la planificación y optimización del diseño lo siguiente:

- Radio Bearers (Portadores de Radio).
- Receiver sensitivity (sensibilidad del receptor).
- Voice Codecs (Codecs de voz).
- Transmission Time Interval Bundling (TTI Agrupación).
- Semi-persistent scheduling (programación semi persistente).

Atoll es una herramienta que modela VoLTE, como un servicio de voz con parámetros específicos (ATOLL, 2015).

3.2.1 Portadores de Radio (radio Bearers)

En la configuración de radio Bearers, se debe tener en cuenta que VoLTE requiere un conjunto específico de portadores de radio tanto en el enlace ascendente como el descendente, y en base a estos, se debe seleccionar el adecuado para este servicio, que utilizará un mecanismo específico como por ejemplo la agrupación del TTI (ATOLL, 2015).

La selección de los diferentes Radio Bearers depende en gran medida de la velocidad del móvil.

Radio Bearer	Name	Modulation	Channel Coding Rate	Resource Efficiency (bits/symbol)
7 QPDM 1.0	QPDM	QPSK	0.0078125	0.78125
8 QPDM 1.5	QPDM	QPSK	0.01171875	0.78125
9 QPDM 2.0	QPDM	QPSK	0.015625	0.78125
10 QPDM 2.5	QPDM	QPSK	0.01953125	0.78125
11 QPDM 3.0	QPDM	QPSK	0.0234375	0.78125
12 QPDM 3.5	QPDM	QPSK	0.02734375	0.78125
13 QPDM 4.0	QPDM	QPSK	0.03125	0.78125
14 QPDM 4.5	QPDM	QPSK	0.03515625	0.78125
15 QPDM 5.0	QPDM	QPSK	0.0390625	0.78125
16 QPDM 5.5	QPDM	QPSK	0.04296875	0.78125
17 QPDM 6.0	QPDM	QPSK	0.046875	0.78125
18 QPDM 6.5	QPDM	QPSK	0.05078125	0.78125
19 QPDM 7.0	QPDM	QPSK	0.0546875	0.78125
20 VoLTE QPDM 1.0	QPDM	QPSK	0.0078125	0.78125
21 VoLTE QPDM 1.5	QPDM	QPSK	0.01171875	0.78125
22 VoLTE QPDM 2.0	QPDM	QPSK	0.015625	0.78125
23 VoLTE QPDM 2.5	QPDM	QPSK	0.01953125	0.78125
24 VoLTE QPDM 3.0	QPDM	QPSK	0.0234375	0.78125
25 VoLTE QPDM 3.5	QPDM	QPSK	0.02734375	0.78125
26 VoLTE QPDM 4.0	QPDM	QPSK	0.03125	0.78125
27 VoLTE QPDM 4.5	QPDM	QPSK	0.03515625	0.78125
28 VoLTE QPDM 5.0	QPDM	QPSK	0.0390625	0.78125
29 VoLTE QPDM 5.5	QPDM	QPSK	0.04296875	0.78125
30 VoLTE QPDM 6.0	QPDM	QPSK	0.046875	0.78125
31 VoLTE QPDM 6.5	QPDM	QPSK	0.05078125	0.78125
32 VoLTE QPDM 7.0	QPDM	QPSK	0.0546875	0.78125

Figura 3. 3: Configuración de Portadoras de radio para VoLTE.
Fuente: (ATOLL, 2015)

En la figura 3.3 se señala el tipo de Radio Bearers que actualmente utiliza la Operadora Movistar en su servicio de LTE, donde se puede observar el tipo de modulación utilizada, el ancho del canal y la eficiencia de estos portadores que son representados por bits/símbolo, los mismos que constituyen el número de bits útiles por símbolo transmitidos por el aire.

3.2.2 Receiver Sensitivity

Ya definidos los Radio Bearers en VoLTE para el diseño, se debe precisar los niveles de sensibilidad requeridos, es decir los umbrales de selección de portador y asignarlos a este servicio.

Los umbrales de selección definen la calidad de la señal de radio (C/I) requerida para utilizar un esquema de modulación y codificación (ATOLL, 2015).

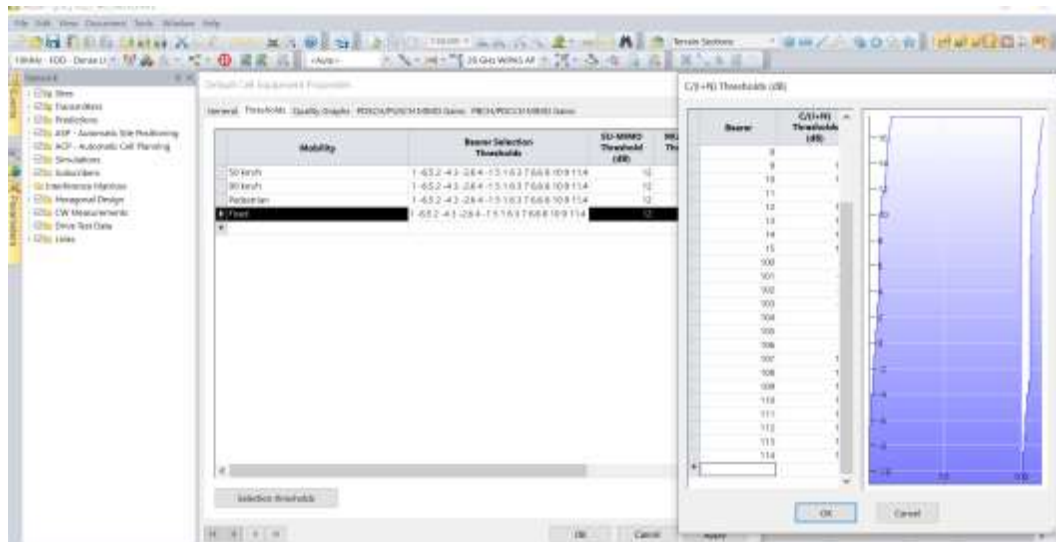


Figura 3. 4: Recepción de enlace ascendente
Fuente: (ATOLL, 2015)

Como se puede apreciar en la figura, se puede utilizar todos los portadores definidos en el enlace ascendente.

3.2.3 Transmission Time Interval Bundling

TTI proporciona una cobertura de enlace ascendente mejorada para VoLTE, usando un agrupamiento de TTI, un UE (terminal) transmite diferentes versiones de redundancia de datos idénticos en cuadro TTI consecutivos, lo que mejora la recepción.

El eNB decide que UE se beneficia del TTI Bundling, midiendo la calidad del canal del enlace ascendente (C/I). El TTI no es beneficioso cuando el terminal está en buenas condiciones de radio, porque un UE puede transmitir varios paquetes en uno de ellos, lo que permite una programación eficiente. Por lo general, se lo habilita para los portadores QPSK y si el número de bloques de recursos asignados es menor o igual a 3. Por lo tanto, TTI depende de la modulación y el esquema de ésta y se modela en ATOLL modificando los umbrales de selección del portador.

3.2.4 Codex del servicio VoLTE

El servicio VoLTE puede utilizar los codexs AMR-NB o AMR-WB. Para desarrollar la red LTE con el servicio VoLTE, se configurará lo siguiente (ATOLL, 2015):

- Frame size: 244 useful bits
- 31 octetos con 4 bits vacíos al final de la trama.
- Encabezado RTP/UDP/IP comprimido =24 bits
- PDCP +RLC+Encabezado MAC =24 bits

Si se envía un paquete de voz de 328 bits cada 20ms, la velocidad de bits sería: $328/0.02 = 16.4\text{Kbps}$

Teniendo presente que el rendimiento central de AMR (12.2kbps) es el de la aplicación para el servicio de VoLTE, el rendimiento en el aire debe ser al menos 16.4 kbps. Para modelar este servicio en Atoll, se debe establecer demandas de rendimiento mínimo y máximo del servicio en 16.4 kbps, y el factor de escala en $12.2 / 16.4 = 74.4\%$. Además en las propiedades del servicio se puede asignar el rango de portadores de enlace ascendente dedicado y correspondiente a VoLTE.

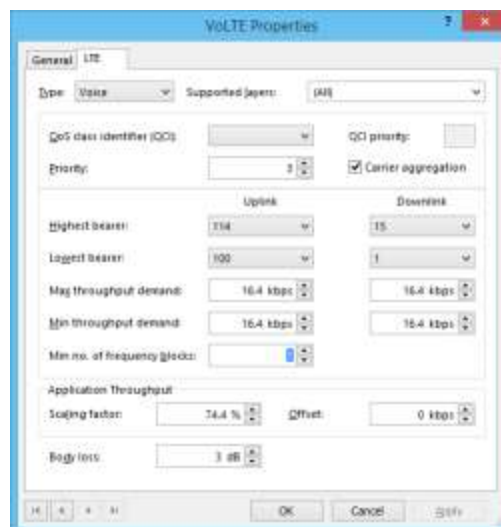


Figura 3. 5: Configuración del servicio de Voz
Fuente: (ATOLL, 2015)

3.2.5 Semi-persistent Sheduling (SPS)

La programación semi-persistente permite que en una sola transmisión de PDCCH, asigne concesiones de recursos sobre múltiples TTI para el servicio de VoLTE, por lo tanto SPS tiene el efecto de reducir la carga de PDCCH, ya que la información de control para un usuario programado con SPS solo se transmite una vez para varios TTI siguientes. Esto asegura menos interferencia sobre el PDCCH y mejor calidad.

Se modela la carga de PDCCH según la carga del mismo. Atoll considera que el PDCCH se carga de acuerdo al tráfico servido por una célula. Considerando el modelo de interferencia existente en Atoll, una vez implementado, SPS producirá una ligera disminución en la interferencia calculada de PDCCH (ATOLL, 2015).

En base a las configuraciones mencionadas, se procede a utilizar Atoll como herramienta para realizar predicciones de cobertura y simulaciones de Montecarlo que permiten analizar la cobertura de VoLTE así como su impacto general en la red.

3.3 Predicciones de Cobertura ATOLL

Después de la planificación, diseño y configuración, Atoll presenta herramientas para el estudio y análisis de los resultados, como las predicciones de cobertura y simulaciones de Montecarlo, dividiendo las predicciones a nivel de señal y de calidad.

En la Tabla 3.1 se detalla cada una de las predicciones que se pueden desarrollar en Atoll.

Tabla 3. 1: Predicciones de Cobertura Atoll

Clasificación	Nombre	Descripción
Por nivel de señal	<i>Coverage by signal level</i>	Permite predecir las zonas de cobertura según los niveles de señal del transmisor en cada pixel del mapa.
	<i>Coverage by transmitter</i>	Permite predecir las Zonas de cobertura por transmisor analizando para cada pixel del mapa y mejor transmisor.
	<i>Overlapping Zones</i>	Permite calcular las zonas donde existe cobertura de dos o más transmisores.
	<i>Effective Analysis</i>	Permite calcular los niveles de señal de diferentes señales LTE (Señales de referencia SS, PBCH, PDSCH, PDCCH, PUDCH)
Por calidad de señal	<i>Coverage by C/(I+N)</i>	Permite predecir los niveles de interferencia y de portadora a interferencia y ruido C/(I+N) para cada pixel del mapa.
	<i>Service Area Analysis</i>	Permite calcular y mostrar los mejores Radio Banner disponibles para cada pixel del mapa basados en las C/(I+N) de los mismos
	<i>Effective Service Area Analysis</i>	Permite mostrar las zonas donde un servicio se encuentra disponible tanto en DL como en UL.
	<i>Coverage by Throughput</i>	Permite calcular y mostrar para cada pixel del mapa los Channel Throughputs y Cell Capacities basados en los niveles de C/(I+N) y en los Radio Beares disponibles. Además permite mostrar el Agregate Cell Throughput para resultados de simulaciones.
	<i>Coverage by Quality Indicator</i>	Permite calcular y mostrar diferentes indicadores de calidad (BLER, BER, etc.) basados en los Radio Beareres y los niveles de C/(I+N) de cada pixel.

Fuente: (Iglesias, 2016)

Las predicciones de calidad se basan en los valores de DL Traffic y UL Noise Rise, establecidos en la tabla Cells Table, calculados por simulaciones Montecarlo, para calcular la relación portadora a interferencia más ruido C/(I+N) en cada pixel del mapa (Fernández, 2014), (ATOLL, 2015).

Las predicciones de nivel de señal no dependen de las condiciones de carga de la red ni de las interferencias, las cuales son las más relevantes para el análisis de la calidad de Voz (Iglesias, 2016).

En las predicciones cada pixel del mapa es considerado un usuario no interferente, con un servicio de movilidad y terminal específico. Para el servicio que cada usuario requiera es importante la selección de los valores de Bearers máximo y mínimo que puede emplear el servicio, debido a que los mismos determinan la movilidad en base a las curvas de calidad (Fernández, 2014).

3.4 Simulaciones Montecarlo

Las simulaciones que presenta Atoll son en un momento instantáneo de un determinado servicio en la red, son los primeros resultados sin la distribución geográfica, asignación de recursos y cargas de tráfico de celdas.

El proceso para generar las simulaciones es el siguiente:

Generación y distribución de usuarios: Los usuarios son generados utilizando la distribución de Poisson, que se basa en mapas de tráfico que contienen información del tipo de entorno (global mapper), perfiles de usuarios, movilidades y densidades poblacionales para cada pixel del mapa. Por lo cual cada móvil generado tiene asignado un servicio, una movilidad y un tipo de terminal (García, 2014).

Determinación de la mejor celda servidora: Se determina según los niveles de señal recibida en el Downlink de la señal de referencia de los distintos transmisores, siendo seleccionada aquella con mayor potencia.

Determinación de la mejor área de servicio: Para cada móvil se determina si se encuentra dentro del área de servicio de la celda seleccionada, por lo cual debe cumplir con el EPRE (Energy per Resource Element) de la señal de referencia, que sea mayor al mínimo RDRP (Received Reference Signal Energy per Resource Element) definido por celda.

Calculos en el Downlink: Se calcula el $C/(I+N)$ de las señales de referencia SS, PBCH, PDSCH y PDCCH para cada móvil en downlink, se determina el mejor bearer disponible según la $C/(I+N)$ del canal PDSCH, se calcula el Channel Throughput en la ubicación del móvil, se realiza la asignación de los recursos de los usuarios de cada celda de acuerdo a las prioridades de los servicios y a las demandas de rendimiento y por último se calcula el User Throughput de cada usuario según los recursos que fueron asignados (García, 2014).

Cálculos en el Uplink: Se calcula $C/(I+N)$ de los canales PUSCH y PUCCH, se determina el mejor bearer disponible según $C/(I+N)$ de dichos canales, se realiza el control de potencia en el uplink y la asignación de los recursos, y se calcula el user Throughput de cada usuario (García, 2014).

Resultados: Ya asignados los recursos a los móviles, se actualizan los valores de Traffic Load y UL Noise Rise de acuerdo a la cantidad total de recursos en cada celda, y de acuerdo a estos valores se realiza un control de la potencia de trasmisión de los móviles (García, 2014).

Los principales resultados de las pruebas son:

- Downlink Traffic Loads (Cargas de trafico de enlace descendente).
- Uplink Traffic loads (cargas de trafico de enlace ascendente).
- Uplink Noise Rise (aumento de ruido de enlace ascendente).
- Downlink ICIC ratio (Relacion CICI de enlace descendente).
- Uplink ICIC noise rise (Aumento de ruido ICIC de enlace ascendente).
- Uplink MU-MIMO capacity gain, Maximun PUSCH $C/ (I+N)$ (Ganancia de capacidad MU-MIMO de enlace ascendente, PUSCH $C/ (I+N)$ máximo).
- Number of conneted users in downlink y Number of connected users in uplink (Número de usuarios conectados en el enlace ascendente y descendente) (García, 2014).

Capítulo 4. Diseño y Análisis de la Cobertura de Voz en redes LTE

Para el presente estudio de investigación, se tomará como muestra y análisis de estudio a la ciudad de la Libertad, Provincia de Santa Elena, para lo cual se procederá con la recopilación de la información básica y se ejecutará la extracción del área de interés de estudio.

4.1. Proceso de Diseño de la Red LTE en Atoll

Para iniciar el diseño de la red, se requiere definir algunos factores naturales, poblacionales y de cobertura los mismos que permitirán establecer la zona de interés para ampliar y mejorar la calidad del servicio.

4.1.1. Recopilación de Información

El primer paso para planificar el diseño es recopilar toda la información de radio es decir emplazamientos, transmisores, antenas, etc. Información de tecnologías e información geográfica.

Es importante para iniciar el proyecto extraer información como: Área Geográfica, Población, Ubicación, Zona de Interés, etc. Por lo cual se procederá a recopilar la mayor cantidad de información y de ser necesario a extraer zonas de baja cobertura para enfocar el análisis en dichos puntos.

Información Geográfica:

Tabla 4. 2Tabla Datos ciudad "La Libertad"

País:	Ecuador
Ciudad:	La Libertad
Población:	95.942 habitantes
Provincia	Santa Elena
Ubicación:	<input type="checkbox"/> Latitud: -2.222392 <input type="checkbox"/> Longitud: - 80.912997

Fuente: Autora

Cobertura de telefonía celular.

Dentro de la recopilación de la información, se determina que en la ciudad de La Libertad no se tiene una buena cobertura de redes LTE, como se aprecia en la figura 4.1, con zonas de baja o nada de cobertura.



Figura 4.1: Red LTE CNT Ciudad La Libertad
Fuente: (CNT, 2019)

Para establecer una comparación real del mejoramiento de la red en la ciudad de La Libertad, se realiza el levantamiento de información previo, estableciendo los eNB que actualmente se encuentran, con lo cual se tiene un plano inicial de estudio para proyectar la optimización y los beneficios que conlleva la misma.

En la figura 4.2 Se puede observar el diseño actual de la red, y las zonas de baja cobertura, las mismas que se encuentran marcadas de color azul, siendo este el problema y se determinará la mejora que involucra el mismo, más el análisis de las zonas que se puede establecer los parámetros de Volte en base a las demandas de throughput establecidas para la voz.

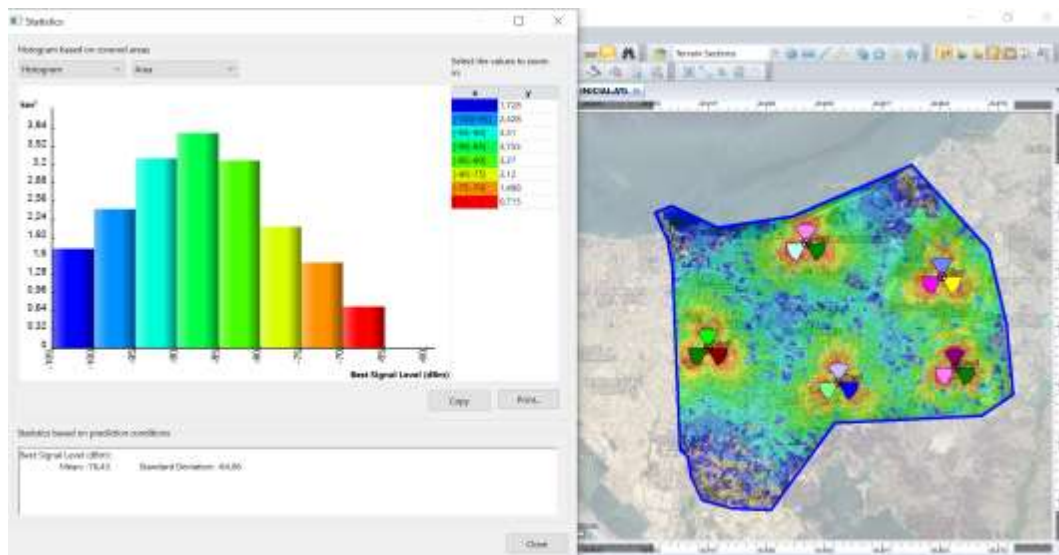


Figura 4.2: Estado Actual de la Red en la ciudad de la Libertad
Fuente: Autora

4.1.2. Creación del Proyecto

Para iniciar el proyecto, será necesario utilizar la herramienta de estudio Global Mapper que nos permitirá determinar el área geográfica, así como su relieve actual, el mismo que establecerá una simulación real con los elementos de los eNb para cumplir con el objetivo de mejorar la calidad y optimizar la red LTE.

4.1.2.1. Área de Estudio con Global Mapper.

Como se puede observar en la figura 4.3 mediante el Global Mapper se extrae el relieve de la zona geográfica a ser utilizada en Atoll para el respectivo estudio.

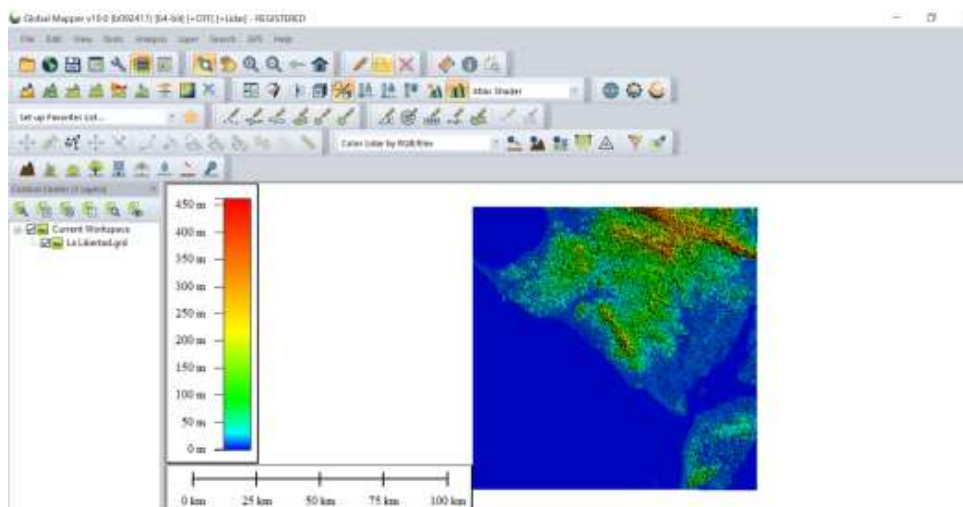


Figura 4. 3: Área de Estudio La Libertad
Fuente: Autora

Posteriormente se procede a abrir o crear un nuevo proyecto en la herramienta Atoll, para esto el programa tiene definidas plantillas con características específicas para cada una de las tecnologías, en este caso se abrirá un proyecto con la plantilla de LTE, para modelar la red según las especificaciones 3GPP.

4.1.3. Creación del proyecto de Red LTE en la ciudad de La Libertad

Para iniciar con el análisis, se crea una plantilla LTE basada en la planilla existente LTE: 10Mhz – Urban (3sectors) con características globales que tendrán los transmisores y se define usar la banda 1 con un ancho de banda de 10MHZ.

Tabla 4.2: Parámetros de la plantilla LTE

	Parametro	valor
General	Sectors	3
	Hexagon radius	0m
	1st sector azimuth	0°
	Height*ground	30m
	Mechanical Downtilt	0°
	Main anntena model	65deg 18dBi 1 Tilt 2100MHZ
	Number of anntena ports (transsion)	1
	Number of anntena ports (reception)	1
	Main propagation model	Default model (cost -hata)
	Main radius	4000m
	Main resolution	20m
Transmitter	TMA	Default TMA Equipment
	Feeder	1/2" al 2100 Mhz
	Transmitter equipmente	Defaukt eNode-B Equipment
	Feeder length (transmission)	5m
	Feeder length (reception)	5m
	Miscellaneous losses (transmission)	0 dB
	Miscellaneous losses (reception)	0 dB
	Total losses (transmission)	1,5 Db
	Total losses (reception)	(-2,09dB)
	Noise Figure	4 dB
LTE	Max power	40 dBm
	SS, PBCH, PDCCH, PDSCH offsets	0 dB
	Frecuency band	2110 FDD -10MHZ(E-UTRAN Band1)
	Reception equipment	Default Cell Equipement
	scheduler	Proportional Fair
	Max number of users	-

	Min RSRP	(-140 dBm)
	Diversity support (Downlink)	-
	Diversity support (Uplink)	-
	DL traffic load	100%
	Max DL traffic load	100%
	UI traffic load	100%
	Max UL traffic load	100%
	UI NOISE RISE (Intra-tecnology)	6 db
Neighbours	Max number of neighbours (intra-tecnology)	16
	Max number of neighbours (inter-tecnology)	16

Fuente: (García, 2014) y modificada por la Autora

Teniendo ya configurada la plantilla de LTE, se importa la imagen extraída de Global Mapper, y se programan los valores de zonas geográficas en Atoll, con la finalidad de enfocar la zona de análisis de manera correcta. Adicional, dentro de las herramientas que presenta este programa, permite establecer visualmente la geometría de la red celular, siendo esta de forma hexagonal, que es la más recomendada para el establecimiento de las radio bases, así como se aprecia en la figura 4.4, en la cual se puede visualizar la zona de análisis, segmentada de forma hexagonal lo cual permitirá la ubicar de manera correcta los eNodesB.

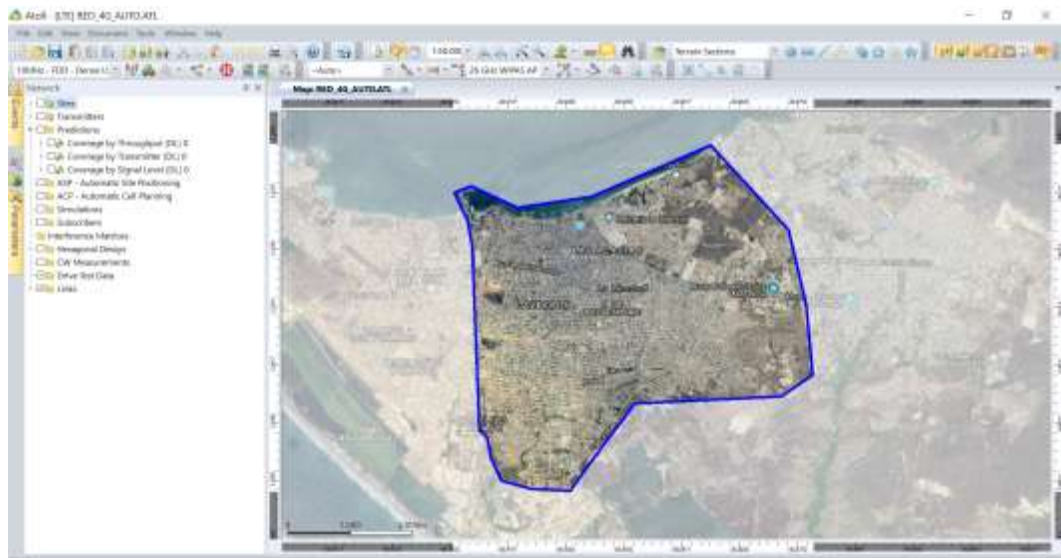


Figura 4. 4 : Zona de análisis Ciudad La Libertad

Fuente: Autora

En el presente diseño se establece como zona de mayor tráfico, a los lugares más habitados de la ciudad, como lo es la parte central, por ese motivo se reduce el análisis y se realiza la colocación de eNodeB, en base al siguiente calculo:

N: Numero de Celdas

R: Radio hexagonal

Donde el Área de Cobertura estará definida por:

$$A = \frac{3XR^2X\sqrt{3}}{2}$$

$$A = \frac{3X(0,05)^2X\sqrt{3}}{2}$$

$$A = 0,65 \text{ Km}^2$$

$$N = \frac{\text{AREA DE ESTUDIO}}{\text{AREA DE COBERTURA DE CELDA}}$$

$$N = \frac{41\text{km}}{0,65\text{km}}$$

N= 63 CELDAS DE ANALISIS

$$eNb = 63/3 = 21$$

En base a los resultados alcanzados, se establece la cantidad y distribución de los eNodeB, los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente forma:



Figura 4. 5 Ubicación de los eNodeB Ciudad "La Libertad"

Fuente: Autor

La ubicación de los eNodeB, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4.3: Ubicación de los eNodeB del diseño

Name	Longitudo	Latitude
Site10	-80,90697	-2,2492471
Site11	-80,906971	-2,2397476
Site12	-80,906971	-2,2302481
Site13	-80,906972	-2,2207486
Site14	-80,898795	-2,2444968
Site15	-80,898796	-2,2349973
Site16	-80,898796	-2,2254978
Site17	-80,898797	-2,2159983
Site19	-80,89062	-2,2397465
Site20	-80,890621	-2,230247
Site21	-80,890622	-2,2207474
Site23	-80,882436	-2,2444956
Site24	-80,882436	-2,2349961
Site25	-80,882437	-2,2254966
Site26	-80,882438	-2,215997
Site27	-80,874261	-2,2397451
Site4	-80,915154	-2,2539974
Site5	-80,915154	-2,2444979
Site6	-80,915155	-2,2349983
Site7	-80,915155	-2,2254988
Site9	-80,906969	-2,2587466

Fuente: Autora

Ya establecida la ubicación y el diseño de la red de análisis, se iniciará la configuración para alcanzar el objetivo del análisis de VoLTE.

4.2. Configuración del servicio de Voz, terminales, movilidades y perfil del usuario de la Red LTE

Para la configuración de la red se seleccionó el modelo de propagación Cost-Hata debido a que se adapta a la frecuencia definida para LTE.

Se emplea el servicio de Voz definido por ATOLL en el Template LTE, realizando modificaciones a los valores máximos y mínimos de demanda

Throughput para apreciar de mejor manera el impacto de las distintas predicciones.

Tabla 4.4 Parámetros de configuración del servicio de Voz en LTE.

Priority	3
activity factor (DL)	0,6
Activity factor (UL)	0,6
Average requested throughput (DL)	12,2kbps
Average requested throughput (UL)	12,2kbps
Highest bearer (DL)	15
highest bearer (UL)	114
Lowest bearer (DL)	100
Lowest bearer (UL)	1
Max Throughput demant (DL)	16,4kbps
Max Throughput demant (UL)	16,4kbps
Min throughput demand (DL)	16,4kbps
Min throughput demand (UL)	16,4kbps
Scalin factor	95%
offset	0kbps
Body Loss	3db

Fuente: **(García, 2014)** y modificada por la Autora

Establecidos los parámetros que se requiere para el servicio de VoLTE, se procede a configurar el diseño de la red:

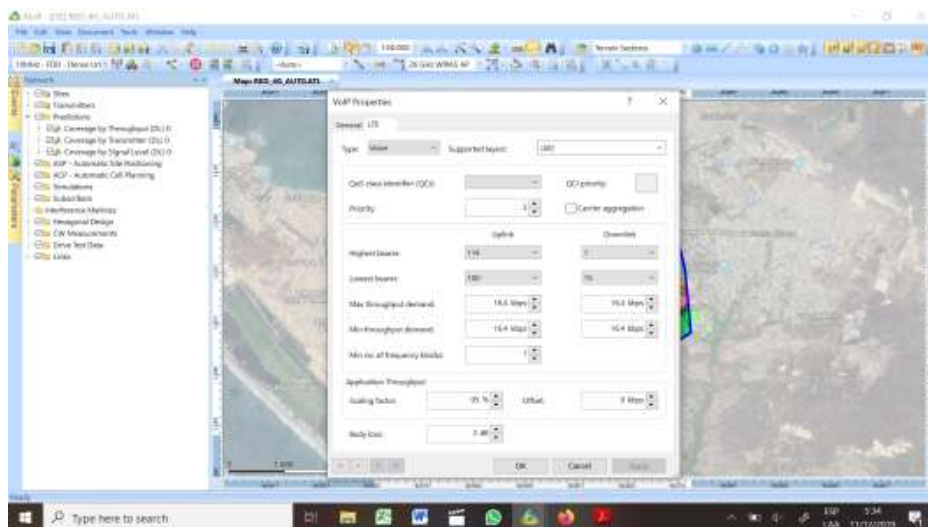


Figura 4. 6 Configuración de parámetros para el servicio de Voz
Fuente: Autora

Como se había indicado, se establecen antenas en la red a ser utilizadas por los terminales móviles, a las cuales se asigna una altura de 1.50m, por lo cual en la siguiente tabla se muestra las características de los terminales móviles:

Tabla 4.5 Características de los terminales

	Movil Terminal	MIMO Terminal
Min Power	(-40dB)	(-40 db)
Max Power	23 Db	23 dbm
Noise Figure	8 db	0°
Losses	0 db	8db
LTE equipment	Default UE Equipment	0 db
UE Category	UE Category 5	Default UE Equipment
Antenna Model	Omni 11dbi Otilt 2100mHz	Omni 11dbi Otilt 2100mHz
Diversity Support	None	MIMO
MIMO Number of Transmission antenna ports	-	2
MIMO Number of Reception antenna ports	-	2

Fuente: (García, 2014) y modificada por la Autora

Se procede a realizar los cambios propuestos dentro del presente diseño:

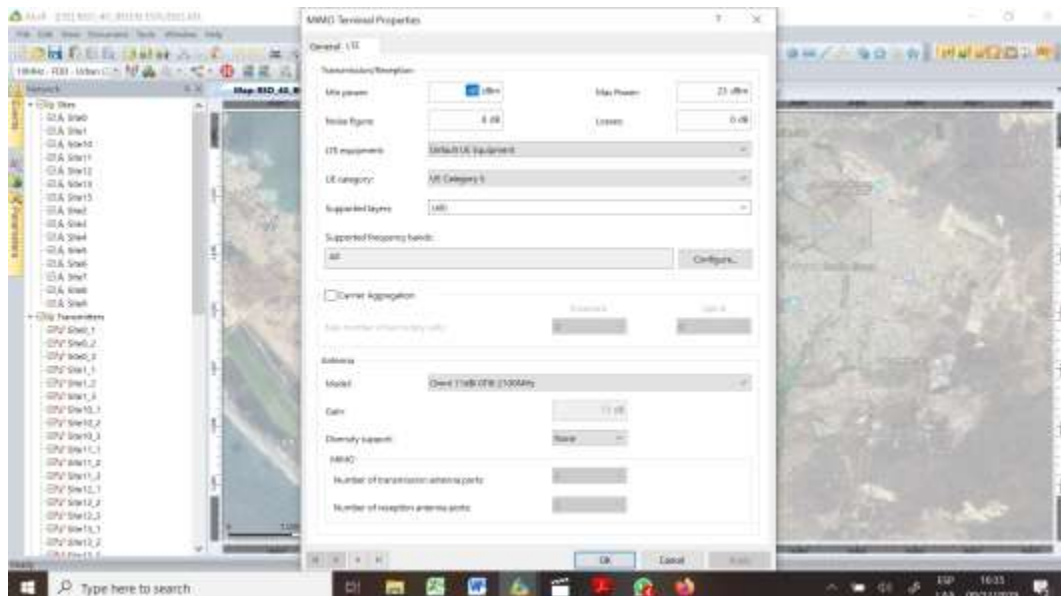


Figura 4. 7: Configuración Móvil Terminal
Fuente: Autora

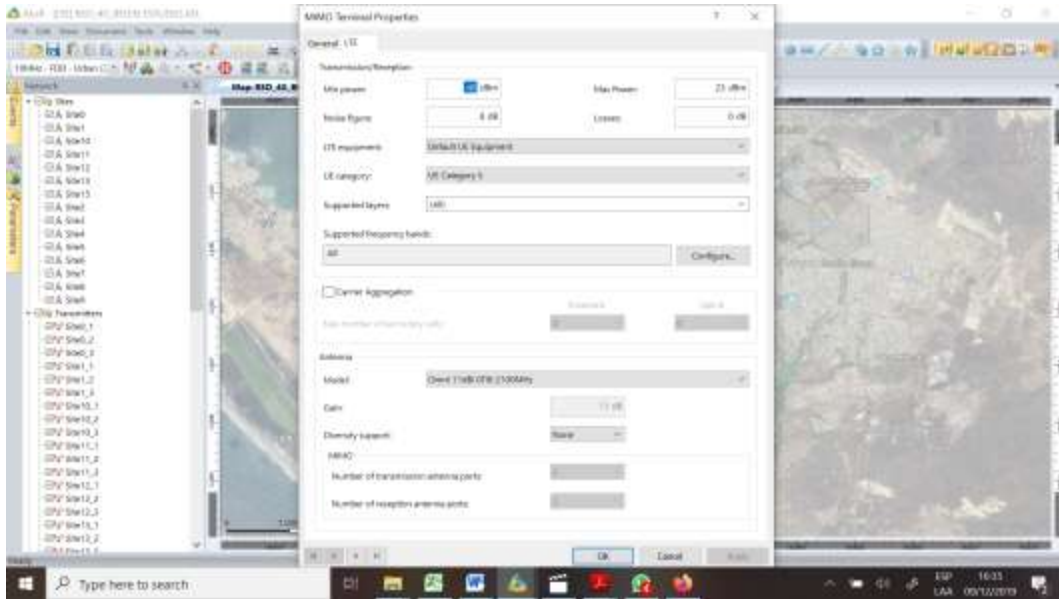


Figura 4. 8 Configuración MIMO Terminal
Fuente: Autora

Dentro de los parámetros de configuración se encuentra los tipos de movilidad y perfiles de usuario los cuales se mantienen por defecto en ATOLL.

Tabla: 4.6 Tipos de movilidad de usuarios en la red LTE

Mobility Type	Speed
50 km/h	50km/h
90 km/h	90km/h
fixed	0km/h
pedestrian	3km/h

Fuente: (García, 2014) y modificada por la Autora

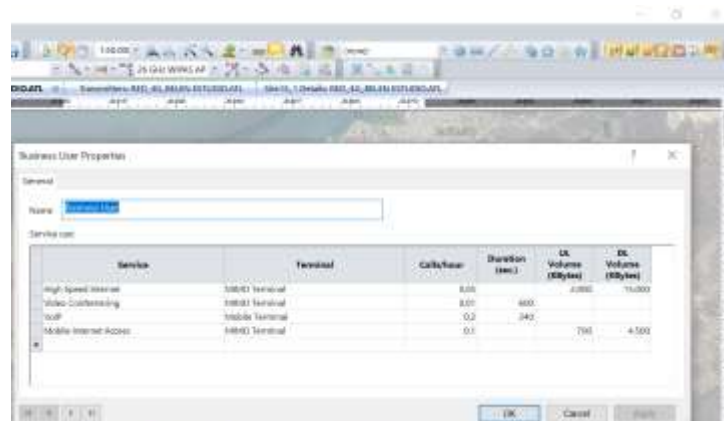


Figura 4. 9. Características de perfiles de usuarios de la red LTE
Fuente: Autora

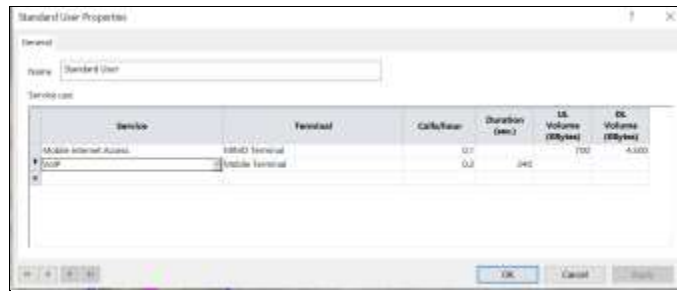


Figura 4. 10 Características de perfiles de usuarios de la red LTE
Fuente: Autora

4.2.1. Cobertura de la red a nivel de señal

Para iniciar el análisis, se realiza una predicción a nivel de señal para validar que la configuración de la red es correcta. En la figura 4.11 se aprecia la cobertura que el presente estudio requiere.

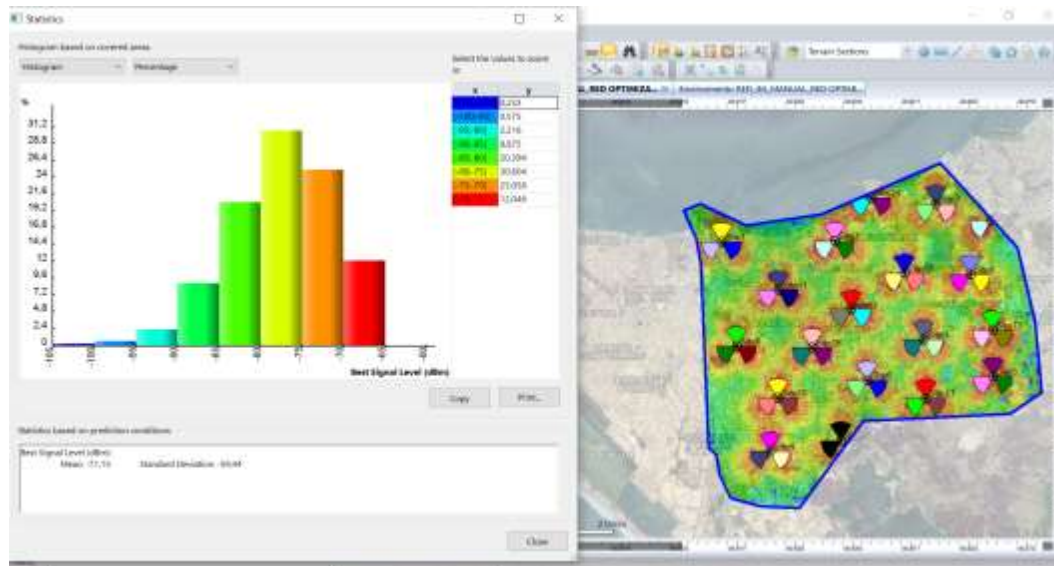


Figura 4. 11 Predicción de Cobertura por señal
Fuente: Autora

Como se puede observar en la figura 4.11, la cobertura proyectada, se encuentra con un 0,23% de zonas de poca cobertura, que en comparación a la figura 4.2 se ha disminuido en un 90%, estableciéndose que el diseño de la red es correcto.

4.3. Análisis de las Predicciones

Teniendo ya establecida la red en base a la optimización, diseño, ampliación de los eNb de la red, adaptaciones de frecuencias, potencias y

terminales, se procede al análisis de las predicciones según la calidad de la señal la cual se enfoca a los indicadores de calidad.

4.3.1. Predicciones de Cobertura según la calidad de la Señal

Como se había indicado en el capítulo 3, las predicciones de calidad de la señal se basan en los valores de DL Traffic load y UL Noise Rise, para calcular la relación de la portadora a interferencia más ruido (García, 2014).

4.3.2. Coverage by C/ (I+N)

Esta predicción permite revisar los niveles de relación de portadora a interferencia más ruido y C/(I+N) alcanzados para cada pixel del mapa, es decir la relación de la información vs el ruido del canal.

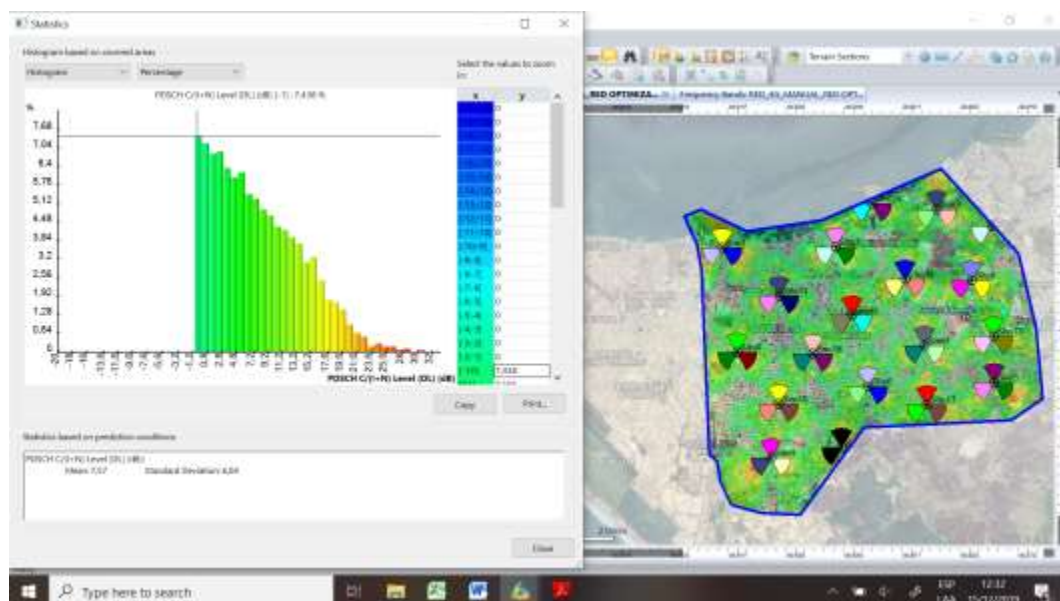


Figura 4. 12 Predicción de Cobertura por C/(I+N) DL
Fuente: Autora

Como se aprecia en la figura 4.12, en el canal PDSCH C/(N+I) los niveles de señal son muy buenos debido a que el histograma demuestra mayor cobertura de color verde, lo cual indica que el nivel de ruido es bajo y no afecta la señal de información transmitida en el canal de descarga.

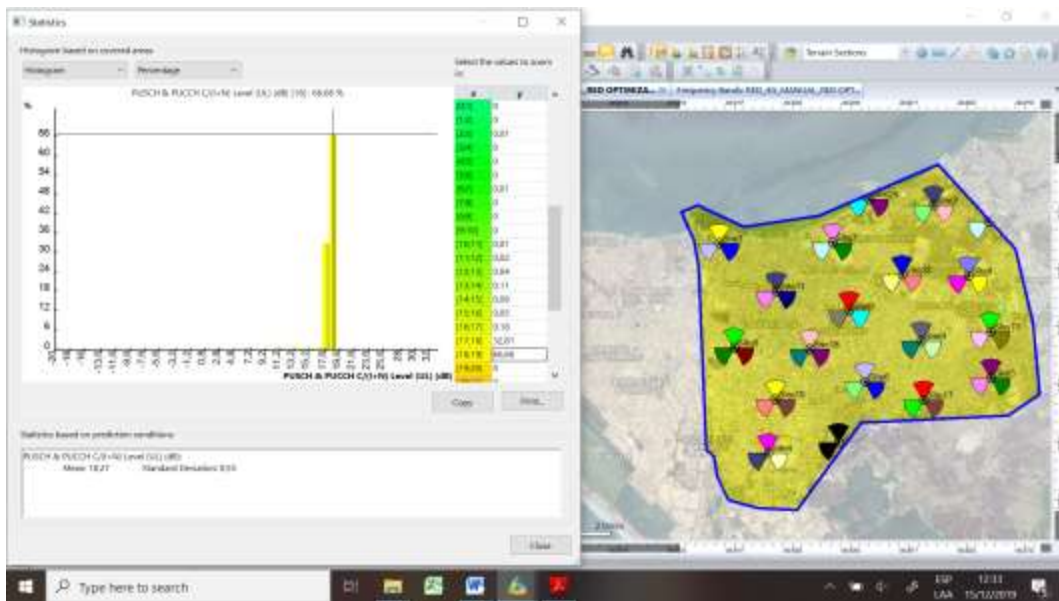


Figura 4. 13 Predicción de Cobertura por señal ruido en el canal de carga
Fuente: Autora

Como se puede apreciar en la figura 4.13, el canal de Up vs el Ruido, se mantiene en parámetros óptimos, indica que recibe mayor nivel de señal PUSCH que el ruido, al no tener indicadores rojos ni azules, los niveles de transmisión son acordes al diseño planteado.

4.3.3. Service Area Analysis

Esta predicción permite calcular y mostrar los mejores Radio Bearers o portadoras de radio, disponibles para cada pixel del mapa basados en las $C/(N+I)$ ruido de las mismas.

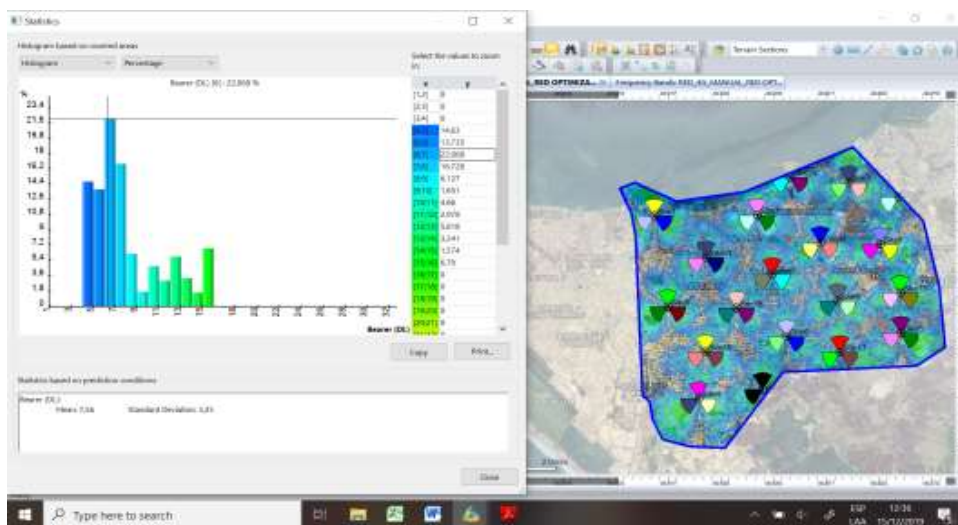


Figura 4. 14 Predicción de Cobertura por señal
Fuente: Autora

Como se puede observar en la figura 4.14 las portadoras de radio o radio Bearers, en el canal de descarga se encuentran en un promedio de 7,56 lo que implica un TTI menor al establecido, así se tienen mejores niveles de Jitter o interacciones en la transmisión de paquetes, lo que genera una mejor calidad y un buen servicio de voz.

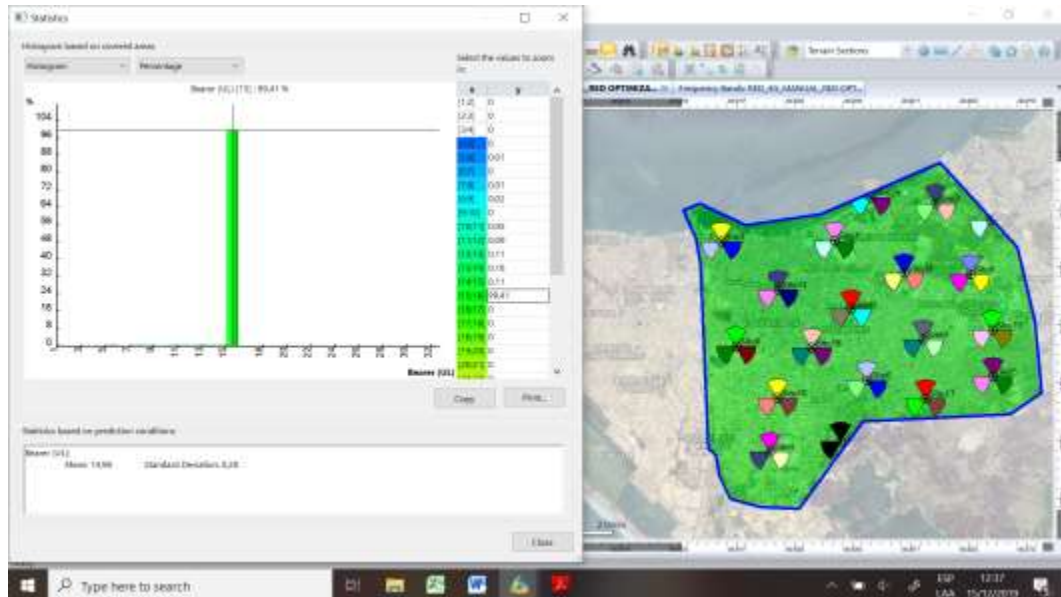


Figura 4. 15 Predicción de Cobertura por señal
Fuente: Autora

Como se puede apreciar en la figura 4.15, en el canal de UL los niveles de Bearers se mantienen en un promedio de 15, lo cual indica buen desempeño y gran eficiencia en el canal de subida de datos de 5,55547 bits/símbolo y sin pérdidas de ruido.

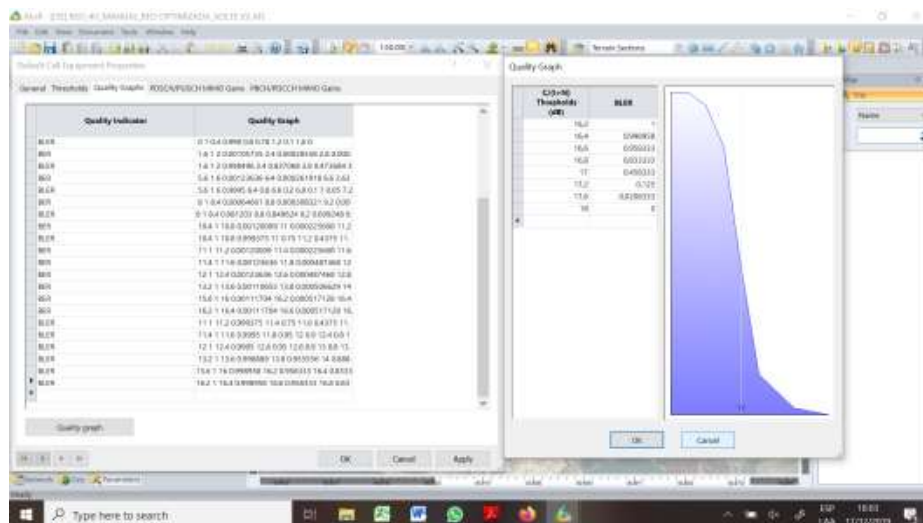


Figura 4. 16 Análisis de los radios Bearers
Fuente: Autora

Como se puede apreciar en la figura 4.16, se tiene una tasa de error menor a 1 con un bearer de 15, lo cual demuestra un óptimo funcionamiento.

4.3.4. Effective Service Area Analysis

Permite mostrar las zonas donde un servicio se encuentra disponible tanto en DL como en UL, estas áreas pueden ser mejoradas aumentando la potencia de las antenas para captar mejor área de cobertura, siempre y cuando se eviten las zonas solapadas que en lugar de mejorar la señal, generan conflictos de capacidad y acceso (García, 2014).

En la figura 4.17 se muestran las áreas de servicio en color rojo, las mismas que determinan ser más fuertes mientras más cercanas se encuentran hacia el eNB.

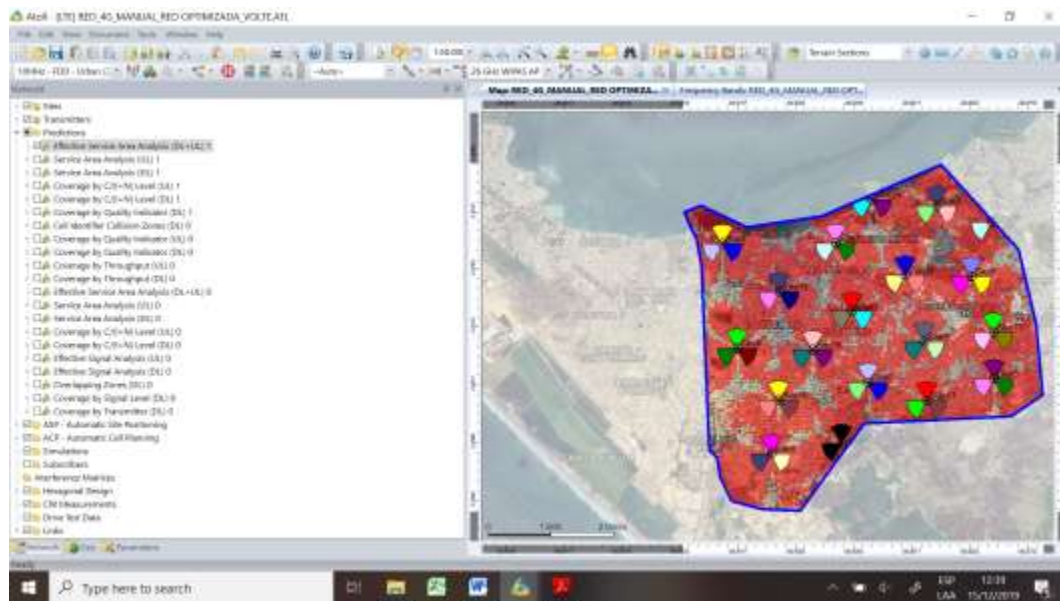


Figura 4. 17 Predicción de Cobertura por señal
Fuente: Autora

4.3.5. Coverage by Throughput

Esta predicción permite calcular y mostrar los canales de Throughputs y capacidades de celda basados en los niveles de $C/(I+N)$ y en los radio bearers disponibles. Además permite mostrar el Aggregate Cell Throughput para los resultados de las simulaciones (Iglesias, 2016).

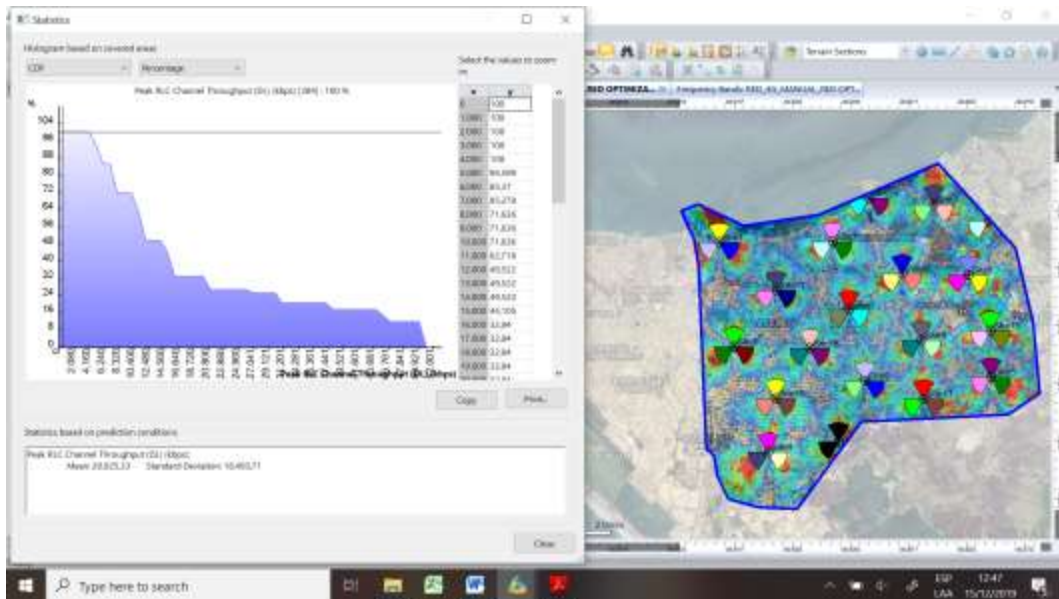


Figura 4. 18 Predicción de Cobertura por Throughput DL
Fuente: Autora

Como se puede apreciar en la figura 4.18, el peak RLC Channel Throughput, se refiere al maximo throughput de la capa RLC (Canal o usuario) que es obtenido (García, 2014), el cual cubre un porcentaje del 96% del área de estudio en la ciudad de La Libertad, el mismo que se encuentra a un nivel promedio de 20925,33 tal como muestra el histograma de la figura 4.19.

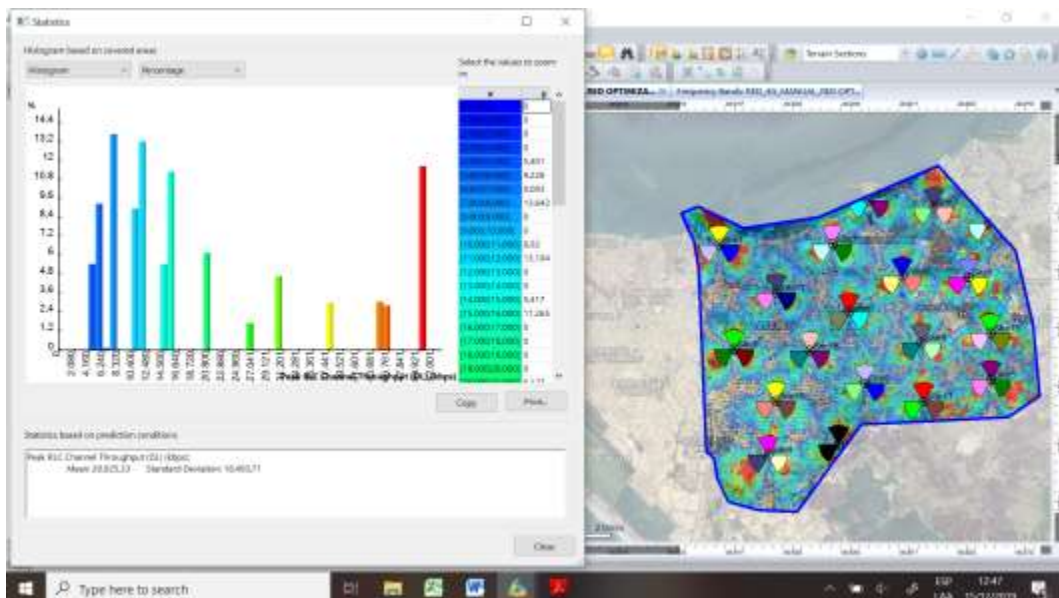


Figura 4. 19 Predicción de Cobertura por Throughput DL
Fuente: Autora

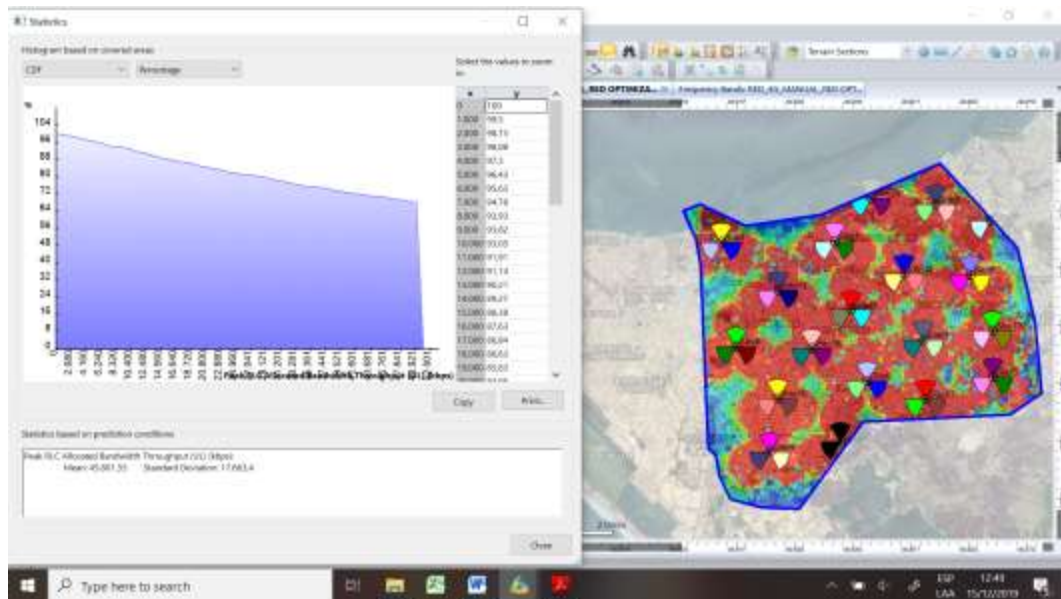


Figura 4.20 Predicción de Cobertura por Throughput UL
Fuente: Autora

Como se puede apreciar en la figura 4.20 la cobertura y el throughput del canal de subida se encuentran con una cobertura óptima del 96%, con lo cual el diseño y la optimización para la voz se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

4.3.6. Coverage by Quality Indicator

Esta predicción permite mostrar diferentes indicadores de calidad (BLER, BER, ETC) basados en los Radio Bearers y en los niveles de $C/(N+I)$ de cada pixel (Iglesias, 2016). Como se observa en la figura 4.21 la calidad del área de estudio es óptima con una BER de 0,02 lo cual indica que la calidad de VoLTE es del 99,97%, estableciendo una red fiable para el servicio de voz en el canal de Downlink.

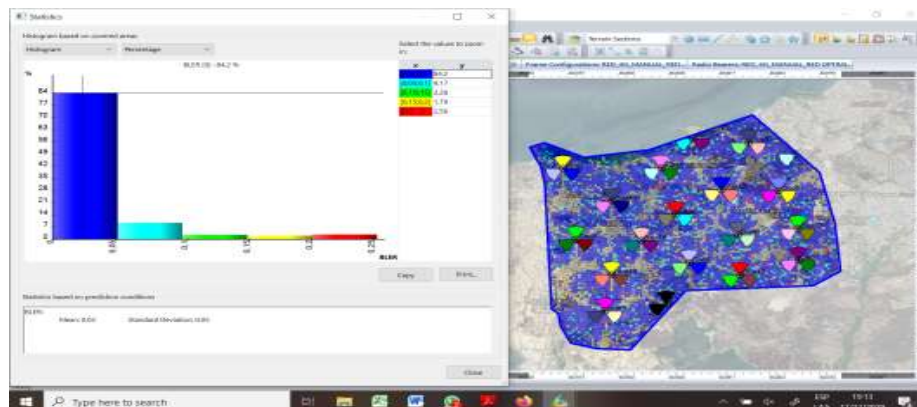


Figura 4. 21 Predicción de Cobertura por indicador calidad DL_UL
Fuente: Autora

En el canal de subida es mejor la calidad, por lo cual la tasa de error es mucho menor, garantizando entre los dos canales de Up y Down un servicio fiable de voz.

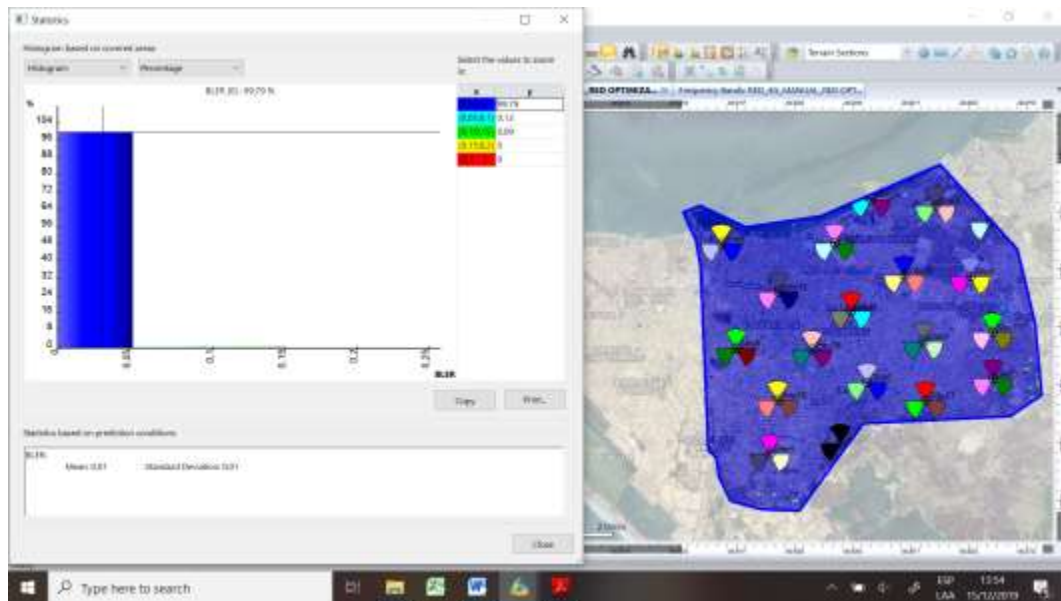


Figura 4. 22 Predicción de Cobertura por indicador calidad UL
Fuente: Autora

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Mediante la investigación teórica, se logró un detalle claro y conciso de las comunicaciones móviles desde su inicio de la telefonía básica o convencional, hasta la actualidad en redes móviles de gran capacidad como es LTE.
2. Se definió la Voz sobre IP, los servicios de Voz, características de los mismos, ventajas y desventajas que se tienen mediante una red 4G en Ecuador, tanto a nivel de su alcance y cobertura, en el cual se concluye que el Ecuador no mantiene una red robusta 4G, ni la población posee teléfonos de alta gama que permitan establecer llamadas mediante VoLTE, por lo cual este servicio solamente es útil dentro del centro de ciudades principales como son Cuenca, Quito y Guayaquil.
3. Mediante el simulador ATOLL se pudo extraer el área de interés para el análisis y cobertura de la red, facilitó la ubicación de los diferentes eNBs, dependiendo de la capacidad y optimización que se estableció para el presente estudio, implementándose en el simulador 23 eNBs que optimizaron la red en la ciudad de La Libertad, provincia de Santa Elena, cumpliendo con el objetivo propuesto.
4. En base al estudio realizado, enfocado a la ciudad de la libertad se pudo analizar cada uno de los parámetros que conlleva estructurar y diseñar la red LTE, y más aún analizar los parámetros que definen el correcto funcionamiento de la red en el servicio de voz como es VoLTE, siendo el parámetro principal el seleccionar correctamente el radio Bearer que define el tipo de modulación, la velocidad de transmisión, fue indispensable el análisis del códec de voz para poder definir el throughput de subida y de bajada de 16,4kbs para los canales de voz dentro de las configuraciones de los eNBs consiguiendo con un Radio Bearer de 15 una tasa de error menor a 1, con lo cual se cumple con los parámetros de voz establecidos.

5. Con el cumplimiento de los objetivos específicos se consiguió diseñar y analizar una red LTE en la ciudad de La Libertad, Provincia de Santa Elena, Ecuador, mediante estrategias favorables al servicio de Voz sobre IP.

Recomendaciones.

1. Se recomienda adaptar la banda de AWS para redes LTE dentro del Ecuador.
2. Se recomienda que las operadoras de telefonía celular, antes de migrar de tecnologías que es el objetivo de estos estudios, primero establezcan bien que la red ya sea todo LTE antes de dar el paso a 5G, como es de conocimiento de los usuarios, aun se tienen zonas de poca o nada de cobertura 3G, lo cual impide establecer llamadas de voz en dichos canales, mientras un usuario establece una llamada de voz IP en la red 4G cuando se encuentra viajando o movilizándose y su red no es la adecuada, la llamada pasa a ocupar la red 3G, perdiendo la continuidad de los datos o la conectividad del servicio.
3. Para establecer mejores velocidades de transmisión se deberán implementar más estaciones base eNb en LTE, para garantizar la vigencia del servicio, con lo cual ganarán las operadoras credibilidad y por ende usuarios satisfechos de los servicios. Adicional a esto se recomiendan campañas sobre el uso de llamadas de Voz sobre IP en LTE, debido a que en ciertos quipos móviles se debe configurar el terminal y la mayor parte de subscriptores o usuarios no tienen conocimiento del mismo y no se hace uso del plan o servicio contratado.

Glosario

CS (Circuit Switched): Conmutación de Circuitos.

ADC (Analog-to-Digital Converter): Conversor Analógico-Digital.

DAC (Digital-to-Analog Converter): Conversor Digital-Analógico.

QoS (Quality of Service): Calidad del Servicio.

HSPA (High-Speed Packet Access): Acceso de paquetes de alta velocidad

LTE (Long Term Evolution): Evolucion a largo Plazo.

LTE-Advanced (LongTerm Evolution Advanced): Evolucion a largo plazo Avanzada.

HSPA (High-Speed Packet Access): Sistema de telefonía móvil Avanzado

TACS (Total Access Communication System): Sistema de comunicación de acceso total de alta velocidad.

NMT (Nordic Mobile Telephone): Teléfono móvil nórdico de alta velocidad

CDMA (Code Division Multiple Access): Código de División de Acceso Múltiple

TDMA (Time Division Multiple Access): Acceso múltiple por división de Tiempo

PDC (Personal Digital Cellular): Celular digital personal

FDMA (Frequency Division Multiple Access): Acceso múltiple por división de frecuencia

GSM (Global System for Mobile): Sistema global para las comunicaciones móviles.

GPRS (General Packet Radio Service): Servicio general de paquetes vía radio.

EMS (Enhanced Messaging Services): Servicio de mensajería mejorado

MMS (Multimedia Messaging Services): Servicio de Mensajería Multimedia

WAP (Wireless Application Protocol): Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access): Acceso múltiple por división de código de banda Ancha.

FDD (Frequency División Duplexing): Duplexación por división de Frecuencia

TDD (Time Division Duplex): Duplexación por división de Tiempo.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System): Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.

MSS (Mobile Switching Server): Servidor de Conmutación móvil.

SGSN (Server GPRS Support Node): Nodo servidor GPRS.

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network): Red de acceso de radio UMTS.

ITU (International Telecommunication Unión): Unión Internacional de Telecomunicaciones.

PDCP (Packet Data Control Protocol): Protocolo de control de Paquetes de Datos.

RLC (Radio Link Control): Control de enlace de Radio.

HSS (Home Subscriber Server): Servidor de Abonado Domestico.

PCRF (Policy Charging and Rules Function): Función de Reglas y Políticas de Cobro.

QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying): Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.

QAM (Quadrature Amplitude Modulation): Modulación de Amplitud de cuadratura.

ARQ (Automatic Repeat reQuest): Petición de Repetición Automática.

FEC (Forward Error Correction): Corrección de Errores hacia Adelante.

PDCCH (Physical Downlink Control Channel): Canal de Control de enlace descendente.

PDSCH (Physical Downlink Shared Channel): Canal Compartido de enlace descendente físico.

PUSCH (Physical Uplink Shared Channel): Canal Compartido de Enlace Ascendente físico.

Referencias Bibliográficas

- Agusti, R., Bernardo, F., Casadevall, F., Ferrús, R., Pérez-Romero, J., & Sallent, O. (2010). *LTE:nuevas tendencias en comunicaciones móviles*. Fundación Vodafone España.
- ALCATEL LUCENT, E. (2018). *Análisis de KPIS E INFORME DE CALIDAD DE LA RED 3G Y LTE en Ecuador para la operadora CNT*. GUAYAQUIL: ED 2.
- ARCOTEL, A. d. (2016). *Informe de audiencias públicas*. Quito.
- Arvind. (29 de Diciembre de 2015). *Neo Marketing Trend*. Obtenido de <http://www.neomarketingtrend.com/fdma-frequency-division-multiple-access/>
- ATOLL. (2010). *RF Planning & Optimisation Software*. FRANCE: VERSION 2.8.2.
- ATOLL. (2015). Information Note on VoLTE Modelling. *Forsk November 2015*, 12.
- CNT, E. (2019). *www.nperf.com*. Recuperado el 10 de OCTUBRE de 2019, de www.nperf.com: <https://www.nperf.com/es/map/EC/3652462.Quito/-/signal/?ll=-0.5374066429157605&lg=-78.23959349887447&zoom=10>
- Fernández, I. (2014). *Planificación y dimensionado de una red LTE*. Obtenido de Universitat Politècnica de Catalunya: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21660/Proyecto_Final_Carrera_Ignacio_Fernandez.pdf
- Fortún, L. (2017). *Calidad de servicio en redes VoLTE*. Obtenido de Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas: <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/7920?show=full>
- García, J. (2014). *Diseño de un plan nominal para un sistema LTE mediante una herramienta de planificación radio comercial*. Obtenido de Universidad Politècnica de Catalunya: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22149/PFC%20Javier%20Garcia%20Falaguera.pdf>
- GSMA. (2014). *LTE: Tecnología y Salud. 4G y Banda Ancha Móvil*. Obtenido de www.gsma.com/aboutus/gsm-technology: GSMA.

- (2014). GSMA-LTE-TECNOLOGIA-SALUD-4G BANDA ANCHA. Retrieved July 30, 2016, from https://www.google.com.ec/?gws_rd=ssl#q=GSMA-
- Gutiérrez, R. (2019). *Estudio detallado de los protocolos SIP, H.323 y otros para la señalización en VoIP: estado actual y futuro*. Obtenido de Repositorio Dspace: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/46841>
- Huawei. (2016). *Entrenamiento DSLAM*. Cuenca. Obtenido de Huawei Technologies Co., L.: <https://doi.org/Huawei> Electronic Documentation Explorer
- Iglesias, L. (2016). *Planificación y optimización de una red LTE con la herramienta ATOLL*. Obtenido de Universitat Politècnica de Catalunya: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/83015/PFC%20Luis%20Iglesias.pdf>
- Iquall Networks. (2014). LTE Whitepaper. *LTE*, 10.
- Meza, H. R. (s.f.). *Estudio y diseño de una celda base de acceso inalámbrico con tecnología 4G LTE para el sector Inaquito de la ciudad de Quito*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7387>
- Ortega, L. (2015). *¿Qué es VoLTE (Voz sobre LTE)? - Ventajas e inconvenientes*. Obtenido de <http://www.androidpit.es/que-es-volte-voz-sobre-lte>
- Palacios Meléndez, E., & Cordova Rivadeniera, L. (2015). Sistema de adquisición de señales digitales. *Redalyc*, 11-17.
- PÉREZ, F. (2010). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería-ICAI. Universidad Pontificia Comillas*. Obtenido de <http://www.tierradelazaro.com/cripto/4G.pdf>
- Sabando C., J. (2011). *Fundamentos de Comunicaciones Inalámbricas*. México: Pearson Educación.
- Valero, Y. (2020). *Diseño y simulación de una propuesta de interconexión de red para una nueva sede del cliente utilizando Voip y Ospf*.

Obtenido de Repositorio Institucional UCC:
<https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/19938>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **María Belén García Sánchez**, con C.C: # **0104516554** autor/a del trabajo de titulación: **Análisis del servicio de Voz sobre IP en una red inalámbrica de Cuarta Generación en La Libertad, Provincia de Santa Elena, Ecuador**, previo a la obtención del título de **Magíster en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 27 de octubre de 2020

María Belén García Sánchez

C.C: 0104516554



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis del servicio de Voz sobre IP en una red inalámbrica de Cuarta Generación en La Libertad, Provincia de Santa Elena, Ecuador	
AUTOR(ES)	María Belén García Sánchez	
REVISOR(ES)/TUTOR	MSc. Edgar Quezada Calle; MSc. Luis Córdova Rivadeneira / MSc. Manuel Romero Paz	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Sistema de Posgrado	
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones	
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	27 de octubre de 2020	No. DE PÁGINAS: 81
ÁREAS TEMÁTICAS:	Evolución de la Tecnología de Voz sobre IP, telefonía IP, Evolución del WCDMA, Tecnología UMTS, Redes de Cuarta Generación LTE, Packet Scheduling	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	VoIP, WCDMA, UMTS, LTE, Packet Scheduling, VoLTE	
RESUMEN/ABSTRACT:	Debido al avance tecnológico en telefonía móvil, enfocado cada día más a un mundo gobernado por redes IP, surge una red telefónica avanzada de cuarta generación LTE, con un despliegue a nivel mundial, la misma que ofrece mejores anchos de banda y velocidades para los usuarios, siendo esta red el punto de concentración para desarrollar un diseño que permita, a más de las mejoras indicadas, utilizar el nuevo servicio VoLTE (Voz sobre IP en LTE), lo cual se prueba en la ciudad de La Libertad, provincia de Santa Elena. La primera fase fue la investigación teórica, del sistema LTE, su estructura y capa de acceso, lo cual permitió definir un nuevo diseño, más robusto y mejorado para la ciudad escogida y en base al mismo desarrollar predicciones que permitan validar la calidad de la red en función de la configuración establecida e investigada. Como resultado de este diseño, se logró demostrar una mejora de la cobertura de Voz sobre IP del 100% de la ciudad La Libertad, Provincia de Santa Elena, basado en la herramienta ATOLL.	
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO AUTOR/ES:	Teléfono: +593-984933353	E-mail: ma.belen.garcia1@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Romero Paz Manuel de Jesús	
	Teléfono: +593-994606932	
	E-mail: manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		