



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Estudio y Análisis comparativo de las tecnologías LTE y WiMAX para el
servicio de internet**

AUTOR:

Sanga Hernández, Bryan Darío

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Bohórquez Escobar, Celso Bayardo

Guayaquil, Ecuador

05 de Marzo del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **el Sr. Sanga Hernández, Bryan Darío** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.**

TUTOR

Bohórquez Escobar, Celso Bayardo

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 05 días del mes de Marzo del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Sanga Hernández, Bryan Darío**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “**Estudio y Análisis comparativo de las tecnologías LTE y WiMAX para el servicio de internet.**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero 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, a los 05 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

SANGA HERNÁNDEZ, BRYAN DARÍO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Sanga Hernández, Bryan Darío**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Estudio y Análisis comparativo de las tecnologías LTE y WiMAX para el servicio de internet.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 05 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

SANGA HERNÁNDEZ, BRYAN DARÍO

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento: [TESIS BRYAN SANGA.UUCX \(U35787306\)](#)

Presentado: 2018-02-20 16:22 (-05:00)

Presentado por: ortlandophilco07@gmail.com

Recibido: ortland.philco.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje: Fwd: TRABAJO DE TITULACION BRYAN SANGA [Mostrar el mensaje completo](#)

3% de estas 23 páginas, se componen de texto presente en 5 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

- [ok lte-Analuisa Muso Jaime Daniel.pdf](#)
- <http://docplayer.es/3059638-Analisis-diseno-y-despliegue-de-una-t...>
- [Joanna Vaca.pdf](#)
- http://nashvillelibrary.dyndns.org:823/YourFreeLibrary/_lte/_Best...

Fuentes alternativas

0 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN
TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN
TELECOMUNICACIONES

TEMA: Estudio y Análisis comparativo de las tecnologías LTE y WIMAX para el
servicio de internet

AUTOR: Sanga Hernández, Bryan Darío

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES

TUTOR: Bohorquez Escobar, Celso Bayardo Guayaquil, Ecuador

18 de Febrero del 2017

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN
TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a Dios, quien me dio sabiduría para poder cruzar cada obstáculo en el camino y fuerzas para seguir adelante en todo mi periodo de estudio A mis padres que han sido pilar fundamental en mi vida, que con su ejemplo y enseñanzas he podido crecer como persona poder alcanzar mis objetivos. Finalmente, a mis amigos, compañeros y profesores de aula, gracias por el apoyo en muchos aspectos que han sido de mucha importancia para mi desarrollo profesional

EL AUTOR

SANGA HERNÁNDEZ, BRYAN DARÍO

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por sus bendiciones que me da cada día por la fortaleza para no rendirme y seguir adelante. Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional y su respaldo que me han dado y a mis hermanos son un ejemplo y bendición en mi vida. A los distintos ingenieros que han contribuido al crecimiento y desarrollo de mi perfil profesional, que con sus cátedras diarias y consejos que han sido de mucha ayuda.

EL AUTOR

SANGA HERNÁNDEZ, BRYAN DARÍO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M.Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS

DECANO

f. _____

M.Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DE ÁREA

f. _____

Mgs. ALVARADO BUSTAMANTE, JIMMY SALVADOR

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----|
| Índice de Figuras | XII |
| Índice de Tablas..... | XIV |
| RESUMEN | XV |
| ABSTRACT..... | XVI |
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 17 |
| 1.1. Introducción..... | 17 |
| 1.2. Antecedentes | 18 |
| 1.3. Definición del problema | 19 |
| 1.4. Justificación del problema | 19 |
| 1.5. Objetivos | 19 |
| 1.5.1. Objetivo General..... | 19 |
| 1.5.2. Objetivos Específicos | 19 |
| 1.6. Hipótesis..... | 20 |
| 1.7. Metodología de investigación | 20 |
| CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 21 |
| 2.1. Redes Móviles..... | 21 |
| 2.1.1. Introducción a las redes móviles..... | 21 |
| 2.1.2. Redes celulares | 21 |
| 2.1.3. Principio de sectorización | 22 |
| 2.1.4. Métodos de acceso..... | 22 |
| 2.2. Evolución de la Telefonía Móvil..... | 23 |
| 2.2.1. Primera Generación..... | 23 |
| 2.2.2. Segunda Generación..... | 23 |
| 2.2.3. Tercera Generación..... | 24 |
| 2.3. Introducción a LTE | 25 |
| 2.4. Características | 26 |
| 2.5. Arquitectura LTE | 27 |
| 2.5.1. Red de acceso E-UTRAN..... | 27 |
| 2.5.2. Red Troncal EPC..... | 28 |
| 2.6. IMS | 29 |
| 2.7. Interfaces..... | 29 |
| 2.7.1. Interfaces red EPC | 30 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.7.2. | Interfaces red E-UTRAN..... | 30 |
| 2.8. | Trama..... | 30 |
| 2.8.1. | Estructura de trama FDD..... | 30 |
| 2.8.2. | Estructura de trama TDD..... | 31 |
| 2.9. | Tecnologías a nivel físico..... | 31 |
| 2.9.1. | OFDMA..... | 32 |
| 2.9.2. | SC-FDMA..... | 33 |
| 2.10. | Sistema MIMO..... | 34 |
| 2.10.1. | Características MIMO..... | 35 |
| 2.11. | Técnicas Dúplex..... | 35 |
| 2.12. | LTE Advanced..... | 36 |
| 2.13. | LTE en Ecuador..... | 36 |
| 2.13.1. | Bandas de Frecuencias..... | 37 |
| 2.13.2. | Evolución de las tecnologías a través del tiempo..... | 37 |
| 2.13.3. | Evolución de las tecnologías por provincias..... | 39 |
| 2.14. | Introducción a WiMAX..... | 41 |
| 2.15. | Características..... | 41 |
| 2.16. | Evolución del estándar WiMAX..... | 41 |
| 2.17. | WiMAX fijo y WiMAX móvil..... | 42 |
| 2.17.1. | WiMAX fijo..... | 42 |
| 2.17.2. | WiMAX Móvil..... | 43 |
| 2.18. | Propagación WiMAX..... | 43 |
| 2.18.1. | LOS..... | 44 |
| 2.18.2. | NLOS..... | 44 |
| 2.19. | Arquitectura..... | 45 |
| 2.20. | Capa Física..... | 47 |
| 2.20.1. | OFDM..... | 47 |
| 2.20.2. | Subcanalización OFDMA..... | 48 |
| 2.20.3. | Trama..... | 48 |
| 2.20.4. | Modulación adaptativa y codificación..... | 51 |
| 2.20.5. | Tasa de Datos..... | 52 |
| 2.21. | Tecnologías avanzadas de antenas..... | 52 |
| 2.22. | Técnicas Dúplex..... | 53 |
| 2.23. | WiMAX en Ecuador..... | 53 |

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 3: ANÁLISIS LTE VS WIMAX Y SIMULACIÓN | 55 |
| 3.1. Comparación de las características principales de las tecnologías.... | 55 |
| 3.1.1. Comparación Arquitectura | 55 |
| 3.1.2. Técnicas Dúplex | 55 |
| 3.1.3. Tecnología de antenas | 56 |
| 3.1.4. Tecnologías de Acceso | 56 |
| 3.1.5. Bandas de frecuencia y ancho de banda..... | 56 |
| 3.2. Área de Estudio..... | 56 |
| 3.3. Simulaciones | 57 |
| 3.3.1. Simulación LTE | 57 |
| 3.3.2. Simulación WiMAX | 62 |
| 3.4. Análisis y resultados..... | 67 |
| CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 69 |
| 4.1. Conclusiones..... | 69 |
| 4.2. Recomendaciones..... | 70 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 71 |
| ANEXO: 1 RESUMEN DE RESULTADOS DADOS POR LTE EN GOOGLE EARTH | 73 |
| ANEXO: 2 RESUMEN DE RESULTADOS DADOS POR WIMAX EN GOOGLE EARTH | 74 |

Índice de Figuras

Capítulo 1

| | |
|--|----|
| Figura 1.1: Usuarios de internet móvil por prestador | 18 |
|--|----|

Capítulo 2

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Principio de sectorización de celdas | 22 |
| Figura 2.2: Métodos de acceso múltiple | 23 |
| Figura 2.3: Cronología de los estándares de las comunicaciones móviles.. | 25 |
| Figura 2.4: Evolución de la arquitectura móvil | 26 |
| Figura 2.5: Arquitectura básica LTE..... | 27 |
| Figura 2.6: Red de acceso E-UTRAN | 28 |
| Figura 2.7: Red EPC..... | 28 |
| Figura 2.8: Estructura de la trama LTE modo FDD | 31 |
| Figura 2.9: Estructura de la trama LTE modo TDD..... | 31 |
| Figura 2.10: OFDM y OFDMA..... | 32 |
| Figura 2.11: OFDMA Y SC-FDMA en LTE..... | 33 |
| Figura 2.12: Configuración MIMO | 34 |
| Figura 2.13: Dúplex de frecuencia y división de tiempo..... | 35 |
| Figura 2.14: Evolución de líneas activas según la tecnología en CONECEL | 38 |
| Figura 2.15: Evolución de líneas activas según la tecnología en OTECEL . | 38 |
| Figura 2.16: Evolución de líneas activas según la tecnología en CNT | 38 |
| Figura 2.17: Evolución de las tecnologías por provincias en CONECEL | 39 |
| Figura 2.18: Evolución de las tecnologías por provincias en OTECEL | 40 |
| Figura 2.19: Evolución de las tecnologías por provincias en CNT | 40 |
| Figura 2.20: Estándares inalámbricos de banda ancha de la IEEE | 43 |
| Figura 2.21: Zona de Fresnel LOS..... | 44 |
| Figura 2.22: Propagación NLOS | 45 |
| Figura 2.23: Arquitectura WiMAX..... | 46 |
| Figura 2.24: WiMAX con modelo de referencia ASN | 46 |
| Figura 2.25: Trama TDD para WiMAX Mobil | 49 |
| Figura 2.26 : Estructura de la trama WiMAX..... | 50 |
| Figura 2.27: Modulación adaptiva | 51 |
| Figura 2.28: Bandas de frecuencia WiMAX | 54 |

Capítulo 3

| | |
|--|----|
| Figura 3.1: Mapa parroquia Crucita cantón Portoviejo formato grd..... | 57 |
| Figura 3.2: Antena LTE en crucita | 58 |
| Figura 3.3: Cobertura LTE en Crucita | 59 |
| Figura 3.4: Histograma de los niveles de la señal LTE | 59 |
| Figura 3.5: Rendimiento del enlace de bajada LTE | 60 |
| Figura 3.6: Histograma del rendimiento del enlace de bajada LTE..... | 61 |
| Figura 3.7: Usuarios de internet red LTE | 62 |
| Figura 3.8: Antena WiMAX en Crucita | 63 |
| Figura 3.9: Cobertura WiMAX en Crucita..... | 64 |
| Figura 3.10: Histograma de los niveles de la señal WiMAX..... | 64 |
| Figura 3.11: Rendimiento del enlace de bajada WiMAX..... | 65 |
| Figura 3.12: Histograma del rendimiento del enlace de bajada WiMAX | 65 |
| Figura 3.13: Usuarios de internet red WiMAX..... | 66 |
| Figura 3.14: Comparación nivel de señal..... | 67 |
| Figura 3.15: Comparación del rendimiento del enlace de bajada | 68 |
| Figura 3.16: Comparación de la actividad de usuarios | 68 |

Índice de Tablas

Capítulo 2

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1: Tipos de celdas | 21 |
| Tabla 2.2: Generación de sistemas móviles | 24 |
| Tabla 2.3: Interfaces red EPC..... | 30 |
| Tabla 2.4: Interfaces red E-UTRAN | 30 |
| Tabla 2.5: Comparación entre FDD-LTE Y TDD-LTE | 36 |
| Tabla 2.6: Bandas de operación de Claro..... | 37 |
| Tabla 2.7: Bandas de operación de CNT | 37 |
| Tabla 2.8: Bandas de operación de Movistar..... | 37 |
| Tabla 2.9: Evolución estándar WiMAX..... | 42 |
| Tabla 2.10: Velocidad de datos..... | 52 |

Capítulo 3

| | |
|-------------------------------------|----|
| Tabla 3.1: Parámetros de LTE | 58 |
| Tabla 3.2: Parámetros de WiMAX..... | 62 |

RESUMEN

El presente trabajo se explica detalladamente el funcionamiento de las tecnologías LTE y WiMAX que son consideradas de 4G, la parte teórica y técnicas como su arquitectura, capa física, bandas frecuencias, ancho de banda son fundamentales para una comparación. En Crucita es el lugar donde se realiza la simulación, actualmente en Crucita cuenta con cobertura 3G por lo que los servicios son limitados. Mediante el software Atoll se realiza una simulación en Crucita Manabí con las tecnologías LTE y WiMAX con los parámetros establecidos en el Ecuador como la banda de frecuencia y ancho del canal , para poder observar el comportamiento de los niveles de señal en todos los sectores de Crucita, rendimiento del enlace de bajada analizando la señal que viaja de la antena al usuario, rango de cobertura que ofrece cada tecnología y la cantidad de usuarios que soporta la red mostrando los resultados en Google Earth.

Palabras claves: LTE, WIMAX, REDES DE COMUNICACIÓN, TELEFONÍA CELULAR, BANDAS DE FRECUENCIAS, INTERNET

ABSTRACT

This paper explain in detail the operation of the LTE and WiMAX technologies that are considered 4G, the theoretical part and techniques such as its architecture, physical layer, frequency bands, bandwidth are fundamental for a better comparison. In Crucita it is the place where the simulation is carried out since currently in Crucita only has 3G coverage so services are limited Through the Atoll software a simulation is performed in Crucita Manabí with LTE and WiMAX technologies with the parameters established in the Ecuador as the band of frequency and width of the channel, to be able to observe the behavior of signal levels in all sectors of Crucita, performance of the downlink analyzing the data rate that presents the signal that travels from the antenna to the user, range of coverage offered by each technology and the number of users that support the network showing the results in Google Earth.

Keywords: LTE, WIMAX, COMMUNICATION NETWORKS, CELLULAR TELEPHONY, FREQUENCY BANDS, INTERNET

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

En telecomunicaciones la telefonía celular sin duda es uno de los campos más importantes ya que cada día los usuarios crecen y los teléfonos celulares cada vez son más tecnológicos la cual requiere utilizar una tecnología más avanzada para poder interactuar y comunicarse con las demás personas de una forma más rápida y eficaz.

La tecnología móvil e inalámbrica se ha utilizado cada vez más ampliamente. Ha habido un número creciente de suscriptores y la necesidad de los suscriptores de servicios móviles e inalámbricos, desde servicios de voz extendidos hasta servicios multimedia, como VoIP y mensajería instantánea. Hoy las personas desean acceder a Internet desde casi cualquier lugar. Muchos de estos servicios necesitan una red inalámbrica móvil de alta velocidad de datos para admitirlos. Con el fin de satisfacer las demandas de los suscriptores, las nuevas tecnologías deben ser introducidas y mejoradas.

En países desarrollados se utiliza la tecnología 4G (cuarta generación) la cual es muy utilizado y brinda muchas más beneficios a los usuarios, internacionalmente ya se está hablando a futuro que ya se podría utilizar la tecnología 5G (quinta generación) lo cual sin duda sobrepasaría los límites de velocidad y la cantidad de servicios para proveer, en Ecuador la tecnología 4G de a poco se está implementando, no como en otros países pero las operadoras ya están trabajando para poder obtener una cobertura total en el Ecuador.

LTE (Long Term Evolution) y WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) aparecen el mercado y ambas son consideradas tecnologías de cuarta generación cada una con sus respectivos estándares LTE por su parte con 3GPP (3rd Generation Partnership Project) y WiMAX con la IEEE802.16 la cual una de sus características principales la inclusión del protocolo IP para todos los servicios como son voz, video y datos con una velocidad superior a las de las tecnologías anteriores como 2G (segunda

generación) Y 3G (tercera generación) con una movilidad sin afectar la comunicación el área de recorrido además su interoperabilidad con otros sistemas.

1.2. Antecedentes

En la actualidad los proveedores de telecomunicaciones son las encargadas de brindar a sus usuarios la tecnología 4G en la cual en nuestro país recién está empezando en comparación con otros países que la tecnología 4G ya está alcance de todas las personas y ofrece todos los servicios como llamadas, aplicaciones multimedia y el servicio de internet ya sea utilizando LTE o WiMAX como por ejemplo en Europa en la empresa Wireless Telecom la encargada de brindar la tecnología WiMAX a diferentes zonas rurales en España por otra parte Orange y Vodafone son las encargadas de proveer la tecnología LTE en España.

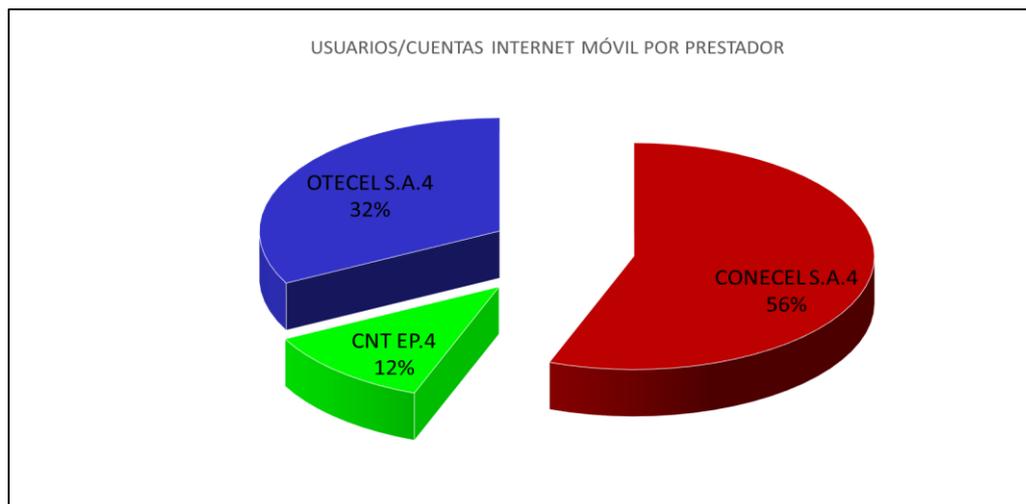


Figura 1.1: Usuarios de internet móvil por prestador
Fuente: (ARCOTEL, 2017)

En Ecuador existen varias operadoras de telecomunicaciones entre las más importantes Claro, Movistar y CNT Ep, las tres encargadas de brindar el servicio de internet móvil como se observa en la figura 1.1 pero estas empresas no presentan una gran cobertura y no en todas las ciudades del país, los usuarios cada vez tienen más exigencias y las empresas se ven obligadas a mejorar para mantener al usuario satisfecho y es ahí donde las empresas tienen que buscar la forma de poder mejorar su servicio para poder vivir la experiencia 4G.

1.3. Definición del problema

Las dificultades que se presentan a la hora de poder comunicarse a través de una red celular se han convertido es una molestia para el usuario en la que se puede notar diariamente a la hora de hablar, ver videos o navegar en internet ya que la red de nuestro país aún tiene muchas limitaciones y problemas en la cobertura para poder conectarse, las empresas proveedoras se le presentan cada día usuarios descontentos y se ven en la obligación de mejorar. Es fundamental la inclusión de nuevas tecnologías y el mejoramiento de las que ya existen para que haya una interoperabilidad, mejoramiento del servicio y los usuarios puedan comunicarse sin ningún inconveniente.

1.4. Justificación del problema

El desarrollo de las telecomunicaciones y el avance cada vez más de los celulares inteligentes ha llevado consigo que también haya una evolución de las redes celulares donde el uso de los datos son utilizados a cada momento y muy solicitados por los usuarios por los que es de vital importancia exponer un estudio y análisis donde se realiza un análisis de las características principales de las tecnologías LTE y WiMAX para el mejoramiento del servicio.

1.5. Objetivos

En el desarrollo del siguiente trabajo se plantearon los siguientes objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Realizar un estudio y análisis comparativo de las tecnologías WiMAX y LTE para el servicio de internet.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Analizar las características teóricas y técnicas de WiMAX y LTE.
- Elaborar una comparativa entre WiMAX Y LTE mostrar sus fortalezas y debilidades para una cobertura 4G.
- Determinar que tecnología presenta mejor rendimiento para el servicio de internet.

1.6. Hipótesis

La hipótesis planteada es que es necesario el mejoramiento de las tecnologías celulares como LTE y WiMAX en el Ecuador para mejorar la experiencia de navegación de internet, la comunicación sea mucho más rápida, pueda ofrecer muchos más servicios, este alcance de todas las personas y determinar que tecnología será más factible su implementación en el Ecuador exactamente en la provincia de Manabí, Cantón Portoviejo, Parroquia Crucita para un óptimo servicio de internet y una gran cobertura. La simulación de las tecnologías de LTE y WiMAX, son muy importantes para el estudio y análisis comparativo que se quiere demostrar mediante el software Atoll.

1.7. Metodología de investigación

Los métodos empleados fueron descriptivos y analíticos, analítica ya que se realizara una descripción de la arquitectura y los elementos que intervienen en cada tecnología, y el funcionamiento para así realizar una comparación interpretando los aspectos técnicos, teóricos, y descriptiva ya que se procederá a realizar una simulación mostrando los resultados de cobertura para así determinar cuál sería la mejor opción para brindar el servicio de internet en el Crucita Manabí.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se expondrán los fundamentos teóricos y técnicos que dan soporte las diferentes tecnologías como LTE y WiMAX y de cómo repercuten a los proveedores y usuarios de internet. Además, este análisis preliminar de los diferentes conceptos básicos permitirá una mejor asimilación del trabajo desarrollado.

2.1. Redes Móviles

2.1.1. Introducción a las redes móviles

Las redes móviles ofrecen múltiples ventajas como la no utilización de cables para su conexión su acceso inalámbrico y pero si cuenta con una parte de estructura fija para poder brindar los servicios. Cada vez la tecnología avanza y necesario satisfacer la demanda de usuarios por esto cada vez aparecen nuevas generaciones móviles.

2.1.2. Redes celulares

Los recursos de radio son fundamentales para la conectividad móvil, su funcionamiento se trata de los procesos de las redes de telefonía fija. El principio básico de los sistemas móviles de telecomunicaciones se trata de poder dividir un área geográfica en celdas que es operada por una estación base. Existen diferentes tamaños de celdas su uso depende del área que se quiera cubrir a continuación en la tabla 2.1 se describe su clasificación.

Tabla 2.1: Tipos de celdas

| Celda | Área de uso | Cobertura y característica |
|-----------------|---------------------------------|--|
| Femtoceldas | oficinas | Cubre áreas que reciben baja señal, su cobertura de metros |
| Picoceldas | Oficina y área residencial | Decenas de metros |
| Microceldas | Áreas urbanas de gran población | Usuarios con movimiento lento, su cobertura es de centenas de metros |
| Macrocelas | Áreas grandes | Usuarios en movimiento rápido, su cobertura es de Kilómetros |
| Celda satelital | Áreas accesibles por satélite | Permite conexiones en lugares inaccesibles |

Elaborado por: Autor

2.1.3. Principio de sectorización

Como se menciona anteriormente las estaciones bases son las que gestionan las celdas entonces si para cada celda se ubica una estación base en cada celda en una área extensa para brindar la cobertura móvil se tendría muchas estaciones bases es ahí donde aparece este principio.

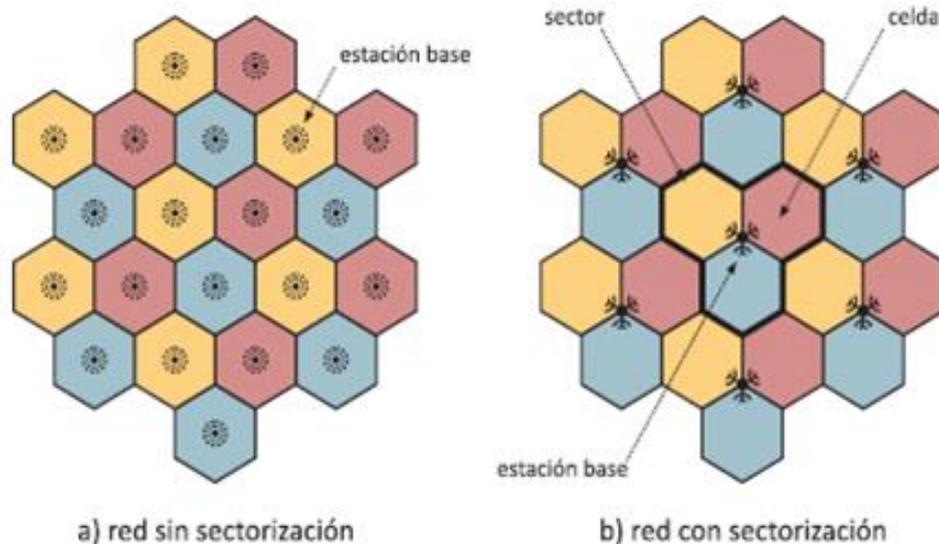


Figura 2.1: Principio de sectorización de celdas

Fuente: (Becvar, 2013)

La figura 2.1 muestra que una red sin sectorización provee una estación base para cada celda provocando muchos números de estaciones bases esto se soluciona mediante una red con sectorización la cual se trata de ya no ubicar una estación base para cada celda sino que ahora las estaciones bases se ubicaran en las intersecciones adyacentes de tres celdas de esta manera se disminuye las interferencia.

2.1.4. Métodos de acceso

Es un método que permite a los usuarios de una celda estar conectados a un mismo medio que permita transmitir y recibir información compartiendo su capacidad, tal como se muestra en la figura 2.2. A continuación, se describe brevemente los 3 métodos de acceso:

- FDMA (Frequency Division Multiple Access) se basa en dividir el espectro en canales asignándole a cada canal una frecuencia.

- TDMA (Time Division Multiple Access) se basa en la división de canal en diferentes instantes de tiempo a cada usuario se le asigna una ranura de tiempo de esta manera se aprovecha mejor el espectro y los usuarios podrán comunicarse por el mismo canal sin interferencia.
- CDMA (Code Division Multiple Access) en este método cada transmisor tiene un código único en una misma banda de frecuencia en la cual el receptor capta esa señal y mediante un esquema de codificación puede distinguir los canales de comunicación.

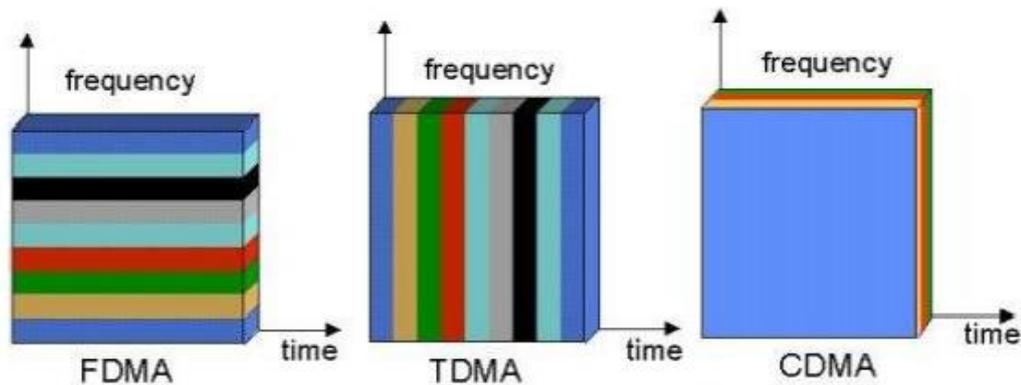


Figura 2.2: Métodos de acceso múltiple
Fuente: (Dahlman, 2007)

2.2. Evolución de la Telefonía Móvil

2.2.1. Primera Generación

En esta generación aparecieron los teléfonos celulares basados en las redes celulares la cual consistía en tener múltiples estaciones bases pero debían estar cerca una de la otra, su transferencia era analógica y solo era utilizada para la voz, se utiliza FDMA como técnica de acceso múltiple lo que limitaba la cantidad de usuarios para su comunicación simultánea.

2.2.2. Segunda Generación

La segunda generación se introdujeron los circuitos digitales la cual permitió que la telefonía se mucho más rápida, esta generación uso como técnica de acceso múltiple TDMA la cual permitió aumentar la capacidad de usuarios en un mismo canal de comunicación. En la tabla 2.2 se muestra las diferentes generaciones móviles con sus tecnologías. Antes de esta tecnología, todos los circuitos eran dedicados en forma exclusiva a cada usuario, esto se refiere a que un circuito es establecido para cada usuario.

Esta generación era ineficiente cuando un canal transfería información utilizando un pequeño porcentaje de los circuitos dedicados pero con el nuevo sistema permitía a los usuarios compartir un mismo canal, dirigiendo los paquetes de información desde el emisor al receptor. (Inzaurrealde, 2006)

Tabla 2.2: Generación de sistemas móviles

| Generación | Nombre | Características |
|------------|--|--|
| Primera | <ul style="list-style-type: none"> • NMT (Nordic Mobile Telephone) • AMP (Advance Mobile Phone System) • TACS (Total Access Communications System) | <ul style="list-style-type: none"> • Tecnología analógica • Voz |
| Segunda | <ul style="list-style-type: none"> • GSM (Global System for Mobile Communications) • GPRS (General Packet Radio Service) • EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) • CDMAone | <ul style="list-style-type: none"> • Tecnología digital • Voz y datos |
| Tercera | <ul style="list-style-type: none"> • UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) • HSPA (High Speed Packet Access) • CDMA200 | <ul style="list-style-type: none"> • Tecnología digital • Voz, video y datos |
| Cuarta | <ul style="list-style-type: none"> • LTE (Long Term Evolution) • WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) | <ul style="list-style-type: none"> • Tecnología digital • Multimedia |

Fuente: (Becvar, 2013)

2.2.3. Tercera Generación

La principal característica de esta generación es poder transmitir voz y datos la anterior generación la 2G también podía transmitir datos pero presentaba problemas era muy lenta. Se trata de sistemas digitales operan en las bandas de 2 GHz e integran diferentes tecnologías de acceso inalámbrico con capacidad de ofrecer una amplia variedad de servicios multimedia con calidad garantizada. La generación abarca los sistemas HSPA y HSDPA. Teóricamente, admite velocidades de hasta 14,4 Mbps en bajada y hasta 2 Mbps en subida, dependiendo del estado o la saturación la red.(Becvar, 2013)

Actualmente se sigue utilizando la tercera generación como HSPA+ la cual es compatible con LTE, como por ejemplo cuando se está realizando una llamada en una red LTE cuando se moviliza a un lugar donde no haya cobertura LTE el teléfono celular automáticamente hace el traspaso a las tecnologías 3G como HSPA+ para mantener la comunicación, con HSPA+ se aumentaron notablemente las velocidades de transmisión pero con el tiempo el estándar 3GPP crearía una nueva tecnología llamada LTE considerada como tecnología 4G.

2.3. Introducción a LTE

Es notable ha evolucionado las redes inalámbricas y el crecimiento de los usuarios para poder conectarse sin necesidad de una red cableada. El uso de los servicios que ofrecen los sistemas inalámbricos ha crecido de tal manera que las operadoras se han visto en la obligación de implementar nuevas tecnologías y la evolución de las que ya existen como se observa en la figura 2.3 cada estándar con sus tecnologías. LTE es una de las tecnologías que las empresas se han inclinado para poder ofrecer internet ya que ofrece mejores velocidades de transmisión que otras tecnologías. A continuación se detallara tos los aspectos teóricos y técnicos de LTE.

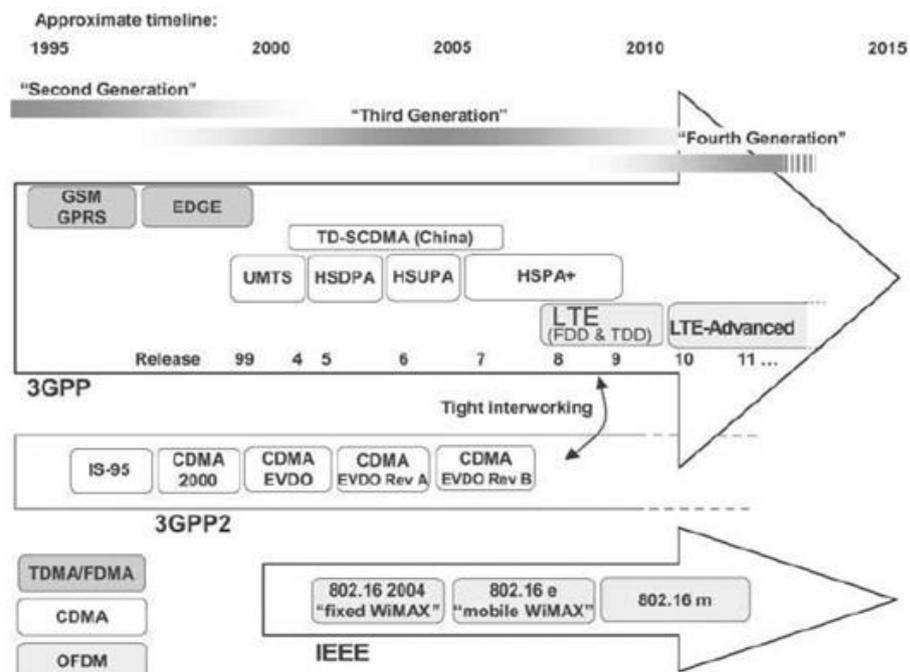


Figura 2.3: Cronología de los estándares de las comunicaciones móviles

Fuente: (Sesia, 2011)

2.4. Características

- Velocidades de transmisión de pico de 100 Mbps en el enlace de bajada y 50 Mbps en el enlace de subida, como resultado se obtiene una mejor velocidad de transmisión al borde de cada celda.
- La eficiencia espectral es mejor mediante FDD (Duplexación por división de frecuencia) y TDD (Duplexación por división de tiempo).
- Tecnología MIMO.
- Modulación adaptativa.
- Latencia es inferior a 10 ms.
- Ancho de banda adaptivo de 1.4 MHz hasta 20 MHz.
- Arquitectura de red simplificada IP
- Movilidad fluida.
- Frecuencias de 700 MHz a 2.6 GHz.

Una de las principales características es que LTE no consta de un controlador centralizado en su red de acceso E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) como se observa en la figura 2.4 que a diferencia de otras redes como la 2G y la 3G que se compone por un controlador de radio o un controlador de estaciones bases, debido a esta característica la arquitectura LTE se considera plana.

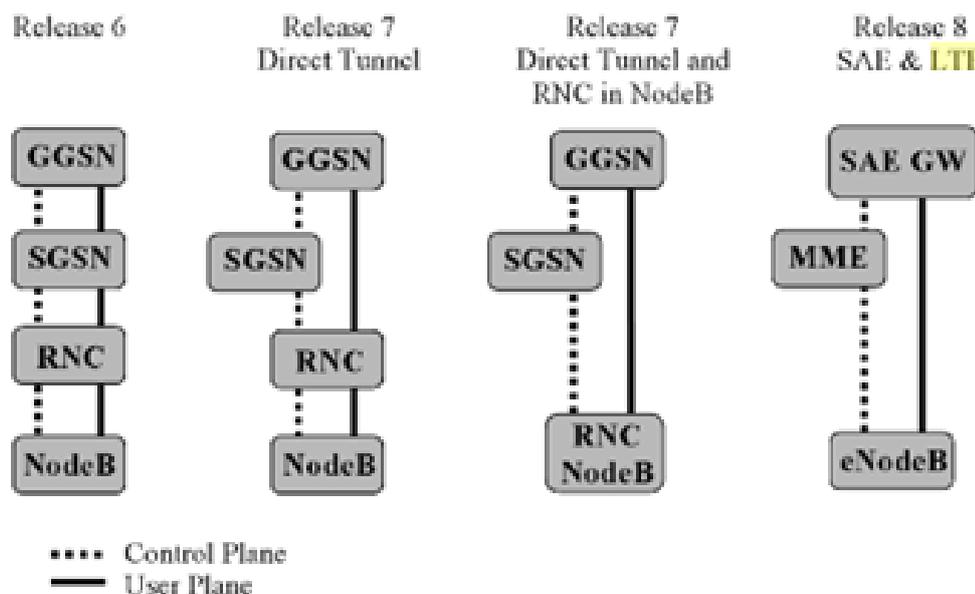


Figura 2.4: Evolución de la arquitectura móvil
Fuente:(Holma & Toskala, 2009)

2.5. Arquitectura LTE

LTE abarca la evolución del acceso de radio a través de la Red de Acceso Radio Terrestre Universal Evolutiva (EUTRAN). LTE se acompaña de una evolución de los aspectos no radioeléctricos bajo el nombre System Architecture Evolution (SAE) que incluye la red Evolved Packet Core (EPC). Juntos, LTE y SAE comprenden el Evolved Packet System (EPS). (Sukar & Pal, 2014)

La figura 2.5 muestra que la arquitectura LTE está compuesta por:

- Equipo de usuario.
- Red de acceso E-UTRAN.
- Red troncal EPC.
- Redes externas.

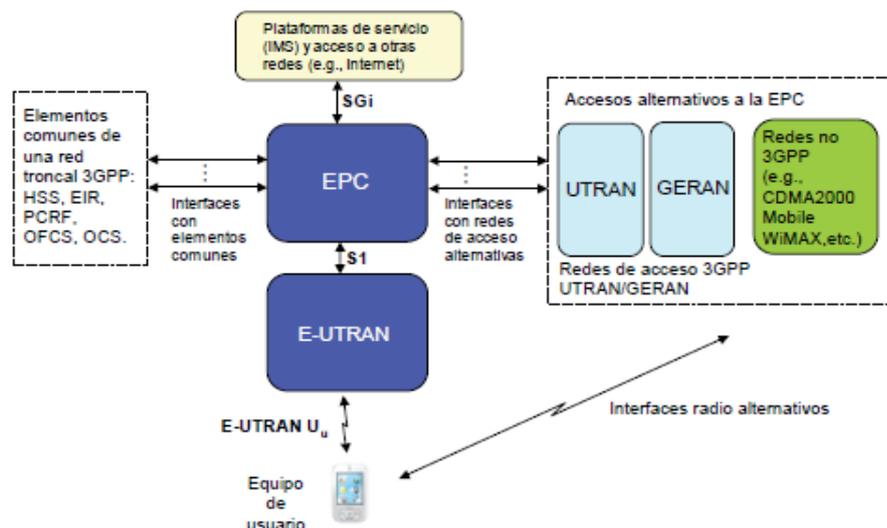


Figura 2.5: Arquitectura básica LTE

Fuente: (Agustí, 2010)

2.5.1. Red de acceso E-UTRAN

La red de acceso E-UTRAN se compone únicamente por un tipo de elemento de red que cumple el rol de una radiobase que en LTE se denomina e-NodeB como se muestra en la figura 2.6. Las funciones de los eNodeBs son:

- Responsables de la gestión y asignación de recursos radio.
- Control de la movilidad.

- Conectividad con EPC.

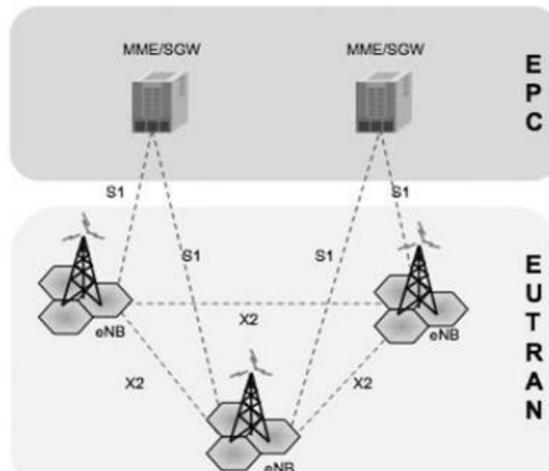


Figura 2.6: Red de acceso E-UTRAN
Fuente:(Sukar & Pal, 2014)

2.5.2. Red Troncal EPC

La principal función de una red troncal EPC es proporcionar un servicio de conectividad IP. Se observa en la figura 2.7 la red troncal EPC que se compone por:

- MME (Mobility Management Entity).
- S-GW (Serving Gateway).
- P-GW (Packet Data Network Gateway).

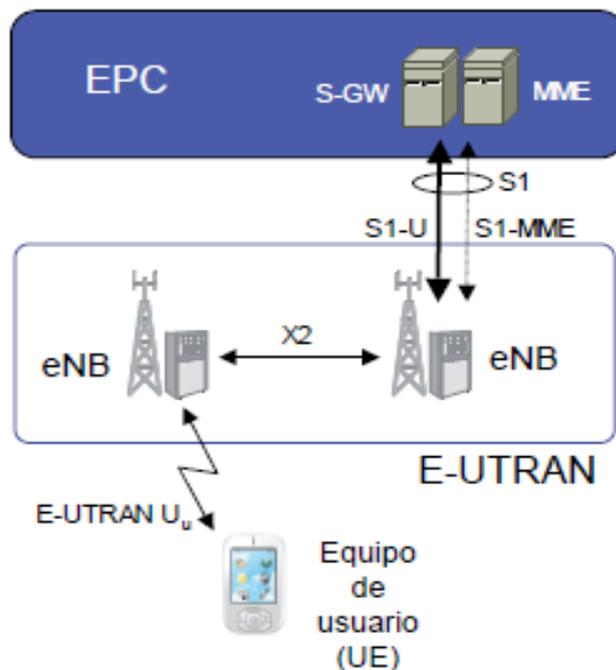


Figura 2.7: Red EPC
Fuente: (Agustí, 2010)

El elemento de red MME administra el plano de control de la red como la autenticación de usuarios, generación de identidades temporales a equipos de usuarios y manejo la señalización durante handovers. El S-GW y el P-GW proveen la conectividad de plano de usuario entre la red de radio acceso y redes de datos externas, como Internet. Además incluye otro nodo lógico perteneciente a las redes 3GPP como HSS (The Home Subscriber Server) que es la base de datos que contiene los perfiles de equipos de usuario y los datos de autenticación

2.6. IMS

El subsistema IMS (IP Multimedia Subsystem) proporciona los mecanismos de control necesarios para proporcionar de servicios de comunicación multimedia basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE. Así, el subsistema IMS se materializa mediante el despliegue de infraestructura constituida por una serie de elementos como servidores, bases de datos y pasarelas que se comunican entre sí mediante diversos protocolos que permiten gestionar la provisión de servicios tales como voz y video sobre IP, presencia y mensajería instantánea, servicios de llamadas en grupo.

El acceso de los terminales a dicha infraestructura se realiza a través de los servicios de conectividad IP que proporciona la red LTE. La provisión de servicios en redes de comunicaciones móviles a través de IMS pretende sustituir a medio-largo plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito, perspectiva avalada por el hecho de que la nueva red de acceso E-UTRAN ya ha sido diseñada de forma que no proporciona acceso al dominio de circuitos.(Agustí, 2010)

2.7. Interfaces

Las interfaces son las pasarelas que permiten la comunicación de la red EPC con la red E-UTRAN y también para poder comunicarse con los demás elementos dentro de una misma red ya sea la red EPC o E-UTRAN, en la tabla 2.3 y 2.4 se muestra las interfaces de conexión dentro de la arquitectura LTE.

2.7.1. Interfaces red EPC

Tabla 2.3: Interfaces red EPC

| Interfaz | Entidades de red asociadas |
|----------|----------------------------|
| S1 - MME | MME y E-UTRAN (eNB) |
| S1 - U | S-GW y E-UTRAN (eNB) |
| SGi | P-GW y Redes Externas |
| S6a | MME y HSS |
| S5/S8 | P-GW y S-GW |
| S11 | MME y S-GW |
| S10 | MME y MME |

Elaborado por: Autor

2.7.2. Interfaces red E-UTRAN

Tabla 2.4: Interfaces red E-UTRAN

| Interfaz | Entidades de red asociadas |
|-----------|----------------------------|
| E-UTRANUu | eNB y UE |
| X2 | eNB y eNB |
| S1 - MME | eNB y EPC (MME) |
| S1 - U | eNB y EPC (S-GW) |

Elaborado por: Autor

2.8. Trama

En la capa física LTE, la estructura de trama LTE es de dos tipos:

2.8.1. Estructura de trama FDD

Funciona en los modos FDD semidúplex y dúplex completo. En la figura 2.8 muestra el tipo de cuadro de radio que tiene una duración de 10 ms y consta de 20 ranuras, con cada ranura teniendo la misma duración de 0.5 ms. Un subtrama consta de dos ranuras; por lo tanto, una trama de radio tiene 10 subtramas. En el modo FDD, la transmisión de enlace descendente y de enlace ascendente se divide en el dominio de la frecuencia; de modo que, la mitad de las subtramas totales se usan para el enlace descendente y la mitad para el enlace ascendente, en cada intervalo de trama de radio de 10 ms. (Sukar & Pal, 2014)

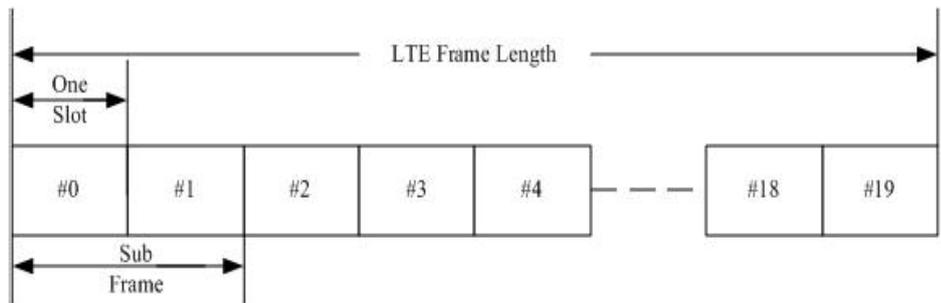


Figura 2.8: Estructura de la trama LTE modo FDD
Fuente: (Sukar & Pal, 2014)

2.8.2. Estructura de trama TDD

Comprende dos tramas idénticas de 5 ms de duración cada uno. En la figura 2.9 se observa que cada subtramas especiales que constan de tres campos: Período de guarda (GP), Ranura del piloto del enlace descendente (DwPTS) y Ranura del piloto del enlace ascendente (UpPTS). Cada subtrama tiene una longitud total de 1 ms, según las especificaciones de LTE. Existe una subtrama especial en ambos medios cuadros en el caso de una periodicidad de punto de conmutación de 5 ms; mientras que, para una periodicidad de punto de conmutación de 10 ms, el marco especial existe solo en el primer medio cuadro.(Sukar & Pal, 2014)

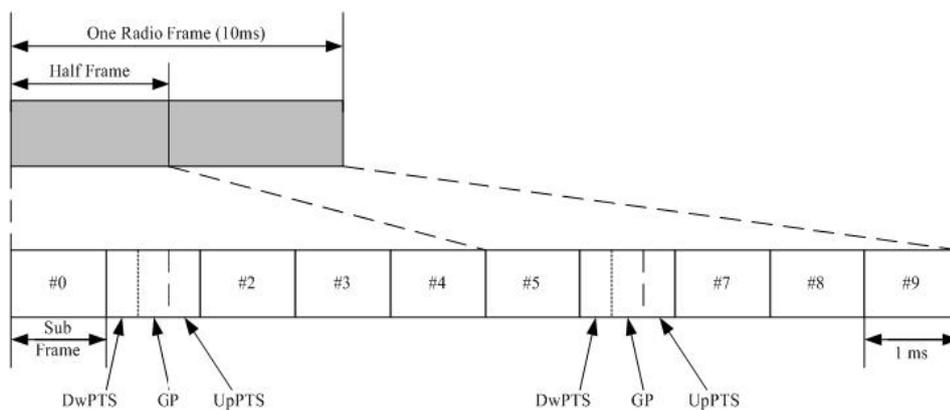


Figura 2.9: Estructura de la trama LTE modo TDD
Fuente:(Sukar & Pal, 2014)

2.9. Tecnologías a nivel físico

La elección de una técnica adecuada de modulación y acceso múltiple para la conexión inalámbrica móvil las comunicaciones de datos son fundamentales para lograr un buen rendimiento del sistema.

2.9.1. OFDMA

Se basa en la técnica multiusuario conocida como OFDM que se utiliza para que múltiples personas puedan compartir el espectro en un canal. El acceso múltiple se logra cuando OFDMA distribuye subportadoras a diferentes usuarios al mismo tiempo como se muestra en la figura 2.10 de modo que múltiples usuarios pueden recibir datos simultáneamente. Esta técnica es utilizada para el enlace descendente en LTE. OFDMA tiene las siguientes características:

- Ya está ampliamente implementado y es especialmente adecuado para aplicaciones de transmisión o downlink en LTE debido a la baja complejidad del receptor.
- La baja complejidad del receptor también lo hace adecuado para esquemas MIMO.
- Se logran altas velocidades de transmisión de banda ancha, con bajo receptor complejidad.
- Explora subportadoras ortogonales para evitar el desperdicio de espectro.
- Equilibra la tolerancia de Doppler.
- El flujo de datos de alta velocidad de bits pasa a través del modulador, donde se aplican esquemas de modulación adaptativos como BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM.

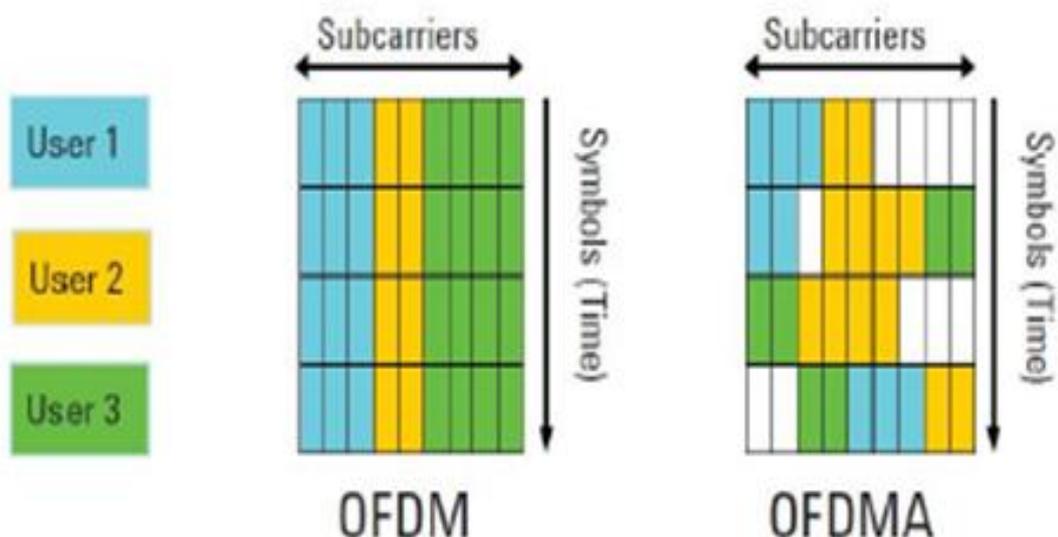


Figura 2.10: OFDM y OFDMA

Fuente: (Dahlman, 2007)

2.9.2. SC-FDMA

La técnica de acceso múltiple seleccionada SC-FDMA utiliza modulación de portadora única, multiplexación de frecuencia ortogonal y ecualización en el dominio frecuencial que permite a los usuarios poder compartir un canal de comunicación con los demás usuarios. Es utilizado para el enlace ascendente en LTE. Presenta las siguientes características:

- Transmisión de enlace ascendente en LTE de manera ortogonal por diferentes equipos de usuario
- Minimizar la interferencia intracelular.
- Maximizar la capacidad.
- Flexibilidad para admitir una amplia gama de velocidades de datos.
- Permite que la velocidad de datos sea adaptado a la relación Señal-a-Interferencia-más-ruido (SINR).
- Capacidad de explotar la diversidad de frecuencia que ofrece el canal de banda ancha (hasta 20 MHz), incluso cuando se transmite a velocidades de datos bajas.
- Soporte para técnicas avanzadas de antenas múltiples.
- Explotar la diversidad espacial y mejorar la capacidad de enlace ascendente.

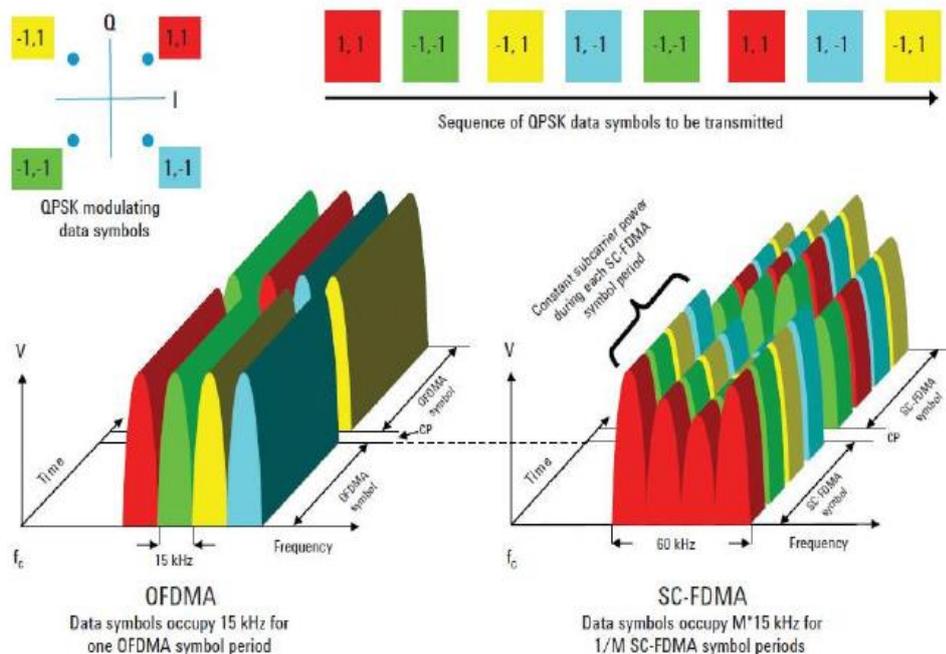


Figura 2.11: OFDMA Y SC-FDMA en LTE

Fuente:(Dahlman, 2007)

2.10. Sistema MIMO

MIMO representa un sistema de comunicaciones que utiliza dos o más antenas en el extremo transmisor, y receptor para brindar eficiencia espectral. LTE fue el primer sistema celular diseñado con MIMO. Como se muestra en la figura 2.12 hay 4 antenas en la base estación y 4 antenas en la estación móvil, por ejemplo cada antena de la estación base puede enviar datos a cualquier antena en el estación móvil y al revés. La antena TX1 puede enviar datos a la antena RX1 a través de canal h_{11} , a la antena RX2 a través del canal h_{12} y así sucesivamente. Los sistemas MIMO se pueden dividir de la siguiente forma:

- MIMO de usuario único (SU-MIMO) presenta un enlace de antena múltiple punto a punto entre una estación base y un equipo de usuario. Envía la información entre las antenas simultáneamente, pero codificadas de manera distinta y dirigidas al mismo usuario, es por ello que se le denomina SU-MIMO.
- MIMO multiusuario (MU-MIMO) presenta varios equipos de usuarios que se comunican simultáneamente con una estación base común utilizando los mismos recursos de dominio de frecuencia y tiempo. Es utilizado para el enlace de subida como el de bajada.

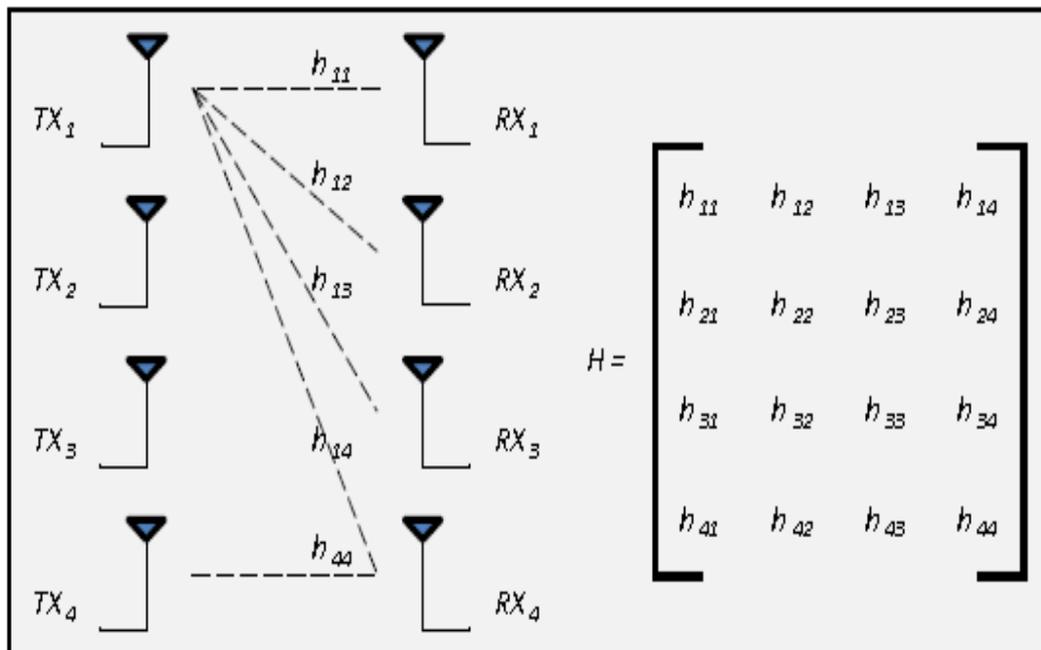


Figura 2.12: Configuración MIMO

Fuente:(Eberle, 2010)

2.10.1. Características MIMO

- Permite alcanzar mayores tasas de bits, debido a la creación de varios canales paralelos.
- diversidad contra los efectos del desvanecimiento si las antenas están desplegadas relativamente lejos una de la otra ya que en este caso las características del canal no están correlacionadas.
- Se pueden implementar hasta cuatro y ocho antenas en cada lado de MIMO respectivamente (entrada y salida).
- Mejorar el rendimiento del enlace en términos de una o más métricas posibles.
- Mejora la tasa de error, velocidad de datos de comunicación, área de cobertura y eficiencia espectral (expresada en bps / Hz / celda).
- El uso de múltiples antenas también puede conseguir una ganancia de

2.11. Técnicas Dúplex

En el caso de las redes celulares, el espectro es un recurso limitado que debe compartirse con todos los usuarios para que sea posible la comunicación dúplex completa, por eso es necesario la utilización de técnicas mediante el cual necesario dividir el ancho de banda como se muestra en la figura 2.13. Los dos principales métodos utilizados son FDD (Frequency-division duplexing) y TDD (Time-division duplexing) como se observa en la tabla 2.5 se describe las principales características de cada método.

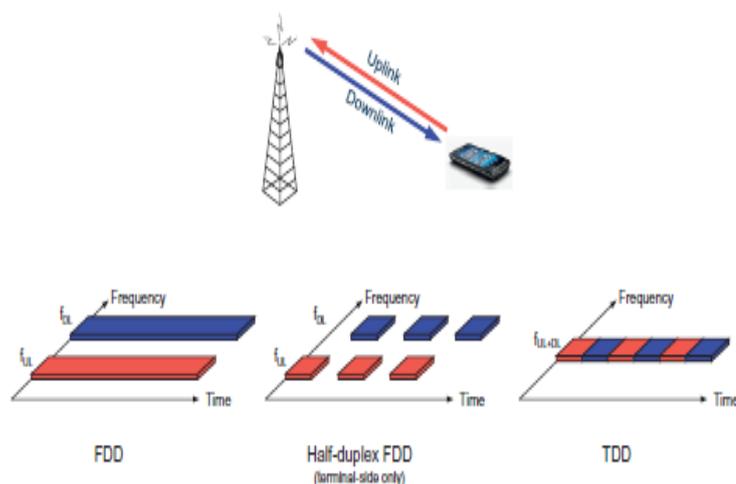


Figura 2.13: Dúplex de frecuencia y división de tiempo
Fuente:(Yonis, 2012)

Tabla 2.5: Comparación entre FDD-LTE Y TDD-LTE

| FDD-LTE | TDD-LTE |
|--|--|
| Generalmente es más adecuado para aplicaciones como llamadas de voz que tienen tráfico simétrico, porque el tráfico en ambas direcciones es siempre constante. | Es mejor en reasignar el tráfico que FDD LTE como Internet u otros datos servicios céntricos. |
| FDD LTE es full dúplex esto significa que tanto la carga como la descarga están siempre disponible. | TDD LTE es semidúplex, ya que tanto la carga como la descarga pueden usar el canal pero no al mismo tiempo |
| Con FDD, el ancho de banda no se puede reasignar dinámicamente y se desperdicia el ancho de banda no utilizado. | TDD puede asignar más tiempo para la parte que requiere más ancho de banda, equilibrando así la carga. |

Fuente: (Yonis, 2012)

2.12. LTE Advanced

LTE-Advanced es la evolución de LTE. Los requerimientos de LTE-Advanced se distinguen en categorías generales como las capacidades de velocidad de transmisión de pico, latencias, prestaciones del sistema como la eficiencia espectral, movilidad, cobertura, despliegue, arquitectura E-UTRAN y migración. (Agustí, 2010)

- Agregación de banda hasta 100 MHz y velocidades de pico de hasta 1 Gbit/s en el downlink y 500 Mbit/s en el uplink.
- Extensión de soluciones multi-antena, con hasta 8 niveles en el downlink y 4 niveles en el uplink.
- Repetidores, como mecanismo para mejorar la cobertura y reducir el coste de despliegue.

2.13. LTE en Ecuador

Esta tecnología en Ecuador ha sido aplicada por las prestadoras de servicios la cual al pasar del tiempo han decidido implementar la tecnología LTE para el mejoramiento del servicio ya que ofrece más ventajas como mayores velocidades cual mejora notablemente la navegación de internet.

2.13.1. Bandas de Frecuencias

En Ecuador tres empresas son las encargadas de brindar el servicio de internet móvil Claro, Movistar y CNT utilizando diferentes tecnologías operando en distintas bandas de frecuencia.

Tabla 2.6: Bandas de operación de Claro

| Interfaz | Banda de frecuencia |
|----------|----------------------|
| GSM | 850 |
| UMTS | B2 (1900 PCS) |
| UMTS | B5 (850) |
| LTE | B4 (1700/2100 AWS 1) |

Fuente: (ARCOTEL, 2017)

Tabla 2.7: Bandas de operación de CNT

| Interfaz | Banda de frecuencia |
|----------|----------------------|
| GSM | 1900 (PCS) |
| UMTS | B2 (1900 PCS) |
| LTE | B4 (1700/2100 AWS 1) |

Fuente: (ARCOTEL, 2017)

Tabla 2.8: Bandas de operación de Movistar

| Interfaz | Banda de frecuencia |
|----------|---------------------|
| GSM | 850 |
| UMTS | B2 (1900 PCS) |
| UMTS | B5 (850) |
| LTE | B2 (1900 PCS) |

Fuente: (ARCOTEL, 2017)

En la tabla 2.6 se observa que Claro Ecuador utiliza 1 banda GSM, 2 bandas UMTS y 1 banda LTE. En la tabla 2.7 se observa que CNT utiliza 1 banda GSM, 1 banda UMTS y 1 banda LTE. En la tabla 2.8 se observa que Movistar Ecuador utiliza 1 banda GSM, 2 bandas UMTS y 1 banda LTE.

2.13.2. Evolución de las tecnologías a través del tiempo

Las tres empresas más importantes en el Ecuador se han visto en la necesidad de aumentar la calidad del servicio debido a la exigencias de los suscriptores es por esto que cada vez más las empresas buscan implementar nuevas tecnologías.

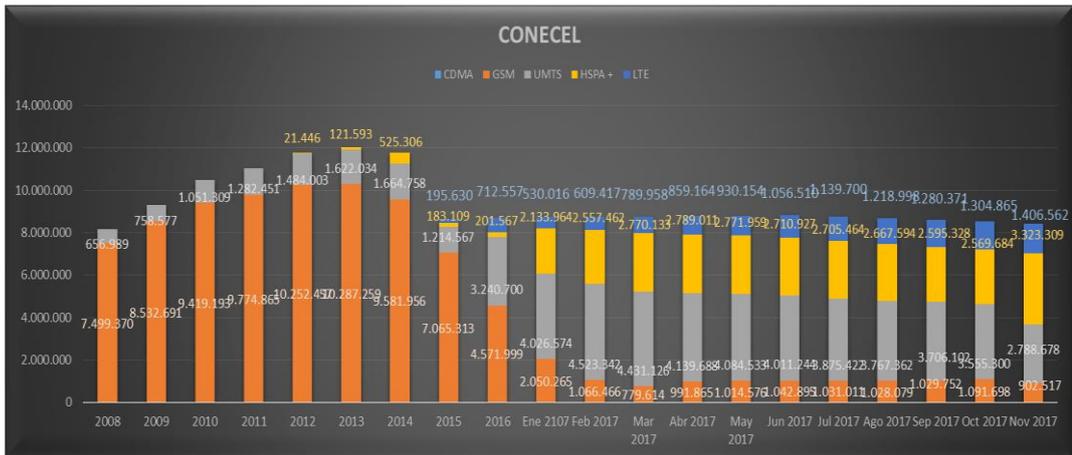


Figura 2.14: Evolución de líneas activas según la tecnología en CONECEL
Fuente:(ARCOTEL, 2017)



Figura 2.15: Evolución de líneas activas según la tecnología en OTECEL
Fuente: (ARCOTEL, 2017)

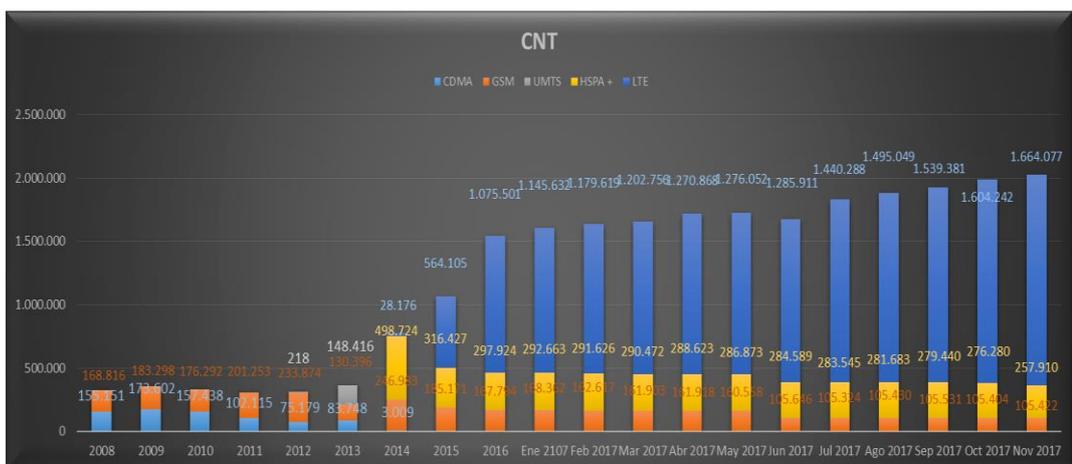


Figura 2.16: Evolución de líneas activas según la tecnología en CNT
Fuente:(ARCOTEL, 2017)

La figura 2.14 muestra que el proveedor CONECEL tiene muchas más líneas activas que otras empresas, a partir del 2015 se comenzó a brindar la tecnología LTE pero el aumento de las líneas LTE era limitada debido a su limitada cobertura y el 2016 y a inicios del 2017 se vio un considerable aumento de las líneas activas como se observa la barra de color azul representada para LTE.

La figura 2.15 muestra las líneas activas en OTECEL comenzó a brindar la tecnología LTE a partir del 2015 pero con una pequeña cantidad de líneas LTE, a finales del 2017 OTECEL disminuyó líneas de la tecnología GSM, UMTS y HSPA+ para incrementar las líneas LTE. En la figura 2.16 muestra que el proveedor CNT es la empresa que tiene menos suscriptores móviles, CNT a partir el 2015 tuvo un leve incremento de las tecnología LTE, y en el 2017 las tecnología LTE tuvo un incremento considerable y las líneas GSM y HSPA+ fueron decreciendo.

2.13.3. Evolución de las tecnologías por provincias

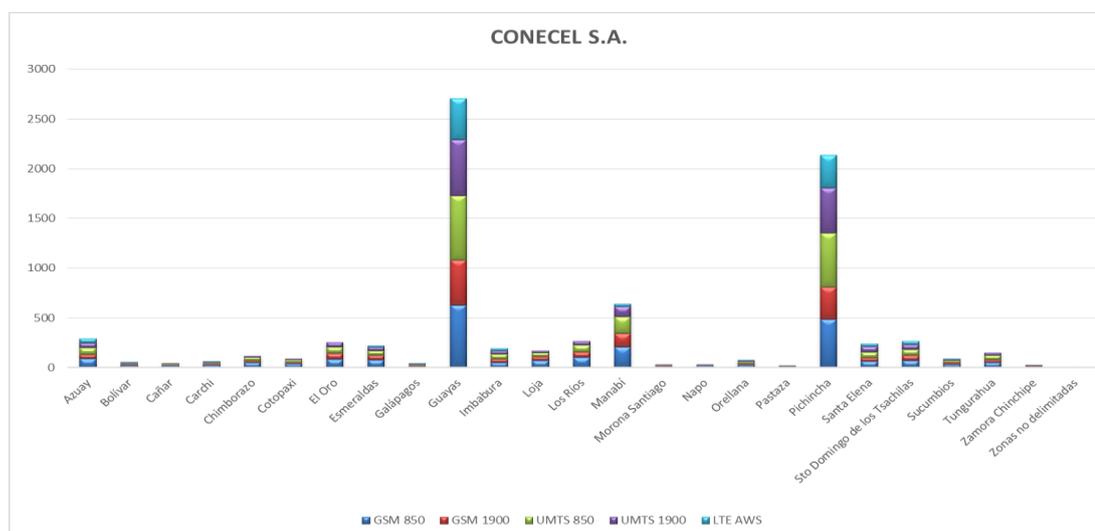


Figura 2.17: Evolución de las tecnologías por provincias en CONECEL
Fuente: (ARCOTEL, 2017)

Las tres empresas proveedoras de internet como son OTECEL, CONECEL y CNT son las más importantes del Ecuador han decidido utilizar la tecnología LTE para mejorar el servicio. . En la figura 2.17 se observar que la empresa CONECEL ha tenido una mayor evolución en las provincias del

Guayas y Pichincha, en el Guayas es la provincia con mayor evolución de las tecnologías. En la figura 2.18 muestra que la empresa OTECEL tuvo la mayor evolución de las tecnologías en la provincia de Pichincha además cuenta con tecnologías anteriores. En la figura 2.19 muestra que la empresa CNT tuvo un mayor incremento tecnológico en la provincia de Pichincha.

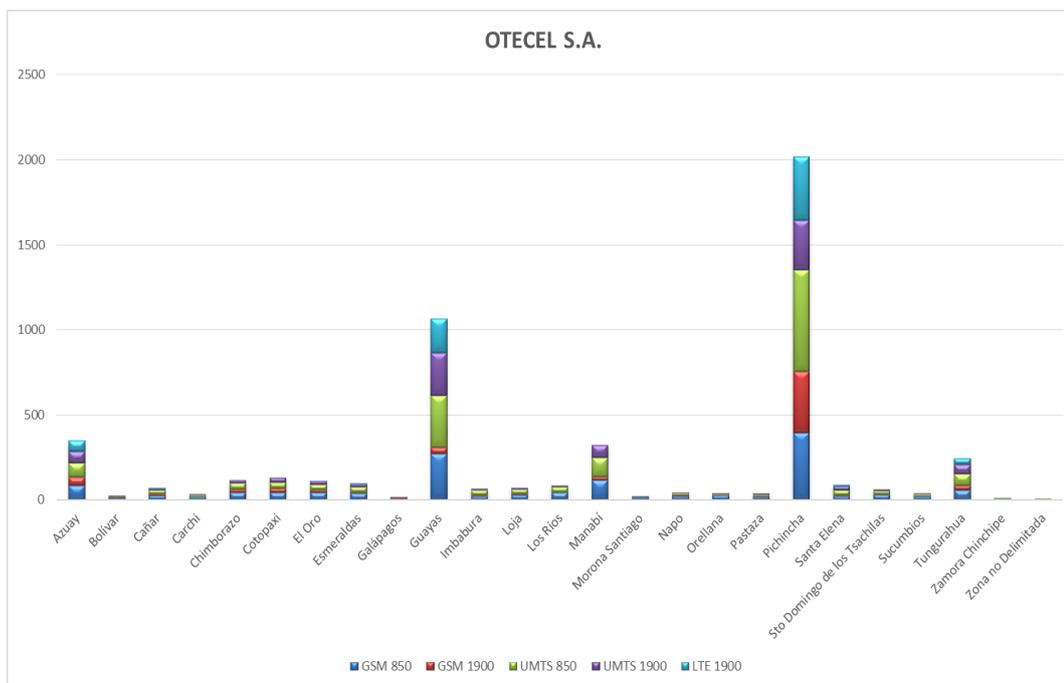


Figura 2.18: Evolución de las tecnologías por provincias en OTECEL
Fuente: (ARCOTEL, 2017)

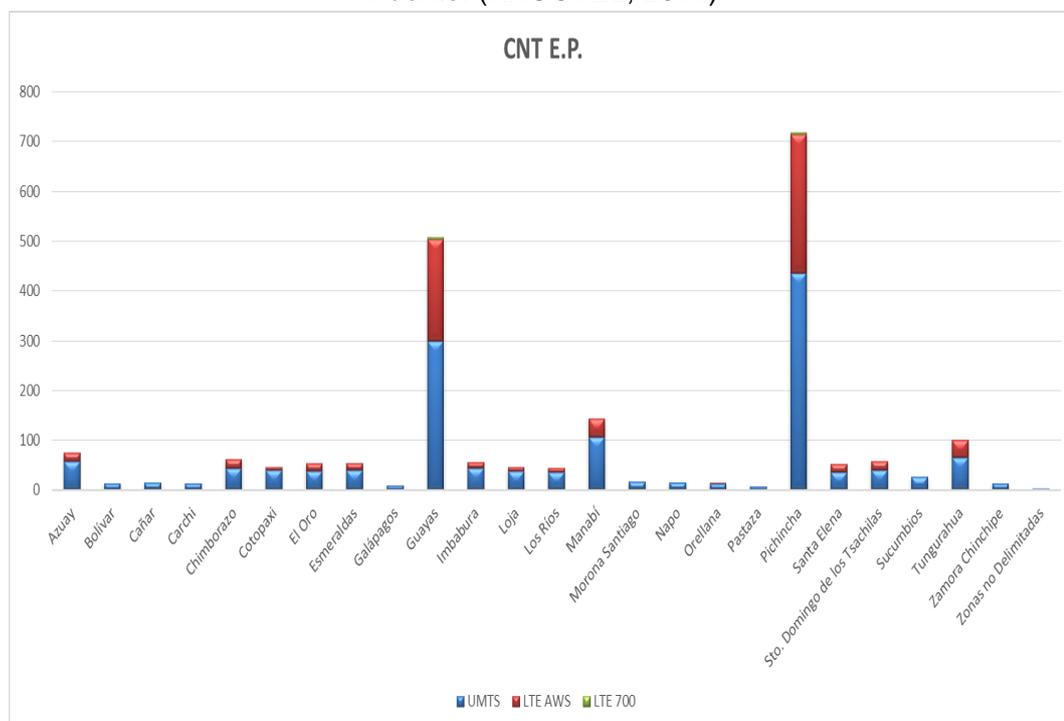


Figura 2.19: Evolución de las tecnologías por provincias en CNT
Fuente: (ARCOTEL, 2017)

2.14. Introducción a WiMAX

Uno de los principales problemas para la navegación de internet la sufren los proveedores es la saturación de las tecnologías que ya están implementadas provocan una mala experiencia al usuario. Además los usuarios de datos se encontraban limitados a una infraestructura cableada la cual muchas veces afectaba en la movilidad del usuario. Con WiMAX basado en el estándar IEEE 802.16 se busca mejorar el servicio de manera inalámbrica y el flujo de datos sea mucho más rápido.

2.15. Características

- Opera tanto en bandas licenciadas 2.3 GHz y 3.5 GHz para transmisiones a larga distancia y en bandas no licenciadas entre 5.8 GHz, 8 GHz y 11 GHz,
- Las bandas de frecuencias de las asignaciones del espectro que se tengan en cada región o país.
- La capa física se basa en OFDM, puede cubrir distancias muy amplias
- Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA).
- Soporta varios tipos de multiplexaciones, como lo es TDD (Time Division Duplexing) y FDD (Frequency Division Duplexing).
- Es escalable y puede acoplarse con otras tecnologías como lo es WiFi.
- Soporta aplicaciones como video y voz en un mismo canal.
- Utiliza antenas inteligentes que mejoran la eficiencia espectral.
- Arquitectura basada en IP, todos los servicios de extremo a extremo se entregan a través de una arquitectura IP.
- Velocidades de datos alta.
- Compatible con la movilidad.
- Aplicaciones de movilidad total con tolerancia al retraso, como VoIP.
- Seguridad robusta
- Soporte para técnicas avanzadas de antenas.

2.16. Evolución del estándar WiMAX

WiMAX es una tecnología basada en estándares que permite al usuario la conectividad de banda ancha inalámbrica ya sea en uso fijo o móvil sin

necesidad de visión directa a la estación base. Para mejorar el servicio a los usuarios el estándar ha ido evolucionando en la tabla 2.9 se observa la evolución del estándar 802.16

Tabla 2.9: Evolución estándar WiMAX

| Estándar | Descripción |
|-----------------|--|
| 802.16 | Utiliza espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz, necesita línea de visión directa, con una capacidad de hasta 134 Mbit/s en celdas de 3 a 7,5 km |
| 802.16a | Ampliación del estándar 802.16 hacia bandas de 2 a 11 GHz, con sistemas NLOS y LOS |
| 802.16c | Detalles del sistema en la banda de 10 a 66 GHz |
| 802.16d | Revisión del 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles aprobados por el WiMAX Forum. Aprobado como 802.16-2004 en junio de 2004 (la última versión del estándar). WiMAX fijo |
| 802.16e | Extensión del 802.16 que incluye la conexión de banda ancha nómada para elementos portátiles, WiMAX móvil |
| 802.16m | Extensión del 802.16 que entrega datos a velocidad de 100 Mbit/s en movimiento. Conocido como Mobile WiMAX Release 2 |

Fuente: (Ohrman, 2005)

2.17. WiMAX fijo y WiMAX móvil

La IEEE ha tenido una evolución en las comunicaciones inalámbricas como se observa en la figura 2.20, el estándar 802.16 es un estándar que ha ido evolucionando desde su creación y ocupa dos modelos de uso como son el fijo y el móvil. Los primero estándares no permitían movilidad la cual presentaba un problema con la evolución se le incluyo una movilidad fluida.

2.17.1. WiMAX fijo

- Modulación OFDM (varias portadoras) eficiencia espectral, 2 a 11 GHz con NLOS.
- Es una solución inalámbrica para acceso fijo a Internet de banda ancha
- Proporciona una solución de clase interoperable para la última milla.
- WiMAX acceso fijo implementa el 802.16-2004 funciona en las bandas de 2.5 y 3.5 GHz (con licencia) y 5.8 GHz (exento de licencia).

- WiMAX fijo es una tecnología tipo Wide Metropolitan Area Network (WMAN).
- Las operadoras mediante una red de estaciones base se puede proporcionar acceso inalámbrico en decenas de Km².
- Tasa binaria alrededor de 10 Mbps. Dependiendo del canal se puede llegar hasta 100 Mbps.

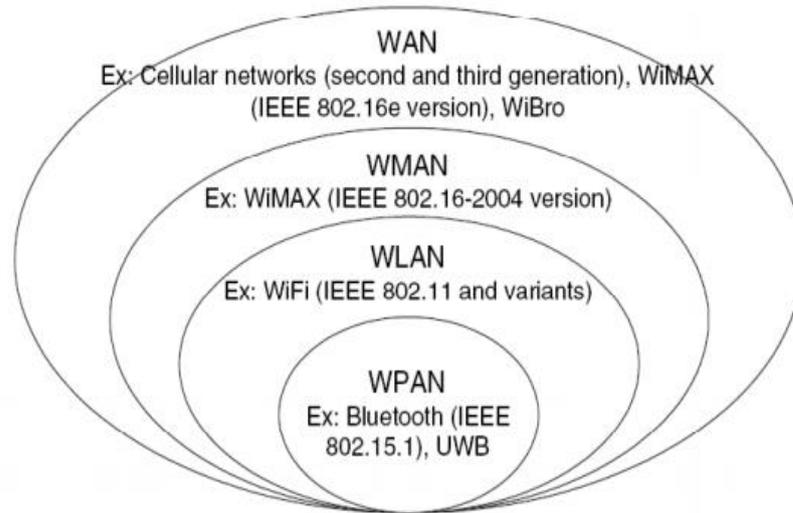


Figura 2.20: Estándares inalámbricos de banda ancha de la IEEE
Fuente:(Verma & Garg, 2013)

2.17.2. WiMAX Móvil

- Arquitectura de red flexible.
- La interfaz aire de WiMAX móvil es adopta OFDMA, lo cual es similar a OFDM en que divide en las subportadoras múltiples. OFDMA, sin embargo, va un paso más allá agrupando subportadoras múltiples en subcanales.
- Frecuencia portadora menor a 11 GHz en la que se consideran las bandas de 2.3 GHz, 2.5 GHz, y 3.5 GHz.
- Menos velocidad y alcance que WiMAX fijo.
- Permite movimiento.

2.18. Propagación WiMAX

La tecnología WiMAX ha sido muy utilizado en debido a su acceso inalámbrico de banda ancha. Por debajo de la frecuencia de 11 GHz en sus

condiciones de línea de visión (LOS) y no línea de vista (NLOS) donde opera, WiMAX tiene una gran cobertura en la señal.

2.18.1. LOS

El canal de radio de un sistema de comunicaciones inalámbrico es descrito a menudo como con línea de vista (LOS) o sin línea de vista (NLOS), en un enlace LOS, la señal viaja a través de un camino directo y sin obstrucciones desde el transmisor hasta el receptor. Un enlace LOS requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel esté libre de obstrucciones. En la figura 2.21 se muestra la zona de despeje de Fresnel la cual depende de la frecuencia de operación y de la distancia entre transmisor y localidades receptoras. (Kumar & Vaid, 2011)

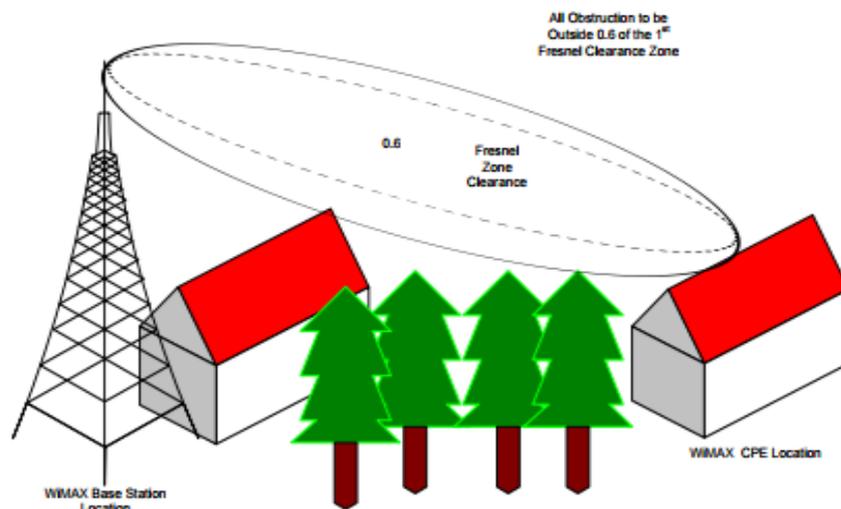


Figura 2.21: Zona de Fresnel LOS
Fuente: (Kumar & Vaid, 2011)

2.18.2. NLOS

En un enlace NLOS se usa para describir un trayecto de una señal desde la antena transmisora hacia los usuarios de una manera parcial que presenta una obstrucción entre la ubicación del transmisor de la señal y la ubicación del receptor de la misma. Los obstáculos incluyen árboles, edificios, montañas y otras estructuras. La señal alcanza al receptor por medio de reflexiones, difracciones y dispersiones como se muestra en la figura 2.22. Las señales que alcanzan al receptor consisten en componentes del camino directo, caminos reflejados múltiples, energía de dispersión y caminos de propagación

por difracción. Estas señales poseen distintos retardos, atenuaciones, polarizaciones y estabilidad relativa al camino directo.(Kumar & Vaid, 2011)

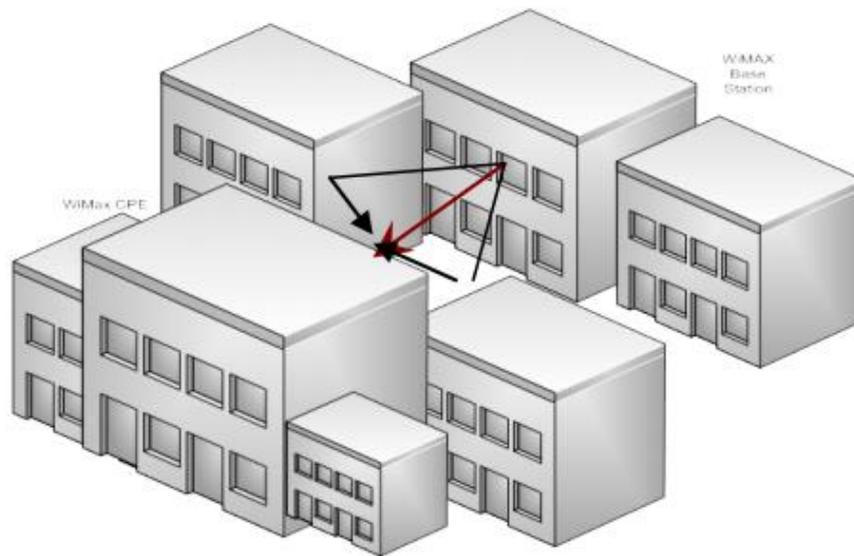


Figura 2.22: Propagación NLOS
Fuente:(Kumar & Vaid, 2011)

2.19. Arquitectura

Las entidades funcionales de la arquitectura WiMAX son agrupadas en tres elementos como se observa en la figura 2.23

- MS (Mobile Station),
- ASN (Access Service Network Gateway).
- CSN (Connectivity Service Network).

Red de servicio de conectividad (CSN): CSN proporciona conectividad a Internet, ASP, otras redes públicas y redes corporativas. El CSN es propiedad del NSP e incluye servidores AAA que admiten autenticación para los dispositivos, usuarios y servicios específicos. El CSN también proporciona administración de políticas por usuario de QoS y seguridad. El CSN también es responsable de la gestión de direcciones IP, gestión de ubicaciones entre ASN y movilidad y roaming entre ASN. Además, CSN también puede proporcionar puertas de enlace e interfuncionamiento con otras redes, como PSTN (red telefónica pública conmutada), 3GPP y 3GPP2. La estación móvil permite al usuario acceder a la red permitiendo conectividad con la estación

base, puede conectarse a una o varias estaciones base a través de un equipo local de cliente.

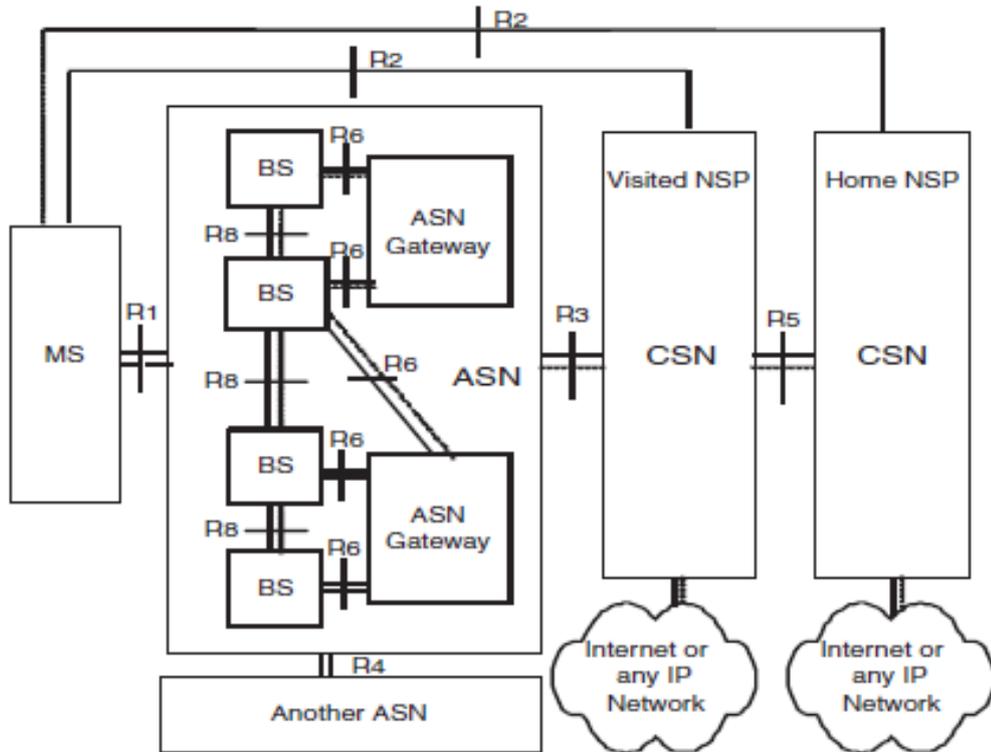


Figura 2.23: Arquitectura WiMAX
Fuente: (Nuaymi, 2007)

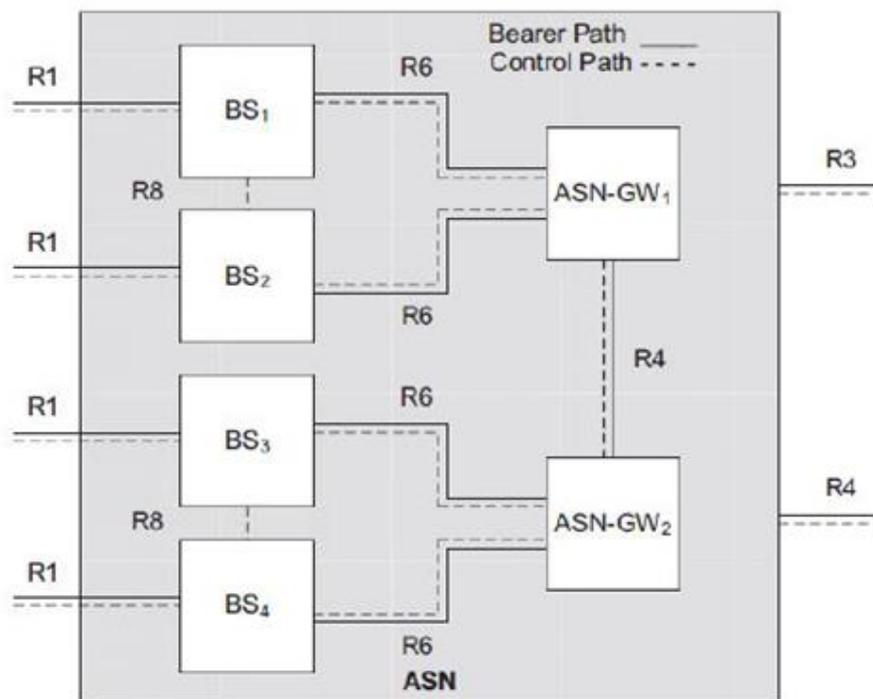


Figura 2.24: WiMAX con modelo de referencia ASN
Fuente: (Tingnan, 2013)

En la figura 2.24 se muestra las estaciones bases que son responsables de proporcionar la interfaz aérea a la estación móvil. Las funciones adicionales que pueden ser parte de la estación base son funciones de gestión de micromobilidad, gestión de recursos de radio, aplicación de políticas de QoS, clasificación de tráfico, proxy DHCP (Protocolo de control de host dinámico), gestión de claves, gestión de sesión y multidifusión.

Puerta de enlace de la red de acceso de acceso (ASN-GW): la puerta de enlace de ASN normalmente actúa como un punto de agregación de tráfico de capa 2 dentro de un ASN. Las funciones adicionales que pueden ser parte del gateway ASN gestión de recursos de radio y control de admisión, almacenamiento en memoria caché de perfiles de abonado y claves de cifrado, funcionalidad del cliente AAA, establecimiento y gestión del túnel de movilidad con estaciones base, QoS y aplicación de políticas, funcionalidad de agente extranjero para IP móvil y enrutamiento al CSN seleccionado.

2.20. Capa Física

La capa física WiMAX se basa en la multiplexación por división de frecuencia ortogonal. OFDM es el esquema de transmisión de elección para permitir comunicaciones de datos, video y multimedia de alta velocidad y es utilizado por una variedad de sistemas comerciales de banda ancha, incluyendo DSL, Wi-Fi, Digital Video Broadcast-Handheld (DVB-H), además de WiMAX. OFDM es un esquema eficiente para transmisión de alta velocidad de datos en un entorno de radio multilínea o sin visibilidad directa.

2.20.1. OFDM

Se basa en la idea de dividir un flujo de datos de alta velocidad binaria en varias secuencias paralelas de velocidad de bit más baja y modular cada flujo en portadoras separadas, a menudo llamadas subportadoras. Este esquema ofrece una buena resistencia a la propagación por trayectos múltiples y permite que WiMAX funcione en condiciones NLOS. Actualmente, OFDM es ampliamente reconocido como el método de elección para mitigar la propagación por trayectos múltiples para banda ancha inalámbrica,

aprovecha el fenómeno físico de la propagación multicamino para lograr la eficiencia espectral y aumentar velocidades de transmisión.(Andrews & Ghosh, 2007)

2.20.2. Subcanalización OFDMA

WiMAX móvil basado en OFDMA-PHY permite subcanalización tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente y los subcanales forman la unidad de recurso de frecuencia mínima asignada por la estación base. Por lo tanto, se pueden asignar diferentes subcanales a diferentes usuarios como un mecanismo de acceso múltiple. Este tipo de esquema de accesos múltiples se denomina acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia (OFDMA).

WiMAX móvil utiliza OFDM como una técnica de acceso múltiple, mediante la cual se puede asignar a diferentes usuarios diferentes subportadoras. OFDM se puede usar como un esquema de accesos múltiples, donde diferentes subportadoras se dividen entre múltiples usuarios. Este esquema se conoce como OFDMA. Este esquema también ofrece la capacidad de proporcionar granularidad en la asignación de canales. En canales de variación de tiempo relativamente lentos, es posible mejorar significativamente la capacidad adaptando la velocidad de datos por abonado de acuerdo con la relación señal / ruido de esa subportadora particular.(Andrews & Ghosh, 2007)

2.20.3. Trama

La capa WiMAX PHY también es responsable de la asignación de franjas y el encuadre en el aire. El recurso mínimo de frecuencia de tiempo que un sistema WiMAX puede asignar a un enlace determinado se denomina ranura. Cada ranura consiste en un subcanal sobre uno, dos o tres símbolos OFDM, dependiendo del esquema de subcanalización particular utilizado. Una serie contigua de slots asignados a un usuario dado se llama región de datos de ese usuario; los algoritmos de programación podrían asignar regiones de datos a diferentes usuarios, en función de la demanda, los requisitos de QoS y las condiciones del canal.

La Figura 2.25 muestra una trama OFDM cuando se opera en modo TDD. La trama se divide en dos subtramas: una trama de enlace descendente seguida de una trama de enlace ascendente después de un pequeño intervalo de guarda. WiMAX también admite duplexación por división de frecuencia, en cuyo caso la estructura de trama es la misma excepto que tanto el enlace descendente como el enlace ascendente se transmiten simultáneamente a través de diferentes operadores.

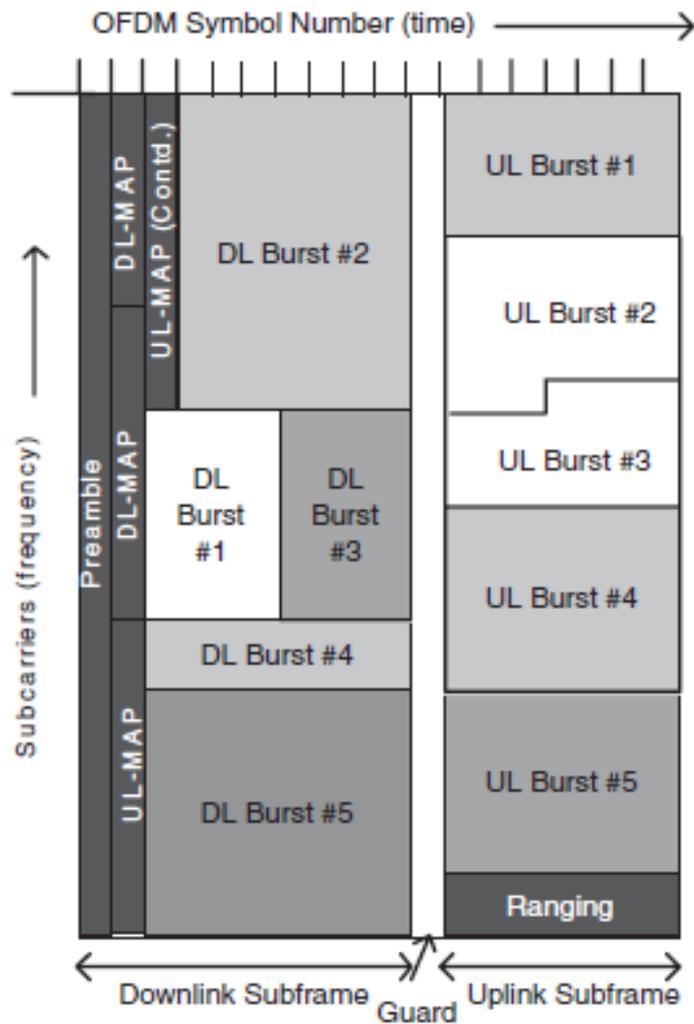
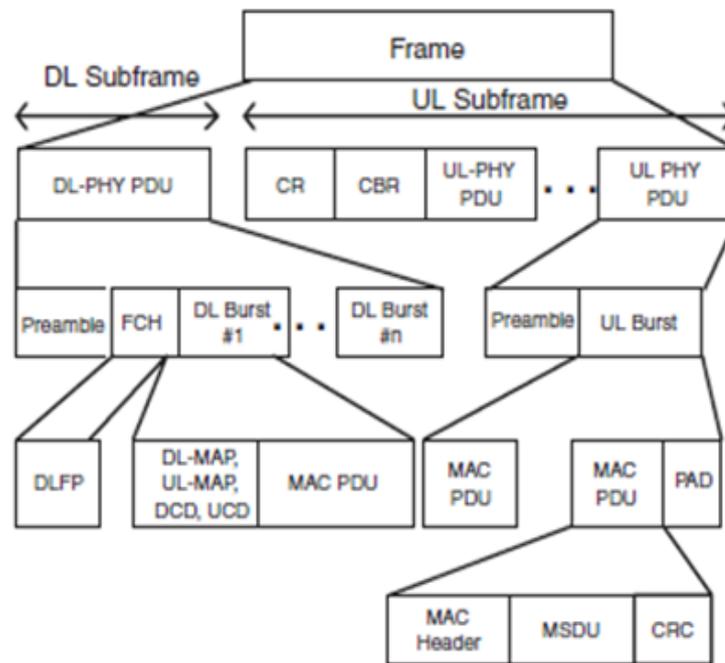


Figura 2.25: Trama TDD para WiMAX Mobil
Fuente:(Andrews & Ghosh, 2007)

Como se muestra en la Figura 2.26 la subtrama de enlace descendente comienza con un preámbulo de enlace descendente que se usa para procedimientos de capa física, tales como sincronización de tiempo y frecuencia y estimación de canal inicial. El preámbulo de enlace descendente va seguido de un encabezado de control de trama (FCH), que proporciona

información de configuración de trama, tal como la longitud del mensaje MAP, el esquema de modulación y codificación, y las subportadoras utilizables. A múltiples usuarios se les asignan regiones de datos dentro de la trama, y estas asignaciones se especifican en los mensajes MAP de enlace ascendente y enlace descendente (DL-MAP y UL-MAP) que se emiten siguiendo el FCH en la subtrama de enlace descendente.



CR: Contention Region
 CBR: Contention for Bandwidth Request

Figura 2.26 : Estructura de la trama WiMAX

Fuente:(Andrews & Ghosh, 2007)

Los mensajes MAP incluyen el perfil de ráfaga para cada usuario, que define el esquema de modulación y codificación utilizado en ese enlace. Como MAP contiene información crítica que necesita llegar a todos los usuarios, a menudo se envía a través de un enlace muy confiable, como BPSK con codificación de frecuencia 1/2 y codificación de repetición.

Aunque los mensajes MAP son una forma elegante para que la estación base informe a los diversos usuarios de sus asignaciones y perfiles de ráfaga en cada fotograma, podría generar una sobrecarga significativa, particularmente cuando hay una gran cantidad de usuarios con paquetes

pequeños (por ejemplo, VoIP) para la cual se debe especificar la asignación. (Andrews & Ghosh, 2007)

2.20.4. Modulación adaptativa y codificación

WiMAX admite una variedad de esquemas de modulación y codificación y permite que el esquema cambie en una ráfaga por ráfaga por enlace, dependiendo de las condiciones del canal. Usando el indicador de realimentación de calidad de canal, el móvil puede proporcionar a la estación base retroalimentación sobre la calidad del canal de enlace descendente. Para el enlace ascendente, la estación base puede estimar la calidad del canal, en función de la calidad de la señal recibida. (Andrews & Ghosh, 2007)

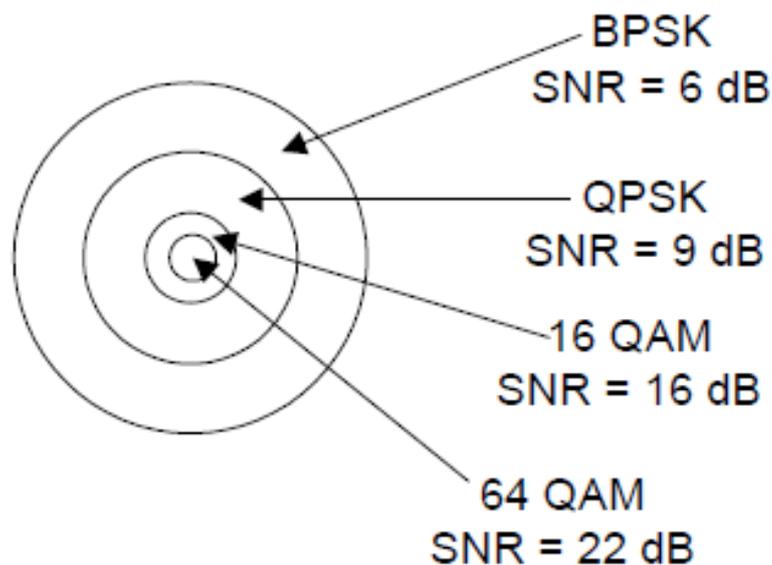


Figura 2.27: Modulación adaptativa
Fuente:(Andrews & Ghosh, 2007)

El planificador de la estación base puede tener en cuenta la calidad del canal del enlace ascendente y descendente de cada usuario, como se observa en la figura 2.27 esta técnica asigna un esquema de modulación y codificación a cada usuarios que maximice el rendimiento para la relación señal-ruido disponible de acuerdo a las distancia que tenga con la estación base. En el enlace descendente BPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM son obligatorias para WiMAX fijo y móvil; 64 QAM es opcional en el enlace ascendente.

2.20.5. Tasa de Datos

La capa física de WiMAX es bastante flexible, el rendimiento de la velocidad de datos varía según los parámetros operativos. Los parámetros que tienen un impacto significativo en la tasa de datos de la capa física son el ancho de banda del canal y el esquema de modulación y codificación utilizado. Otros parámetros, como el número de subcanales, el tiempo de protección OFDM y la tasa de sobremuestreo, también tienen un impacto.

Tabla 2.10: Velocidad de datos

| Channel bandwidth | 3.5MHz | | 1.25MHz | | 5MHz | | 10MHz | | 8.75MHz ^a | |
|--------------------------|----------------------------|-------|----------------|-----|-----------|-------|-------------|-------|----------------------|-------|
| PHY mode | 256 OFDM | | 128 OFDMA | | 512 OFDMA | | 1,024 OFDMA | | 1,024 OFDMA | |
| Oversampling | 8/7 | | 28/25 | | 28/25 | | 28/25 | | 28/25 | |
| Modulation and Code Rate | PHY-Layer Data Rate (kbps) | | | | | | | | | |
| | DL | UL | DL | UL | DL | UL | DL | UL | DL | UL |
| BPSK, 1/2 | 946 | 326 | Not applicable | | | | | | | |
| QPSK, 1/2 | 1,882 | 653 | 504 | 154 | 2,520 | 653 | 5,040 | 1,344 | 4,464 | 1,120 |
| QPSK, 3/4 | 2,822 | 979 | 756 | 230 | 3,780 | 979 | 7,560 | 2,016 | 6,696 | 1,680 |
| 16 QAM, 1/2 | 3,763 | 1,306 | 1,008 | 307 | 5,040 | 1,306 | 10,080 | 2,688 | 8,928 | 2,240 |
| 16 QAM, 3/4 | 5,645 | 1,958 | 1,512 | 461 | 7,560 | 1,958 | 15,120 | 4,032 | 13,392 | 3,360 |
| 64 QAM, 1/2 | 5,645 | 1,958 | 1,512 | 461 | 7,560 | 1,958 | 15,120 | 4,032 | 13,392 | 3,360 |
| 64 QAM, 2/3 | 7,526 | 2,611 | 2,016 | 614 | 10,080 | 2,611 | 20,160 | 5,376 | 17,856 | 4,480 |
| 64 QAM, 3/4 | 8,467 | 2,938 | 2,268 | 691 | 11,340 | 2,938 | 22,680 | 6,048 | 20,088 | 5,040 |
| 64 QAM, 5/6 | 9,408 | 3,264 | 2,520 | 768 | 12,600 | 3,264 | 25,200 | 6,720 | 22,320 | 5,600 |

Fuente:(Andrews & Ghosh, 2007)

La Tabla 2.10 muestra la velocidad de datos de la capa PHY en varios anchos de banda de canal, así como esquemas de modulación y codificación ya sea en el enlace ascendente o descendente. Las velocidades que se muestran son la tasa agregada de datos de capa física que se comparte entre todos los usuarios del sector para el caso TDD.

2.21. Tecnologías avanzadas de antenas

El estándar WiMAX proporciona un amplio soporte para la implementación de soluciones avanzadas de multiantena para mejorar el rendimiento del sistema. WiMAX también admite la multiplexación espacial,

donde se transmiten múltiples secuencias independientes a través de múltiples antenas. Si el receptor también tiene múltiples antenas, las secuencias se pueden separar utilizando el procesamiento de espacio-tiempo, en lugar de aumentar la diversidad, las antenas múltiples en este caso se utilizan para aumentar la velocidad de datos o la capacidad del sistema.

Suponiendo un extenso multitrayecto, la capacidad del sistema se puede aumentar linealmente con el número de antenas al realizar la multiplexación espacial. Por lo tanto, un sistema MIMO 2×2 dobla la capacidad máxima de rendimiento de WiMAX. Si la estación móvil tiene solo una antena, WiMAX aún puede soportar la multiplexación espacial codificando a través de múltiples usuarios en el enlace ascendente.(Andrews & Ghosh, 2007)

2.22. Técnicas Dúplex

WiMAX admite duplexación por división de tiempo (TDD) y duplexación por división de frecuencia (FDD). TDD es una técnica en la que el sistema transmite y recibe dentro del mismo canal de frecuencia, asignando segmentos de tiempo para los modos de transmisión y recepción. FDD requiere dos frecuencias separadas. TDD proporciona una ventaja donde un regulador asigna el espectro en un bloque adyacente. Con TDD, banda la separación no es necesaria. Por lo tanto, toda la asignación de espectro se usa de manera eficiente.(Ohrtman, 2005)

2.23. WiMAX en Ecuador

Varias empresas en Ecuador instalaron la tecnología WiMAX, empresas que poseían licencias para explotar WiMax como Andinatel, Telecom, TV Cable. La empresa de TV CABLE en el 2006 fue la primera en incursionar en WiMAX trabajando en la banda de frecuencia de 3.5 GHz, la cual se encargaban de brindar servicios de banda ancha e internet de alta velocidad en la ciudad de Guayaquil y Quito. Pero a través del tiempo WiMAX fue perdiendo espacio y las empresas decidieron utilizar otras tecnologías. En la figura 2.28 se muestra la distribución de las frecuencias licenciadas de

acuerdo a la región a Ecuador se le asigna una frecuencia de 2.5 GHz a 3.5 GHz.

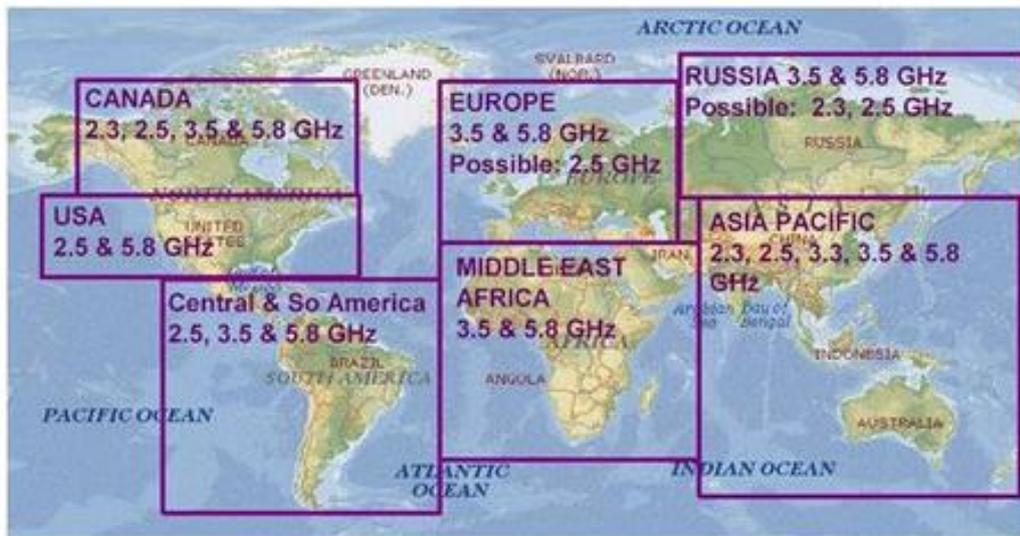


Figura 2.28: Bandas de frecuencia WiMAX
Fuente: (Cardenas, 2009)

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS LTE VS WIMAX Y SIMULACIÓN

Dos tecnologías emergentes: Long Term Evolution (LTE), desarrollada por 3rd Generation Partnership Project (3GPP) y WiMAX, estandarizada por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). Ambas tecnologías tienen diferencias pero también tienen objetivos similares. A continuación se detalla las diferencias de las características principales de cada tecnología y se realizara una simulación en la Parroquia Crucita en la provincia de Manabí para poder identificar las diferencias de cada tecnología y cual resultaría la mejor opción para proveer servicio de internet en dicho lugar.

3.1. Comparación de las características principales de las tecnologías

3.1.1. Comparación Arquitectura

LTE y WiMAX, se analiza que la arquitectura del sistema de estas dos redes inalámbricas es bastante similar ambas utilizan redes de paquetes IP, esto mejora el tráfico de datos. La arquitectura del sistema de estos dos sistemas se puede separar funcionalmente en: eNodeB y BS, MME / S-GW y ASN-GW.

La función de eNodeB y estación base es similar. Ambas son entidades que aseguran que el suscriptor se pueda comunicar con la red inalámbrica. Manejan la administración de recursos de radio en el plano de control, la autenticación, la configuración de conexiones, la asignación de recursos y la realización de funciones. MME / S-GW y ASN-GW: La MME / S-GW y ASNGW son similares, ya que ambos proporcionan movilidad entre las interfaces de radio (eNB en LTE y estación base en WiMAX), funciones de seguridad.

3.1.2. Técnicas Dúplex

Tanto la red LTE como WiMAX admiten el modo FDD y TDD en los modos de acceso de radio. Además, los operadores celulares prefieren elegir el modo FDD ya que la mayoría de los sistemas celulares actuales se basan en el modo FDD para que sea más fácil migrar a la red LTE. Esa es también una de las razones por las que WiMAX es compatible con el modo FDD.

3.1.3 Tecnología de antenas

Tanto en LTE como en WiMAX se usa la tecnología MIMO. La red WiMAX admite la configuración 2x2 MIMO. En la red LTE, el enlace descendente admite la configuración de la antena hasta 4x4 MIMO por lo que mejora la velocidad de transmisión. Por lo que LTE tiene una ventaja en las velocidades sobre WiMAX.

3.1.4. Tecnologías de Acceso

En términos de tecnología de acceso múltiple, LTE y WiMAX usan OFDMA en su transmisión de enlace descendente. Mediante el uso de esta tecnología, los suscriptores pueden adquirir mayores velocidades de datos en la transmisión de enlace descendente. Sin embargo, LTE implementa SC-FDMA en la transmisión de enlace ascendente, mientras que WiMAX todavía usa OFDMA para su transmisión de enlace ascendente. El objetivo principal de implementar SC-FDMA es mejorar la duración de la batería de los dispositivos de suscriptor reduciendo el PAPR en el enlace ascendente. También mejora el rendimiento de la red del borde de la celda.

3.1.5. Bandas de frecuencia y ancho de banda

Espectro LTE utilizan bandas IMT-2000 autorizadas en bandas como 700 MHz a 2.6 GHz, mientras que WiMAX opera tanto en bandas licenciadas 2.3 GHz y 3.5 GHz en bandas no licenciadas entre 5.8 GHz. El canal de ancho de banda en LTE y WiMAX son similares va de 1.6 MHz a 20 MHz, ambas tecnologías el ancho de banda es escalable.

3.2. Área de Estudio

Crucita es una población de Ecuador localizada en la costa de la provincia de Manabí y parroquia de la capital Portoviejo. Cuenta con una población de 14.050 habitantes y con una superficie total de 62,280 km² la cual cuenta con muchas zonas rurales. Actualmente Crucita cuenta con cobertura 3G por lo que se realizara una simulación con las tecnologías LTE y WiMAX para determinar cuál de estas tecnologías sería más factible su implementación para obtener un óptimo servicio de internet.

3.3. Global Mapper

Global Mapper es una aplicación que proporciona mapas que permite manejar datos de vector, elevación, y proporciona visualización, conversión y otras características GIS (geographic information system) generales. Esta herramienta ayuda a importar el mapa para poder trabajar en Atoll. En figura 3.1 se observa el mapa de crucita en el programa Global Mapper la cual genera el mapa en formato grd que es compatible con el software Atoll. Este mapa es importado al software Atoll para la simulación.

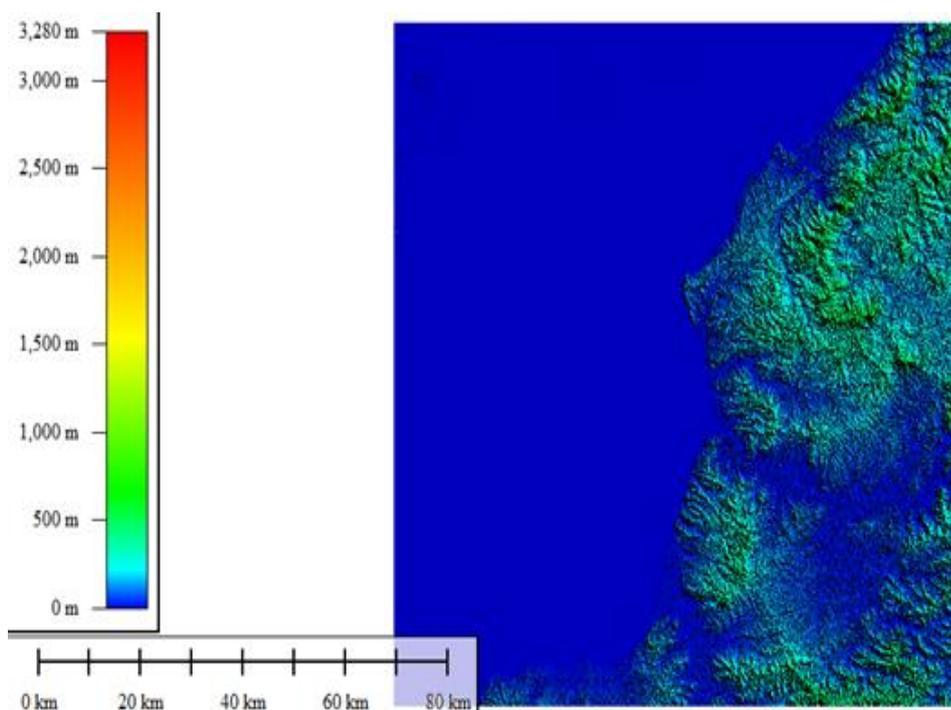


Figura 3.1: Mapa parroquia Crucita cantón Portoviejo formato grd
Elaborado por: Autor

3.3. Simulaciones

Crucita no cuenta con cobertura 4G por lo que se procederá a simular con las tecnologías LTE y WiMAX. Para poder realizar la simulación en Atoll es necesario importar el mapa de crucita con la herramienta de Global Mapper que genera el mapa en formato grd y saber en qué coordenadas colocar la antena con Google Earth.

3.3.1. Simulación LTE

Es importante la simulación LTE en Crucita para observar el comportamiento de esta tecnología y los aspectos de cobertura sobre el área

de estudio como el rendimiento del enlace descendente, es necesario plantear los parámetros que se observa en la tabla 3.1 que serán utilizados en la simulación.

Tabla 3.1: Parámetros de LTE

| | |
|--------------------------|---|
| Banda de frecuencia | Banda 4 – 1700 MHz |
| Ancho del canal | 10 MHz |
| Propagación | Standart Propagation Model |
| Coordenadas de la antena | Latitud: 8° 31 ' 52.78 " O Longitud: 0° 51 ' 41.63 " S |

Elaborado por: Autor

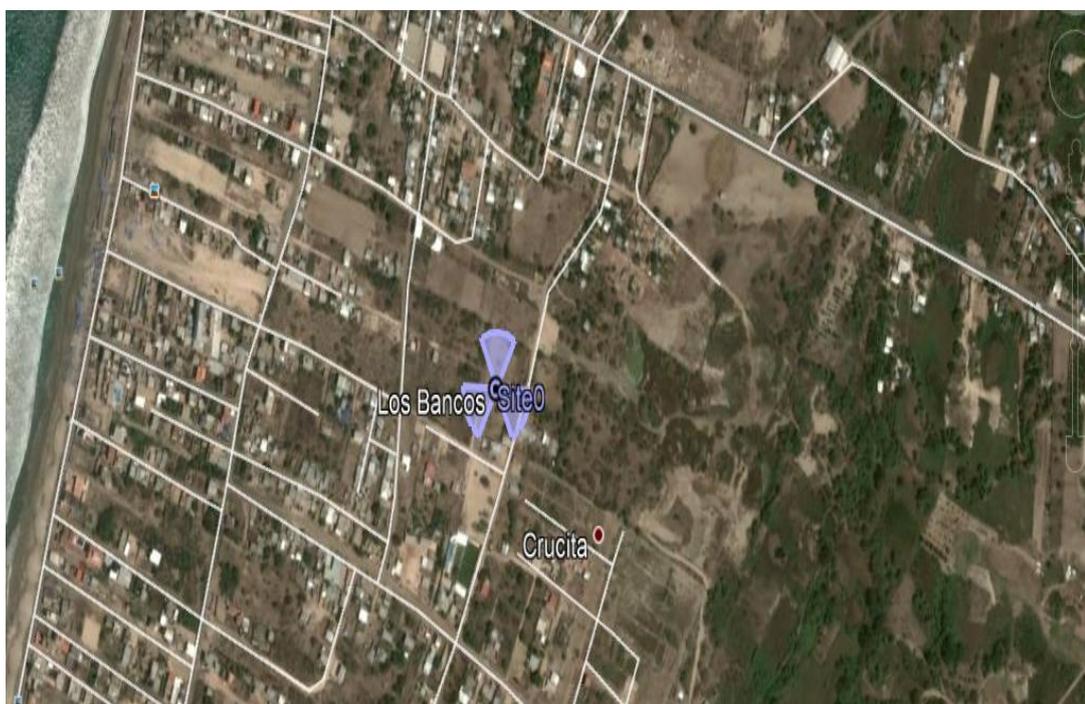


Figura 3.2: Antena LTE en crucita

Elaborado por: Autor

En la figura 3.2 se observa el mapa de crucita que tiene una antena que consta con tres transmisores en diferentes direcciones, el transmisor 1 a 0°, el transmisor 2 a 120°, y el transmisor 3 a 240° para obtener una cobertura en todas las direcciones la cual está situada en el sector de Los Bancos. En la figura 3.3 se observa los resultados de la predicción de LTE en esta área que brinda la antena en Crucita como resultado se obtiene que con una antena se brinda cobertura 4G a todo Crucita, en la figura 3.4 se observar el área de cobertura que cubre la antena de acuerdo al nivel de señal distribuido en Crucita.

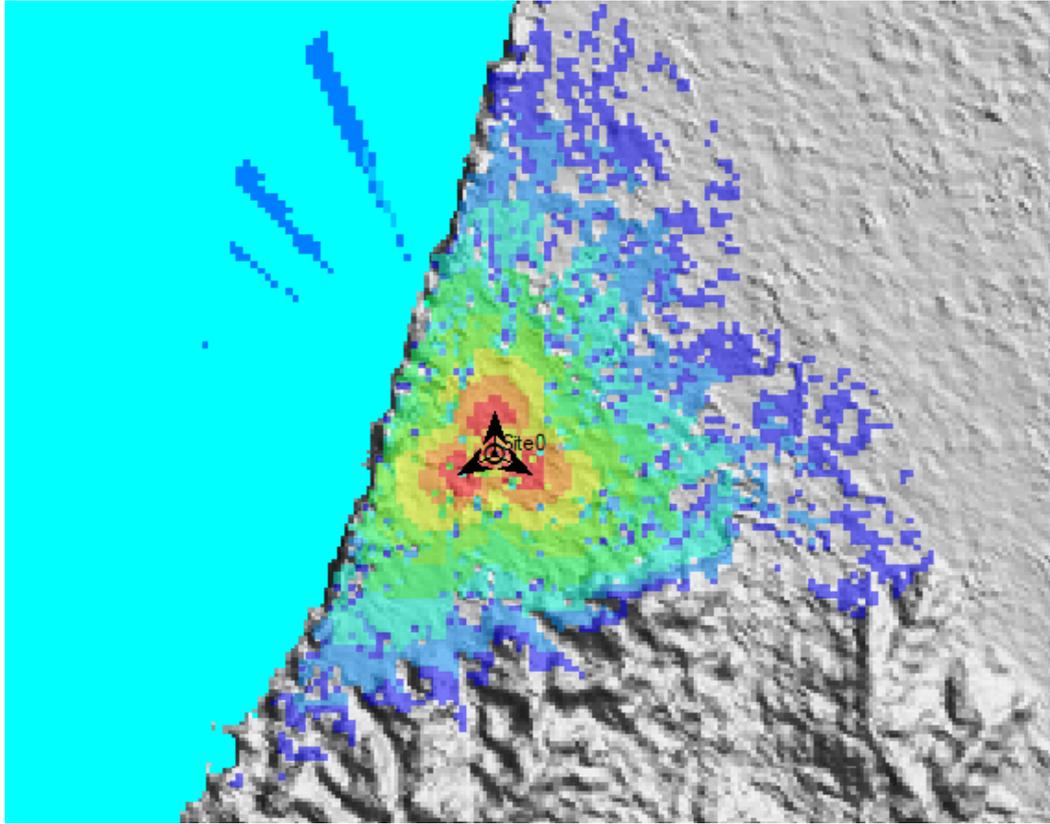


Figura 3.3: Cobertura LTE en Crucita
Elaborado por: Autor

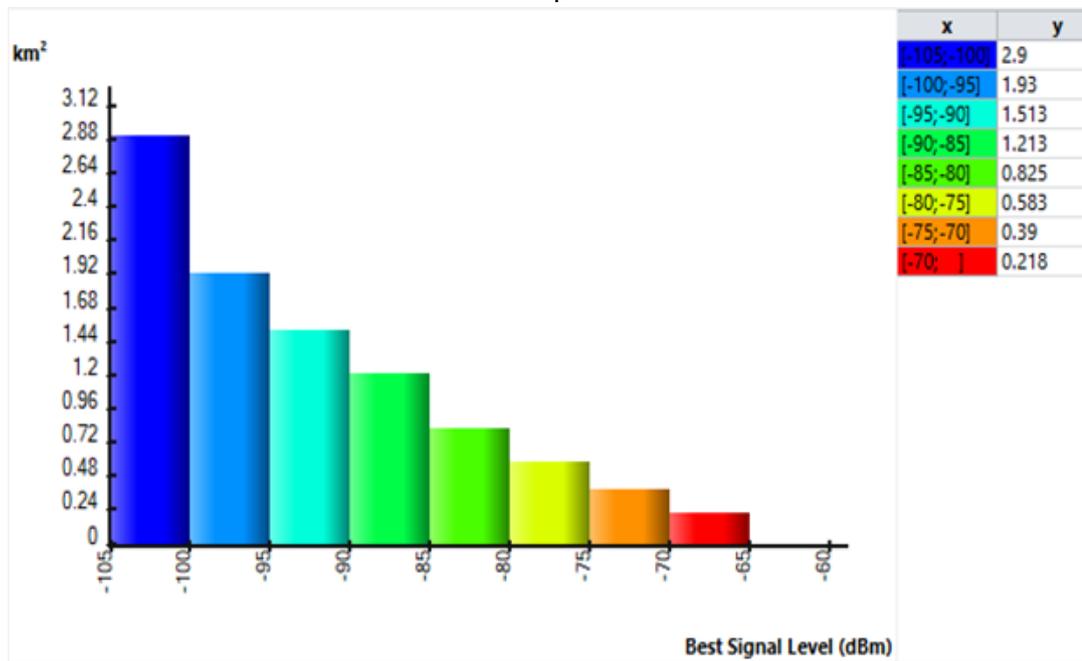


Figura 3.4: Histograma de los niveles de la señal LTE
Elaborado por: Autor

En la figura 3.4 muestra el histograma del nivel de la señal que brinda la antena la cual su valor es en decibelios-milivatios. Cada transmisor distribuye la señal en diferentes direcciones, la parte de color rojo representa a la mejor

señal con un valor de -70 dBm y el color azul tiene -105 dBm que representa las zonas donde hay la señal es muy mala. Además se observa que a medida que los kilómetros aumentan la cobertura baja, la mejor cobertura encuentra alrededor de 0.2 Km² que es la barra roja con un valor de -70 dBm y el nivel más bajo de señal cubre un área 2.9 Km² que es la barra azul con un valor de -105 dBm. La antena cubre una cobertura LTE total alrededor de 9.5 Km². También es importante analizar la calidad de la señal como el rendimiento de enlace de bajada para una eficiente comparación, se analiza el de bajada porque es la señal que comprende de la antena a los usuarios.

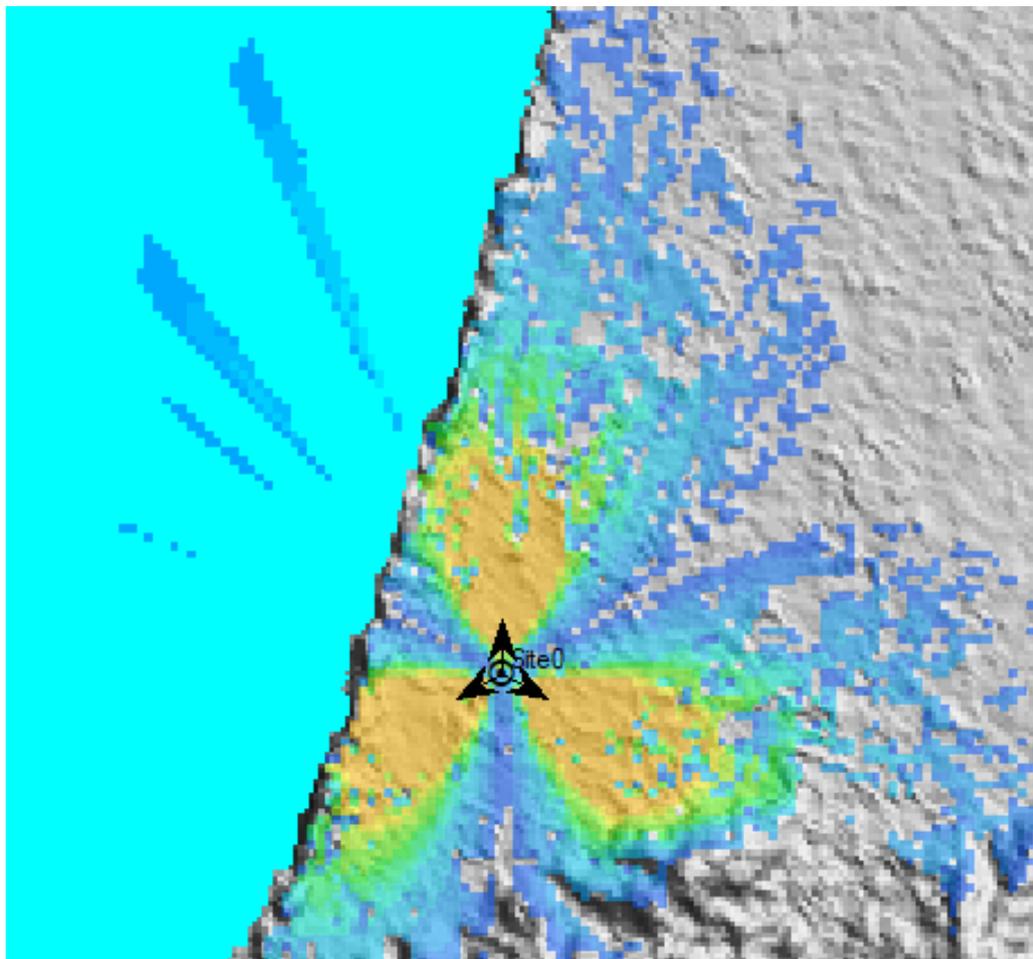


Figura 3.5: Rendimiento del enlace de bajada LTE
Elaborado por: Autor

En la figura 3.5 se observa el rendimiento del enlace de bajada en crucita que mediante la figura 3.6 se visualiza las velocidades del enlace de bajada en diferentes zonas de crucita. El color naranja es el mejor rendimiento cubre gran parte de Crucita y el color celeste el rendimiento más bajo. En la figura 3.6 muestra el histograma con los valores del rendimiento en Kbps, el valor

de 50,000 Kbps es el mejor rendimiento representa el color rojo y los rendimientos más bajos aparecen de color azul. El color naranja representa la velocidad máxima de 41 Mbps cubre alrededor de 1.45 km² y la velocidad más baja de color azul es de 4 Mbps cubre un área de 2 km². Es importante que en la simulación se establezca la carga de usuarios que tendrá la red LTE, de esta manera se identifica la cantidad de usuarios que tendrán el servicio de internet mediante la cobertura LTE.

En la figura 3.7 se visualiza la simulación ya establecida una carga de usuarios según la cobertura de la antena para el uso del servicio de internet, los puntos verdes representan que el enlace de subida y bajada están correctos por lo tanto el usuario tiene buena recepción de la señal y cuenta con el servicio de internet, los puntos rojos representan que ese usuario no tiene señal como consecuencia ese usuario no tendrá servicio.

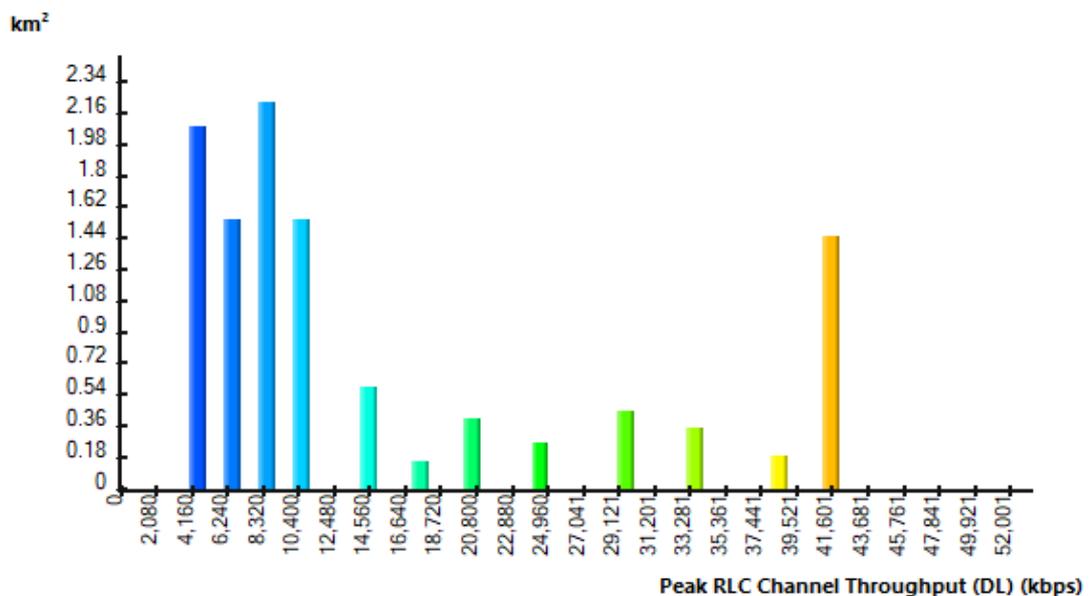


Figura 3.6: Histograma del rendimiento del enlace de bajada LTE
Elaborado por: Autor

En la simulación de la capacidad de usuarios que soporta la red para brindar el servicio de internet da como resultado un total de 259 usuarios, 229 usuarios están activos tienen servicio y 30 usuarios están inactivos no tendrán servicio esto se debe a que los niveles de la señal en las zonas de los usuarios inactivos es bajo.

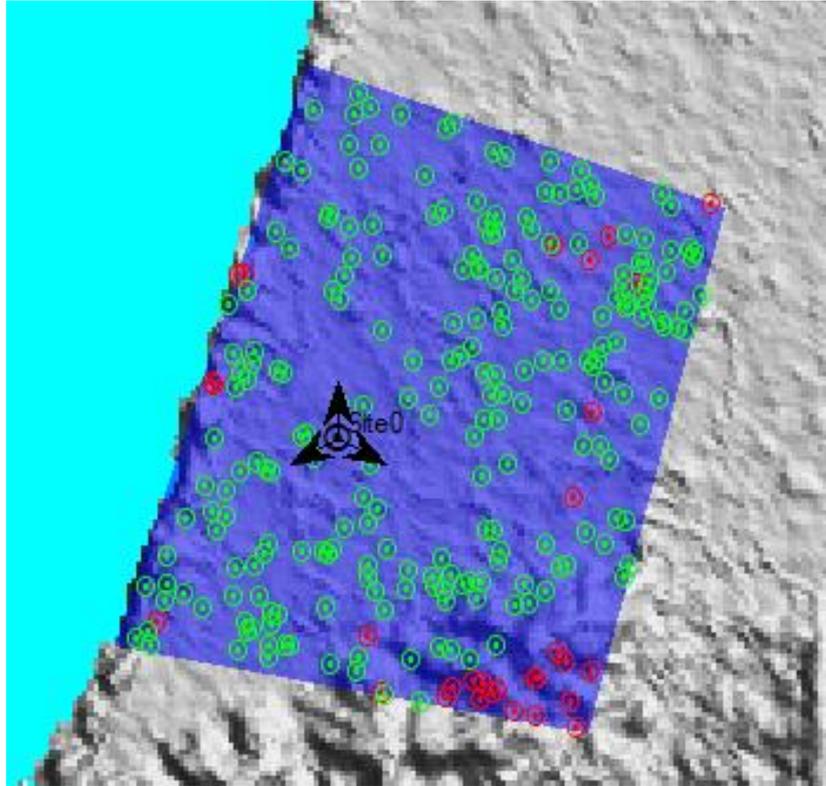


Figura 3.7: Usuarios de internet red LTE
Elaborado por: Autor

3.3.2. Simulación WiMAX

WiMAX es otra tecnología que permite dar cobertura 4G para el tráfico de datos por lo que procede a utilizar la tecnología WiMAX para analizar el comportamiento de la cobertura y proceder a un análisis con la tecnología LTE, en esta simulación el estándar utilizado es WiMAXe y a continuación en la tabla 3.2 se muestra los parámetros utilizados.

Tabla 3.2: Parámetros de WiMAX

| | |
|----------------------------|--|
| Banda de frecuencia | Banda 5.8 GHz |
| Ancho del canal | 10 MHz |
| Propagación | Standart Propagation Model |
| Coordenadas de las antenas | Latitud: 80° 31 ' 52.78 " O Longitud: 0° 51 ' 41.63 " S |

Elaborado por: Autor

En la figura 3.8 se muestra que al igual que en la simulación de LTE la antena cuenta con tres transmisores que está situada en el sector de Los Bancos. En la figura 3.9 se observa los resultados en Atoll y muestra el área en que la antena da cobertura, mientras más kilómetros la cobertura baja. En

la figura 3.10 se visualiza que la mejor cobertura se presenta alrededor de 0.008 Km² representada de color rojo que en los resultados en Google Earth casi no aparece y el nivel de señal más bajo 1.90 Km² de color azul que cubre gran parte de Crucita. Se obtiene una cobertura total de 5.8 Km².

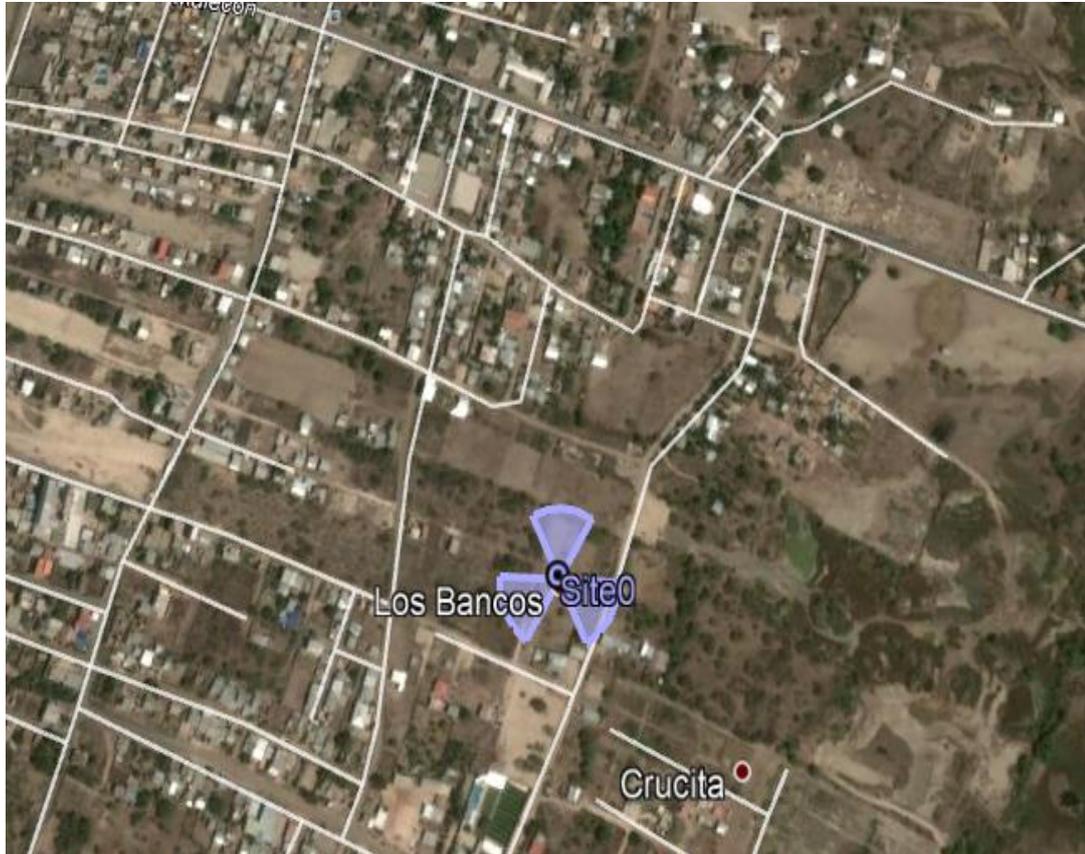


Figura 3.8: Antena WiMAX en Crucita
Elaborado por: Autor

Para poder realizar una comparación con LTE se necesita analizar sus rendimientos en el enlace de bajada, el comportamiento de la tasa de datos y su máximo rendimiento máximo que se obtiene con la tecnología WiMAX. La figura 3.11 muestra la predicción del rendimiento del enlace de acuerdo al color, a simple vista se observa que no se encuentra el color rojo que es el mejor rendimiento con un valor de 50 Mbps y se visualiza que en la mayoría del área está el color celeste y azul que son el rendimiento más bajo por lo que se analiza que WiMAX no presenta buenas velocidades en el enlace de bajada.

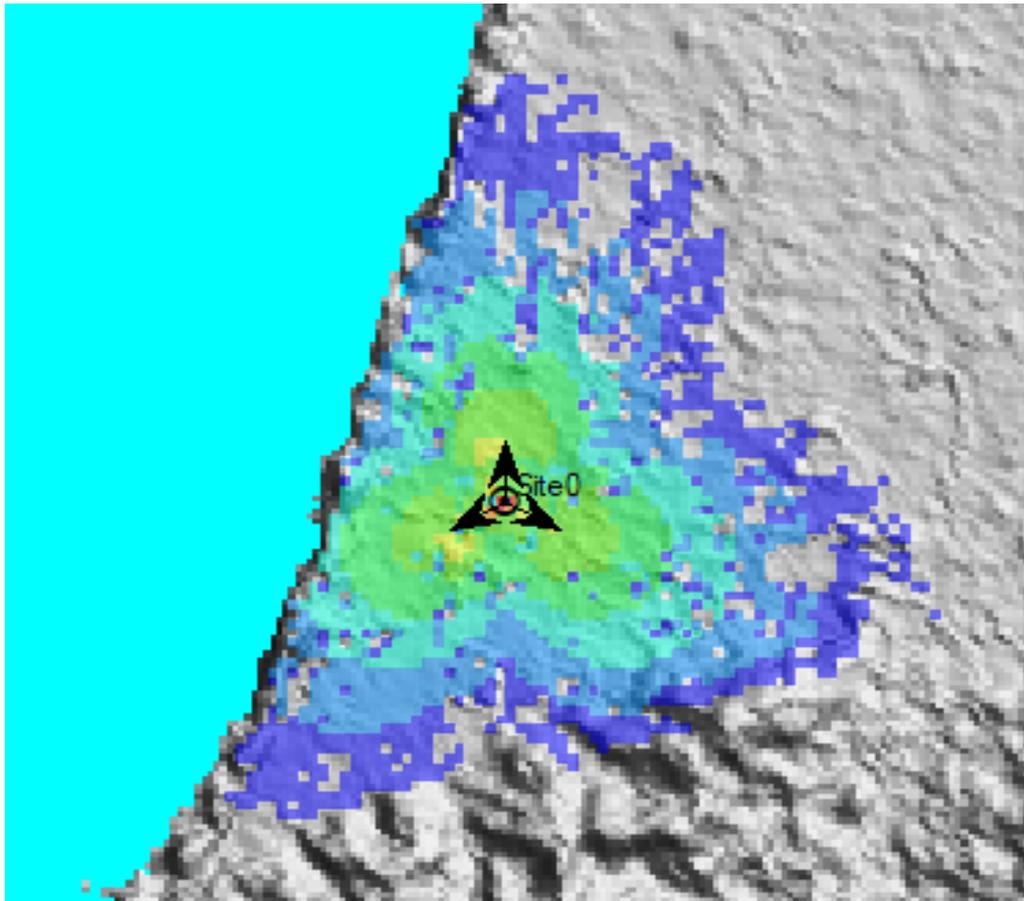


Figura 3.9: Cobertura WiMAX en Crucita
Elaborado por: Autor

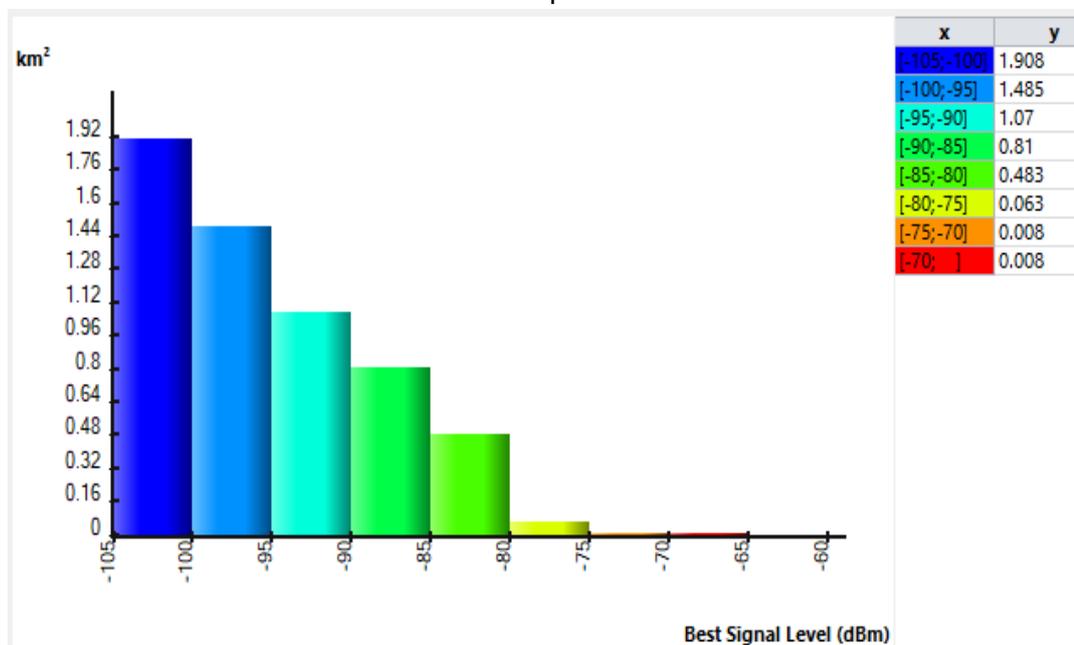


Figura 3.10: Histograma de los niveles de la señal WiMAX
Elaborado por: Autor

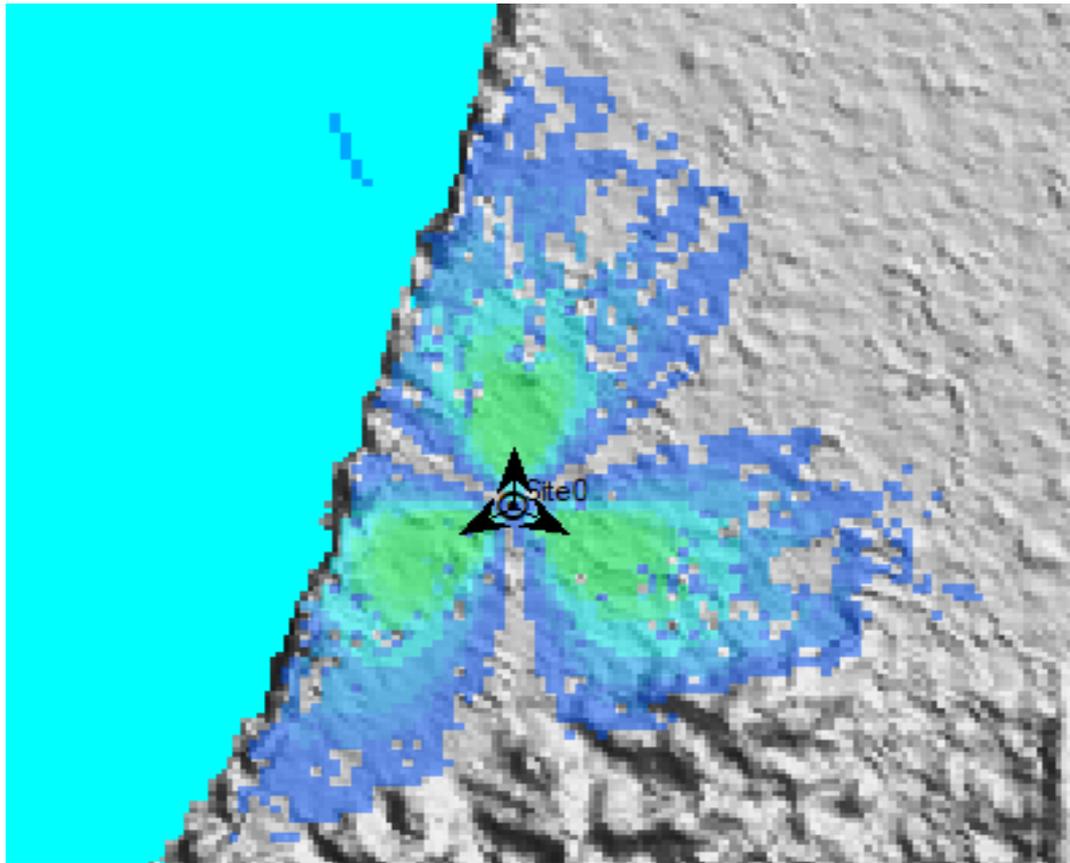


Figura 3.11: Rendimiento del enlace de bajada WiMAX
Elaborado por: Autor

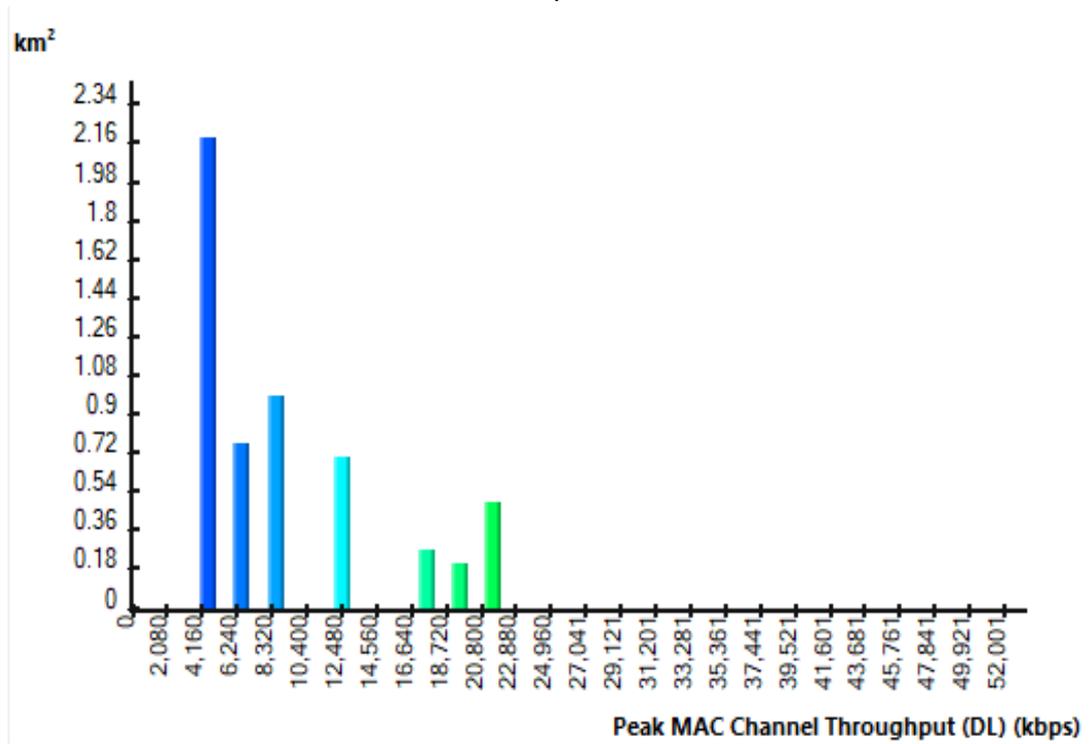


Figura 3.12: Histograma del rendimiento del enlace de bajada WiMAX
Elaborado por: Autor

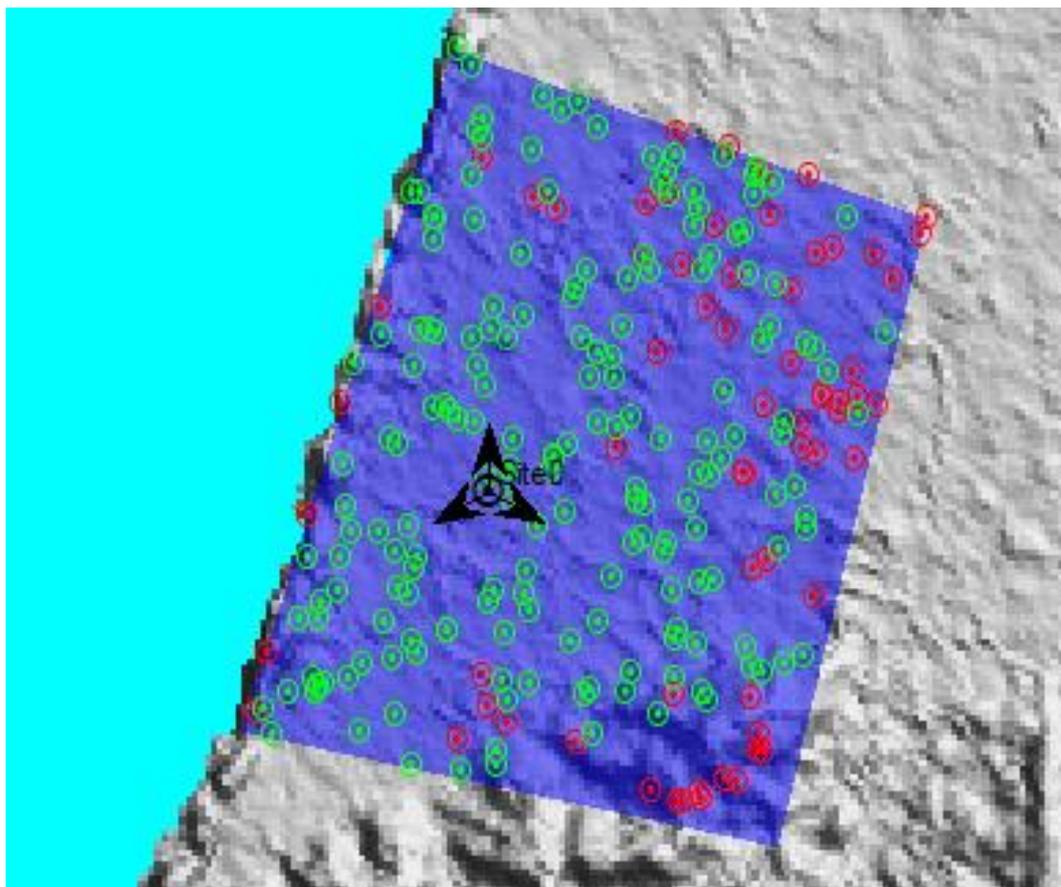


Figura 3.13: Usuarios de internet red WiMAX
Elaborado por: Autor

En la figura 3.12 se observa que WiMAX no presenta en ningún sector la máxima velocidad que es de 50 Mbps, y la máxima velocidad en la simulación es de 21 Mbps representada por el color verde en una área pequeña de 0.48 Km², la barra de color turquesa tiene una velocidad de 12 Mbps en un área de 0.7 Km² y la barra de color azul es la velocidad más baja con un valor de 4 Mbps en un área de 2.18 Km².

Es fundamental implementarle carga de usuarios a la red para observar la cantidad de usuarios que tendrán el servicio de internet. En la figura 3.13 se observan los usuarios que están representados por puntos, los puntos verdes son los usuarios que tienen servicio, los puntos rojos son los usuarios sin servicio, en la simulación WiMAX presenta 259 usuarios, 184 tienen servicio y 65 usuarios no cuentan con el servicio esto debido a que la red WiMAX tiene muchas zonas donde los niveles de señal son bajos.

3.4. Análisis y resultados

Obtenidos los resultados de las simulaciones de cobertura, las velocidades del enlace descendente y la cobertura de usuarios es necesario su comparación para identificar que tecnología ofrece mejor rendimiento para brindar el servicio de internet.

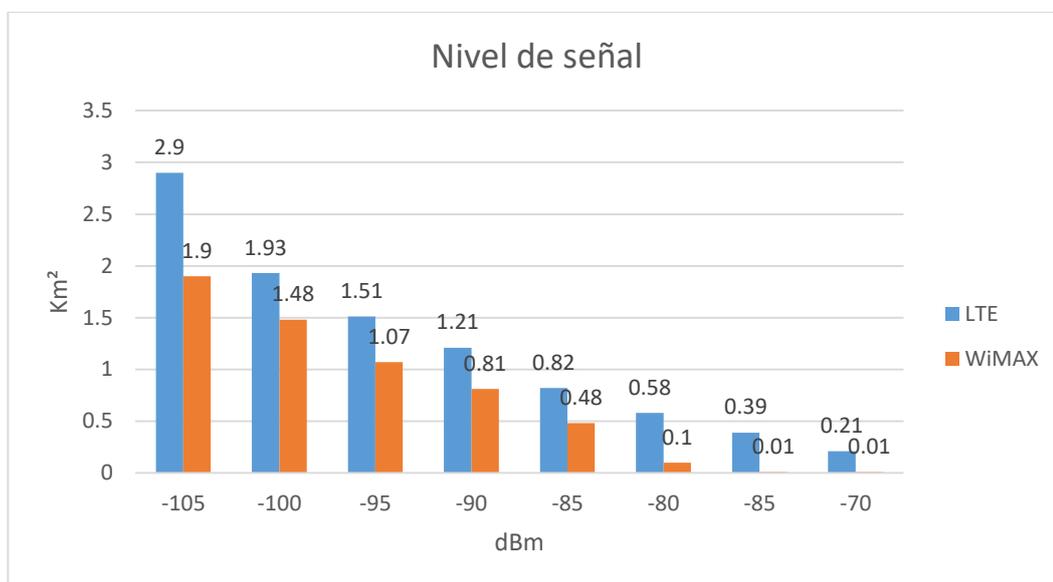


Figura 3.14: Comparación nivel de señal
Elaborado por: Autor

En la figura 3.14 se muestra que LTE presenta una cobertura total mucho más extensa que WiMAX y además con la tecnología LTE se obtiene muchas más áreas en las que distribuye un mejor nivel de señal en los sectores de Crucita. En la figura 3.15 muestra que LTE es mucho mejor el rendimiento del enlace de bajada, LTE muestra que en la simulación alcanza velocidades 41 Mbps mientras que en WiMAX la máxima velocidad es 21 Mbps, el rendimiento de LTE es mucho mejor que WiMAX como resultado el servicio de internet es mucho más rápido utilizando la tecnología LTE,

En la figura 3.16 se observa la cantidad de usuarios que tiene cobertura dependiendo la tecnología que se aplique, ambas redes LTE y WiMAX tiene un total de 229 usuarios, en LTE se observa que soporta muchos más usuarios que tienen servicio de internet y pocos son los usuarios que están inactivos mientras que en WiMAX presenta menos usuarios activos y mucho más usuarios inactivos esto debido a las ventajas que presenta LTE como

mejor nivel de señal y mejor rendimiento del enlace de bajada como resultados se obtiene que con la tecnología LTE se optimiza la red.

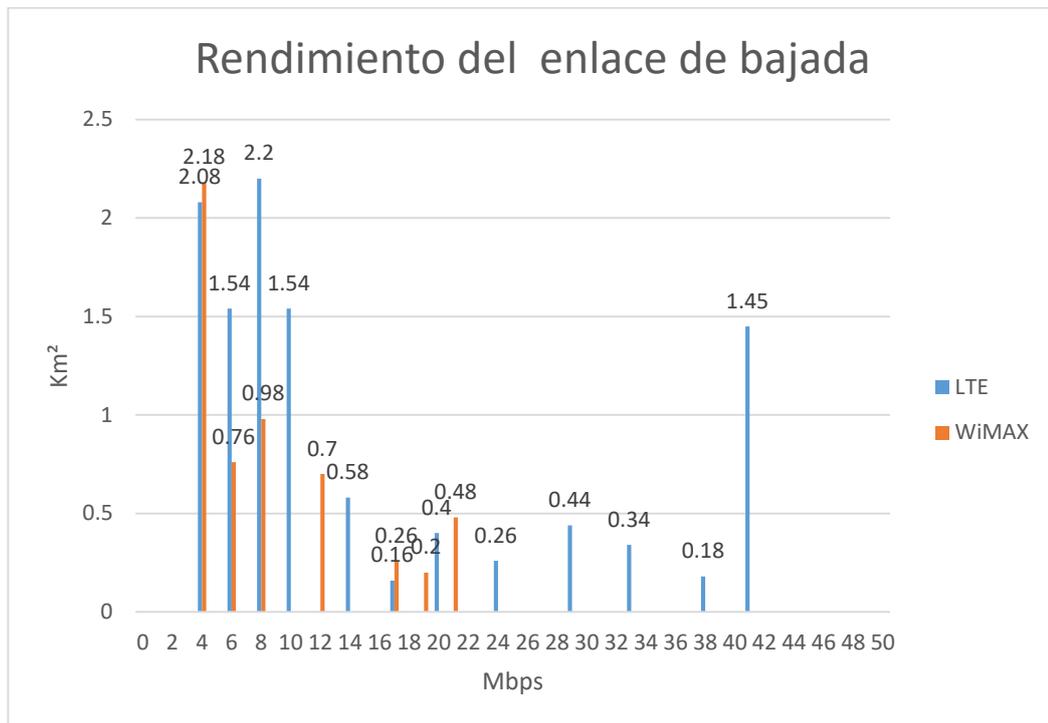


Figura 3.15: Comparación del rendimiento del enlace de bajada
Elaborado por: Autor

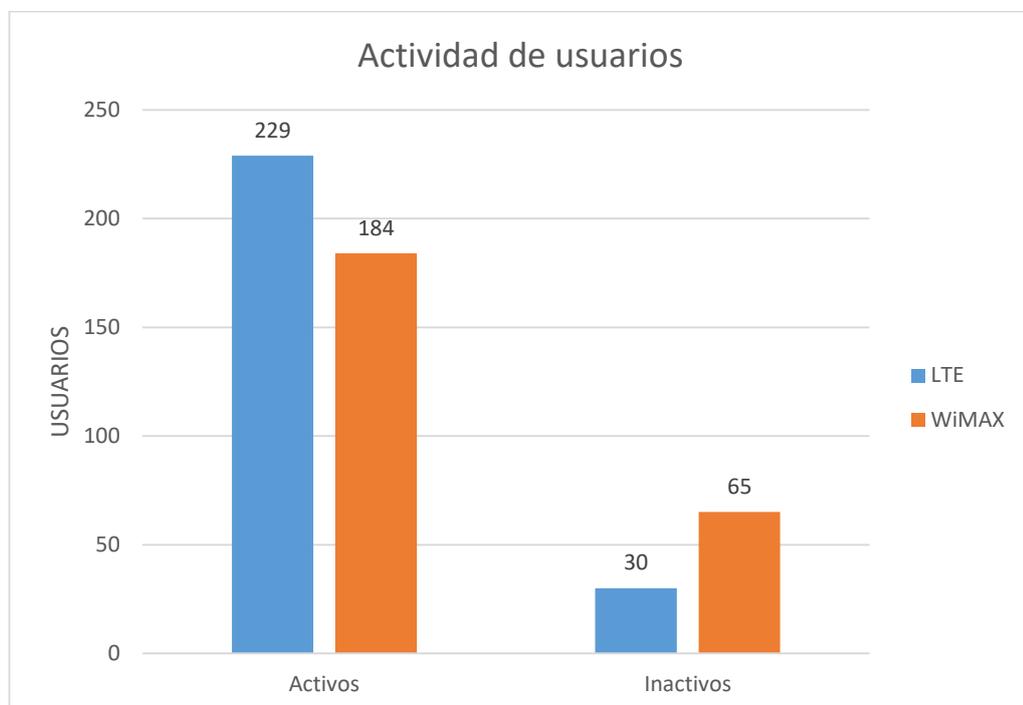


Figura 3.16: Comparación de la actividad de usuarios
Elaborado por: Autor

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Mediante el material presentado se concluye que la tecnología LTE y WiMAX son consideradas redes de 4G y utilizadas para el tráfico de datos para brindar diferentes servicios como la voz sobre IP, servicio de internet banda ancha, que comparadas con las tecnologías de generaciones anteriores son mucho más rápidas y ofrecen mayor cobertura.

En base al estudio realizado se ha determinado mediante un análisis comparativo de las tecnologías LTE y WiMAX, que LTE tiene un mejor rendimiento que WiMAX, LTE ofrece una mayor cobertura que en nuestra simulación cubre un área mucho más extensa en Crucita como consecuencia se obtiene en Crucita más lugares donde el servicio estará disponible, además LTE presenta una mejor movilidad y compatibilidad con tecnologías 3G.

La señal que viaja de la antena a los usuarios es fundamental para una comunicación rápida, en este trabajo se demuestra mediante la simulación que el rendimiento del enlace de bajada de LTE tiene el doble de buen rendimiento que WiMAX, WiMAX presenta velocidades muy bajas que resultaría un problema para los usuarios a la hora utilizar el servicio, por lo que LTE le lleva mucha ventaja a WiMAX, como consecuencia en la actualidad WiMAX está perdiendo espacio y la mayoría de las empresas proveedoras en el Ecuador deciden implementar LTE.

Un aspecto muy considerado para la implementación de una red LTE o WiMAX es la cantidad de usuarios que pueden disponer de la red, como resultado se obtiene que WiMAX presenta muchos usuarios que no tienen servicio esto se debe a su baja cobertura y su baja tasa de datos en el enlace descendente, en el otro lado LTE soporta muchos más usuarios y son pocos los usuarios que quedan inactivos proporcionando una optimización de la red del 90%, concluyendo que LTE es la mejor opción para su implementación en Crucita.

4.2. Recomendaciones

Hay que tomar en cuenta para poder tener una experiencia en la navegación de internet mucho más rápida y fluida se necesita que en lugares donde la cobertura LTE es baja debido a su extensa área y gran densidad poblacional se recomienda que se mejore la calidad de la señal mediante la implementación de más antenas LTE y a las entidades gubernamentales se recomienda, la implementación de la tecnología LTE en lugares sin cobertura, para la integración de nuevos servicios como la VoLTE.

Hay que considerar que para utilizar la tecnología LTE es necesario la adquisición de equipo móvil con capacidad LTE para poder disponer de los servicios que LTE ofrece, por lo general los equipos antiguos solo admiten la capacidad HPSA+ que es una tecnología 3.5G además se recomienda a las empresas proveedoras en el Ecuador un estudio para poder migrar las tecnologías antiguas a LTE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agustí, R. (2010). LTE nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Madrid: Fundación Vodafone España.

Andrews, J. G., & Ghosh, A. (2007). Fundamentals of WiMAX: understanding broadband wireless networking. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

ARCOTEL. (2017). Reporte del incremento de usuarios. Recuperado 28 de enero de 2018, a partir de <http://www.arcotel.gob.ec/biblioteca-arcotel/>

Becvar, Z. (2013). Redes móviles. České vysoké učení technické v Praze, Praha, Czech Republic.

Cardenas, J. (2009). Bandas de frecuencia. Recuperado 26 de enero de 2018, a partir de <http://redeswimax.jimdo.com/wimax/uso-del-espectro/bandas-de-frecuencia/>

Dahlman, E. (Ed.). (2007). 3G evolution: HSPA and LTE for mobile broadband (1st ed). Oxford ; Burlington, MA: Elsevier Academic Press.

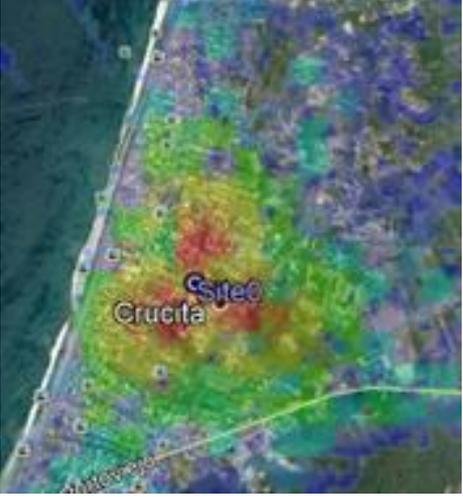
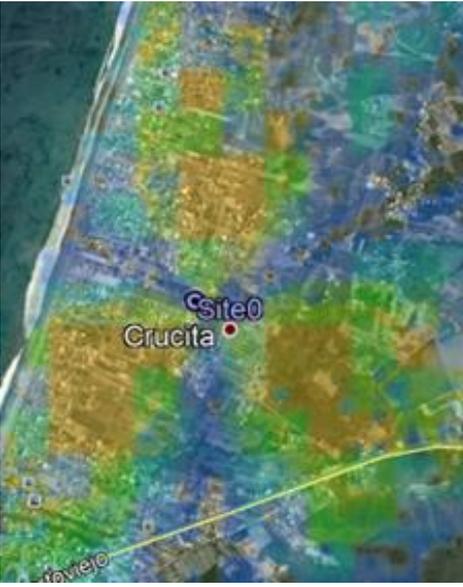
Eberle, D. (2010). LTE vs. WiMAX 4th generation telecommunication networks. Berlin Institute of Technology, Germany.

Holma, H., & Toskala, A. (2009). LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. John Wiley & Sons.

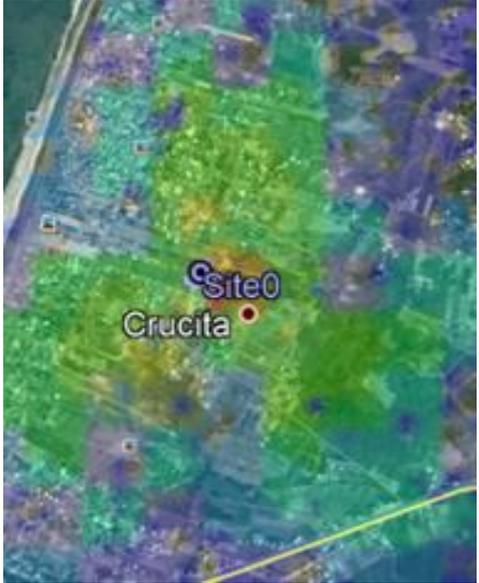
Inzaurrealde, M. (2006). Telefonía celular. Universidad de la Republica, Montevideo-Uruguay., Facultad de Ingeniería.[WEB] <http://cyberkamate.host56.com/celul.pdf>.

- Kumar, R., & Vaid, R. (2011). WiMAX Propagations. IJCSET, ISSN, 2231–0711.
- Nuaymi, L. (2007). WiMAX: technology for broadband wireless access. Chichester, England ; Hoboken, NJ: John Wiley.
- Ohrman, F. (2005). WiMAX handbook: Building 802.16 networks. McGraw Hill Professional.
- Sesia, S. (2011). LTE--the UMTS long term evolution: from theory to practice (2nd ed). Chichester, West Sussex, U.K. ; Hoboken, N.J: Wiley.
- Sukar, M. A. N., & Pal, M. (2014). SC-FDMA & OFDMA in LTE Physical Layer. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 12(2), 74–85.
- Tingnan, B. (2013). The architectural differences between LTE and WiMAX. KTH Royal Institute of Technology.
- Verma, R., & Garg, P. (2013). Interpretation of IEEE 802.16 e (Wimax). Global Journal of Computer Science and Technology.
- Yonis, A. Z. (2012). LTE-FDD and LTE-TDD for cellular communications. Proc. Prog. Electromagn. Res. Sym, 1467–1471.

ANEXO: 1 RESUMEN DE RESULTADOS DADOS POR LTE EN GOOGLE EARTH

| Resultado | Descripción | Grafico |
|----------------------------------|---|--|
| Nivel de señal | Hay cobertura en todo Crucita. Los Bancos que es donde está situada la antena se concentra la mejor señal representada por el color rojo con un valor de -70 dBm. |  |
| Rendimiento del enlace de bajada | La zona de color naranja tiene el mejor rendimiento del enlace de bajada de 41 Mbps que está distribuida en la zona de Los Bancos, Los Arenales, Los Ranchos, y el Malecón. |  |

ANEXO: 2 RESUMEN DE RESULTADOS DADOS POR WiMAX EN GOOGLE EARTH

| Resultado | Descripción | Grafico |
|---|--|--|
| <p>Nivel de señal</p> | <p>Tenemos cobertura en todo Crucita, en esta simulación la mayor área tiene un nivel de señal representada por el color verde que se encuentra muy cerca de la antena con un valor de -85 dBm y azul es el nivel más bajo con un valor de -105 dBm.</p> |  |
| <p>Rendimiento del enlace de bajada</p> | <p>Muestra que en todo crucita tendremos bajas velocidades ya que solo aparece el color azul, celeste y verde.</p> |  |



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Sanga Hernández, Bryan Darío** con C.C: # 0923383624 autor del Trabajo de Titulación: “**Estudio y análisis comparativo de las tecnologías LTE y WiMAX para el servicio de internet**” previo a la obtención del título de **INGENIERO 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, 05 de Marzo de 2018

f. _____

Nombre: Sanga Hernández, Bryan Darío

C.C: 0923383624



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: | ESTUDIO Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS LTE Y WIMAX PARA EL SERVICIO DE INTERNET | | |
| AUTOR(ES) | SANGA HERNÁNDEZ, BRYAN DARÍO | | |
| REVISOR(ES)/TUTOR(ES) | ING. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO | | |
| INSTITUCIÓN: | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil | | |
| FACULTAD: | Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo | | |
| CARRERA: | Ingeniería en Telecomunicaciones | | |
| TÍTULO OBTENIDO: | Ingeniero en Telecomunicaciones | | |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: | 05 de Marzo del 2018 | No. DE PÁGINAS: | 74 |
| ÁREAS TEMÁTICAS: | Comunicaciones inalámbricas, Fundamentos de comunicación, Sistemas de transmisión | | |
| PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS: | LTE, WIMAX, REDES DE COMUNICACIÓN, TELEFONÍA CELULAR, BANDAS DE FRECUENCIAS, INTERNET | | |
| RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): | <p>El presente trabajo se explica detalladamente el funcionamiento de las tecnologías LTE y WiMAX que son consideradas de 4G, la parte teórica y técnicas como su arquitectura, capa física, bandas frecuencias, ancho de banda son fundamentales para una comparación. En Crucita es el lugar donde se realiza la simulación, actualmente en Crucita cuenta con cobertura 3G por lo que los servicios son limitados. Mediante el software Atoll se realiza una simulación en Crucita Manabí con las tecnologías LTE y WiMAX con los parámetros establecidos en el Ecuador como la banda de frecuencia y ancho del canal , para poder observar el comportamiento de los niveles de señal en todos los sectores de Crucita, rendimiento del enlace de bajada analizando la señal que viaja de la antena al usuario, rango de cobertura que ofrece cada tecnología y la cantidad de usuarios que soporta la red mostrando los resultados en Google Earth.</p> | | |
| ADJUNTO PDF: | <input checked="" type="checkbox"/> SI | <input type="checkbox"/> NO | |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: | Teléfono: +593-4-2820845 +593-9-82429910 | E-mail: bryansanga94@hotmail.com | |
| CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE | Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando | | |
| | Teléfono: +593-9-68366762 | | |
| | E-mail: edwin.palacios@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): | | | |