

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO DE  
SISTEMAS E INGENIERA DE SISTEMAS**

**TEMA:**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE UNA RED LTE (LONG TERM  
EVOLUTION) EN LA ZONA NORTE DE QUITO - ECUADOR**

**AUTORES:**

**VICTORIA ALEXANDRA GUACHÁN MORALES  
PABLO JOSUETH CAJIAS CASTILLO**

**DIRECTORA:**

**EMMA VERÓNICA SORIA MALDONADO**

**Quito, agosto del 2014**

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO  
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Quito, agosto 2014.

---

Victoria Alexandra Guachán Morales

CI: 1722220728

---

Pablo Josueth Cajías Castillo

CI: 1722220728

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación va dedicado primeramente a Dios, a mi amiga incondicional María Auxiliadora, a mis padres Víctor y Rosita pilares fundamentales en mi vida, a mis hermanas que han sido mi ejemplo a seguir, y que gracias a su amor, a su apoyo y a su esfuerzo diario han ayudado a que este objetivo sea cumplido, a mis amigos que han formado parte de mi vida estudiantil gracias por estar conmigo en este camino hasta final.

Victoria A. Guachán Morales

Dedico este proyecto a Dios porque me dio la oportunidad de vivir y darme las fuerzas para seguirme superando en la vida.

A mis padres Pablo Cajías y Anita Lucia por todo el apoyo incondicional que recibo de ustedes, por darme una carrera para mi futuro y creer en mí, a mi tutora la Ing. Verónica Soria por haberme brindado toda su apoyo y aportado con sus conocimientos y a mi hermano Jazmany Cajías por estar siempre apoyándome en todo momento.

Pablo Josueth Cajías Castillo

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana, a nuestros profesores por haber aportado en nuestra formación académica, especialmente a nuestra tutora Ingeniera Verito Soria que ha demostrado ser una gran amiga y docente gracias por depositar su confianza en nosotros, también a todos nuestros compañeros y amigos, que durante todo este camino han estado junto a nosotros.

Nuestro más sincero agradecimiento a cada uno de ustedes.

Victoria A. Guachán y Pablo Cajías

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	5
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	5
1.1    Introducción a la telefonía celular .....	5
1.2.    Evolución de la tecnología celular .....	6
1.2.1    Telefonía móvil primera generación (1G).....	7
1.2.2    Telefonía móvil segunda generación (2G).....	7
1.2.2.1 <i>Global System for Mobile Communications - GSM</i> .....	8
1.2.2.2 <i>Code Division Multiple Access – CDMA</i> .....	9
1.2.3    Telefonía móvil generación (2.5G).....	9
1.2.4    Telefonía móvil tercera generación (3G).....	10
1.2.5    Telefonía móvil generación (3.5G).....	11
1.2.6    Telefonía móvil cuarta generación (4G) .....	12
1.3.    Operadoras celulares de Quito-Ecuador .....	15
1.3.1    CONECEL S.A (CLARO).....	15
1.3.1.1 <i>Bandas de frecuencia (CONECEL S.A)</i> .....	16
1.3.2    OTECCEL S.A (MOVISTAR).....	16
1.3.2.1 <i>Bandas de frecuencias (OTECCEL S.A)</i> .....	17
1.3.3    CNT E.P. ....	17
1.3.3.1 <i>Bandas de frecuencias (CNT EP)</i> .....	18
1.4    Cobertura radioeléctrica .....	19
1.5    Cálculo del tráfico .....	19
1.5.1    Modelo de tráfico para datos. ....	22
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	24
<b>LTE (LONG TERM EVOLUTION)</b> .....	24
2.1    Introducción a LTE .....	24

2.2	Estandarización de LTE.....	24
2.3.	Arquitectura de un sistema LTE .....	26
2.3.1	Servicios proporcionados por redes externas.....	27
2.3.2	Evolved Packet System – EPS.....	27
2.3.2.1	<i>Evolved Packet Core – EPC</i> .....	28
2.3.2.2	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network Base Stations - E-UTRAN</i> . 28	
2.4	Esquemas de acceso .....	30
2.4.1	Orthogonal Frequency Division Multiple Access – (OFDM).....	30
2.4.2	Single-Carrier FDMA - SC-FDMA .....	32
2.5	Canales utilizados en LTE .....	33
2.5.1	Canales físicos. ....	34
2.5.2	Canales de transporte .....	35
2.5.3.	Canales lógicos. ....	36
2.5.3.1	<i>Canales de control</i> . ....	36
2.5.3.2	<i>Canales de tráfico</i> . ....	36
2.6.	Multiplexación.....	37
2.6.1	Duplexado por División de Frecuencia – (FDD).....	37
2.6.2	Duplexado por División de Tiempo – (TDD).....	38
2.7	Sistemas multilínea.....	39
2.8.	QoS en redes LTE.....	41
2.8.1	Parámetros QoS. ....	41
<b>CAPÍTULO 3</b> .....		44
<b>FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LTE EN EL NORTE DE QUITO – ECUADOR</b> .....		44
3.1	Introducción.....	44
3.2.	Organismos de regulación en el Ecuador .....	44
3.2.1	Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).....	45

3.2.2	Secretaria Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL).....	46
3.2.3	Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL). ....	46
3.3	LTE en el espectro radioeléctrico .....	47
3.4.	Migración de las operadoras de telefonía móvil de Ecuador hacia LTE desde el punto de vista tecnológico .....	47
3.4.1	CONECEL S.A. (CLARO).....	48
3.4.2	OTECEL S.A. (MOVISTAR).....	49
3.4.3	CNT E.P. ....	50
3.5.	Estudio zonal geográfico de la zona norte de la ciudad de Quito .....	51
3.5.1	Delimitación de la zona. ....	52
3.6.	Estudio de factibilidad técnico y financiero .....	54
3.6.1	Estudio de factibilidad técnico.....	54
3.7.	Factibilidad económica.....	61
3.7.1	Análisis de costos para simulación. ....	61
3.7.2	Análisis de costos para equipos y manufactura. ....	63
3.7.3	Análisis de costos para equipos para usuarios finales. ....	66
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>68</b>
<b>ESTUDIO DE MERCADO DE LOS SERVICIOS LTE .....</b>		<b>68</b>
4.1	Introducción.....	68
4.2.	Tecnologías y servicios existentes.....	69
4.2.1	Tecnologías. ....	69
4.2.2	Servicios.....	69
4.3	Ventajas de LTE.....	70
4.4	Mercado de la telefonía celular en Quito-Ecuador.....	71
4.5	Encuesta para evaluar el estado de la telefonía celular en Quito-Ecuador..	73
<b>CAPÍTULO 5.....</b>		<b>81</b>
<b>DISEÑO DE LA RED LTE .....</b>		<b>81</b>

5.1	Introducción.....	81
5.2	Identificación de zonas con mayor demanda de servicio de telefonía .....	81
5.3.	Establecimiento de parámetros técnicos para la cobertura.....	82
5.3.1	Modelo de propagación. ....	82
5.3.2	Determinación de los parámetros topográficos de la zona norte. ....	85
5.4	Geometría de las redes celulares .....	88
5.5	Topología de la red .....	90
5.6	Localización de los sitios para la implementación BTS y celdas.....	91
<b>CAPÍTULO 6.....</b>		<b>94</b>
<b>SIMULACIÓN DE LA RED LTE .....</b>		<b>94</b>
6.1	Introducción.....	94
6.2	ICS Designer .....	94
6.3	Configuración de la Red LTE en ICS Designer .....	95
6.4	Selección de parámetros a usarse en el simulador.....	98
6.5	Análisis de los resultados .....	106
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>109</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>111</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS .....</b>		<b>113</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inversiones económicas (Expresado en millones de dólares). .....	5
Tabla 2. Cuadro de tarifas de CONECEL S.A (Expresado en dólares por cada minuto). .....	5
Tabla 3. Cuadro de tarifas de OTECEL S.A (Expresado en dólares por cada minuto). .....	6
Tabla 4. Cuadro de tarifas de CNT EP (Expresado en dólares por cada minuto). .....	6
Tabla 5. Resumen de la evolución tecnológica móvil.....	14
Tabla 6. Canales utilizados en LTE para transmisión. ....	33
Tabla 7. Canales físicos utilizados en downlink .....	34
Tabla 8. Canales físicos utilizados en uplink .....	34
Tabla 9. Canales de transporte downlink .....	35
Tabla 10. Canales de transporte uplink .....	35
Tabla 11. Canales de control .....	36
Tabla 12. Canales de tráfico. ....	36
Tabla 13. División de bandas de guarda en FDD para LTE.....	37
Tabla 14. Bandas de frecuencia en TDD para LTE .....	38
Tabla 15. Configuraciones MIMO .....	40
Tabla 16. Clases de QCI.....	42
Tabla 17. Espectro por operador .....	48
Tabla 18. Latitud y longitud. ....	53
Tabla 18. Latitud y longitud. ....	54
Tabla 19. Altura de las parroquias de la zona norte. ....	54
Tabla 20. Características y estándares preliminares.....	55
Tabla 21. Infraestructura del servicio móvil avanzado de la operadora CONECEL en los últimos 5 años.....	55
Tabla 22. Infraestructura del servicio móvil avanzado de la operadora CNT E.P. en los últimos 5 años.....	56

Tabla 23. Infraestructura del servicio móvil avanzado OTECEL en los últimos 5 años. ....	57
Tabla 24. Elementos de la red LTE .....	59
Tabla 24. Elementos de la red LTE (Continuación...)..	60
Tabla 25. Resumen nacional de abonados y líneas activas por concesionario.....	60
Tabla 26. Costos licencias de software de simulación .....	62
Tabla 27. Elementos convergentes, nuevos y desplazados para implementación 4g.	63
Tabla 28. Análisis de costos de equipos por celda. ....	65
Tabla 29. Elementos de la tecnología LTE y costo de manufactura.....	65
Tabla 30. Costo de equipos para usuarios .....	66
Tabla 31. Cuadro estadístico del crecimiento económico de las operadoras en el Ecuador.....	68
Tabla 32. Tecnología actual operadoras Ecuador .....	69
Tabla 33. Análisis efectividad servicios ofertados por operadoras en Ecuador 2012	70
Tabla 34. Pregunta 1: ¿Qué operadora de telefonía móvil usted utiliza?.....	75
Tabla 35. Pregunta 2: ¿Qué tiempo lleva utilizando esta operadora de telefonía móvil?.....	75
Tabla 36. Pregunta 3: ¿La cobertura que brinda su operadora telefónica es? .....	75
Tabla 37. Pregunta 4: ¿Qué tipo de servicio telefónico móvil tiene?.....	76
Tabla 38. Pregunta 5: La calidad de los servicios de mensajes y llamadas de su operadora telefónica móvil le parecen: .....	76
Tabla 39. Pregunta 6: El costo de los servicios (llamadas y mensajes) que ofrece su operadora telefónica le parece:.....	76
Tabla 40. Pregunta 7: ¿Qué tipos de servicios tiene su celular? .....	77
Tabla 41. Pregunta 8: En caso de tener el servicio de internet en su teléfono celular la velocidad de acceso es, caso contrario continúe con la pregunta 10. ....	77
Tabla 42. Pregunta 9: ¿Conoce la velocidad con la que se conecta usted a internet por medio de su teléfono celular? en el caso de que sea así seleccione: .....	77

Tabla 43. Pregunta 10: ¿Cómo cliente a que nuevos servicios de telefonía móvil le gustaría acceder? .....	78
Tabla 44. Pregunta 11: En la actualidad considera que implementar los servicios mencionados en la pregunta anterior son: .....	78
Tabla 45. Pregunta 12: Por los servicios mencionados anteriormente ¿Cuánto pagaría usted mensualmente? .....	79
Tabla 46. Pregunta 13: ¿Cuál sería el costo que usted pagaría por un celular inteligente (cuarta generación) con los servicios mencionados anteriormente? .....	79
Tabla 47. Datos de modelo hata extendido .....	82
Tabla 48. Cálculo de semiperímetro y área .....	87
Tabla 49. Tipos de celdas .....	89
Tabla 50. Estaciones base.....	91
Tabla 51. Características de las antenas de la estación base .....	92
Tabla 52. Parámetros BSC antena direccional .....	99
Tabla 53. Parámetros BSC antena omnidireccional.....	100
Tabla 54. Azimut hacia la estación Cerro_Pichincha.....	101
Tabla 55. Parámetros antena direccional.....	102
Tabla 56. Parámetros antena omnidireccional .....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Equipo primera generación .....	7
<i>Figura 2.</i> Equipo segunda generación .....	8
<i>Figura 3.</i> Equipo tercera generación.....	11
<i>Figura 4.</i> Equipo cuarta generación.....	13
<i>Figura 5.</i> Ingresos y egresos de interconexión .....	15
<i>Figura 6.</i> Ingresos y egresos de interconexión .....	17
<i>Figura 7.</i> Ingresos y egresos de interconexión .....	18
<i>Figura 8.</i> Modelo de tráfico para datos.....	22
<i>Figura 9.</i> Modelo de tráfico para datos.....	23
<i>Figura 10.</i> Evolución, plazos previstos para los sistemas 3GPP. ....	25
<i>Figura 11.</i> Velocidad de datos de uplink y downlink de HSPA y LTE. ....	26
<i>Figura 12.</i> Arquitectura de red LTE.....	26
<i>Figura 13.</i> Componentes de EPS.....	28
<i>Figura 14.</i> Red de acceso E-UTRAN. ....	29
<i>Figura 15.</i> Arquitectura de equipo de usuario .....	30
<i>Figura 16.</i> Subportadoras ortogonales.....	31
<i>Figura 17.</i> Intervalo de guarda en un símbolo OFDM. ....	32
<i>Figura 18.</i> Visualización de N QPSK en un símbolo SC-FDMA.....	32
<i>Figura 19.</i> Transmisión de símbolos OFDMA y SC FDMA. ....	33
<i>Figura 20.</i> Duplexación por división de Frecuencia - (FDD).....	37
<i>Figura 21.</i> SISO .....	40
<i>Figura 22.</i> MISO.....	40
<i>Figura 23.</i> SIMO.....	40
<i>Figura 24.</i> MIMO .....	40
<i>Figura 25.</i> Técnicas de antenas.....	40
<i>Figura 26.</i> Entidades regulatorias del Ecuador.....	45

<i>Figura 27.</i> Evolución desde GSM hacia LTE .....	49
<i>Figura 28.</i> Mapa de la ciudad de Quito .....	52
<i>Figura 29.</i> Mapa administraciones zonales .....	52
<i>Figura 30.</i> Mapa administración norte – Eugenio Espejo .....	53
<i>Figura 31.</i> Incremento de radio bases vs incremento de líneas activas de los últimos 5 años de la operadora CONECEL S.A. ....	56
<i>Figura 32.</i> Incremento de radio bases vs incremento de líneas activas de los últimos 5 años de la operadora CNT E.P.....	56
<i>Figura 33.</i> Incremento de radio bases vs incremento de líneas activas de los últimos 5 años de la operadora OTECEL S.A. ....	57
<i>Figura 34.</i> Convergencia e interacción 3GP -LTE.....	58
<i>Figura 35.</i> Equipos para la red LTE.....	64
<i>Figura 36.</i> Tipos de abonados telefonía móvil .....	72
<i>Figura 37.</i> Altura de las antenas del cerro Pichincha.....	83
<i>Figura 38.</i> División celular zona norte de la ciudad de Quito. ....	86
<i>Figura 39.</i> Área total de la zona norte de Quito .....	87
<i>Figura 40.</i> Geometría de las redes celulares.....	89
<i>Figura 41.</i> Topologías de red de acceso.....	90
<i>Figura 42.</i> Localización estaciones base .....	91
<i>Figura 43.</i> Diseño de la red para simulación. ....	93
<i>Figura 44.</i> ICS Map Server Mapa de la ciudad de Quito .....	95
<i>Figura 45.</i> ICS Designer mapa de la ciudad de Quito .....	96
<i>Figura 46.</i> Datos para antenas de la ciudad de Quito .....	96
<i>Figura 47.</i> Antenas ubicadas en la ciudad de Quito. ....	97
<i>Figura 48.</i> Antenas ubicadas en ICS Designer. ....	97
<i>Figura 49.</i> Límites de la zona norte de la ciudad de Quito.....	98
<i>Figura 50.</i> Propiedades de las células.....	98
<i>Figura 51.</i> Modelo de propagación hata extendido. ....	99

<i>Figura 52.</i> Parámetros de ingreso antena direccional para estaciones base .....	100
<i>Figura 53.</i> Parámetros de ingreso antena omnidireccional para estaciones base. ...	101
<i>Figura 54.</i> Parámetros técnicos de la antena direccional.....	102
<i>Figura 55.</i> Parámetros técnicos de la antena omnidireccional. ....	103
<i>Figura 56.</i> Lista de antenas.....	103
<i>Figura 57.</i> Parámetros de la antena direccional - radiación.....	104
<i>Figura 58.</i> Diseño de la red con las 8 estaciones base en la zona norte de Quito ...	104
<i>Figura 59.</i> Parámetros de celdas.....	105
<i>Figura 60.</i> Parámetros eNodeB.....	105
<i>Figura 61.</i> Cobertura compuesta de la zona norte de Quito. ....	106
<i>Figura 62.</i> Línea de vista Estación Mariscal_Sucre – Cerro Pichincha .....	106
<i>Figura 63.</i> Parámetros de la estación transmisora emitidos por el simulador .....	107
<i>Figura 64.</i> Parámetros de la estación receptora emitidos por el simulador.....	107
<i>Figura 65.</i> Ruta entre la estación Mariscal_Sucre y la estación cerro Pichincha. ...	107
<i>Figura 66.</i> Diseño de la red final en el simulador.....	108

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Gabinetes de estación base de la operadora CNT E.P .....	122
Anexo 2. Formato de encuesta .....	123
Anexo 3. Parámetros de las estaciones base .....	126
Anexo 4. Ficha técnica de las antenas direccional y omnidireccional .....	130
Anexo 5. Reporte de simulador.....	132

## **RESUMEN**

En este trabajo de investigación, se elaboró un estudio técnico de factibilidad para la implementación de la nueva tecnología LTE (Long Term Evolution) en la zona norte de la ciudad de Quito - Ecuador, tomando en cuenta los factores técnicos actuales con los que trabaja cada operadora, aspectos regulatorios y consideraciones para una posible migración.

Con respecto a la recopilación de la información para la elaboración del documento se utilizó el método analítico de investigación, realizando así la revisión, el análisis de varios documentos web, para comprender los elementos de la red LTE tales como, equipos de usuario, red troncal y red de acceso al núcleo, para recomendar a cada una de las operadoras el mejor método de migración hacia LTE.

Se evaluó las frecuencias de transmisión asignadas por CONATEL para ofrecer los servicios de LTE en Ecuador, tomando como referencia a la operadora CNT E.P, ya que la misma se encuentra actualmente con esta tecnología, también se recomendó a las operadoras Claro y Movistar migrar su tecnología a LTE, ya que se realizó un análisis técnico y económico dando como resultado una migración viable de cada operadora.

Para terminar la investigación de este proyecto se realizó la simulación de la red LTE, de acuerdo al diseño de red planteado en el capítulo 6 se utilizó en la simulación 8 estaciones base, más una estación base ubicada en el cerro Pichincha, dando como resultado una cobertura buena en la zona de estudio.

## **ABSTRACT**

The investigation, a technical feasibility study for the implementation of the new LTE (Long Term Evolution) technology in the north of the city of Quito (Ecuador) was developed, taking into account the current technical factors each operator works with, regulatory aspects and considerations for a possible migration.

In regards to the gathering of information for the preparation of this document, analytical research method was used. Thus, reviewing and analysing multiple web documents to understand the elements of the network LTE such as user equipment, trunk network and core access network to be able to recommend to each of the operators the best method of migration to LTE.

Transmission frequencies assigned by CONATEL were evaluated to offer LTE services in Ecuador by having as reference CNT E.P operator since they are currently using this technology. Also, it was recommended that operators Claro and Movistar migrate their technology to LTE because a technical and economic analysis was carried out resulting in a viable migration of each operator.

To complete the investigation of the project, a simulation of the LTE network was made according to the network design proposed in chapter 6. In the simulation, 8 base stations were used plus a base station located in the cerro Pichincha, giving as a result a good coverage in the study area.

## INTRODUCCIÓN

### **Planteamiento del problema**

En la era actual los avances tecnológicos nacen y mejoran a un ritmo constante y creciente, más aun tomando en cuenta la evolución en estos últimos tiempos en cuanto a redes celulares se refiere, por esta razón una operadora de telefonía celular no puede quedarse atrás, perjudicando de cierta manera a sus abonados, proporcionando servicios desactualizados en el Ecuador, más aun cuando LTE (Long Term Evolution) se muestra como una verdadera tecnología móvil de banda ancha, la cual permitiría ofrecer a los usuarios servicios de calidad, además de promover su uso y cubrir dicha creciente demanda, permitiendo aprovechar la tecnología disponible actualmente a nivel mundial.

En Ecuador se encuentra implementada una tecnología, la cual es orientada a una conexión de telefonía celular buena, pero regular para usarla en transmisión de datos, por tanto provoca latencia, pérdida de datos o paquetes además, de que al ser utilizada en multimedia eleva estas características y aún más el costo, convirtiendo en un problema la comunicación entre usuarios industriales o corporativos ya que fundamentan sus negocios en contenidos multimedia, lo que hace imprescindible que se utilice una tecnología guiada y orientada desde este punto de vista.

En este estudio se define la factibilidad de la implementación de la tecnología celular LTE (Long Term Evolution) en el sector norte de Quito, denominado Administración Zona Norte Eugenio Espejo, al ser el más desarrollado empresarialmente necesita satisfacer sus necesidades de comunicación y transferencia de contenido multimedia a mayor velocidad con un mejor ancho de banda el cual hasta el día de hoy es insuficiente causando problemas de saturación, que redundan en costos elevados en planes tarifarios ofertados por operadoras que pudieran mejorar sus servicios de telefonía, transferencia de datos y contenido multimedia.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Realizar un estudio de la factibilidad técnica de implementación y simulación basada en la tecnología celular LTE (Long Term Evolution) en la zona norte de Quito, Administración Zona Norte Eugenio Espejo.

### **Objetivos específicos**

- Conocer los principios de funcionamiento de la telefonía celular, así como de las, operadoras y tecnologías implementadas en el Ecuador.
- Analizar la zona norte (Eugenio Espejo) sobre la cual se realizará el diseño de la red, tomando en cuenta datos geográficos y urbanos para un correcto estudio de factibilidad y simulación.
- Investigar las características técnicas que la tecnología LTE (Long Term Evolution) proporcionaría al ser utilizada por las operadoras así como sus múltiples usuarios.
- Investigar el software adecuado que permita realizar la simulación precisa de una red mediante una previa investigación de los mismos para así representar una red física.
- Diseñar una red LTE (Long Term Evolution) mediante una simulación, que permita comprender su funcionalidad y factibilidad en un ambiente virtual.
- Realizar un estudio en cuanto a aspectos regulatorios y de control para la migración de una tecnología celular anterior a una nueva.
- Examinar las características técnicas y de funcionamiento que deberían poseer los equipos a utilizar en una red LTE (Long Term Evolution).
- Elaborar un análisis económico basado en un presupuesto, mismo que se consideraría para la factibilidad de implementación de la red.

## **Justificación del proyecto**

LTE (Long Term Evolution) es el avance 3G a 4G, por tal motivo la evidente mejora en tecnología de banda ancha móvil es parte de una evolución prevista de UMTS y GSM, lo cual le da las características esenciales e indispensables para hacer que posea fuertes ventajas frente a otras ya implementadas; y de ser utilizada por cualquier operadora, la posicionará indudablemente en lo más alto; en un mercado saturado por tecnologías inalámbricas que están quedando atrás en la evolución de las telecomunicaciones, siendo así el Ecuador no puede estar alejado de esta inminente realidad.

La evolución 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata, es por ello que se hace imprescindible este estudio, ya que proporcionaría soluciones frente al bajo ancho de banda y alta latencia presente en la actual red celular, al poseer LTE (Long Term Evolution), velocidades de acceso entre 100Mbps en movimiento y 1Gps en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) de punta a punta (end-to-end) de alta seguridad para ofrecer servicios de cualquier clase, en cualquier momento, lugar y con el mínimo coste posible.

Este proyecto de trabajo de titulación está dirigido tanto a operadoras de telefonía celular, como a sus usuarios investigados; se presentarán los resultados obtenidos, mediante la encuesta la cual presentará si el estudio de factibilidad de implementación de LTE (Long Term Evolution) presenta mejoramiento en la comunicación multimedia, datos y voz, además de una simulación de la red para complementar el estudio de factibilidad que generaría una mejor comunicación móvil en la zona norte de Quito.

## **Alcance del proyecto**

Muchos de los barrios de la zona norte de la ciudad son de carácter residencial, identificándose, que la mayoría de sus habitantes poseen niveles económicos altos, además, en este sector se encuentran ubicadas importantes empresas financieras, multinacionales y embajadas, así como otras entidades de trascendental importancia

como la bolsa de valores de Quito, el Banco Central del Ecuador, el Servicio de Rentas Internas, la Superintendencia de Bancos, entre otras.

En la Zona Norte (Eugenio Espejo), es donde se puede apreciar lo más representativo de la arquitectura ecuatoriana contemporánea, representada en muchas edificaciones levantadas para el funcionamiento de la banca, el comercio, entretenimiento, etc.

La mayoría de estas edificaciones se encuentran ubicadas alrededor de un parque de recreación urbano muy conocido como "La Carolina" de 67 hectáreas, además existen otros sectores adjunto como la "Mariscal" donde se puede apreciar claramente la afluencia del turismo de origen extranjero que a su vez promueve el uso de aplicaciones celulares, es así que se hace imprescindible un mejoramiento en cuanto a la comunicación de voz y multimedia se refiere, haciendo que las operadoras de telefonía celular tales como OTECEL S.A., CONECEL S.A., y CNT EP faciliten un mejor manejo de dichos medios, buscando alternativas eficientes para mejorar y optimizar los servicios que ofrecen estas empresas operadoras.

Quito siendo la capital de Ecuador se debería mejorar en cuanto a este servicio se refiere y así entrar en una nueva era en telecomunicaciones, este estudio está orientado a la zona norte, debido a que es el más desarrollado empresarialmente y tecnológicamente, para lo cual se tomará en cuenta:

- Aspectos fundamentales en los procesos de comunicación, rendimiento y las opciones que se presentan para migrar desde cualquier tecnología hacia LTE en el norte de Quito.
- Parámetros de la telefonía celular como lo es la calidad de los servicios, costos del servicio, capacidad de compra y venta de equipos 4G por parte de las operadoras ya mencionadas y sus abonados.

Para la simulación de la red LTE se realizará un breve análisis de varios software de simulación tomando en cuenta la accesibilidad de adquisición para ser utilizarlos.

Existen varios software de predicción mismos que en la actualidad ayudan en la simulación de diferentes tipos de redes de comunicación, estos simuladores constituyen una herramienta para conocer y predecir el comportamiento de las mismas.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Introducción a la telefonía celular

La telefonía celular es un sistema de comunicación telefónica móvil, es totalmente inalámbrica desde la estación base hasta el cliente, esta tecnología con el transcurso del tiempo ha ido evolucionando, y las operadoras proveedoras de servicios han invertido tiempo y recursos para encontrar nuevos sistemas de mayor capacidad, y de menor costo; ya que debido a los altos precios que implicaba adquirir y sostener un servicio de este tipo, anteriormente se encontraban fuera del alcance de los usuarios, como se puede observar a continuación en la información de tarifas de las diferentes operadoras de Ecuador. (Traverso, 2010), (EcuRed, 2012).

La tabla 1 muestra la operadora y el año de las actividades de inversión económica.

**Tabla 1.** Inversiones económicas (Expresado en millones de dólares).

EMPRESA	2007	2008	2009	2010
<b>OTECCEL S.A (Movistar)</b>	\$81,44	\$182,06	\$115,14	\$79,42
<b>CONECEL S.A (Claro)</b>	\$103,45	\$429,6	\$96,01	\$107,59
<b>CNT EP</b>	\$5,85	\$6,63	N/D	N/D

Nota: N/D: No disponible debido a que la empresa CNT EP (EX-TELECSA SA) no entregó los Estados Financieros Auditados por el ejercicio fiscal 2009 y 2010.

**Fuente:** (SENATEL, 2011) .

La tabla 2 muestra el servicio y el costo de CONECEL S.A establecido para el año 2013.

**Tabla 2.** Cuadro de tarifas de CONECEL S.A (Expresado en dólares por cada minuto).

PREPAGO		
DESTINO	ANTES DE IMPUESTOS	VALOR FINAL
<b>Promoción Mejor Amigo CLARO (1 Número)</b>	\$ 0,01	\$ 0,01
<b>Promoción 10 Número Favoritos CLARO</b>	\$ 0,05	\$ 0,06
<b>Móviles CLARO</b>	\$ 0,16	\$ 0,18
<b>Otras Operadoras Fijas</b>	\$ 0,16	\$ 0,18
<b>Otras Operadoras Móviles</b>	\$ 0,22	\$ 0,25

**Fuente:** (Claro, Claro, 2013)

La tabla 3 muestra el servicio y el costo de OTECEL S.A establecido para el año 2013.

**Tabla 3.** Cuadro de tarifas de OTECEL S.A (Expresado en dólares por cada minuto).

TARIFA MOVISTAR		TARIFA MULTICOLOR		TARIFA 3X1 A TODOS	
Movistar	Otro Operador	Movistar	Otro Operador	Movistar	Otro Operador
Fijo o Móvil		Fijo o Móvil		Fijo o Móvil	
\$ 0,08	\$ 0,23	\$ 0,15	\$ 0,15	\$ 0,18	\$ 0,18

Fuente: (Movistar, 2013)

La tabla 4 muestra el servicio y el costo de CNT EP establecido para el año 2013.

**Tabla 4.** Cuadro de tarifas de CNT EP (Expresado en dólares por cada minuto).

CATEGORIA	TARIFA ANTERIOR	TARIFA PAÍS	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN
Popular (A)	\$0,0093	\$0,006	35,48
Residencial (B)	\$ 0,04	\$ 0,02	60,00
Comercial (C)	\$0,112	\$0,056	50,00

Fuente: (CNT, 2013)

La evolución en el área de telecomunicaciones ha provocado que fabricantes y organismos de regularización, busquen nuevas alternativas para optimizar servicios, productos y mejorar recursos de consumo masivo en beneficio del usuario y las empresas operadoras que brindan estos servicios.

Una de las nuevas tecnologías que tiene características especiales para llegar a ser, una de las opcionadas a posicionarse en el mercado es Long Term Evolution - LTE, por varias ventajas que presenta tales como velocidad, baja latencia, entre otras.

## 1.2. Evolución de la tecnología celular

A través del tiempo se han realizado varias investigaciones para mejorar los servicios de telefonía celular, mejorando la calidad de servicio, reduciendo los tiempos de latencia, mejorando eficiencia del espectro y la seguridad en las comunicaciones, etc. La telefonía celular en sus inicios fue creada únicamente para comunicación por voz, en la actualidad es capaz de brindar varios tipos de servicios tales como voz, datos, audio y video. (García, 2012)

Los teléfonos celulares y los avances tecnológicos en los mismos se han convertido en una herramienta primordial para el usuario.

### **1.2.1 Telefonía móvil primera generación (1G).**

La primera generación de la telefonía móvil fue en el año de 1979, se caracterizó por ser telefonía analógica, utilizada estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy reducida, la velocidad de conexión no era mayor a 2400 bauds.

En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad basada en Frequency Division Multiple Access - FDMA, lo que limitaba en forma notable la cantidad de usuarios que el servicio podía ofrecer en forma simultánea, debido a que FDMA divide los canales de radio en un rango de radiofrecuencias y asigna un canal a la vez a cada suscriptor.

La tecnología predominante de esta generación es Advanced Mobile Phone System - AMPS.

El tamaño de los equipos era mayor a los de la actualidad; fueron originalmente diseñados para el uso en los automóviles. La primera compañía en introducir al mercado un teléfono portátil fue Motorola. (Isi, 2011).



**Figura 1.** Equipo primera generación

**Fuente:** (García, 2012)

### **1.2.2 Telefonía móvil segunda generación (2G).**

La segunda generación apareció en 1990 y a diferencia de la primera generación se caracterizó por ser digital. El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados, Time Division Multiple Access - TDMA, que divide los canales de radio

convencional en ventanas de tiempo para obtener una mayor capacidad, ninguna conversación puede acceder a un canal ocupado.

Las tecnologías predominantes son: Global System for Mobile Communications - GSM; IS-136 (conocido también como TIA/EIA-136 o ANSI-136) y Code Division Multiple Access - CDMA y Personal Digital Communications - PDC, éste último utilizado en Japón. (Martínez, 2001).



#### *1.2.2.1 Global System for Mobile Communications - GSM.*

Es el estándar más usado en Europa a fines de siglo XX, y también admitido en Estados Unidos.

Este estándar utiliza las bandas de frecuencia de 900 MHz y de 1800 MHz en Europa. Mientras que, en Estados Unidos la banda de frecuencia utilizada es la de 1900 MHz, utiliza modulación GMSK y técnica de acceso múltiple TDMA que divide el tiempo en 8 ó 16 ranuras.

GSM presenta las siguientes ventajas:

- Proporciona calidad y claridad a los usuarios, en los servicios de voz.
- Permite la recepción y transmisión de información multimedia.
- Existe variedad de equipos a los cuales el usuario puede acceder.
- Gran área de cobertura para realizar y recibir llamadas.
- Permite almacenamiento de información en una tarjeta SIM. (Martínez, 2001).

### *1.2.2.2 Code Division Multiple Access – CDMA.*

Considerada como tecnología de segunda generación, además de ser el segundo estándar digital adoptado en Estados Unidos.

CDMA soluciona problemas de capacidad que mostraban los sistemas FDMA y TDMA debido al uso de portadoras ortogonales.

CDMA presenta las siguientes ventajas:

- Mejora la calidad de la llamada haciendo su sonido más claro, hacia los usuarios.
- Mejora las características de cobertura.
- Mejora el tráfico telefónico.
- Reducción de la interferencia con otros sistemas.
- Elimina de los efectos audibles de fading (atenuación) multitrayecto. (Geocities, 2010).

### **1.2.3 Telefonía móvil generación (2.5G).**

Una vez que la segunda generación se estableció, las limitantes de algunos sistemas en lo referente al envío de información se hicieron evidentes. Muchas aplicaciones para transferencia de información eran vistas a medida que el uso de laptops y del propio Internet se fue popularizando.

La tecnología más conocida comúnmente de 2.5G es GPRS que provee transferencia de datos a velocidad moderada usando canales TDMA no utilizados en la red GSM.

La generación 2.5G ofrece características extendidas para ofrecer capacidades adicionales a los sistemas 2G, tales como: General Packet Radio System - GPRS, High Speed Circuit Switched Data - HSCSD, Enhanced Data Rates for Global Evolution - EDGE, IS-136B, IS-95B, entre otros.

2.5G provee algunos de los beneficios de 3G como por ejemplo conmutación de datos en paquetes y puede usar algo de la infraestructura utilizada por 2G en las redes GSM y CDMA. (Isi, 2011).

Servicios incrementados en la tecnología 2.5G

- Servicio de Mensajería Mejorado - EMS, permite la inserción de melodías, imágenes y animaciones dentro de un mensaje.
- Sistema de Mensajería Multimedia–MMS, estos mensajes se envían mediante GPRS permitiendo la inserción de imágenes, sonidos, videos y texto. Un MMS se envía en forma de diapositiva, la cual solo puede contener una imagen, un sonido y un texto en cada plantilla, teniendo en cuenta que no es posible enviar un vídeo de más de 15 segundos de duración. (Redacción\_redes\_telecom, 2009).

#### **1.2.4 Telefonía móvil tercera generación (3G).**

Poco tiempo después de haber aparecido las redes 2G se comenzó a desarrollar los sistemas 3G, mismos que han logrado capturar la atención y la imaginación del usuario, convirtiéndose en un segmento de mayor crecimiento dentro del área de telecomunicaciones.

El aumento de usuarios que buscan un servicio eficiente no solamente de telefonía celular, sino también el acceso a servicios multimedia y transferencia de información, esto ha provocado saturación en los sistemas y la manera de solucionar este problema es haciendo uso de otras bandas del espectro para alojar a un mayor número de usuarios, dividir las celdas existentes en otras más pequeñas y hacer la reutilización de frecuencias.

Uno de los principales motivos que han llevado a una tercera generación es la necesidad de aumentar la capacidad de los sistemas respecto a las redes móviles actuales, además del incremento de tráfico y la aparición de nuevos servicios donde el aumento de aplicaciones multimedia genera gran aumento de tráfico.

La red 3G ofrece velocidades de datos de más de 144 Kbit/s, brindando usos multimedia, como por ejemplo, transmisión de videos, video conferencias o acceso a Internet de alta velocidad. Las redes 3G utilizan bandas con diferentes frecuencias a las redes anteriores: 1885 a 2025 MHz y 2110 a 2200 MHz.

El estándar 3G más importante que se usa en Europa se llama Sistema universal de telecomunicaciones móviles - UMTS y emplea codificación Acceso múltiple por división de código de banda ancha - W-CDMA. La tecnología UMTS usa bandas de

5MHz para transferir voz y datos con velocidades de datos que van desde los 384 Kbps a los 2 Mbps. (kioskea, 2012), (Maritza, 2012).



**Figura 3.** Equipo tercera generación  
**Fuente:** (Sametband, 2007)

#### **Características tercera generación:**

- Alta velocidad de transmisión de datos.
- Transmisión de datos simétrica y asimétrica
- Calidad de voz alta
- Mayor capacidad y mayor eficiencia de espectro de frecuencia.
- Servicios simultáneos un usuarios finales.
- Soporta aplicaciones de comercio electrónico móvil.
- Transmisión de voz con menor ancho de banda.

#### **1.2.5 Telefonía móvil generación (3.5G).**

La telefonía móvil 3.5G es una variante del sistema 3G, considerada un paso previo antes de la cuarta generación, alcanzando una gran funcionalidad en sus herramientas así como también en el envío y recepción de datos, primeramente entre varios teléfonos celulares, y después desde redes de datos, Internet, terminales electrónicas, etc.

En esta generación se optimizan los sistemas como WCDMA - UMTS dando origen a la tecnología HSDPA, que al adicionar un canal para la transferencia de datos, permite llegar a 14Mbps de tasas de transferencia teóricas.

Una red 3.5G basada en High Speed Downlink Packet Access – HSDPA, ofrece tasas de transferencias de datos muy alta brindando servicios como:

- Video llamada.
- Video Streaming.
- Descarga de contenidos como videos, juegos 3D, mp3.
- Banda ancha móvil para acceso a Internet y aplicaciones corporativas.

HSDPA es un acrónimo de High-Speed Downlink Packet Access (Acceso a Descarga de Paquetes a Alta Velocidad) es una tecnología que actualiza a las redes UMTS, perteneciente a la familia global IMT-2000 del sistema de comunicaciones móviles de Tercera Generación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT. (Inazuma, 2010), (Isi, 2011).

### **Ventajas de la generación 3.5G:**

Los beneficios y ventajas de las redes basadas en tecnología HSDPA, tanto para operadores como clientes, pueden resumirse de la siguiente manera:

- Provee rangos de datos sobre siete veces mejores que las más avanzadas redes UMTS actuales.
- Cuadruplica la capacidad de la red.
- Reduce el tiempo de ida y vuelta entre la red y el terminal, ya que las mejoras del espectro de HSDPA, permitiendo un mejor y más rápido throughput respecto de la actual tecnología de UMTS.
- Cuenta con programación sofisticada, que permite una localización muy favorable de fuentes. (Isi, 2011)

### **1.2.6 Telefonía móvil cuarta generación (4G)**

La tecnología 4G tiene previsto utilizar velocidades de transmisión 10 veces más rápidas que las de la actual tecnología 3G, al tener una velocidad de transmisión más rápida, se notará menos la falta de cobertura de algunas zonas.

La 4G estará basada totalmente en IP siendo un sistema de sistemas y una red de redes, alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en computadores, dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para promover velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo una calidad

de servicio (QoS) de punta a punta (end-to-end) de alta seguridad para ofrecer servicios de cualquier clase, momento, lugar, con el mínimo coste posible.

Algunos de los estándares fundamentales para 4G son WiMAX, WiBro, y 3GPP LTE (Long Term Evolution). Para hacer realidad esta red es necesario integrar las tecnologías existentes (2G, 3G), y también hacer uso de nuevos esquemas de modulación o sistemas de antenas que permitan la convergencia de los sistemas inalámbricos. (liberal, 2013).



Una vez conocida brevemente cada una de las generaciones de la telefonía móvil, en la tabla 2 se muestra cada una de las generaciones, destacando las partes fundamentales de cada generación, tales como: transmisión, estándar, acceso, tipo de tráfico, tipo de conmutación y la cobertura de cada una de las generaciones. (Matencio, 2008).

## Resumen general de la evolución de telefonía móvil

**Tabla 5.** Resumen de la evolución tecnológica móvil

	<b>PRIMERA GENERACIÓN</b>	<b>SEGUNDA GENERACIÓN</b>	<b>GENERACIÓN 2.5G</b>	<b>TERCERA GENERACIÓN</b>	<b>GENERACIÓN 3.5g</b>	<b>CUARTA GENERACIÓN</b>
<b>TRANSMISIÓN</b>	Analógica	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital
<b>ESTÁNDAR</b>	AMPS	GSM	GSM/GPRS	WCDMA/CDMA-2000	UMTS/HSDPA	LTE
<b>ACCESO</b>	FDMA	CDMA/TDMA	CDMA/TDMA	CDMA	WCDMA	CDMA
<b>TRANSFERENCIA</b>	Voz	Voz, Datos	Voz, aumento de transmisión de datos	Voz, Video, Datos, acceso inalámbrico	Voz, Video, Datos, acceso inalámbrico	Voz, Video, Datos, acceso inalámbrico
<b>TIPO DE CONMUTACIÓN</b>	Circuitos	Circuitos	Paquetes	Paquetes	Paquetes	Paquetes
<b>COBERTURA</b>	Local/ Nacional/Internacional	Local/ Nacional/Internacional Roaming de Voz	Local/ Nacional/Internacional Roaming de Voz	Local/ Nacional/Internacional Roaming de Voz	Local/ Nacional/Internacional Roaming de Voz Roaming de datos	Local/ Nacional/Internacional Roaming de Voz Roaming de datos

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

### 1.3. Operadoras celulares de Quito-Ecuador

#### 1.3.1 CONECEL S.A (CLARO).

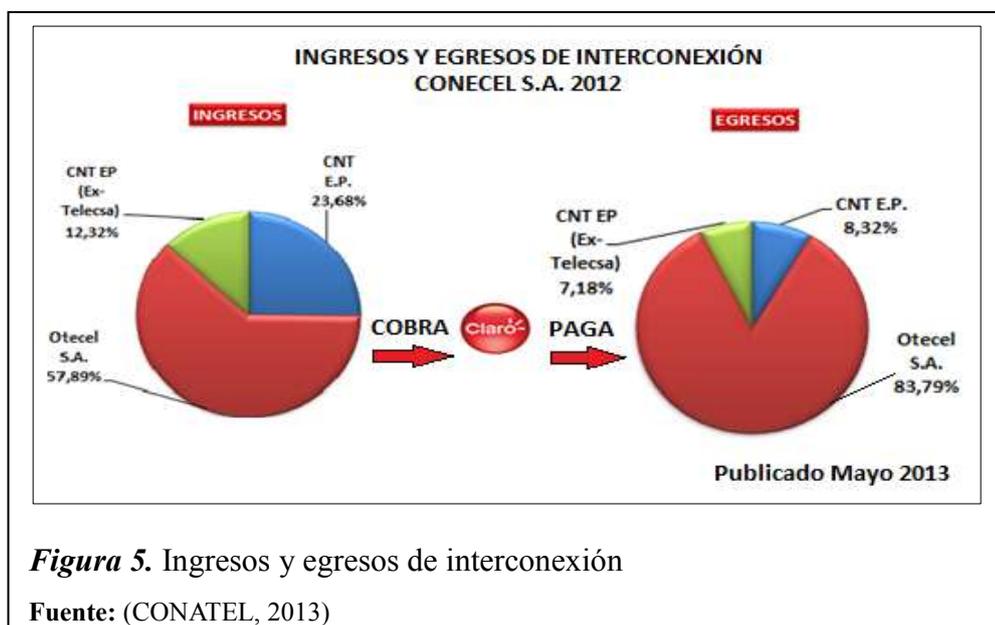
“CONECEL S.A. está operando desde 1993, es la empresa de telefonía celular líder en Ecuador con más de 11.5 millones de usuarios, con el 96 % de la población cubierta del territorio nacional, llegando a más de 1.300 ciudades y poblaciones, más 8.000 kilómetros de carreteras y caminos vecinales en las 4 regiones del país.

CONECEL es compañía subsidiaria del grupo mexicano América Móvil, el proveedor líder de servicios inalámbricos en América Latina con diversas operaciones en el continente y más de 100 millones de suscriptores celulares en la gran región.

El objetivo fundamental de esta multinacional es consolidar su liderazgo en Latinoamérica y ser la número uno en todos los países en donde opera, llevando su servicio cada día a más personas.

CONECEL constituye la posibilidad de acceder a la mejor tecnología 3.5G, la mejor señal, la mejor tarifa y el mejor servicio de telecomunicaciones que existe actualmente en el mundo.” (Claro, 2012).

La figura 5 muestra los ingresos y los egresos de interconexión desde CONECEL S.A, principalmente hacia las operadoras OTECEL S.A y CNT EP (EX - TELECSA).



### *1.3.1.1 Bandas de frecuencia (CONECEL S.A).*

Las bandas de frecuencia asignadas a CONECEL S.A son las frecuencias A y la Sub banda E-E'.

Frecuencia A comprende los siguientes rangos:

- 824 - 835 MHz.
- 845 - 845.5 MHz.
- 869 - 880 MHz.
- 890 - 891.5 MHz.

La Sub banda E comprende los siguientes rangos:

- 1885 – 1980 MHz.
- 1965 – 1970 MHz. (CONATEL, 2013)

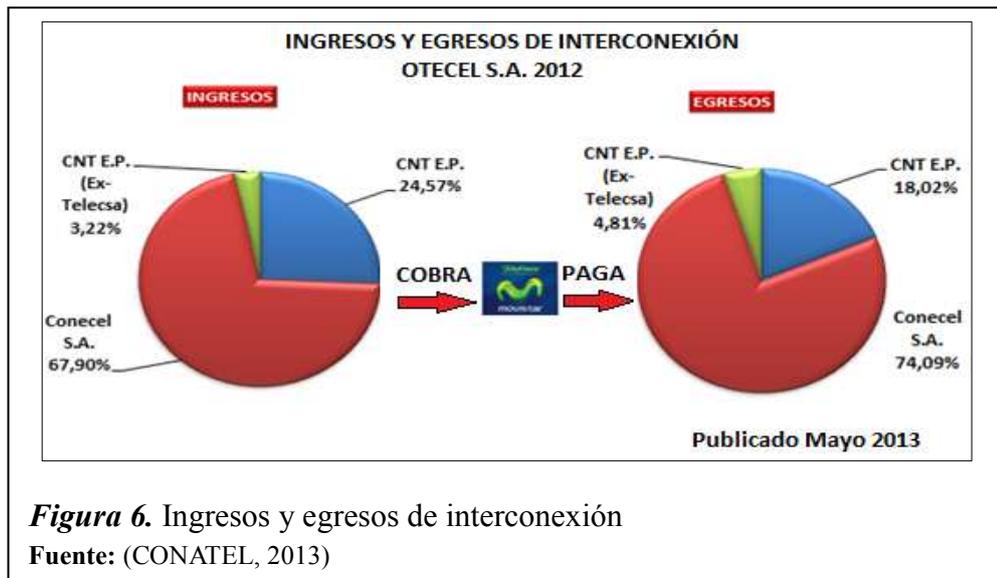
### **1.3.2 OTECEL S.A (MOVISTAR).**

Telefónica Móviles Ecuador inició sus operaciones el 14 de octubre del 2004 con la adquisición del 100% de acciones OTECEL S.A., concesionarias del servicio de telefonía móvil desde 1993.

Entre la estrategia de la compañía española para captar nuevos clientes, se incluyen nuevos servicios, paquetes promocionales, mayor cobertura, precios y productos competitivos y sobre todo una campaña publicitaria de alto nivel.

En la actualidad MOVISTAR ofrece sus servicios de telefonía celular basados en redes GSM, CDMA y UMTS. (Apuango, 2006)

La figura 6 muestra los ingresos y los egresos de interconexión desde OTECEL S.A, principalmente hacia las operadoras CONECEL S.A y CNT EP (EX TELECSA).



### 1.3.2.1 Bandas de frecuencias (OTECEL S.A).

Las bandas de frecuencias asignadas a OTECEL S.A. son las frecuencias denominadas B.

Frecuencia A comprende los siguientes rangos:

- 835 – 845 MHz.
- 846.5 – 849 MHz.
- 880 – 890 MHz.
- 891.5 – 894 MHz.

Además posee un grupo de frecuencias denominado D-D' que comprende los siguientes rangos:

- 1865 – 1870 MHz.
- 1945 – 1950 MHz. (CONATEL, 2013)

### 1.3.3 CNT E.P.

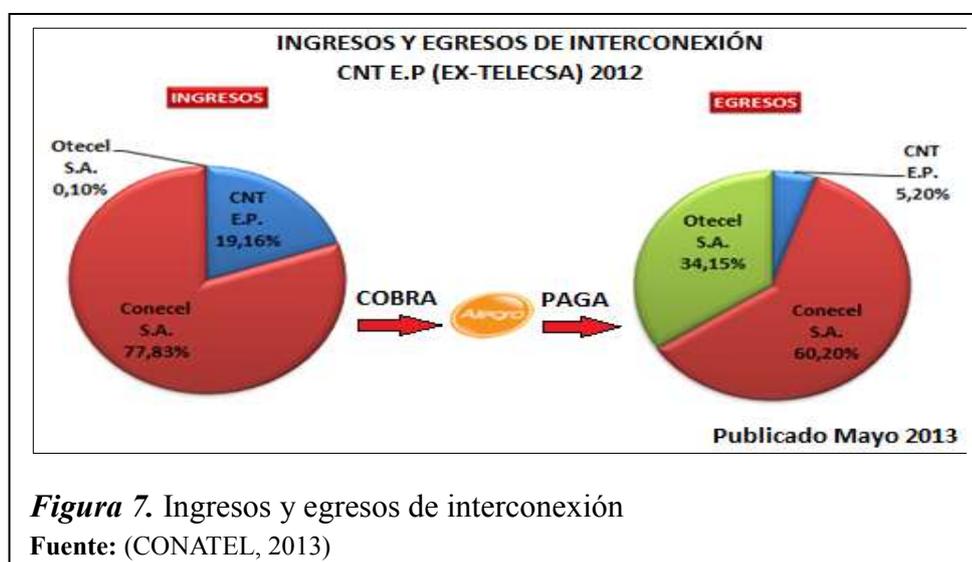
Alegro (Nombre comercial de TELECSA) se conformó en marzo del 2003, empezando a operar en diciembre del mismo año.

Hasta octubre del 2004, la compañía era propiedad al 50% de CNT y Pacifictel, después de recibir la autorización del Fondo de Solidaridad, Pacifictel se deshizo de su participación en la operadora móvil, quedando CNT como propietaria única de la compañía.

Cada mes, Alegro recibía 800 mil dólares de CNT y los mismo de Pacifictel, a su vez Pacifictel invirtió 40 millones de dólares en la constitución TELECSA, lo mismo que CNT.

CNT EP opera con los servicios de telefonía móvil celular bajo la administración de dos tecnologías GSM/GPRS/EDGE y CDMA 20001x EV-DO. (Apuango, Universidad Politécnica Salesiana, 2011)

La figura 7 muestra los ingresos y los egresos de interconexión desde CNT EP (EX TELECSA), principalmente hacia las operadoras CONECEL S.A y OTECEL S.A.



### 1.3.3.1 Bandas de frecuencias (CNT EP).

La Norma Internacional para los servicios móviles avanzados en el Ecuador (CDMA 2000) define su banda de frecuencias de operación.

Frecuencia C comprende los siguientes rangos:

- 1895 – 1910 MHz.
- 1975 – 1990 MHz.

Además, posee una parte adicional denominada banda F-F' que comprende los siguientes rangos de frecuencias:

- 1890 – 1895 MHz.
- 1970 - 1975 MHz. (CONATEL, 2013).

## **1.4 Cobertura radioeléctrica**

Los sistemas móviles son de cobertura zonal, proporcionando un servicio en cualquier punto de la zona de cobertura, esto significa tener varios trayectos con varios caminos de propagación.

La cobertura radioeléctrica se clasifica del siguiente modo:

- Según la extensión superficial: local, regional, nacional e internacional.
- Por su cualificación: calles, carreteras, áreas rurales, interiores de edificios, subterráneos y túneles.
- Por el grado de completitud: porcentaje de ubicaciones (perimetral y zonal) y porcentaje de tiempo.
- Por el porcentaje de la población.

La cobertura se programa de manera evolutiva, con hitos temporales que van estableciendo grados mayores de cobertura, cubriendo en primera fase escenarios urbanos densos y urbanos residenciales, donde reside la mayoría de la población. (Manosalvas, 2012).

## **1.5 Cálculo del tráfico**

El número de llamadas a efectuarse (tráfico) depende de las fluctuaciones periódicas del tráfico, del grado de servicio y de la forma de agrupamiento de los equipos de conmutación.

Un usuario puede iniciar a cualquier hora del día una solicitud de comunicación para enlazarse con otro usuario de la red, generando tráfico en la central telefónica, mismo que está representado por el número y la duración de la comunicación.

También hay que tener en cuenta ciertos factores externos tales como: ubicación geográfica, hábitos de los usuarios, hora del día, días de la semana, estación del año, celebraciones, etc.

La unidad de medida utilizada por la ITU – T es el Erlang (E), utilizada en telefonía como una medida estadística del volumen de tráfico, nombre dado en 1946 por el matemático Danés A. K. Erlang. (Inzirillo, 2012)

Hay diferentes fórmulas para calcular el tráfico entre ellos, Erlang-B, Erlang-B extendido, Erlang C:

**Fórmula Erlang-B:** también denominada como la fórmula de pérdida de Erlang, describe la probabilidad de pérdida de llamada. La fórmula se aplica bajo la condición de una llamada sin éxito, debido a que la línea está ocupada, no se pone en cola o se vuelve a intentar, se pierde para siempre, las llegadas de llamada son independientes.

La fórmula de Erlang B asume una población infinita de fuentes (por ejemplo, los abonados de teléfonos), que ofrecen conjuntamente el tráfico a N servidores (tales como enlaces en una ruta). La fórmula calcula la probabilidad de bloqueo en un sistema de pérdida, donde si una solicitud no es atendida inmediatamente cuando intenta utilizar un recurso, se anula. El bloqueo se produce cuando hay una nueva solicitud de una fuente, pero todos los servidores ya están ocupados. (Hackbath, 2012), (Marcano, Atel Asesores, 2012).

$$P_b = B(N, A) \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

**Donde:**

$P_b$  = Probabilidad de bloqueo

$N$  = número de canales de servicio

$A$  = es la intensidad de tráfico ofrecido en erlangs.

**Fórmula Erlang-B extendido:** se utiliza cuando las llamadas que encuentran a los servidores ocupados no se pierden, si no que se reintentan. Es un cálculo iterativo, en lugar de una fórmula, que agrega un parámetro adicional, el factor de repetición, que define la proporción de repetir la llamada. (Hackbath, 2012), (Marcano, Atel Asesores, 2012).

Para el cálculo del Erlang-B extendido se utiliza la fórmula de Erlang-B, además de calcular:

- El número probable de llamadas bloqueadas:  $B_e = AP_b$
- Calcular el número de rellamadas:  $R = B_e R_f$

- Calcular nuevamente el tráfico ofrecido:  $A = A_0 + R$

Donde  $A_0$  es el nivel inicial de tráfico

Este proceso hay que repetirse hasta obtener un valor estable de  $A$ .

**Fórmula de Erlang-C:** ofrece en conjunto, un tráfico de  $A$  Erlangs hacia  $N$  servidores. Sin embargo, si todos los servidores están ocupados cuando una petición llega de una fuente, la petición es introducida en la cola. Varias peticiones podrían ir a la cola en este modo simultáneamente. Esta fórmula asume que las llamadas que fueron bloqueadas se quedaran en el sistema hasta que se puedan atender, además es usada para determinar la cantidad de clientes.

$$P_c = \frac{\frac{A^N}{N!} \frac{N}{N-A}}{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{A^i}{i!} + \frac{A^N}{N!} \frac{N}{N-A}}$$

Donde:

$A$  = es la intensidad de tráfico ofrecido en erlangs

$N$  = número de canales de servicio

$P_c$  = es la probabilidad de que un cliente tenga que esperar para ser atendido.

Se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

**Hora Pico:** se refiere al comportamiento diario del tráfico del sistema telefónico, son aquellos 60 minutos del día en los que a través de varios días hábiles el promedio de la intensidad de tráfico alcanza su máximo, un ejemplo son las llamadas en la noche. (Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador, 2012)

**Intensidad de tráfico:** en un conjunto de recursos es el número de recursos ocupados en un instante de tiempo dado, la intensidad de tráfico se mide en erlangs, utilizando la siguiente fórmula:  $A = C * T$

Donde:

**A** = Intensidad de tráfico

**C** = Número de llamadas en las horas pico

**T** = tiempo promedio de retención de cada llamada

**Grado de servicio (GOS):** El grado de servicio está directamente relacionado con la probabilidad de bloqueo. Un alto grado de servicio garantiza al cliente una baja probabilidad de bloqueo durante la hora pico.

Para proveer un alto grado de servicio requiere incrementar el número de recursos en el sistema y al contrario se puede bajar los costos pero significaría que se disminuya recursos degradando el servicio.

**Tiempo de servicio:** El tiempo de ocupación que toma un recurso en satisfacer la solicitud de un usuario.

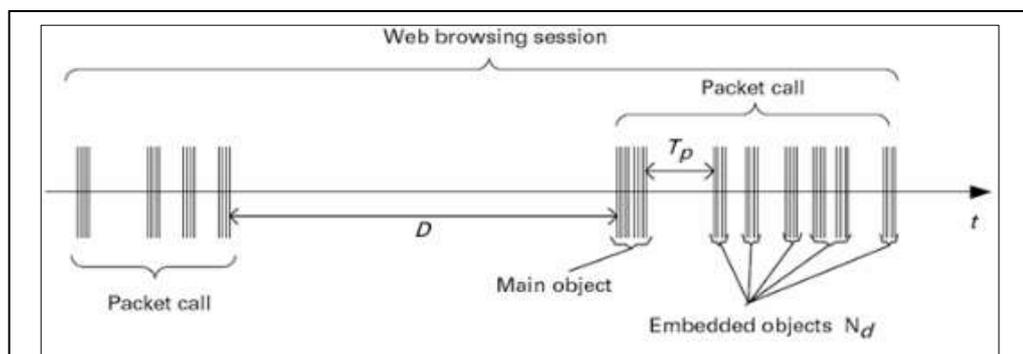
**Tiempo de espera:** Es aquel que espera el cliente en una cola antes de ser atendido si el servicio no es inmediato. (EventHelix, 2012)

**Asignación de canales:** se asignan canales a las estaciones base, y a cada móvil se realiza la asignación de un canal para comunicación.

### 1.5.1 Modelo de tráfico para datos.

Las necesidades de los usuarios se reflejan en un modelo de tráfico para datos que contenga la cantidad de datos que se reciben y se transmiten.

En la figura 8, en “Packet Calls”, representan los paquetes de datos solicitados mientras que el “Reading Times”, se refiere a los períodos de lectura del usuario, analizando las páginas y las acciones a seguir, como por ejemplo hacer click en un link, imprimir la página, guardar la página, etc.



**Figura 8.** Modelo de tráfico para datos

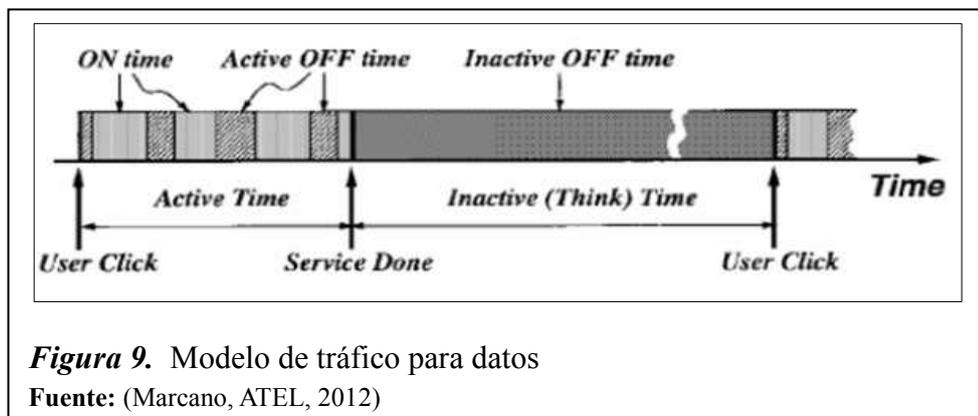
**Fuente:** (Marcano, ATEL, 2012)

El tráfico de datos se caracteriza por el tamaño promedio del objeto principal SM (Size object Main), el tamaño de los objetos embebidos SE (Size object Embedded),

la cantidad de objeto embebidos ND (Number of Embedded objects per page), el tiempo de lectura D (Reading Time) y el tiempo de análisis Parsing Time - TP, que se refiere al tiempo que el usuario selecciona un link dentro de la página principal.

La figura 9 es la traza de paquetes en una sesión WEB, donde se muestran los periodos de actividad e inactividad.

Los periodos de actividad se caracterizan por instantes de recepción de los paquetes e instantes en los que no se recibe nada, este comportamiento es típico de la conmutación de paquetes y depende sólo de la red, no es atribuible al usuario. (Marcano, ATEL, 2012).



**Figura 9.** Modelo de tráfico para datos

**Fuente:** (Marcano, ATEL, 2012)

En casos de tiempo real, el 76% de los paquetes usa un MTU - Unidad Máxima de Transmisión de 1500 bytes, mientras que el 24% restante usa un MTU de 576 bytes, en red Ethernet.

El modelo de tráfico para http no suministra información sobre la tasa de bits que necesitaría la aplicación, y es normal ya que http no tiene calidad de servicio debido a que no es una aplicación en tiempo real. (Marcano, ATEL, 2012)

## **CAPÍTULO 2**

### **LTE (LONG TERM EVOLUTION)**

#### **2.1 Introducción a LTE**

En la actualidad debido al incremento de usuarios de telefonía móvil y de los avances tecnológicos en las redes, es necesario el aumento en las tasas de subida y bajada de datos, como también aprovechar al máximo el espectro de radio, la tecnología ha avanzado proveyendo facilidades de comunicación e interacción del usuario con aplicaciones como correo electrónico, redes sociales, navegación, video llamadas entre otros servicios multimedia, suministrando eficiencia en las aplicaciones ya mencionadas anteriormente y una indiscutible reducción en sus costos ya que al ser inalámbrica se reduce el gasto de interconexión. (Miguel, 2011)

Por esta razón lo que se busca es superar las velocidades de transmisión actuales mediante la propuesta de nuevas interfaces de radio, y una de las mejores alternativas actualmente es LTE (Long Term Evolution), ésta tecnología abre las puertas a un futuro en el mundo 4G, rediseñándolas redes actuales de acceso 3G.

Para entender a profundidad LTE, en este capítulo se analizará la estructura y funcionamiento de esta tecnología.

#### **2.2 Estandarización de LTE**

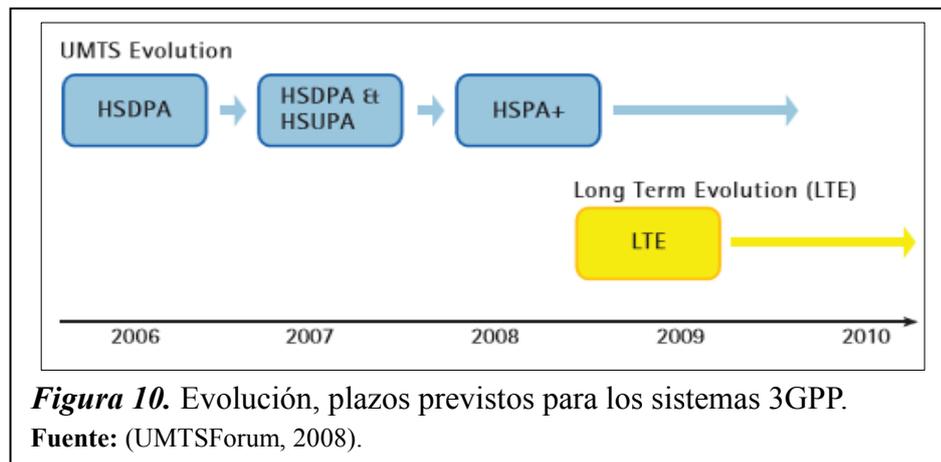
LTE es una tecnología que pudo ser estandarizada por el 3GPP, el cual define un nuevo acceso de radio de alta velocidad, para almacenar información de medios múltiples (audio y video), LTE se encuentra especificado en el 3GPP Release 8.

Sus características se han dado en base a la evolución de la tecnología celular, la cual se ha basado en UMTS, conocida como EUTRA y E-UTRAN. Aunque inicialmente estuvo pensada para su uso en teléfonos móviles, la red UMTS no está limitada a estos dispositivos, puede ser utilizada por una gran variedad de equipos con tecnología 3GP, es así que ayudó a LTE a proyectarse como una tecnología de alto rendimiento. (Rohde&Schwarz, 2010)

LTE es parte de un camino de tecnologías de alta velocidad y baja latencia, además que puede trabajar en diferentes bandas frecuenciales que comprenden GSM, GPRS, EDGE, WCDMA y High Speed Packet Access- HSPA.

LTE en comparación a sus predecesores tiene mejoras en la interfaz, una arquitectura simple, utiliza OFDMA, basado en modulación y esquemas de acceso múltiple para el downlink, junto con SC-FDMA para el uplink, lo que permite obtener mayor velocidad de transmisión y más de 200 usuarios por celda.

La eficiencia espectral es otro aspecto positivo de LTE debido a que utiliza modulación 64 QAM, puede usar más espectro, hasta 20 MHz; entre otros aspectos está el mecanismo de corrección de errores denominado FEC y técnicas complementarias de radio como MIMO. (Hurtado, 2011).

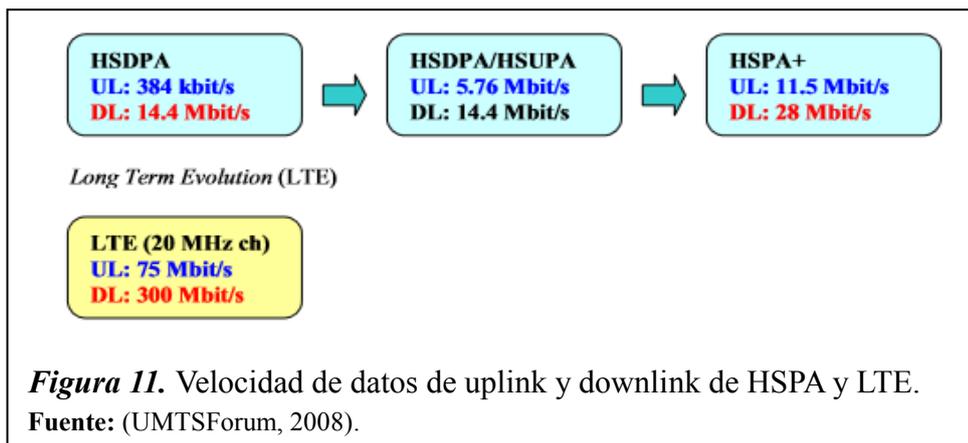


**Figura 10.** Evolución, plazos previstos para los sistemas 3GPP.  
**Fuente:** (UMTSForum, 2008).

Las velocidades de transmisión para downlink y uplink son mayores a 100 Mbps y 50 Mbps respectivamente, proporcionando mayor interactividad entre la red de telefonía celular, dispositivos finales, aplicaciones y los usuarios móviles en un ancho de banda de 20 MHz, opera en modos FDD y TDD .

LTE tiene una latencia reducida de 10mseg entre el equipo del usuario y la estación base; y se muestra como una tecnología basada en un core IP presentando flexibilidad para operar en una amplia variedad de anchos de banda que van desde 1.4 MHz y 20 MHz, óptimo para desplazamientos hasta 15 km/h. Compatible hasta 500 km/h. (Hurtado, 2011), (Analuisa, 2013)

En la figura 11 se presenta un resumen de las velocidades de las tecnologías HSPA y LTE.

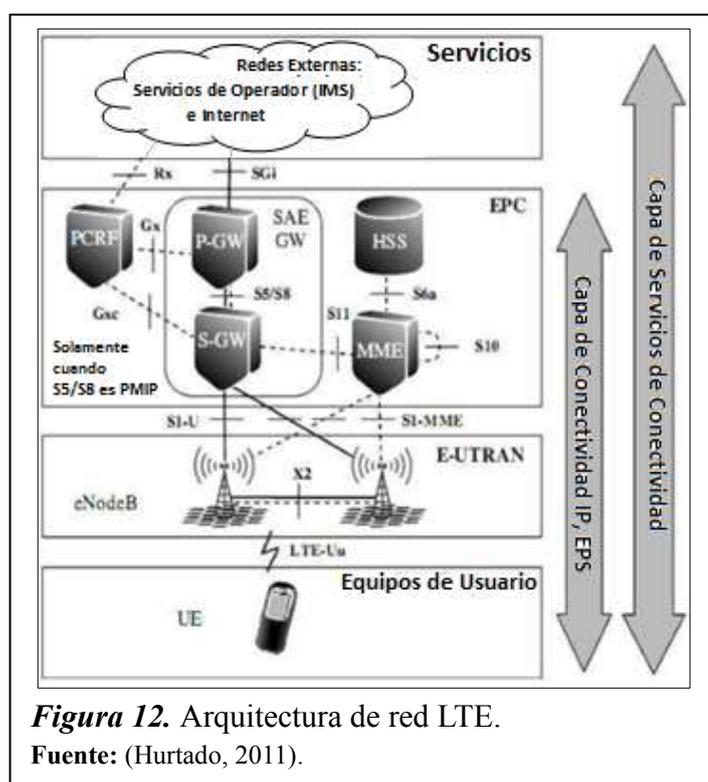


### 2.3. Arquitectura de un sistema LTE

A partir de un análisis inicial de la arquitectura genérica adoptada en los sistemas celulares 2G y 3G actuales, se identifican partes fundamentales y específicas que componen la arquitectura de red. Esta identificación permite establecer de forma clara los nuevos componentes introducidos por el sistema LTE.

Una vez identificados los componentes que forman parte del sistema LTE, se realiza una descripción detallada de cada una de sus funcionalidades. (Hurtado, 2011).

La figura 12 muestra la arquitectura y los componentes de red LTE, distribuidos en cuatro niveles, mismos que se detallan a continuación:



### **2.3.1 Servicios proporcionados por redes externas.**

A través de LTE los servicios que se pueden ofrecer incluyen varios subsistemas los cuales pueden estar proporcionados por: servicios basados en IMS donde el operador brinda servicios basados en el protocolo SIP, el usuario accede a servicios mediante un servidor que el operador coloca en su red, como por ejemplo video streaming y servicios proporcionados mediante Internet, en el cual el usuario se conecta a un servidor de Internet accediendo a navegación web o a un servidor SIP para establecer una llamada de voz. (Hurtado, 2011).

### **2.3.2 Evolved Packet System – EPS.**

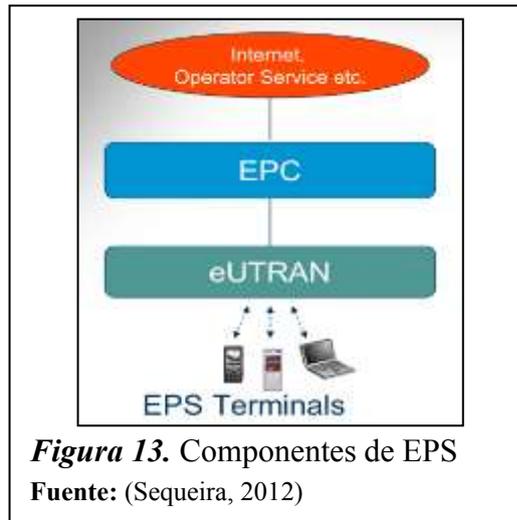
EPS arquitectura de red anteriormente denominada System Architecture Evolution - SAE, arquitectura que reemplaza el núcleo de GPRS y de esta manera asegurar a los usuarios el soporte necesario para la movilidad y la compatibilidad entre los sistemas.

EPS presenta un cambio en la arquitectura de red, el nodo denominado Radio Network Controller – RCN, se elimina y sus funciones son implementadas en el eNodeB, las cuales son:

- Controlar la red de acceso radio.
- Manejo de tráfico en los canales comunes.
- Manejo del tráfico en los canales compartidos.
- Manejo de la información del sistema y de los horarios de la información del sistema. (Sequeira, 2012)

Estas funciones reducen retrasos y optimizan la red.

EPS está formado por dos componentes principales EPC y eUTRAN como muestra la figura 13.



### 2.3.2.1 Evolved Packet Core – EPC.

Para aprovechar todas las ventajas de las tecnologías y permitir la coexistencia de tecnologías con arquitecturas de paquetes se ha desarrollado un nuevo núcleo de red Evolved Packet Core - EPC.

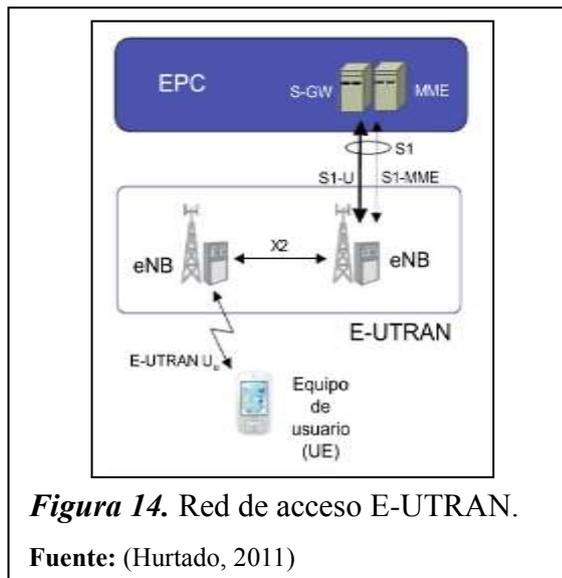
EPC está basado en protocolos TCP / IP, permitiendo la interconexión entre redes fijas e inalámbricas. (Hurtado, 2011)

Características principales de la arquitectura EPC:

- Garantizar el acceso a sistemas 3GPP y sistemas que no lo son.
- Debe ser escalable sin comprometer el rendimiento del sistema.
- Se debe garantizar conectividad IPv4 e IPv6.
- El elemento de red responsable de la movilidad debe garantizar el handover entre los diversos modos de acceso en el sistema 3GPP evolucionado. (Restrepo, 2011).

### 2.3.2.2 Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network Base Stations - E-UTRAN.

E-UTRAN está formada por los eNBs, que son las estaciones base de LTE y están directamente conectados al núcleo de la red, donde el User Equipment-UE se comunica con el eNB, con el EPC y los eNBs se comunican entre sí.



E-UTRAN es la evolución de la arquitectura UMTS que ha conseguido un gran logro, el cual es la reducción del costo y la complejidad de los equipos, esto es gracias a que se ha eliminado el nodo de control (conocido en UMTS como RNC). Por tanto, las funciones de control de recursos de radio, control de calidad de servicio y movilidad han sido integradas al nuevo Nodo B, llamado envolved Nodo B.

Características principales de E-UTRAN:

- Reducción del costo y la complejidad de los equipos.
- Gestión de los recursos de radio.
- Disminuir la latencia.
- Enrutamiento en el plano de usuario.
- Control de conexión móvil y la asignación dinámica de recursos para los equipos de usuario, para el enlace ascendente y descendente.

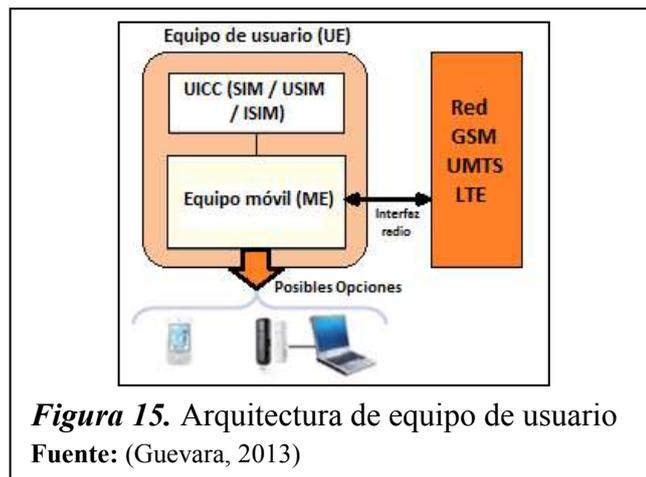
### 2.3.3 Equipos de usuario – UE.

Los equipos de usuario son los dispositivos finales que permiten al usuario acceder a los diferentes servicios ofrecidos por las redes mediante la interfaz de radio.

Los UE están compuestos por dos elementos: el equipo móvil y el Universal Subscriber Identity Mobile - USIM.

El equipo móvil es un dispositivo electrónico que permite al usuario final interactuar de manera amigable con la red móvil tales como: una laptop, un smartphone, una tablet, etc.

El USIM es una aplicación ubicada dentro de una tarjeta removible llamada Universal Integrated Circuit Card, Tarjeta Universal de Circuito Integrado-UICC. Esta aplicación se encarga de autenticar a un usuario en la red proporcionando así la seguridad de que la transmisión de los datos se da únicamente entre los usuarios a quienes les corresponde. En la figura 15 muestra la interfaz que comunica al UE con la red. (Sequeira, 2012).



## 2.4 Esquemas de acceso

Para aumentar la capacidad de la red LTE, utiliza esquemas de acceso que le permiten reducir la interferencia, estos son:

- Frequency Division Multiple Access – (OFDMA), para el downlink.
- Single Carrier Frequency Division Multiple Access – (SC-FDMA), para el uplink.

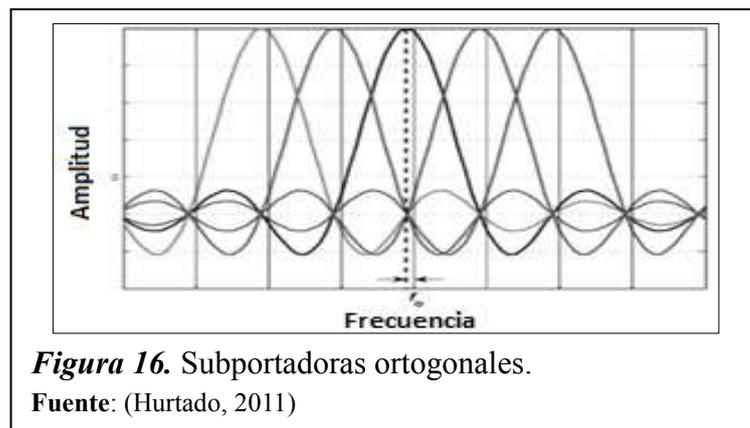
### 2.4.1 Orthogonal Frequency Division Multiple Access – (OFDM).

Técnica utilizada en el enlace descendente de LTE, surge de forma natural a partir de la modulación OFDM, fue estandarizada en Release 8 y 9 del 3GP, categorizada con una versión multiusuario de OFDM, en el cual una señal se divide en sub-portadoras, incluyendo a varios usuarios de tal manera que cada uno de ellos puede recibir datos a la par.

El método OFDMA es utilizado en la característica downlink, debido a que permite lograr altos picos de velocidad de datos, pero no se lo utiliza en uplink debido a que

da lugar a un elevado Peak Average Ratio – (PAR), tasa entre pico y promedio de la señal que compromete la eficiencia en potencia, la misma que al aumentarse disminuye la vida útil de las baterías.

En la figura 16 se puede observar que en OFDMA se crean subportadoras, las mismas que son ortogonales, con la característica especial que entre si no se interfieren, entre cada subportadora hay un espacio de 15KHz, que es independiente del ancho de banda total usado en la transmisión. (Hurtado, 2011).

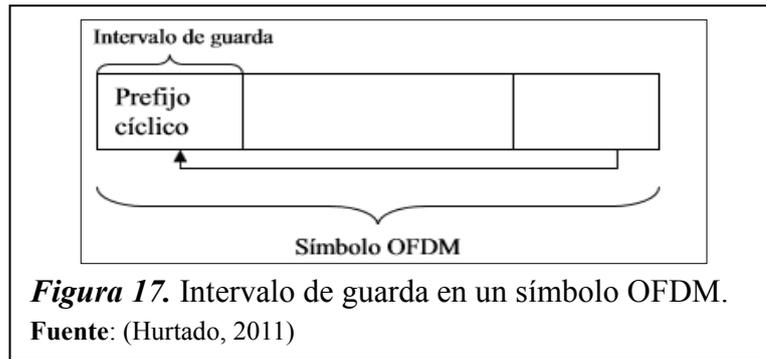


Para disminuir y evitar la interferencia entre símbolos OFDMA, se utilizan prefijos cíclicos o también denominados intervalo de guarda que son colocados entre señal y señal, en los cuales, regulando su espacio se evita un cruce entre señales de onda, impidiendo que se genere interferencia debido al cruce entre estas, si el tamaño del prefijo es demasiado corto no se llega a contrarrestar la distorsión y si es muy grande se reduciría la capacidad de procesamiento de los datos transmitidos.

Características de OFDMA:

- La implementación del OFDMA presenta grandes ventajas en la economía de los operadores, reduciendo las inversiones en infraestructura.
- OFDMA transmite los datos a cuatro símbolos Quadrature Phase Shift Keying - QPSK en paralelo uno por cada subportadora.
- Incrementa la flexibilidad del acceso de los usuarios al sistema mediante la multiplexación de varios usuarios.

En la figura 17 se aprecia la estructura de un símbolo OFDM, en la cual se visualiza la inserción de un prefijo cíclico, este intervalo, es el que separa a los canales de transmisión, para evitar interferencias. (Hurtado, 2011).



### 2.4.2 Single-Carrier FDMA - SC-FDMA

Es una técnica de transmisión manejada en un enlace ascendente (uplink), al ser una versión de OFDMA se la puede utilizar en cualquiera de sus modos (FDD y TDD).

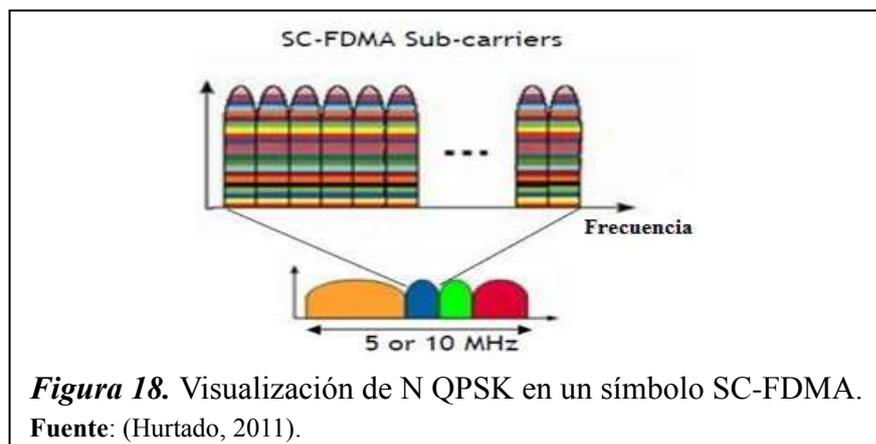
El objetivo de SC-FDMA es disminuir el PAR, de 2 a 3 dB, el cual es un valor inferior a una señal transmitida en OFDMA.

LTE, utiliza este esquema de acceso, debido a que no usa amplificadores de potencia en el equipo del usuario, haciendo que se reduzca el consumo de energía, sus características principales son:

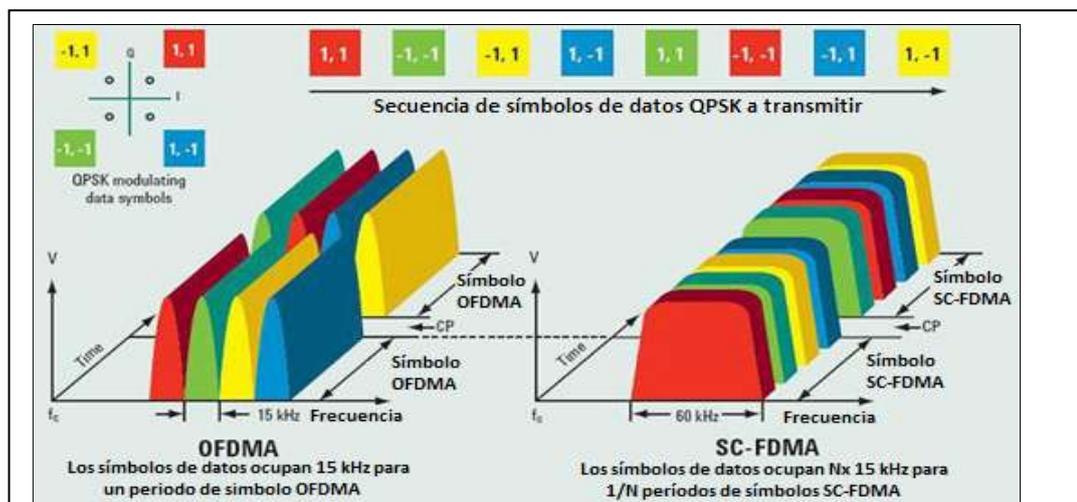
SC-FDMA transmite los datos a cuatro símbolos QPSK en serie a cuatro veces la velocidad, con cada símbolo de datos ocupando  $N \times 15$  kHz de ancho de banda.

Visualmente, la señal OFDMA es claramente multi-portadora y la señal SC-FDMA se parece más a una sola portadora, lo que explica el "SC" en su nombre.

Un símbolo SC-FDMA en el dominio del tiempo mediante el cálculo de la trayectoria trazada por pasar de un símbolo QPSK datos a la siguiente. Esto se hace a  $N$  veces la velocidad del símbolo SC-FDMA tal que un símbolo SC-FDMA contiene  $N$  símbolos de datos consecutivos QPSK. (Ramirez, 2011).



En la figura 19 se puede apreciar la diferencia entre la división de símbolos OFDMA y SC-FDMA.



**Figura 19.** Transmisión de símbolos OFDMA y SC FDMA.

Fuente: (Hurtado, 2011)

## 2.5 Canales utilizados en LTE

Estos canales, se agrupan según sus características en 3 grupos que son:

**Tabla 6.** Canales utilizados en LTE para transmisión.

CANALES FÍSICOS		CANALES DE TRANSPORTE		CANALES LÓGICOS	
DOWNLINK	UPLINK	DOWNLINK	UPLINK	CONTROL	TRAFICO
Physical Broadcast Channel (PBCH)	Physical Uplink Control Channel (PUCCH)	Broadcast Channel (BCH)	Uplink Shared Channel (UL-SCH)	Broadcast Control Channel (BCCH)	Dedicated Traffic Channel (DTCH)
Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)	Physical Uplink Shared Channels (PUSCH)	Downlink Shared Channel (DL-SCH)		Paging Control Channel (PCCH)	
Physical downlink control channel (PDCCH)		Paging Channel (PCH)		Common Control Channel (CCCH)	
Physical HARQ Indicator Channel (PHICH)	Physical Random Access Channel (PRACH)	Multicast Channel (MCH)	Random Access Channel (RACH)	Multicast Control Channel (MCCH)	Multicast Traffic Channel (MTCH)
Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)				Dedicated Control Channel (DCCH)	
Physical Multicast Channel (PMCH)					

Fuente (Hurtado, 2011).

Elaborado por: Victoria Guachán y Pablo Cajías.

### 2.5.1 Canales físicos.

Estos canales son utilizados para transmisión y transportan tanto datos del usuario como de control, existen diferentes tipos para los dos casos downlink y uplink, que la tabla 7 y la tabla 8 categorizan a continuación.

**Tabla 7.** Canales físicos utilizados en downlink

CANALES FÍSICOS UTILIZADOS EN DOWNLINK	
TIPO	SERVICIO
Physical Broadcast Channel (PBCH)	Mediante este canal se puede transmitir información de identificación y control, a un tiempo aproximado de 40ms a todos los usuarios que se encuentran en el área de cobertura
Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)	Canal que sirve para transferir información que describe el tipo de modulación del canal (número de símbolos OFDM)
Physical downlink control channel (PDCCH)	Es utilizado para transferir información de control a dispositivos móviles, información a transmitirse referente al control de acceso.
Physical HARQ Indicator Channel (PHICH)	Manejado para informar el estado de Hybrid ARQ.
Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)	Es utilizado para transmisión unicast y funciones de paging.
Physical Multicast Channel (PMCH)	Para enviar información a varios usuarios (multicast) que se encuentran en el área de cobertura de la red.

**Fuente:** (Hurtado, 2011).

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

**Tabla 8.** Canales físicos utilizados en uplink

CANALES FÍSICOS UTILIZADOS EN UPLINK	
TIPO	SERVICIO
Physical Uplink Control Channel (PUCCH)	Transmite información de señalización de datos como ARQ, ACK, NAK.
Physical Uplink Shared Channels (PUSCH)	Tiene la misma función que el canal PDSCH en el proceso de uplink.
Physical Random Access Channel (PRACH)	Canal utilizado para coordinar y transportar peticiones de servicio de los dispositivos móviles en el área.

**Fuente:** (Hurtado, 2011).

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

## 2.5.2 Canales de transporte

Son canales que definen el método y características de la información que será transmitida por la interfaz de radio, existen diferentes tipos para los dos casos downlink y uplink, que la tabla 9 y la tabla 10 categorizan a continuación.

**Tabla 9.** Canales de transporte downlink

CANALES DE TRANSPORTE DOWNLINK	
TIPO	SERVICIO
Broadcast Channel (BCH)	Canal encargado de transmitir información continuamente en el sistema, además mide intensidades de señal controlando el acceso a la red de los dispositivos móviles que se encuentren dentro del área de conectividad.
Downlink Shared Channel (DL-SCH)	Este canal de transporte, se utiliza para la comunicación entre los datos desde el sistema (estación base) hacia los dispositivos móviles. El remitente, asigna los slots de tiempo y canales de radiofrecuencia que serán utilizados para enviar y recibir información de los usuarios.
Paging Channel (PCH)	Es un canal que permite el envío de mensajes que alertan a dispositivos finales, sobre el ingreso de una llamada de voz, peticiones para establecer comunicación o también mensajes de mantenimiento como son los de posicionamiento.
Multicast Channel (MCH)	Enviar información desde uno a varios dispositivos, permitiendo así la transmisión simultánea entre los medios de comunicación en la misma frecuencia por ejemplo un programa de radio o televisión.

**Fuente:** (Hurtado, 2011).

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

**Tabla 10.** Canales de transporte uplink

CANALES DE TRANSPORTE UPLINK	
TIPO	SERVICIO
Uplink Shared Channel (UL-SCH)	En el enlace ascendente, es el principal canal de transporte ya que envía datos al sistema de control del usuario.
Random Access Channel (RACH)	Maneja requerimientos de acceso aleatorio, así se puede dar un acceso controlado a todos los usuarios que se encuentren dentro del área de conectividad.

**Fuente:** (Hurtado, 2011).

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

### 2.5.3. Canales lógicos.

Son canales que manejan control de acceso al medio, proporcionando servicios, mediante la agrupación de canales de control y de tráfico como muestra la tabla 11 y la tabla 12 respectivamente.

#### 2.5.3.1 Canales de control.

**Tabla 11.** Canales de control

CANALES DE CONTROL	
TIPO	SERVICIO
Broadcast Control Channel (BCCH)	Se utiliza este canal para enviar información del sistema, a los usuarios finales que estén conectados en un determinado nodo.
Paging Control Channel (PCCH)	Cuando se desea abrir una sesión de comunicación de datos entre dispositivos móviles o alertar de una llamada entrante, se utiliza este canal de control.
Common Control Channel (CCCH)	Este canal permite establecer enlaces de comunicación entre dispositivos móviles y las estaciones base, además de proporcionar las condiciones para mantener la sesión hasta que se termine la transmisión o uno de los miembros decida finalizarla.
Multicast Control Channel (MCCH)	En este canal se manejan las características de acceso y posterior verificación de los servicios, incluido en canales multicast.
Dedicated Control Channel (DCCH)	Se manejan las características de cada uno de los usuarios conectados al nodo, desde handover hasta control de energía, además permite sincronizar y coordinar estos datos entre usuarios.

Fuente: (Hurtado, 2011).

Elaborado por: Victoria Guachán y Pablo Cajías.

#### 2.5.3.2 Canales de tráfico.

**Tabla 12.** Canales de tráfico.

CANALES DE TRÁFICO	
TIPO	SERVICIO
Canal de Tráfico Dedicado (DTCH)	Permite el intercambio de datos entre los usuarios.
Canal de Tráfico Multicast (MTCH)	Proporciona el envío de información multicast a los usuarios del nodo.

Fuente: (Hurtado, 2011).

Elaborado por: Victoria Guachán y Pablo Cajías.

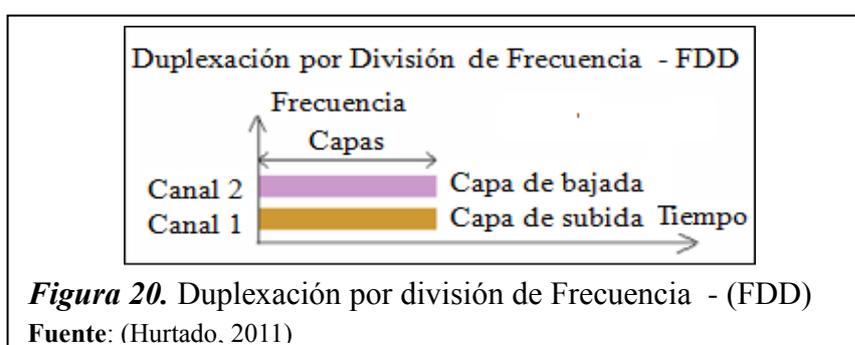
## 2.6. Multiplexación

Para el manejo de los enlaces LTE, soporta dos tipos de comunicación, los mismos que son:

- Frequency Division Duplexing – FDD.
- Time Division Duplexing – TDD.

### 2.6.1 Duplexado por División de Frecuencia – (FDD).

En la tecnología LTE, ambas partes de la comunicación (transmisión y recepción), trabajan a diferentes frecuencias, por ello se permite una transmisión simultánea de información. Una representación de modo de acceso, se muestra en la figura 20.



En el establecimiento de una comunicación FDD, se maneja un banda de guarda con el objetivo de evitar interferencias entre las señales de transmisión y recepción. Estas bandas son establecidas y asignadas por entes reguladores. En la tabla 13 se puede ver la clasificación y distribución para LTE.

**Tabla 13.** División de bandas de guarda en FDD para LTE

Banda de operación E-UTRA	Banda de operación uplink	Banda de operación downlink	Canales Ancho de Banda (MHz)
1	1920 MHz-1980 MHz	2110 MHz-2170MHz	5,10,15,20
2	1850MHz-1910MHz	1930MHz-1990MHz	1,4,3,5,10,15,20
3	1710MHz-1785MHz	1805MHz-1880MHz	1,4,3,5,10,15,20
4	1710MHz-1755MHz	2110MHz-2155MHz	1,4,3,5,10,15,20
5	824MHz-849MHz	869MHz-894MHz	1,4,3,5,10
6	830MHz-840MHz	875MHz-885MHz	5,1
7	2500MHz-2570MHz	2620MHz-2690MHz	5,10,15,20
			Continúa...

**Tabla 13.** División de Bandas de Guarda en FDD para LTE (Continuación...)

<b>8</b>	880MHz-915MHz	925MHz-960MHz	1,4,3,5,10
<b>9</b>	1749.9-MHz-1784.9MHz	1844.9MHz-1879.9MHz	5,10,15,20
<b>10</b>	1710MHz-1770MHz	2110MHz-2170MHz	5,10,15,20
<b>11</b>	1427.9MHz-1452.9MHz	1475.9MHz-1500.9MHz	5,10,15,20
<b>12</b>	698MHz-716MHz	728MHz-746MHz	1,4,3,5,10
<b>13</b>	777MHz-787MHz	746MHz-756MHz	1,4,3,5,10
<b>14</b>	788MHz-798MHz	758MHz-768MHz	1,4,3,5,10
<b>15</b>	704MHz-716MHz	734MHz-746MHz	1,4,3,5,10

Fuente: (Hurtado, 2011)

### 2.6.2 Duplexado por División de Tiempo – (TDD).

Es un tipo de multiplexación por división de tiempo que se utiliza en LTE para separar las señales salientes de las de retorno, ayudando a emular comunicaciones full dúplex, sobre un enlace half dúplex, de manera que los enlaces ascendentes y descendentes utilizan una sola frecuencia, por esta característica el transmisor y receptor deben enviar información en tiempos diferentes.

TDD es mayormente usado en enlaces de carácter asimétrico. La tabla 14 muestra las bandas asignadas para el uso de un multiplexado en TDD:

**Tabla 14.** Bandas de frecuencia en TDD para LTE

<b>Banda de operación E-UTRA</b>	<b>Banda de operación</b>	<b>Canales Ancho de Banda (MHz)</b>
<b>33</b>	1900 MHz – 1920 MHz	5,10,15,20
<b>37</b>	1910 MHz – 1930 MHz	5,10,15,20
<b>39</b>	1880 MHz - 1920 MHz	5,10,15,20
<b>34</b>	2010 MHz - 2025 MHz	5,10,15
<b>38</b>	2570 MHz - 2620 MHz	5,1
<b>40</b>	2300 MHz - 2400 MHz	10,15,20
<b>35</b>	1850 MHz - 1910 MHz	1,4,3,5,10,15,20
<b>36</b>	1930 MHz - 1990 MHz	1,4,3,5,10,15,20

Fuente: (Hurtado, 2011)

## 2.7 Sistemas multilínea

Para aprovechar la propagación multitrayecto y su tasa de transmisión de datos, disminuyendo los errores y optimizando el alcance, LTE utiliza un esquema multilínea denominado Multiple Entrada Multiple Salida - MIMO.

MIMO ha sido conceptualizado en algunos sentidos: Como dos o más señales de radio diferentes, enviadas en el mismo canal de radiotransmisión en el cual cada señal lleva diferente información digital; o con la capacidad de transferencia de más señales transmitidas por el mismo medio. (Hurtado, 2011)

En el receptor así como en el transmisor, para el envío y recepción de múltiples señales, en MIMO, se utilizan varias antenas, lo que permite:

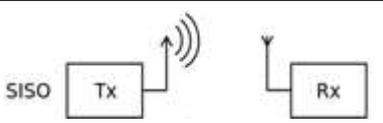
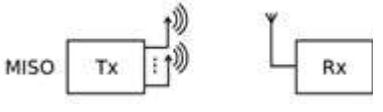
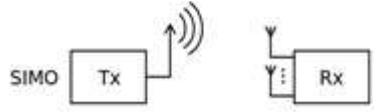
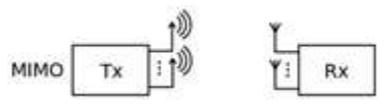
- Incremento significativo en el manejo de datos, aumentando las tasas máximas de transmisión de datos con respecto a otros métodos.
- Eficiencia espectral significativamente mayor, especialmente en entornos de baja interferencia.
- Un sistema más eficiente, con mayor capacidad, que permite incrementar en el número de usuarios.

Concluyendo que MIMO explota al máximo las características de cada antena, se puede llegar a proveer diferencias significativas en los beneficios para los usuarios del servicio, los cuales recibirían, proporcionalmente un incremento en la señal, más fuerte e intensa, caracterizada como superior, ya que los usuarios ubicados al filo de celda, recibirán la señal con las mismas características que los usuarios que se encuentran en medio de la celda. (3GAmericas, junio).

Los operadores que se manejan en redes inalámbricas, se ven en la necesidad de implementar e incorporar MIMO, frente a sus evidentes ventajas y mejoras, un sistema inalámbrico, procesado por MIMO, mejoraría su capacidad de una manera económica, su rango y velocidades de transmisión, proporcionarían al usuario una variedad de posibilidades y entornos, en el cual el entorno más notable es el cerrado con baja interferencia de radio, en una celda pequeña o aislada.

Entre las configuraciones que tiene MIMO están:

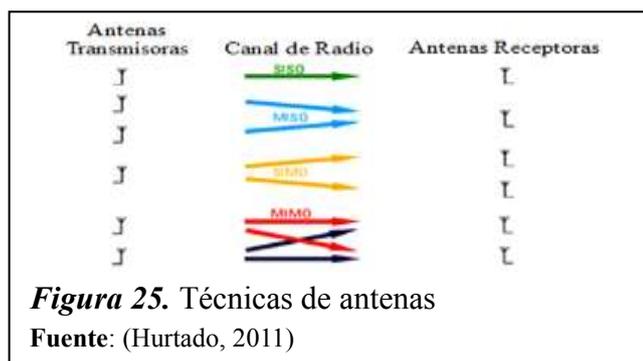
**Tabla 15.** Configuraciones MIMO

CONFIGURACIONES MIMO		
NOMBRE	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN
Single Input Single Output (SISO)	Es la tecnología de antenas más simple, en esta configuración tanto el transmisor como el receptor tienen solo una antena, como se aprecia en la figura 3.10; en ciertos entornos es vulnerable a los problemas causados por los efectos multitrayectoria.	 <p><b>Figura 21.</b> SISO Fuente: (Poole, 2012)</p>
Multiple Input Single Output (MISO)	En esta tecnología de antena, se utilizan múltiples antenas en la fuente (transmisor). Las antenas se combinan para minimizar los errores y optimizar la velocidad de datos. El destino (receptor) tiene solamente una antena.	 <p><b>Figura 22.</b> MISO Fuente: (Poole, 2012)</p>
Single Input Multiple Output (SIMO)	Es una tecnología de antena para las comunicaciones inalámbricas, en la que múltiples antenas se utilizan en el destino (receptor). Las antenas se combinan para minimizar los errores y optimizar la velocidad de datos, la fuente (emisor) tiene solamente una antena.	 <p><b>Figura 23.</b> SIMO Fuente: (Poole, 2012)</p>
Multiple Input Multiple Output (MIMO)	MIMO emplea varias antenas en el transmisor y en el receptor, relacionando la capacidad de transmisión con el número de antenas instaladas.	 <p><b>Figura 24.</b> MIMO Fuente: (Poole, 2012)</p>

Fuente: (Poole, 2012).

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Además, en MIMO, hay una opción llamada diversidad de retardo cíclico (CDD), esta técnica asigna a una antena específica, el envío de una señal, la cual se desplaza creando artificialmente trayectos múltiples, por ende al ser recibida evita la cancelación de cualquier otra señal, que se puede efectuar por la estrecha separación de las antenas de transmisión, como muestra la figura 25.



## **2.8. QoS en redes LTE**

Para brindar un buen servicio de calidad sobre las sesiones de datos, es necesario diferenciar los servicios y aplicaciones de datos. La calidad de servicio es la percepción de calidad que tiene un usuario con un producto o servicio determinado, que satisfaga sus expectativas es por ello que se necesita diferenciar el tipo de servicio que se esté usando, ya que hay usuarios pre-pago y post-pago en el acceso a Internet.

Las redes LTE plantean una integración total de interworking, incluido el protocolo TCP/IP y todos los servicios que sobre él se prestan. El incremento del ancho de banda para la transmisión de datos de manera natural sobre las redes celulares, implica la previsión del comportamiento de los usuarios respecto al uso de los servicios actuales, e incluso de servicios existentes pero que no tiene gran demanda, sin embargo, debido a la movilidad de datos de las redes celulares, fácilmente pueden entrar en auge, como el streaming de radio e IPTV, es aquí donde los criterios de QoS se deben considerar para el diseño integral de las redes internetworking.

### **2.8.1 Parámetros QoS.**

Los parámetros de calidad para LTE fueron definidos a partir del Release 8 de la 3GPP, mismos que se los describe brevemente a continuación.

#### **Identificador de clase – (QCI)**

El QCI es un número que se utiliza dentro de la red de acceso como referencia a los parámetros específicos del nodo que controla el servicio de paquetes y que fueron configurados por el operador.

Identifica un conjunto de valores relacionados con la configuración, estos son: prioridad, retardo y la tasa de pérdida, diferencia los servicios o tipos de tráfico por medio de un identificador, este es un concepto clave para entender la calidad de servicio en LTE, ya que todos los portadores de un Equipo de Usuario - UE se le asigna a un Identificador de clase - QCI.

En total son 9 diferentes QCI, estos QCI se dividen en 2 grupos principales: Guaranteed Bit Rate - GBR y Non Guaranteed Bit Rate - non-GBR, donde GBR

asegura que van a tener cierto ancho de banda garantizado, y non-GBR puede ser cualquier velocidad, ya que no tiene ancho de banda reservado. La tabla 16 muestra las clases de QCI.

**Tabla 16.** Clases de QCI

QCI	TIPO DE RECURSO	PRIORIDAD	EJEMPLO DE APLICACIÓN
1	GBR	2	VoIP
2	GBR	4	Video llamada
3	GBR	5	Streaming
4	GBR	3	Juegos en tiempo real
5	Non - GBR	1	IMS signaling
6	Non - GBR	7	Juegos interactivos
7	Non - GBR	6	Aplicaciones con TCP
8	Non - GBR	8	Buscadores, email, archivos
9	Non - GBR	9	Descargas, etc

**Fuente:** (Hurtado, 2011)

- **Allocation and Retention Priority - ARP**

Prioridad de asignación/retención, indica la prioridad del portador en comparación a otros, proporciona la base para el control de admisión en situaciones de congestión, se usa para decidir si un establecimiento de portadora o solicitud de modificación puede ser aceptada o debe ser rechazada debido a las restricciones de recursos. Además, ARP se puede utilizar para decidir que portadora liberar durante las limitaciones de recursos excepcionales.

- **Guaranteed Bit Rate - GBR**

Tasa de bits garantizada, identifica la tasa de bits que se garantizará al portador. En LTE, se pueden proporcionar portadores GBR mínimos y portadores no GBR. Portadores mínimos GBR se utilizan normalmente para servicios en tiempo real tales como voz y video, los portadores GBR no experimentan pérdida de paquetes en el enlace.

Portadores no GBR, son los servicios que se utilizan normalmente, como la navegación web, descarga de archivos y correo electrónico.

- **Maximum Bit Rate - MBR**

Tasa máxima de bits, es un identificador de tasa máxima de bits del portador, que corresponde a la tasa de bits para un servicio. La MBR se define únicamente para portadoras GBR.

La innovación de LTE es la interfaz radioeléctrica basada en OFDMA para el enlace descendente y SC-FDMA para el enlace ascendente. La modulación elegida por el estándar 3GPP hace que las diferentes tecnologías de antenas (MIMO) tengan una mayor facilidad de implementación, según el medio, hasta cuatro veces la eficiencia de transmisión de datos. Las mejoras a investigar son, por ejemplo, el aumento de la eficiencia, la reducción de los costes, la ampliación y mejora de los servicios ya prestados y una mayor integración con los protocolos ya existentes.

Una vez realizada una revisión de LTE, principalmente de su arquitectura y de cada uno de los componentes se procederá al análisis de los tres entes reguladores de telecomunicaciones, CONATEL SENATEL y SUPERTEL, además las operadoras principales del Ecuador, las cuales son Movistar, Claro y CNT E.P.

## **CAPÍTULO 3**

### **FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LTE EN EL NORTE DE QUITO – ECUADOR.**

#### **3.1 Introducción**

Para que una nueva tecnología sea implementada en el Ecuador, se deben tomar en cuenta, aspectos tecnológicos, aspectos regulatorios, además de los requerimientos de los usuarios que con el transcurso del tiempo han aumentado.

El bajo desarrollo, el retraso de la infraestructura y tecnología en los sectores estratégicos del país, se han considerado como una prioridad, por lo que hay que considerar un nuevo plan nacional de desarrollo de las tecnologías de red celular.

Para lo que en este capítulo se analizarán los siguientes entes reguladores del Ecuador CONATEL, SENATEL Y SUPTTEL, ya que estos son los encargados de elaborar y aprobar los documentos relacionados con las telecomunicaciones.

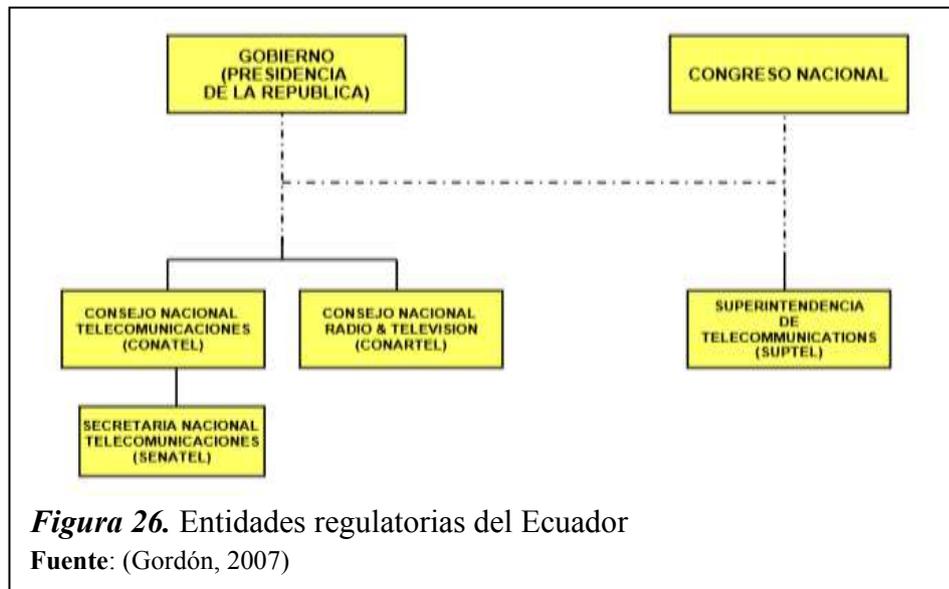
Además de un breve análisis de la infraestructura tecnológica de CONECEL, OTECEL Y TELECSA, y la posible migración de tecnología hacia LTE.

#### **3.2. Organismos de regulación en el Ecuador**

Para que una tecnología sea implementada en el Ecuador, además de tomar en cuenta aspectos tecnológicos, se deben considerar los aspectos regulatorios como la licitación de bandas en las que LTE puede ser implementada.

El 13 de agosto de 2009, el Presidente de la República, Economista Rafael Correa Delgado, mediante Decreto Ejecutivo N° 8, creó el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información; se lo creó para coordinar acciones de apoyo y asesoría para garantizar el acceso igualitario a los servicios que tienen que ver con el área de telecomunicación, para de esta forma asegurar el avance hacia la Sociedad de la Información y así el buen vivir de la población ecuatoriana.

Las entidades regulatorias del Ecuador se encuentran organizadas de acuerdo a la Ley Especial de Telecomunicaciones, como muestra la figura 26. (Gordón, 2007).



### 3.2.1 Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).

La ley especial de Telecomunicaciones tuvo reformas y el 30 de agosto de 1995 se da independencia al Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) como ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el Ecuador; la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SNT), como ente encargado de la ejecución e implementación de las políticas y regulación de telecomunicaciones emanadas del CONATEL, incluyendo el Plan Nacional de Frecuencias.

El CONATEL es el ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el país, con domicilio en la ciudad de Quito, encargado principalmente de:

- Aprobar el Plan de Frecuencias y de uso del espectro radioeléctrico.
- Aprobar las normas de homologación, regulación y control de equipos y servicios de telecomunicaciones.
- Aprobar los pliegos tarifarios de los servicios de telecomunicaciones abiertos a la correspondencia pública, así como los cargos de interconexión que deban pagar obligatoriamente los concesionarios de servicios portadores, incluyendo los alquileres de circuitos.
- Autorizar a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la suscripción de contratos de concesión para el uso del espectro radioeléctrico.
- Promover la investigación científica y tecnológica en el área de las telecomunicaciones. (CONATEL, CONATEL, 2013).

### **3.2.2 Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL).**

SENATEL es el organismo que se encarga de la ejecución de la política de telecomunicaciones en el país, cumpliendo las siguientes funciones:

- Cumplir y hacer cumplir las resoluciones del CONATEL.
- Ejercer la gestión y administración del espectro radioeléctrico.
- Elaborar el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones y someterlo a consideración y aprobación del CONATEL.
- Elaborar el Plan de Frecuencias y de uso del espectro Radioeléctrico y ponerlo a consideración y aprobación del CONATEL.
- Elaborar las normas de homologación, regulación y control de equipos y servicios de telecomunicaciones, que serán conocidas y aprobadas por el CONATEL.
- Conocer los pliegos tarifarios de los servicios de telecomunicaciones abiertos a la correspondencia pública propuestos por los operadores y presentar el correspondiente informe al CONATEL.
- Presentar para aprobación del CONATEL, el plan de trabajo y la proforma presupuestaria de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.
- Promover la investigación científica y tecnológica en el campo de las telecomunicaciones. (Congreso\_Nacional, 2013).

### **3.2.3 Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL).**

SUPERTEL es un organismo de control de los operadores de los servicios de telecomunicaciones, además de controlar y monitorear el espectro radioeléctrico.

La Superintendencia de Telecomunicaciones se encarga de las siguientes funciones:

- Cumplir y hacer cumplir las resoluciones del CONATEL.
- El control y monitoreo del espectro radioeléctrico.
- El control de los operadores que exploten servicios de telecomunicaciones.
- Supervisar el cumplimiento de los contratos de concesión para la explotación de los servicios de telecomunicaciones.
- Controlar la correcta aplicación de los pliegos tarifarios aprobados por el CONATEL.

- Controlar que el mercado de las telecomunicaciones se desarrolle en un marco de libre competencia, con las excepciones señaladas en esta Ley. (Congreso\_Nacional, 2013).

Cada uno de estos organismos se encarga de cumplir y hacer cumplir cada una de sus funciones, para el desarrollo y difusión de la información de las nuevas tecnologías, además de establecer reglamentos para las operadoras de telecomunicaciones del país.

### **3.3 LTE en el espectro radioeléctrico**

En el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador se define al espectro radioeléctrico como un conjunto de ondas electromagnéticas fijadas convencionalmente por debajo de 3000GHZ, que se propagan por el espacio sin necesidad de guía artificial, utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones.

Por medio del espectro radioeléctrico, es posible brindar una variedad de servicios de telecomunicaciones, mismos que tienen una importancia creciente para el desarrollo y económico de un país.

El espectro radioeléctrico es considerado por la Constitución de la República como un sector estratégico, por tanto, el Estado se reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión. Dentro de este contexto, La legislación de telecomunicaciones ecuatoriana lo define como un recurso natural limitado, perteneciente al dominio público del Estado, inalienable e imprescriptible. (Secretaria\_Nacional\_de\_Comunicaciones, 2012)

### **3.4. Migración de las operadoras de telefonía móvil de Ecuador hacia LTE desde el punto de vista tecnológico**

La telefonía móvil ha demostrado gran desarrollo en la última década, lo que ha permitido a las operadoras del Ecuador duplicar sus servicios. La cantidad de usuarios es importante y determinante a la hora de presentar si una operadora de telefonía móvil es rentable y la misma opte por una migración de una tecnología a otra.

De acuerdo a la investigación para la realización de este capítulo, CONATEL en la Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012, tiene como objetivo fortalecer a la operadora CNT E.P de manera competitiva ante sus competidores móviles, siendo la primera en tomar la decisión de realizar una migración a LTE, mientras que Movistar y Claro quedan excluidas en la repartición del espectro, ya que CNT cuenta actualmente con casi tres veces más espectro que Claro y Movistar, de parte del regulador, posiblemente hasta el 2015, como se muestra en la tabla 17. (CONATEL, 2012)

**Tabla 17.** Espectro por operador

FRECUENCIA	700MHz	850 MHz	1,7/2,1 GHz	1,9 GHz	TOTAL
<b>CLARO</b>		25 MHz		10 GHz	35
<b>CNT</b>	30 MHz		40 GHz	40 GHz	110
<b>MOVISTAR</b>		25 MHz		10 GHz	35
<b>TOTAL</b>	30 MHz	50 MHz	40 GHz	60 GHz	180

Fuente: (Menutti, 2013)

### 3.4.1 CONECEL S.A. (CLARO).

Si se toma en cuenta los proceso migratorios que se han realizado en Claro Ecuador, se puede deducir claramente que su intención es continuar con la evolución tecnológica, sobre todo en el camino tecnológico que ofrece GSM, lo que se traduce en una futura implementación LTE, además, esta es la tendencia tecnológica migratoria que ya se ha presentado en operadoras a nivel mundial, incluso ya usadas en algunos países.

Pero, para que sea una opción clara de migración hacia LTE, es imprescindible conocer tres características principales: regulación, tecnología y mercado.

Una tendencia futurística, muestra que la transferencia de datos, llegará a ser de gran escala entre usuarios, además LTE puede ser convergente con respecto a tecnologías de voz y SMS, haciendo que LTE sea la mejor opción de migración y al ser más costoso transmitir datos, representa una mejor inversión para utilidades económicas.

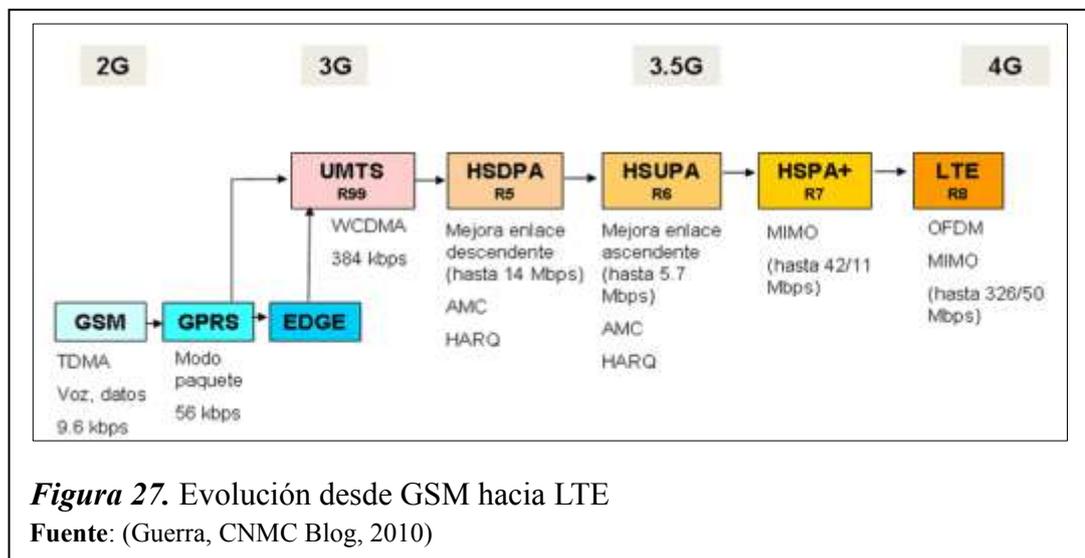
Con estas pautas, es inminente una migración, pero es necesario tomar la mejor decisión en cuanto a esta, ya que una mala elección, representaría grandes pérdidas

monetarias, para reducir costos es recomendable la utilización de equipos actuales y nuevos.

Salvador Alvarado, director técnico de Claro, comenta que en el camino de evolución es necesario adaptar los elementos y la arquitectura de red a nivel del ‘core’, transmisión, plataformas y estaciones celulares para que todas estas puedan soportar los requerimientos tecnológicos de LTE. (Menutti, 2013)

Actualmente Claro se encuentra ofreciendo a sus usuarios la tecnología 3.5G, con mejores servicios de voz y datos.

La figura 27 presenta el camino tecnológico que debería seguir Claro hacia LTE.



### 3.4.2 OTECEL S.A. (MOVISTAR).

Antes de que MOVISTAR prestara sus servicios a través de OTECEL S.A., era llamada BELLSOUTH desde 1993, esta operadora, inicio sus servicios con redes CDMA 2000 1xRTT y GSM, luego sería comprada en su totalidad por MOVISTAR en el 2005, el cual implementaría UMTS desde el 2008 y actualmente HSPA+.

“César Zhinin, gerente de Planificación e Ingeniería de Red de Movistar, afirma que para responder a la demanda de consumo, la comunicación móvil llegará a la tecnología conocida Long Term Evolution (LTE) o 4G, la cual ofrece mejores prestaciones con mayor velocidad de navegación.” (Ruben, 2012).

En el caso de Movistar, para tener una interconexión con características de LTE, la operadora deberá cambiar el núcleo de red, mientras que los usuarios tendrán que adquirir nuevas terminales porque las existentes en el mercado ecuatoriano no soportan LTE.

### **3.4.3 CNT E.P.**

Nace, el 30 de octubre del 2008, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, CNT S.A., resultado de la fusión de las extintas Andinatel S.A. y Pacifictel S.A.; ofreciendo los servicios CDMA y GSM en telefonía móvil, sin embargo, en enero del 2010, CNT S.A. se convirtió en empresa pública, y pasó a ser desde ese momento, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT. S.A. mejorando su servicio y cobertura, ofreciendo una red mayormente configurada en CDMA y actualmente, una señal HSPA+, al ser una empresa estatal se puede facilitar la integración de redes LTE y de seguro lo elegirán para ofrecer a sus usuarios servicios de cuarta generación. (Consejo Nacional de Telecomunicaciones, 2013)

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones – CONATEL resolvió otorgar a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones - CNT, la autorización para ofrecer servicios 4G con la tecnología LTE. El organismo además le concedió a la empresa 30 MHz de espectro en la banda de 700 MHz, y 40 MHz de espectro en la banda de 1,7 – 2,1 GHz (Advanced Wireless Service - AWS), con el objetivo de desplegar servicios de banda ancha móvil 4G en Ecuador, además actualmente son frecuencias utilizadas para LTE en México y Uruguay.

César Regalado gerente general de CNT durante la presentación de un convenio entre la CNT y el centro comercial Mall del Sol, realizó el anuncio de los nuevos servicios que la empresa pública ofrecerá este año entre ellos, la conectividad 4G LTE. (Freire, Doctor Tecno, 2013)

“Hemos crecido en servicios fijos (telefonía) con más de dos millones de clientes. En internet fijo hemos pasado de 15 mil a cerca de 500 mil clientes y en televisión satelital tenemos 50 mil clientes luego de un año”, comentó Regalado (Freire, Doctor Tecno, 2013).

La intención de CNT según su representante, es crecer en internet móvil pues considera que en servicios de voz es muy complicado competir, además menciona que CNT será la única empresa en el país que podrá dar servicio de LTE luego de recibir la aprobación del Gobierno Nacional. (Freire, Doctor Tecno, 2013)

Este nuevo servicio implicará no solo el aumento de velocidades de navegación (entre 10 y 25 veces más rápidas) sino el ingreso de equipos compatibles con la banda LTE AWS 1,7GHz y 2,1GHz como el iPhone 5, la familia Galaxy de Samsung, la marca China Huawei y la taiwanesa HTC cuyo modelo One ha revolucionado el mercado de los smartphones. (Menutti, 2013)

Ecuador se convirtió en el tercer mercado de la región, luego de Puerto Rico y Bolivia, en adjudicar a un operador móvil un segmento de espectro del dividendo digital, considerado como óptimo para el despliegue de LTE debido a su amplitud de propagación, aunque con escasa disponibilidad de terminales. Además, en este sentido, la decisión de CONATEL parece ser beneficiosa para el desarrollo del sector de telecomunicaciones en Ecuador.

Sin embargo, en la repartición del espectro el regulador excluyó a los dos principales operadores móviles del mercado, Claro y Movistar, lo cual deja serias dudas acerca de las prospectivas de crecimiento de LTE en el mediano plazo. Así, la CNT E.P pasa a ser el único operador del mercado con licencia y espectro para el despliegue de LTE.

### **3.5. Estudio zonal geográfico de la zona norte de la ciudad de Quito**

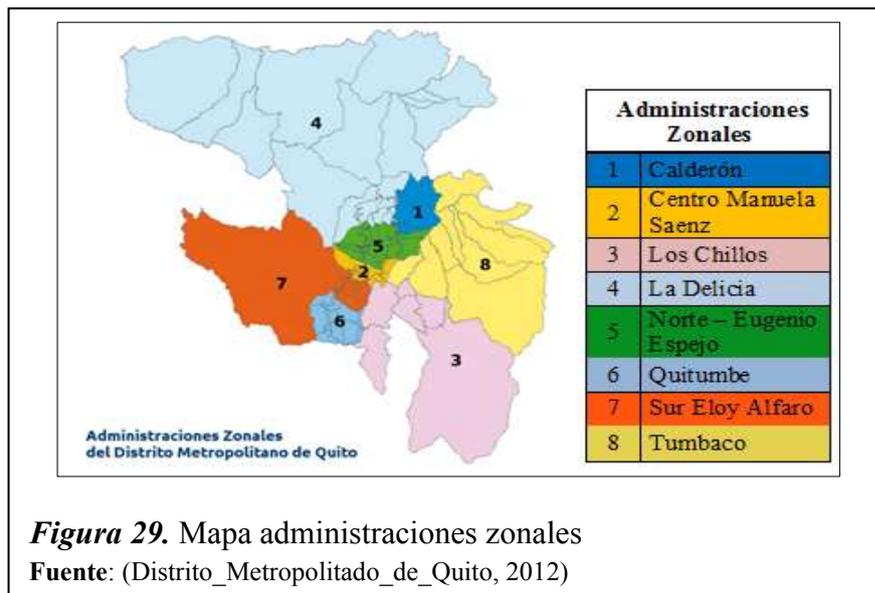
Para el desarrollo de este proyecto se necesita un análisis geográfico de la zona en la cual se va a realizar el mismo, determinando sus parámetros topográficos, que servirán de gran ayuda para las simulaciones que se van a realizar posteriormente, para lo que se eligió la zona norte de la ciudad de Quito. La figura 28 muestra la ciudad de Quito actualmente.



**Figura 28.** Mapa de la ciudad de Quito  
**Fuente:** (Google\_Maps, 2014)

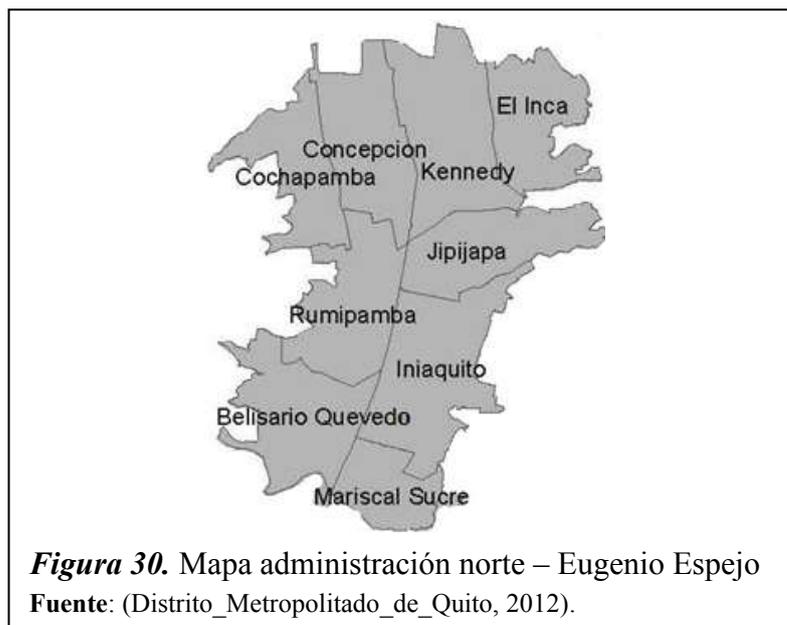
### 3.5.1 Delimitación de la zona.

El Distrito Metropolitano de Quito se encuentra dividido en 8 administraciones zonales como se muestra en la figura 29.



**Figura 29.** Mapa administraciones zonales  
**Fuente:** (Distrito\_Metropolitado\_de\_Quito, 2012)

La zona en la que se va a realizar el estudio para este proyecto es la Administración zonal número 5 (Norte - Eugenio Espejo), la misma que consta de 9 parroquias como se muestra en la figura 30.



Para delimitar la zona geográfica se tomó en cuenta cada una de las parroquias por la que está conformada la zona norte de Quito, tomando en cuenta que esta zona, está considerada como “hipercentro”, ya que hay concentración de varias empresas de administración, gerencia, tecnología entre otras.

Según las estadísticas del Distrito Metropolitano de Quito a partir del Censo de Población y Vivienda del año 2010, La zona norte –Eugenio Espejo, está constituida por 23.836 habitantes por hectárea.

Para el diseño de la red se tomarán en cuenta los siguientes límites: la ciudad de Quito se encuentra limitada al noroeste, con la parroquia Mariscal Sucre en la latitud  $0^{\circ}12'18.72''S$  y longitud  $78^{\circ}29'26.88''O$ , pasando por las parroquias de Iniaquito, Belisario Quevedo, Rumipamba, Jipijapa, el Inca, Cochapamba y Concepción, hasta la parroquia Kennedy en la latitud  $0^{\circ}08'25.44''S$  y longitud  $78^{\circ}28'35.04''O$ , la tabla 18 muestra las posiciones por latitud y longitud de cada una de las parroquias de la zona norte de Quito.

**Tabla 18.** Latitud y longitud.

PARROQUIA	LATITUD	LONGITUD
Keneddy	$0^{\circ}08'25.44''$	$78^{\circ}28'35.04''$
Concepción	$0^{\circ}08'25.44''$	$78^{\circ}29'26.88''$
Cochapamba	$0^{\circ}08'51.36''$	$78^{\circ}30'18.72''$
El Inca	$0^{\circ}09'18''$	$78^{\circ}27'18''$
Continúa...		

<b>Jipijapa</b>	0°10'9.12"	78°28'35.04"
<b>Rumipamba</b>	0°10'35.04"	78°29'52.8"
<b>Iñaquito</b>	0°11'13.92"	78°29'0,96"
<b>Belisario Quevedo</b>	0°11'13.92"	78°30'18.72"
<b>Mariscal Sucre</b>	0°12'18.72"	78°29'26.88"

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

También hay que tomar en consideración la altura de cada parroquia sobre el nivel del mar, la tabla 19 muestra que la altura máxima promedio del sector entre Cochapamba y Belisario Quevedo es de 2944m (aproximadamente) sobre el nivel del mar, siguiendo con una altura promedio las parroquias del Inca, Rumipamba, La Kennedy y La Concepción a 2848m (aproximadamente) sobre el nivel del mar, terminando con las parroquias de Mariscal Sucre, Jipijapa e Iñaquito con la altura menor de 2785m (aproximadamente) sobre el nivel del mar.

**Tabla 19.** Altura de las parroquias de la zona norte.

<b>Parroquia</b>	<b>Altura (m)</b>
<b>Keneddy</b>	2840
<b>Concepción</b>	2818
<b>Cochapamba</b>	2975
<b>El Inca</b>	2872
<b>Jipijapa</b>	2790
<b>Rumipamba</b>	2862
<b>Iñaquito</b>	2773
<b>Belisario Quevedo</b>	2913
<b>Mariscal Sucre</b>	2792

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

### **3.6. Estudio de factibilidad técnico y financiero**

#### **3.6.1 Estudio de factibilidad técnico.**

Actualmente en la zona norte de la ciudad de Quito, las tres operadoras móviles Movistar, Claro y CNT tienen implementados los servicios de datos, voz y video, mismas que cumplen con estándares obligatorios establecidos en el proyecto de la UIT sobre Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000). La tabla 20 muestra las características y estándares preliminares.

**Tabla 20.** Características y estándares preliminares.

Generación	Requerimientos	Comentarios
1G	Tecnología Analógica. No hay requerimientos oficiales	Desplegado en los años 1985
2G	Tecnología Digital. No hay requerimientos oficiales	Desplegado en los 1990. Primeros sistemas digitales. Nuevos servicios como SMS y datos de baja velocidad
3G	UIT acuerda que IMT-2000 requiere 144 kbps movilidad. 384 kbps caminando y 2 Mbps en Interiores.	Principales tecnologías: CDMA2000 1x/EVDO y UMTS-HSPA, WiMAX aprobado como tecnología 3G.

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías

Es así que las operadoras establecidas en Ecuador, cuentan con esta tecnología incorporada y teniendo en cuenta que los sistemas 3G fueron diseñados desde el inicio para soportar cualquier tipo de servicio multimedia de forma flexible; es decir, sin que la incorporación de nuevos servicios requiera realizar modificaciones en la red. A continuación se muestra la arquitectura convergente con la que operan en la actualidad dichas operadoras.

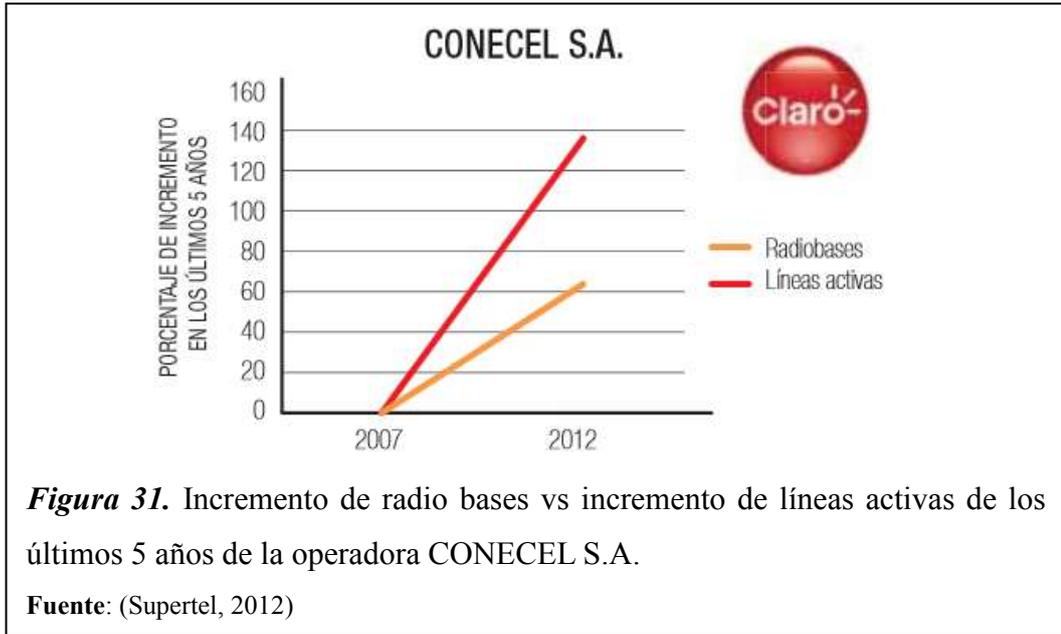
### **Infraestructura Actual del servicio móvil avanzado de las operadoras en Ecuador**

A continuación se detalla el número total de estaciones base por operador.

**Tabla 21.** Infraestructura del servicio móvil avanzado de la operadora CONECEL en los últimos 5 años.

OPERADORA	TECNOLOGÍA	NÚMERO DE RADIO BASES 2007	NÚMERO DE RADIO BASES 2012
CONECEL	APMS/TDMA	197	0
	CDMA	0	0
	GSM 850	1.189	1.856
	GSM 1900	311	1.127
	UMTS	0	1.037
<b>TOTAL</b>		1.697	4.020

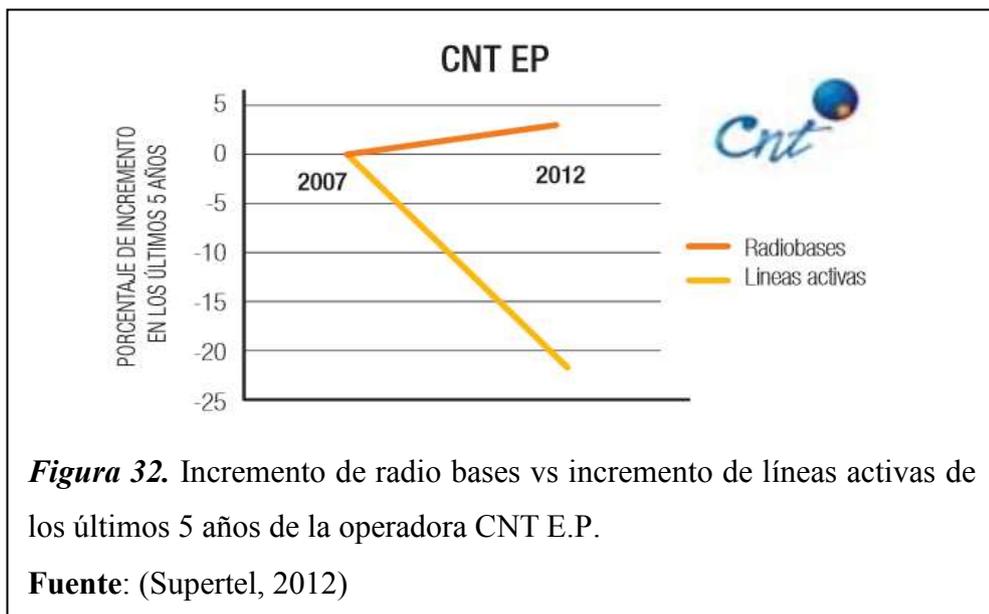
**Fuente:** (Supertel, 2012)



**Tabla 22.** Infraestructura del servicio móvil avanzado de la operadora CNT E.P. en los últimos 5 años.

OPERADORA	TECNOLOGÍA	NÚMERO DE RADIOPORTES 2007	NÚMERO DE RADIOPORTES 2012
CNT E.P.	APMS/TDMA	0	0
	CDMA	222	228
	GSM	0	0
<b>TOTAL</b>		222	228

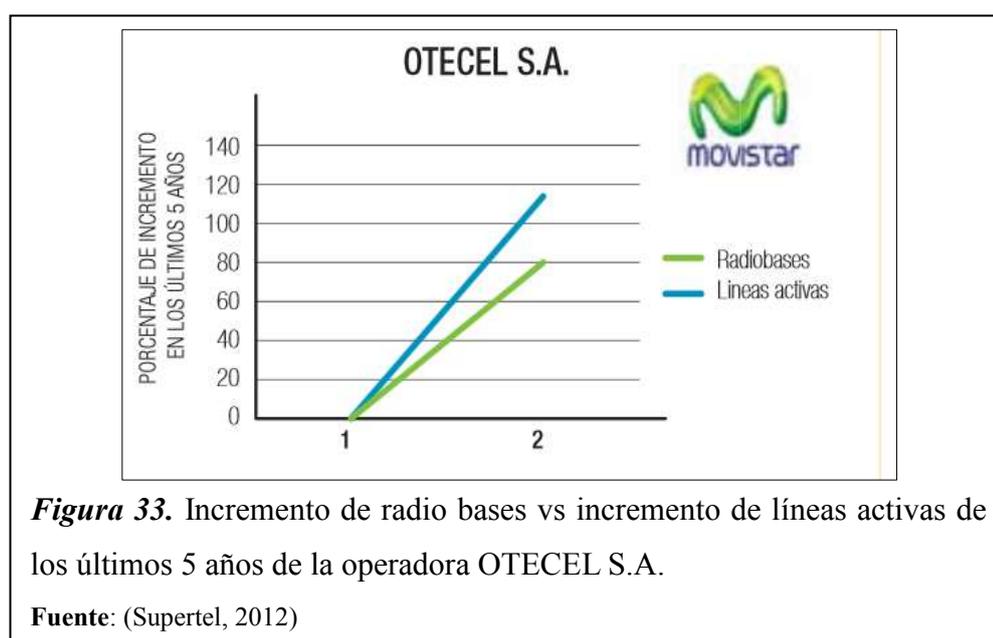
**Fuente:** (Supertel, 2012)



**Tabla 23.** Infraestructura del servicio móvil avanzado OTECEL en los últimos 5 años.

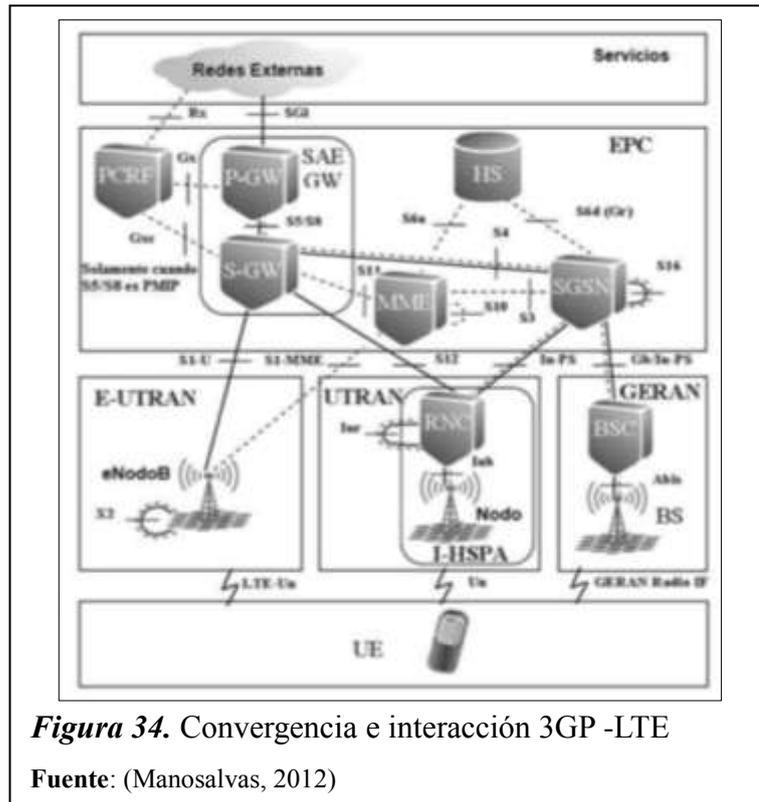
OPERADORA	TECNOLOGÍA	NÚMERO DE RADIOBASES 2007	NÚMERO DE RADIOBASES 2012
OTECCEL	APMS/TDMA	215	0
	CDMA	222	0
	GSM 850	711	1.254
	GSM 1900	104	645
	UMTS	0	803
<b>TOTAL</b>		<b>1.252</b>	<b>2.702</b>

Fuente: (Supertel, 2012)



### Factibilidad de migración 3G –LTE

Una vez que se ha analizado la tecnología actual de comunicación con la que trabajan las operadoras, en la figura 37 se describe la arquitectura necesaria para una interacción de migración 3G – LTE y los elementos de red, donde todas las redes de acceso 3GPP definidas, como E-UTRAN, UTRAN y GERAN interactúan, por ello es necesario encontrar un punto en el cual se pueda asociar la nueva tecnología LTE, este punto es el núcleo de la red EPC, el cual se observa en la figura 34.



En sentido de funcionalidad la tecnología E-UTRAN, UTRAN y GERAN proveen conectividad de servicios de manera muy similar, la única diferencia notoria, será el beneficio en las crecientes tasas de transmisión y el óptimo desempeño de la red, el problema a resolver se refleja a nivel de arquitectura, ya que estas redes de acceso son totalmente diferentes, es así que las portadoras son administradas en el EPS, al ser comparadas entre las redes actuales existentes ULTRAN o GERAN se marca una gran diferencia. Sin embargo, al ser conectadas al EPC, estas podrían trabajar bajo la misma perspectiva y para este propósito el S-GW asume las funciones de nodo de soporte Gateway GPRS (Gateway GPRS Support Node - GGSN). Así, se realizaría un trabajo estable entre redes, el cual al ser optimizado mediante este proceso, obtendría una interacción ideal con las redes de acceso E-UTRAN, GERAN y UTRAN. El comportamiento sería el mismo si trabajaran con redes de acceso iguales.

Al realizar todo el trabajo de interacción entre redes de acceso en el EPC, la diferencia es notoria, porque antes GGSN solía ser fijo, ahora como el S-GW actuaría como GGSN, cambiará junto con el SGSN (Nodo de soporte de servicios GPRS) durante la movilidad del UE.

El último punto a tomar en cuenta, para un aspecto de factibilidad técnico, está enfocado a la optimización de los requerimientos de OFDMA, el cual al ser utilizado en LTE como la técnica de multiplexación, necesita completa interacción entre redes de acceso para que puedan trabajar juntas al 100% pese a la diferencia en su arquitectura y así optimizar el uso de recursos, para ello como complemento de la EPC, se tiene el eNodoB, el cual está diseñado en la E-UTRAN y enfocado a OFDMA.

A pesar de que el eNodoB, no puede relacionarse mediante una interfaz directa con las otras redes de acceso 3GPP, la interacción con EPC es la misma que en otros casos de movilidad (handovers), por tanto la funcionalidad permitirá manejar la comunicación con la menor cantidad de interrupciones a los servicios. Por tanto, en el nodo eNodoB se realizarán las tareas necesarias para coordinar con las celdas de ULTRAN y GERAN los valores de la señal del UE, así se podrán tomar decisiones handover basadas en los resultados de las mediciones. Para que exista una correcta correlación de comunicación entre las redes E-UTRAN, UTRAN, GERAN y puedan trabajar conjuntamente. Se deben realizar algunas configuraciones así como actualizaciones en determinados elementos de la red, los cuales se describen en la tabla 24.

**Tabla 24.** Elementos de la red LTE

Elemento de la Red	Consideraciones
UE	Debe soportar todas las tecnologías de radio, operaciones de movilidad definidas en dichas tecnologías y las bandas de frecuencia respectivas.
E-UTRAN	Para el propósito de handover, las celdas vecinas de las otras redes necesitan ser configuradas en cada eNodoB
UTRAN	Debe desempeñar las mismas medidas de control y funciones de análisis que la E-UTRAN, así como también el transporte de información de handover.
GERAN	Está conectada al SGSN tanto en el plano de control como en el plano de usuario, y por tanto esta conexión es empleada para funcionalidades de trabajo entre redes.

Continúa...

**Tabla 24.** Elementos de la red LTE

(Continuación...)

EPC	Tiene la función central dentro de la arquitectura del sistema definida para un trabajo entre redes, pues gracias a este pueden funcionar juntas las redes de acceso Continúa...	
	MME	Requiere señalización con el SGSN para soportar la movilidad entre redes.
	S-WG	Es el anclaje de movilidad para los sistemas de acceso 3GPP. En las operaciones portadoras básicas y de movilidad entre SGSN, el S-GW se comporta como un GGSN hacia el SGSN, y además hacia el RNC.

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías

### Abonados por operadora

Según los registros de la Superintendencia de Telecomunicaciones; hasta abril del 2012 ha existido un gran incremento de líneas activas en la telefonía móvil en los últimos cinco años. Los datos por operador se presentan a continuación.

**Tabla 25.** Resumen nacional de abonados y líneas activas por concesionario

OPERADORA	ABONADOS 2007	LÍNEAS ACTIVAS JULIO 2012
<b>CONECEL S.A. CLARO</b>	6.907.911	11.318.271
<b>OTECEL S.A. MOVISTAR</b>	2.582.436	4.690.682
<b>CNT E.P.</b>	449.630	326.827
<b>TOTAL</b>	<b>9.939.977</b>	<b>16.335.780</b>

**Fuente:** (Supertel, 2012).

De este análisis se concluye que el servicio móvil avanzado es el principal servicio de telecomunicaciones que utilizan los ecuatorianos, con las tecnologías GSM y UMTS; de tal forma, que es imprescindible intensificar un avance tecnológico para garantizar la prestación del servicio, tal como se ha presentado en el presente estudio de factibilidad de convergencia LTE

### **3.7. Factibilidad económica**

Al ser CNT E.P. la primera operadora con la concesión sobre banda y espectro para desplegar su cobertura 4G, anunció que tiene una base presupuestaria para esta inversión, de casi USD \$30 millones según el Gerente de la compañía, Cesar Regalado. (Guillén, 2013).

Para OTECEL, que maneja un mayor mercado según lo visto en capítulos anteriores, informó que aproximadamente destinaría USD \$55 millones que están incluidos dentro de los casi USD \$100 millones que serán para mejoramiento y evolución de su tecnología en Ecuador. (Guillén, 2013).

#### **3.7.1 Análisis de costos para simulación.**

Para la simulación se realizará un breve análisis de los siguientes software de predicción:

**SIRENET:** Es una herramienta de gestión del espectro radioeléctrico destinada a la planificación de redes radio y al análisis de compatibilidad electromagnética.

La herramienta se basa en la simulación de entornos reales apoyándose en un avanzado sistema de información geográfica, en la reproducción exacta del comportamiento de los equipos radioeléctricos y en los algoritmos más avanzados y actuales para la predicción de la propagación en distintos entornos. El manejo es simple e intuitivo y su funcionalidad se adapta a las necesidades de distintos perfiles de usuario.

SIRENET permite la supervisión y la planificación de las redes que se vayan a desplegar en el futuro. Sus algoritmos cubren todas las bandas y servicios de la radiocomunicación, incluyendo LTE, UMTS, GSM, DVB-T, DVB-T2, ISDB-T, ATSC, TV, DAB, FM, TETRA, APCO, IDEN, DECT, Punto-Multipunto, WiMAX, WIFI, etc. (Aptica, 2013)

**ICS Designer:** software de planificación de radio más completo que existe en el mercado, a un precio muy atractivo. Sin módulos adicionales, y con una política de precios flexibles para el usuario. (ATDI, 2014).

ICS Designer incluye y soporta: Multi-tecnologías (móvil, radiodifusión, fijo, microondas, satélites, radares aeronáuticos, punto a multipunto y otros). Esto incluye estudios de coexistencia entre diferentes tecnologías (LTE contra DVB-T, móviles contra fijos y otros).

Tipos de redes compatibles con ICS Designer: GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSPA, HSPA +, LTE (TDD y FDD), WiMAX, WiFi, CDMA 2000, EVDO, TDMA, FDMA, DVB-H, Tetra, DVB-T / 2, ISDB-T, DMR, BWA, TV, FM, MLAT, DME, radares, enlaces de microondas y otros. (ATDI, 2014).

ATOLL: Es un diseño y optimización de la red multi - plataforma de tecnología escalable y flexible que soporta los operadores móviles en todo el ciclo de vida de la red, desde el diseño inicial hasta la densificación y la optimización.

ATOLL cuenta con herramientas de desarrollo avanzadas e interfaces abiertas que permiten la integración de módulos complementarios personalizada o disponible en el mercado. Incluye características avanzadas de tecnología múltiple de planificación de red (por ejemplo, GSM / UMTS / LTE, CDMA2000 / LTE), y un multi-RAT GSM / UMTS / LTE simulador de Monte-Carlo-Single RAN combinado y modelo de tráfico. Atoll soporta GSM / GPRS / EDGE, UMTS / HSPA, LTE, CDMA2000 1xRTT/EV-DO, TD-SCDMA, WiMAX y redes de enlace de microondas; sino que también incluye un motor de cálculo de propagación de altas prestaciones, y las características de planificación y análisis del estado de la técnica de la red. (ATOLL, 2014).

Los costos por las licencias del software de simulación de redes, se pueden apreciar en la tabla 26:

**Tabla 26.** Costos licencias de software de simulación

NOMBRE SOFTWARE	CANTIDAD	PRECIO	TIEMPO
SIRENET (incluye garantía y mantenimiento, curso básico)	1	€23900	Licencia por un año
ICS Designer (incluye CD-ROM, USB key, un año de mantenimiento, soporte)	1	€15000	Licencia Perpetua
ATOLL (incluye, mantenimiento, soporte)	1	€1 .473	Licencia por un año

Elaborado por: Victoria Guachán y Pablo Cajías

### 3.7.2 Análisis de costos para equipos y manufactura.

Para establecer un presupuesto de costos para los equipos que serán utilizados en una posible implementación en la convergencia hacia la tecnología futura 4G es necesario conocer, que elementos pueden ser reutilizados, que dispositivos pueden ser reemplazados y por cuales sería la mejor opción de reemplazo, en la tabla 27 se pueden apreciar los equipos utilizados dependiendo de la generación y del elemento de red.

**Tabla 27.** Elementos convergentes, nuevos y desplazados para implementación 4g

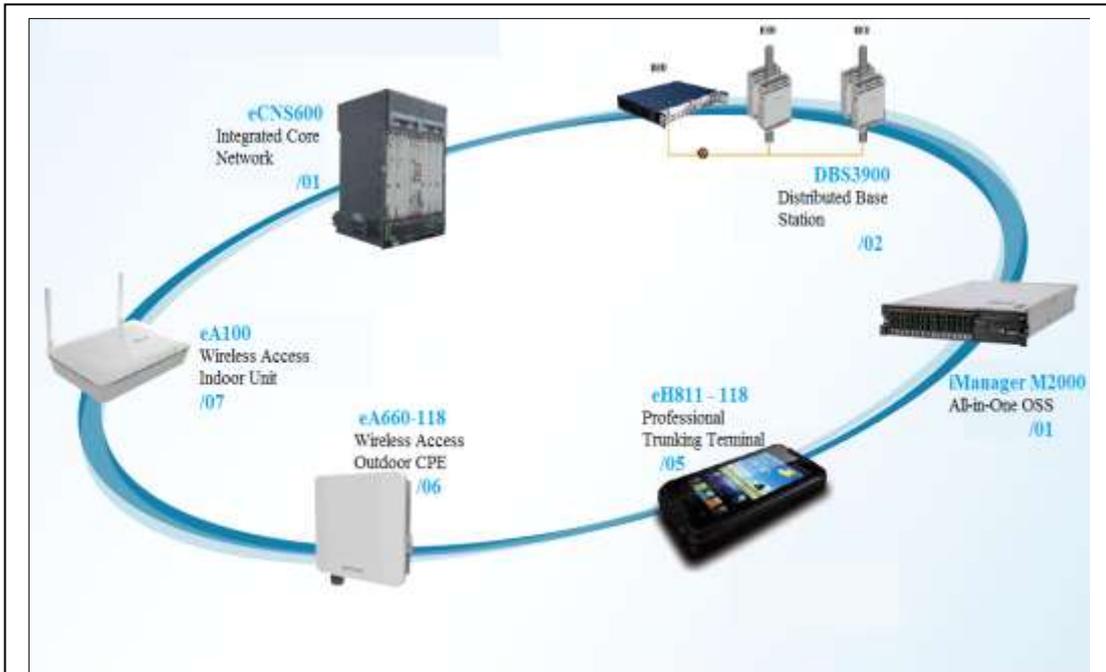
Elementos Nuevos para Convergencia 4G	Elementos Reusados de la Red Actual	Elementos Desplazados de la Red Actual
Node B (Base Transceiver Station).	Home Location Register (HLR).	Base Transceiver Station (BTS).
	Gateway GPRS Support Node (GGSN).	
Media Gateway (MGW).	Equipment Identity Register (EIR).	Base Station Controller (BSC)
	Visitor Location Register (VLR).	
Radio Network Controller (RNC).	Serving GPRS Support Node (SGSN).	
	Authentication Center (AUC).	

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

A continuación se presentan los costos que cada operadora deberá solventar para implementar los servicios LTE, para lo cual se tomará en cuenta los requerimientos de acuerdo a su infraestructura, siendo como proveedor la empresa Huawei, ya que la misma se encuentra ofreciendo el soporte tecnológico a CNT. (Ortíz, 2013).

En la figura 35 se muestran los equipos necesarios que forman parte de la solución para la implementación de una red LTE-Advanced completa con equipos de la marca

Huawei. Para la red del núcleo se tiene al equipo eCNS600, los eNBs se pueden implementar con el DBS3900 integrado por el RRU y el BBU; y, para la gestión de redes móviles el iManager M2000.



**Figura 35.** Equipos para la red LTE

**Fuente:** (Huawei, 2014)

Para el análisis general de un eNB se tomará en cuenta que LTE se implementará en la misma infraestructura que ya posee cada operador, por lo que solo se necesitan cambiar los equipos actuales por los equipos Huawei que a continuación se presentan:

Para el sistema radiante necesariamente se deben cambiar las antenas debido a que LTE trabaja en otras frecuencias. Para cada eNB se necesitan 2 antenas, una antena direccional y una antena omnidireccional, que permitan dar una cobertura total.

De los equipos mencionados anteriormente se utilizarán: el equipo DBS3900 Huawei formado por el BBU y los RRU, (los RRU se conectan al BBU a través de fibra óptica).

En la tabla 28 se muestran cuantos equipos serán necesarios, así como su costo por cada estación base, teniendo así un valor aproximado en inversión y hacer posible la implementación de la red 4G en la zona norte de la ciudad Quito.

**Tabla 28.** Análisis de costos de equipos por celda.

<b>EQUIPOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>
<b>Antenas Direccionales</b>	9	\$1584,81
<b>Antenas Omnidireccionales</b>	9	\$999.63
<b>DBS3900 (RRU, BBU)</b>	1	\$110.000
<b>eCNS600</b>	1	\$100.000
<b>iManager M2000</b>	1	40.000
<b>FIBRA ÓPTICA</b>	60m	\$78
<b>TOTAL</b>		<b>\$252.662,44</b>

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías

En la información presentada en la tabla 27 acerca del costo de los equipos, hay que tomar en cuenta que no se incluyen los que ya posee cada una de las operadoras, ya que serán reutilizados en cada estación base.

En esta tabla se encuentran los precios de los equipos para el EPC que es el núcleo de la red para lo cual se utilizará el equipo eCNS600 con un precio de 100 mil dólares, de acuerdo a las especificaciones del equipo el número máximo de eNBs que soporta es 500 y para la gestión de la red se utilizará el iManager M2000 con un precio de 40 mil dólares, el mismo que permitirá una gestión centralizada de la red.

Con estos valores se puede determinar un valor aproximado de 252.662,44 dólares para cada operadora ya que al ser una zona delimitada, cada una ocupará los mismos insumos.

**Tabla 29.** Elementos de la tecnología LTE y costo de manufactura

<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>
<b>1</b>	Costo Análisis Técnico	2.000
<b>1</b>	Costo Implementación	30.000
<b>1</b>	Costo Mantenimiento	5.000
	<b>TOTAL</b>	<b>37.000</b>

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Teniendo así un costo final de 289662.44 dólares.

### 3.7.3 Análisis de costos para equipos para usuarios finales.

Una vez que el usuario de telefonía móvil desee hacer uso de los beneficios que LTE ofrece, tendrá que mejorar el equipo que posee como usuario final, ya que no toda la tecnología es compatible con LTE, entre los equipos actuales para dicho acceso se tiene la siguiente tabla, la accesibilidad al equipo dependerá del nivel de ingreso económico del usuario, hay que tomar en cuenta que una vez que LTE ingrese al mercado el costo del equipo variará de acuerdo a la demanda que el mismo tenga.

**Tabla 30.** Costo de equipos para usuarios

EQUIPOS CON ACCESO LTE			
Equipo	Modelo	S.O.	Costo
Celular	Nokia Lumia 1520	Windows Phone 8	\$899.99
Celular	Nokia Lumia 625	Windows Phone 8	\$319.99
Celular	Samsung Galaxy S4 Mini	Android 4.2	\$333.99
Celular	BlackBerry Q10	BlackBerry OS 10	\$500
Celular	Sony Xperia Z1 Compact	Android 4.3	\$650
Celular	Nokia Lumia 925	Windows Phone 8	\$550
Celular	LG G2	Android 4.2.2	\$750
Celular	BlackBerry Q5	BlackBerry OS 10	\$350
Celular	Samsung Galaxy S4	Android 4.2	\$600
Tablet	Samsung Galaxy Note 3	Android 4.2	\$670
Celular	Sont Xperia Z1	Android 4.2	\$680
Celular	Samsung Galaxy Ace 3	Android 4.2	\$260
Celular	Motorola Moto X	Android 4.2	\$350
Celular	iPhone 5C	iOS7	\$650
Celular	iPhone 5S	iOS7	\$850
Celular	Nokia Lumia 1020 64 GB	Windows Phone 8	\$750
Router	Huawey, Wifi 11/n, Mimo 2x2,		\$130
Router	Huawey Wifi Mi-Fi LTE 2600MHz, Fdd B7, Mimo 2x2		\$150
Modem	LTE Huawey USB		\$35

**Fuente:** (CNT, 2014), (CLARO S.A, 2014), (Movistar, 2014)

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

En la tabla 30 se muestra el catálogo de equipos disponibles en el mercado ecuatoriano, con acceso a tecnología LTE, hay que tomar en cuenta que son precios bases los cuales pueden variar dependiendo de los intereses del proveedor.

Con la información presentada en este capítulo, se pudo determinar el estado tecnológico con el que cuenta cada una de las operadoras, tomando en cuenta que, la empresa pública CNT E.P tiene asignado por parte del CONATEL 30MHz en la banda de 700 MHz y 40GHz en la frecuencia de 1700/2100MHz, como se puede observar en la figura 29 de este mismo capítulo, convirtiéndose en la operadora con

mayor cantidad de espectro en el mercado con respecto a las operadoras privadas (CLARO y MOVISTAR) lo cual influye en el crecimiento de LTE. También se evaluarán y determinarán los equipos necesarios para la migración y el despliegue de la red LTE 4G a Ecuador, junto con el monto de inversión, que afrontaría la operadora CNT E.P.

## CAPÍTULO 4

### ESTUDIO DE MERCADO DE LOS SERVICIOS LTE

#### 4.1 Introducción

América Móvil (Claro) y Telefónica (Movistar) incrementaron sus ingresos en Ecuador durante el 2012. Ambas operadoras celulares alcanzaron ventas por \$ 2.160 millones.

El reporte de Claro Referencia indica que sus ingresos llegaron a \$ 1.519 millones, es decir 5,6% más que en el 2011, cuando logró \$ 1.439 millones. (El Universo, 2013).

En el negocio celular de Claro, los servicios representaron la mayor parte de su facturación. Este rubro generó \$ 1.306 millones, 6,6% más que en el periodo previo. Sus ingresos por venta de equipos llegaron a \$ 212 millones, un modesto crecimiento del 0,8%.

Desde junio del 2012, las compañías que participan en la importación de celulares tienen cupos para traer dispositivos celulares por orden del Comité de Comercio Exterior.

Mientras que Movistar generó en el 2012 ingresos por 491 millones de euros (más de \$ 641 millones al cambio actual), un 20,3% más que en el 2011. En moneda local (dólares) ese crecimiento representa un 11,1%, según reportó la operadora.

**Tabla 31.** Cuadro estadístico del crecimiento económico de las operadoras en el Ecuador.

	Ingresos 2011	Ingresos 2012	Crecimiento Porcentual en un Año
<b>CLARO</b>	1.439	1.519	5,60%
<b>MOVISTAR</b>	540	641	20,30%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Un año atrás, la facturación de Movistar en el país estuvo en 408 millones de euros (alrededor de \$540 millones). Por rubros, los servicios le significaron la mayor entrada, seguido de los datos (contenidos multimedia) y la venta de terminales. De estos tres, la facturación por datos tuvo mayor aumento.

## 4.2. Tecnologías y servicios existentes

### 4.2.1 Tecnologías.

En capítulos anteriores se realizó el análisis para describir la tecnología con que cuentan las operadoras en la actualidad para ofertar servicios a los usuarios en el norte de Quito, a manera de resumen se presenta la siguiente tabla 32.

**Tabla 32.** Tecnología actual operadoras Ecuador

	<b>CONECEL S.A CLARO</b>	<b>OTECEL S.A MOVISTAR</b>	<b>CNT E.P</b>
2G: GSM (Global System for Mobile Communication)	✓	✓	✓
2G: CDMA 1xRTT (Code Division Multiple Access 1 times Radio Transmission Technology)			✓
3G: WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)	✓	✓	
3G: CDMA EVDO (Evolution - Data Optimized)			✓
3G: HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)	✓	✓	

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías

### 4.2.2 Servicios.

En base a la tecnología presentada, se muestran los servicios que actualmente se ofrecen por parte de Claro, Movistar y CNT.

- Voz.
- Internet Móvil.
- MSM, MMS.

La SUPERTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones), ha realizado un control de calidad de estos servicios ofertados, exigiendo que se cumpla con los QoS descritos en la Recomendación UIT-T G.1000 y estándares ETSI. No obstante, para el estudio de dicha normativa, la Superintendencia de Telecomunicaciones con el uso del SAMM (Sistema de Administración de Mantenimiento Moderno) analizó el

cumplimiento por parte de las operadoras mediante estos servicios con sus abonados en el año pasado y concluyeron:

**Tabla 33.** Análisis efectividad servicios ofertados por operadoras en Ecuador 2012

PARÁMETRO DE CALIDAD (ON_NET)	VALOR OBJETIVO
Porcentaje de Llamadas Establecidas	$\geq 95\%$
Tiempo de Establecimiento de Llamada	$\leq 12$ s. $\geq 95\%$
Porcentaje de Llamadas Caídas en las (RBS Estaciones Radio Base)	RBSs tipo A $\leq 2\%$ RBSs tipo B $\geq 5\%$ RBSs tipo C $\leq 7\%$
Zona de cobertura	Urbana: $\geq 95\%$ Rural o carreteras $\geq 90\%$
Calidad de conversación, MOS (Puntaje de opiniones)	MOS $\geq 3$
Porcentaje de mensajes cortos con éxito	$\geq 95\%$
Tiempo promedio de entrega de mensajes cortos	$\leq 30$ s.

**Fuente:** (SUPERTEL, 2012).

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Así se puede apreciar que el servicio que ofertan las operadoras móviles ha sido de buena calidad, pero queda claro que el servicio celular de hoy en día se está orientando al uso a gran escala de Internet, como tener la opción de ver videos, enviar fotos, escribir correos electrónicos, redes sociales, es por ello que se hace imprescindible la convergencia a sistemas 4G, los cuales son orientados a estos servicios.

### 4.3 Ventajas de LTE

Como es lógico suponer, existen muchos tecnicismos interesantes alrededor de este tema, pero lo que realmente necesita conocer el propietario de un teléfono inteligente, es la repercusión de estas redes LTE 4G en el servicio que le presta su compañía operadora y cuáles son los beneficios de contar con un Smartphone que tenga acceso a este tipo de conexión inalámbrica. Aquí se presentan algunas de sus ventajas:

LTE proporciona velocidades máximas de bajada alrededor de 100 megabytes por segundo, mientras de subida esta por los 50 Mbps.

Asegura a los usuarios soporte necesario para la movilidad y compatibilidad entre los sistemas, (conectividad con otras redes), con lo cual se podrá utilizar el servicio de banda ancha en cualquier momento y lugar.

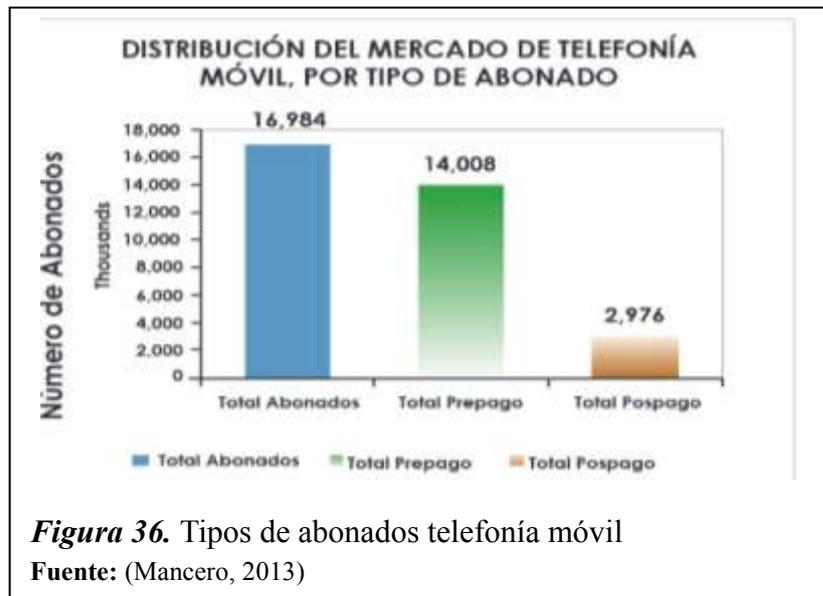
Los usuarios podrán conectarse a Internet con velocidades diez veces más rápidas que a través de redes de 3G, por lo tanto es enorme el mejoramiento en cuanto a la navegación por la web.

Se tendrá la capacidad para efectuar, sin ningún tipo de cortes, video-conferencias y video-llamadas con imagen y sonido de alta calidad, así como también realizar transmisiones en vivo y directo.

Los Smartphone compatibles con LTE 4G permiten compartir datos multimedia de alta definición. Sera posible descargar un video de 700 MB en 90 segundos así como también ver televisión en alta definición, también da la posibilidad al usuario de realizar conexiones en streaming de alta definición y en tiempo real, sin interrupciones ni tiempo de espera por el buffer. (Conde, 2013).

#### **4.4 Mercado de la telefonía celular en Quito-Ecuador**

En el ítem 4.5.1 se analizó la delimitación a la cual se hace referencia con esta investigación, se presentó la población actual constatándola así como posibles usuarios de telefonía móvil avanzada. De acuerdo al análisis efectuado a la información correspondiente al año 2012, el 85,87% del total de los usuarios móviles, pertenecen al segmento prepago como se ve en la figura, por lo que se debe tomar en consideración qué tipo de servicios son ofertados a este importante segmento de clientes, ya que consecuentemente serán los que reporten ingresos, en la figura 36 se pueden observar los tipos de abonados.



De acuerdo a información de la página web de los operadores, los usuarios de tipo prepago, disponen de dos servicios empaquetados, el servicio de llamadas de voz hacia las redes móviles fijas, al igual que servicio de mensajería corta y acceso a datos.

La tarifa referencial para el minuto de llamada de tipo prepago ON\_NET es de 22 centavos de dólar, pero es importante considerar que el mecanismo utilizado por los operadores móviles para incrementar sus ingresos y dinamizar el mercado tipo prepago, ha sido el de ofertar, de manera casi permanente, promociones de recarga de saldo tipo prepago, dirigidas a este tipo de usuarios, es así que durante el año 2010 se han ofertado 121 promociones por parte de CONECEL CLARO y 64 promociones por parte de OTECEL MOVISTAR. La mayoría de estas promociones (164) ha estado basada en la asignación de saldo promocional para efectuar llamadas de voz dentro de la propia red ON\_NET, con valores promedio de 2 centavos por minuto.

Durante el año 2011, ha existido un incremento del número de promociones de las operadoras, así el total de promociones ofertadas hasta el mes de noviembre de 2011 ha sido 168, correspondiéndole a CONECEL CLARO un porcentaje cercano al 58%, a OTECEL MOVISTAR un porcentaje cercano al 35% y a la CNT EP un porcentaje alrededor del 7%. La mayoría de estas promociones han estado destinadas a duplicar o triplicar el saldo promocional de voz para llamadas ON\_NET.

Durante el año 2012, se ha presentado una variación dentro de la estrategia de PROMOCIONES los operadores móviles, es así, que ha existido 132 promociones en total, siendo el operador CONECEL S.A. CLARO con 71 promociones el que ha utilizado con mayor énfasis esta estrategia comercial, incluso estableciendo 31 promociones con carácter de permanentes.

Los cargos de terminación de llamadas en Quito, al igual que en el Ecuador, establecen diferentes valores considerando la red de origen y la red de destino de las llamadas. Así por ejemplo, se establecen valores que oscilan entre 0,0132 a 0,0166 dólares para llamadas originadas en la red fija y destinadas hacia la red fija; valores comprendidos entre 0,04997 a 0,0847 dólares para llamadas originadas en la red fija y terminadas en la red móvil; valores comprendidos entre 0,04997 a 0,0915 dólares para llamadas originadas y destinadas a usuarios de las redes móviles y; valores comprendidos entre 0,0128 a 0,0166 dólares para llamadas originadas en las redes móviles y destinadas a usuarios de las redes fijas. (Asamblea Nacional, 2011)

Esta asimetría en los cargos de interconexión, sumado al hecho de la asimetría en el tamaño de las redes móviles comparadas con las redes fijas, hace suponer que el principal elemento de análisis que efectúan los usuarios en el momento de escoger el prestador de servicios, es el valor de las llamadas ON\_NET.

En lo que corresponde a los servicios de mensajería corta SMS, recientemente el regulador estableció un techo tarifario referencial de 6 centavos de dólar por cada uno de los mensajes y eliminó los cargos de interconexión entre las redes móviles para la prestación de servicios SMS. Sobre la base de lo expuesto, se podría concluir que el mercado relevante principal dentro de los servicios móviles es de llamadas de voz a redes móviles y fijas.

#### **4.5 Encuesta para evaluar el estado de la telefonía celular en Quito-Ecuador**

Para determinar el estado en el que se encuentra actualmente la telefonía móvil en la ciudad de Quito y verificar la factibilidad de implementación de nuevos servicios, además de la mantención o mejoramiento de los ya existentes, se realizó una encuesta misma que se encuentra en el anexo 1.

Para este proyecto se utilizó la fórmula para poblaciones finitas ya que el tamaño de la población a utilizarse es de 23.836 habitantes en la zona norte de la ciudad de Quito, y esta fórmula es útil hasta 30.000 personas. (Vallejo, 2012)

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2pq}} \quad (1)$$

Donde:

**n** = tamaño de la muestra que se desea conocer

**N** = Tamaño conocido de la población

**z** = correspondiente al nivel de confianza y que generalmente tiene el valor de 1.96

**pq** = Varianza de la población donde p=0.50 y q=0.50 es una constante

**e** = es el margen de error a utilizarse será el 7%

### **Margen de error**

Es una variación entre muestras que expresa la cantidad de error de muestreo aleatorio en los resultados de una encuesta. Cuanto mayor sea el margen de error, menos confianza se debe tener que los resultados reportados de la encuesta se encuentren cerca de las cifras "reales", es decir, las cifras para el conjunto de la población.

Se considera que el margen de error base es el 0.02%.

Reemplazando los valores en la fórmula (1) mencionada anteriormente se obtiene el siguiente resultado.

N= 23.836

e = 0.08%

$$n = \frac{23836}{1 + \frac{(0.08)^2(23836 - 1)}{(1.96)^2(0.50)(0.50)}}$$

$$n = \frac{23836}{1 + \frac{116.7915}{0.9604}}$$

$$n = \frac{23836}{159.83} = \mathbf{149}$$

Por lo tanto la encuesta se realizará a 149 personas y el análisis de la encuesta se detalla a continuación.

**Tabla 34.** Pregunta 1: ¿Qué operadora de telefonía móvil usted utiliza?

CLARO	MOVISTAR	CNT E.P
49	96	16
32.66%	64%	10.66%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

De los encuestados el 32.66% de ellos posee como operadora de telefonía móvil a CONECEL el 64% OTECEL y un 10.66% TELECSA, con lo que se ratifica que la mayor parte de los usuarios de telefonía móvil en el sector seleccionado prefieren los servicios de esta empresa, cabe recalcar que hay usuarios que poseen líneas de las tres operadoras juntas, justificando que una o dos de las líneas son proporcionadas por su empresa.

**Tabla 35.** Pregunta 2: ¿Qué tiempo lleva utilizando esta operadora de telefonía móvil?

UN MES O MENOS	DE 1 MES A 6 MESES	DE 6 MESES A 1 AÑO	MAS DE UN AÑO
3	6	8	126
2%	4%	5.33%	84%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Se ha ratificado por los usuarios que prefieren la estabilidad en la operadora con la que empezaron a utilizar los servicios móviles, así un 2% está utilizando un mes o menos la misma operadora móvil, de 1 a 6 meses el 4%, en un tiempo de 6 meses a 1 año 5.33%, y como más de un año el 84%.

**Tabla 36.** Pregunta 3: ¿La cobertura que brinda su operadora telefónica es?

MUY BUENA	BUENA	MALA	REGULAR
4	28	89	22
2.66%	18.66%	59.33%	14.66%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

De acuerdo a los abonados encuestados, se concluyó que la recepción de la señal en sus equipos es mala, ya que los datos se distribuyeron en la siguiente escala, 2.66% opina que la cobertura de su operadora es muy buena, 18.66% buena, 59.33% de los encuestados calificaron como mala y un 14.66% regular.

**Tabla 37.** Pregunta 4: ¿Qué tipo de servicio telefónico móvil tiene?

PREPAGO	POSTPAGO
86	58
53.33%	38.66%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Con los datos obtenidos, se ha podido determinar que los usuarios aún se manejan en su mayoría con servicio prepago, los resultados se tabularon de la siguiente manera; 53.33% posee líneas en prepago mientras que el 38.66% lo está en pos pago, como se había expuesto en el ítem 5.4 Mercado de la telefonía celular en Quito-Ecuador, corroborando así la información proporcionada por los encuestados, aunque se muestra un crecimiento en el segmento postpago.

**Tabla 38. Pregunta 5:** La calidad de los servicios de mensajes y llamadas de su operadora telefónica móvil le parecen:

MUY BUENA	BUENA	MALA	REGULAR
3	24	97	19
2%	16%	60.6%	12.6%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Ya que el 60.6% de los encuestados expresó que los servicios de mensajes y llamadas de su operadora son malas se pudo concluir que no están conformes con los servicios que estas prestan en cuanto a llamadas y mensajes, el 16% de los mismos afirman que es buena, muy buena 2% regular 12.6%.

**Tabla 39.** Pregunta 6: El costo de los servicios (llamadas y mensajes) que ofrece su operadora telefónica le parece:

BAJO	MEDIO	ALTO
15	81	57
10%	54%	38%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Se concluyó que la mayoría de los usuarios representado por el 54%, está de acuerdo con el valor que están cancelando a sus proveedores, mientras que menos de la mitad 38% menciona que pagan un valor alto y un número reducido, 10% que el costo por sus servicios es bajo.

**Tabla 40.** Pregunta 7: ¿Qué tipos de servicios tiene su celular?

LLAMADAS	MENSAJES	INTERNET
102	110	65
68%	73.33%	43%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Se estableció que del universo de usuarios encuestados, en un porcentaje casi igual, 68% y 73.33% utilizan su móvil para servicios de llamadas y mensajes, mientras que menos de la mitad 43% maneja su comunicación a través de internet, hay que tomar en cuenta que la mayoría de usuarios usan todos los servicios mencionados, llamadas mensajes e internet, por ello la muestra se triplica, teniendo así valores más altos, con un máximo de 150 por ítem.

**Tabla 41.** Pregunta 8: En caso de tener el servicio de internet en su teléfono celular la velocidad de acceso es, caso contrario continúe con la pregunta 10.

BUENA	MALA	REGULAR
15	42	8
23.07%	69.23%	14%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

En esta pregunta se delimita, a los usuarios que poseen servicio de internet, ya que al ser LTE un servicio orientado a este aspecto es necesaria esa información, es así que de los 150 encuestados, tan solo 65 utilizan este servicio, de los cuales más de la mitad 69.23% expresó que su servicio en este aspecto es malo, una pequeña cantidad 14% es regular y 23.07% calificó al mismo como bueno.

**Tabla 42.** Pregunta 9: ¿Conoce la velocidad con la que se conecta usted a internet por medio de su teléfono celular? en el caso de que sea así seleccione:

400/64 kbps	2048/256 kbps	2048/1024 kbps	Desconoce
13	12	7	22
20%	18.46%	10.766%	74.66%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

De los encuestados que poseen internet, la gran mayoría desconoce a la velocidad que navega 74.66%, mientras que el resto de usuarios tienen una referencia, así 20% 400/64kbps, 18.46% 2048/256kps, 10.766% 2048/1024kbps, hay que tomar en cuenta que la velocidad en promedio que manejan las operadoras varían entre 2048/256 kbps, mientras que en LTE los picos de velocidad llegarían a alcanzar 170Mbps (megabits por segundo), diez veces más que lo actual.

**Tabla 43.** Pregunta 10: ¿Cómo cliente a que nuevos servicios de telefonía móvil le gustaría acceder?

Video llamada	Redes Sociales	Televisión	Juegos Online	Chat	Otros
68	47	50	29	19	9
43.3%	31.33%	33.33%	19.33%	12.66%	6%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

El 43.3% como cliente le gustaría acceder a nuevos servicios de telefonía móvil mediante video llamada, el 31.33% mediante redes sociales, 33.33% con televisión, 19.33% con juegos online, 12.66% con chat, y el 6% desearían otros servicios.

**Tabla 44.** Pregunta 11: En la actualidad considera que implementar los servicios mencionados en la pregunta anterior son:

POCO IMPORTANTE	IMPORTANTE	MUY IMPORTANTE
22	81	29
14.66%	54%	16%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

La mayoría de personas encuestadas decidieron que es muy importante con el 54%, que los servicios mencionados anteriormente se implementen, el 14.66 % consideraron que es poco importante y el 16% simplemente, importante.

**Tabla 45.** Pregunta 12: Por los servicios mencionados anteriormente ¿Cuánto pagaría usted mensualmente?

\$10 - \$20	\$20 - \$30	\$30 - \$40	Más de \$40
91	36	5	0
60.66%	24%	3.33%	0%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

El 60.66% desearían pagar de \$10-\$20, con un 24% más apetecerían cancelar de \$20 - \$30, pero disminuyendo el porcentaje en 3.33% quisieran pagar de \$30 - \$40 y finalmente el 0% pagaría más de \$40.

**Tabla 46.** Pregunta 13: ¿Cuál sería el costo que usted pagaría por un celular inteligente (cuarta generación) con los servicios mencionados anteriormente?

\$200 - \$300	\$300 - \$400	\$400 - \$500	Más de \$500
58	22	31	10
38.66%	14.66%	20.66%	6.66%

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Por un celular inteligente de la cuarta generación con todos los servicios, los usuarios en su mayoría deciden cancelar con 38.66% de \$200 - \$300, el 14.66% de \$300 - \$400, el 20.66% de \$400 - \$500 y la menoría con el 6.66 % pagaría más de \$500.

Como se pudo comprobar en los resultados de la pregunta dos, la mayoría de usuarios se encuentran ocupando los servicios de la misma operadora por más de un año, afirmando que según resultados de la pregunta tres, la cobertura de las operadoras es mala por lo cual también se evidenció que a la par las llamadas y mensajes que son utilizados no cubren la calidad que el usuario final necesita, aunque los abonados están de acuerdo con el monto que cancelan por sus servicios.

De acuerdo a esta investigación se pudo concluir que casi la mitad de usuarios, utilizan mediante su equipo móvil el servicio de internet ofertado por sus operadoras, el cual al igual que el servicio de telefonía móvil (mensajes y llamadas), es malo, a pesar de ello los usuarios desearían que se implementen nuevos servicios entre los

preferidos están video llamadas y televisión y que para los abonados sería muy importante el acceso a ellos.

Así se pudo demostrar, mediante la presente investigación de campo, que los servicios ofertados por las operadoras, según los usuarios son malos, al igual que la cobertura actual, por ello es de vital importancia que las operadoras mejoren la calidad de sus servicios e infraestructura siendo como se ha venido demostrando en el transcurso de esta investigación LTE (Long Term Evolution), la solución más viable, ya que está orientado a conexión vía internet y permitiría el uso de las tecnologías que los abonados mencionaron en esta investigación además que mejoraría los servicios actuales y que ya existen a nivel mundial.

## **CAPÍTULO 5**

### **DISEÑO DE LA RED LTE**

#### **5.1 Introducción**

Para empezar la simulación de la red es necesario conocer los puntos estratégicos de mayor concentración de gente existente en la zona que se va a brindar los servicios de LTE, es decir en este estudio se analizará la zona norte de la ciudad de Quito.

También se tomará en cuenta los parámetros técnicos de cobertura, tales como el modelo de propagación, los parámetros topográficos y geometría de la red celular a utilizarse en este estudio.

#### **5.2 Identificación de zonas con mayor demanda de servicio de telefonía**

Las zonas con mayor demanda de servicio de telefonía son los lugares con más afluencia de gente como por ejemplo, centros comerciales, centros educativos y zonas residenciales, para la elaboración de este estudio se mencionó a la “Mariscal” y la “Carolina” como sectores con mayor concentración de gente, ya que en estos lugares se encuentran grandes edificaciones:

- Lugares turísticos como la Plaza Foch, el Centro Comercial Espiral, Mercado artesanal la Mariscal, Hotel Marriot, Hotel Swissotel, Centro Comercial Ñaquito.
- Centros culturales como la galería del Ministerio de Cultura, el Museo del colegio Manuela Cañizares, Museo ecuatoriano de Ciencias Naturales.
- Instituciones educativas como el Colegio Eloy Alfaro, la Universidad Tecnológica Israel.
- Instituciones públicas como el edificio de la CFN (Corporación Financiera Nacional), la Corte Nacional de Justicia.
- Instituciones privadas como el edificio del Banco de Guayaquil, torres Banco Internacional I y II, edificio del banco Pichincha, entre otras.

### 5.3. Establecimiento de parámetros técnicos para la cobertura

#### 5.3.1 Modelo de propagación.

Existen varios modelos de propagación, estos calculan la probabilidad de que la señal llegue o no al punto determinado, los modelos de propagación más utilizados son:

- Modelo de Friis.
- Modelo de dos rayos.
- Modelo Okumura.
- Modelo Hata.
- Modelo Hata extendido ó Cost 231.
- Modelo De Walfish – Bertoni.

Para este proyecto se utilizará el Modelo Hata extendido o también denominado modelo Cost 231, este puede ser utilizado para los siguientes un rango de frecuencias entre 1500MHz y 2000MHz, pero puede ser extrapolado a los 2.5GHz, además de tomar en cuenta los siguientes datos. (Correa, 2005)

**Tabla 47.** Datos de modelo hata extendido

MODELO HATA EXTENDIDO	
La altura efectiva del transmisor	30m a 200 m
La altura efectiva del receptor	1m a 10m
La distancia entre el transmisor y el receptor	1km a 20 km

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Las pérdidas del enlace pueden ser obtenidas mediante el cálculo de la siguiente ecuación:

$$L_{50}(dB)_{Hata-Ext} = 51.27 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log d \quad (1)$$

Donde:

$L_{50}(dB)$  = Pérdidas de propagación al 50% de recepción de señal.

$f_c$  = Frecuencia portadora en MHz.

$h_{te}$  = altura efectiva de la antena transmisora en metros.

$h_{re}$  = altura efectiva de la antena receptora en metros.

$d$ = distancia entre el transmisor y el receptor en km.

$a(h_{re})$  = altura efectiva del móvil.

La altura efectiva del móvil para ciudades pequeñas y medianas utiliza la siguiente ecuación.

$$a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54h_{re})^2 - 1.1 \quad \text{para } f_c < 300\text{MHz} \quad (2)$$

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75h_{re})^2 - 4.97 \quad \text{para } f_c > 300\text{MHz} \quad (3)$$

**Frecuencia portadora:** en este estudio la frecuencia a utilizarse es la asignada por CONATEL a la empresa CNT EP mediante la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 en el artículo 5 resuelve “asignar y autorizar a la empresa CNT E.P en la banda de AWS 1700/2100MHz”, los rangos de frecuencias de 1710 – 1730MHz para UPLINK y 2110 - 2130 para DOWNLINK a nivel nacional. (CONATEL, 2013).

**Altura Efectiva:** de acuerdo a la Ordenanza Metropolitana N° 0227 en el Parágrafo IV, artículo II. 194.8 Condiciones de implantación de las estaciones radioeléctricas centrales fijas y de base de radiocomunicaciones, establece que “en áreas urbanas, las estructuras de soporte tendrán una altura de hasta cincuenta y cuatro (54) metros medidos desde el suelo o medios conjuntamente con las estructuras construidas”, (Consejo\_Metropolitano\_de\_Quito, 2005), la altura promedio utilizada para las estaciones de antenas de la ciudad de Quito ubicadas en el cerro Pichincha es de 24 metros, misma que se utilizará en este estudio.

La figura 37 muestra algunas de las antenas ubicadas en el cerro Pichincha, con su altura de antena respectiva.

Administration	Longitude	Latitude	Antenna ...	Frequenc...
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.52306	-0.1636111	24	90.5
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.51611	-0.1644444	24	90.9
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.53306	-0.1633333	24	91.3
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.52306	-0.1633333	24	91.7
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.51639	-0.1644444	24	92.1
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.5225	-0.1655556	24	92.5
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.52444	-0.1636556	24	92.9
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.51639	-0.1644444	24	93.3
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.51639	-0.1644444	24	93.7
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.53333	-0.175	24	97.3
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.51611	-0.1644444	24	97.7
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.52167	-0.1636667	24	98.1
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.51639	-0.1644444	24	98.5
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.51611	-0.1688889	24	98.9
EQA   EQA   CERRO PICHINCHA   2	-78.52167	-0.1688889	24	99.3

**Figura 37.** Altura de las antenas del cerro Pichincha.

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Para la simulación de la red de este proyecto se utilizarán los siguientes datos:  $f_c= 1720\text{MHz}$ ,  $h_{te}=24\text{m}$ ,  $h_{re}=10\text{m}$ ,  $d=1.75\text{km}$ ; reemplazando los mismos en la ecuación (1), y para la altura efectiva se utilizará la ecuación (3) ya que la frecuencia a utilizarse es mayor a 300Mhz.

### Calculo para UPLINK

Reemplazando en la ecuación (3)

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75 h_{re})^2 - 4.97$$

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75(10))^2 - 4.97$$

$$a(h_{re}) = \mathbf{8.742 \text{ dB}}$$

Reemplazando en la ecuación (1)

$$L_{50}(\text{dB})_{\text{Hata-Ext}} = 51.27 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log d$$

$$L_{50}(\text{dB})_{\text{Hata-Ext}} = 51.27 + 33.9 \log(1720) - 13.82 \log(24) - 8.742 + (44.9 - 6.55 \log(24)) \log(1.75)$$

$$L_{50}(\text{dB})_{\text{Hata-Ext}} = 51.27 + 109.684 - 19.075 - 8.742 + (44.9 - 9.040)0.243$$

$$L_{50}(\text{dB})_{\text{Hata-Ext}} = \mathbf{141.851 \text{ dB}}$$

### Cálculo para DOWNLINK

Se utilizarán los siguientes datos:  $f_c= 2120\text{MHz}$ ,  $h_{te}=24\text{m}$ ,  $h_{re}=10\text{m}$ ,  $d=1.75\text{km}$

Reemplazando en la ecuación (3)

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75 h_{re})^2 - 4.97$$

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75(10))^2 - 4.97$$

$$a(h_{re}) = \mathbf{8.742 \text{ dB}}$$

Reemplazando en la ecuación (1)

$$L_{50}(dB)_{Hata-Ext} = 51.27 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log_d$$

$$L_{50}(dB)_{Hata-Ext} = 51.27 + 33.9 \log(2120) - 13.82 \log(24) - 8.742 + (44.9 - 6.55 \log(24)) \log(1.75)$$

$$L_{50}(dB)_{Hata-Ext} = 51.27 + 112.763 - 19.075 - 8.742 + (44.9 - 9.040)0.243$$

$$L_{50}(dB)_{Hata-Ext} = \mathbf{144.930 \text{ dB}}$$

### 5.3.2 Determinación de los parámetros topográficos de la zona norte.

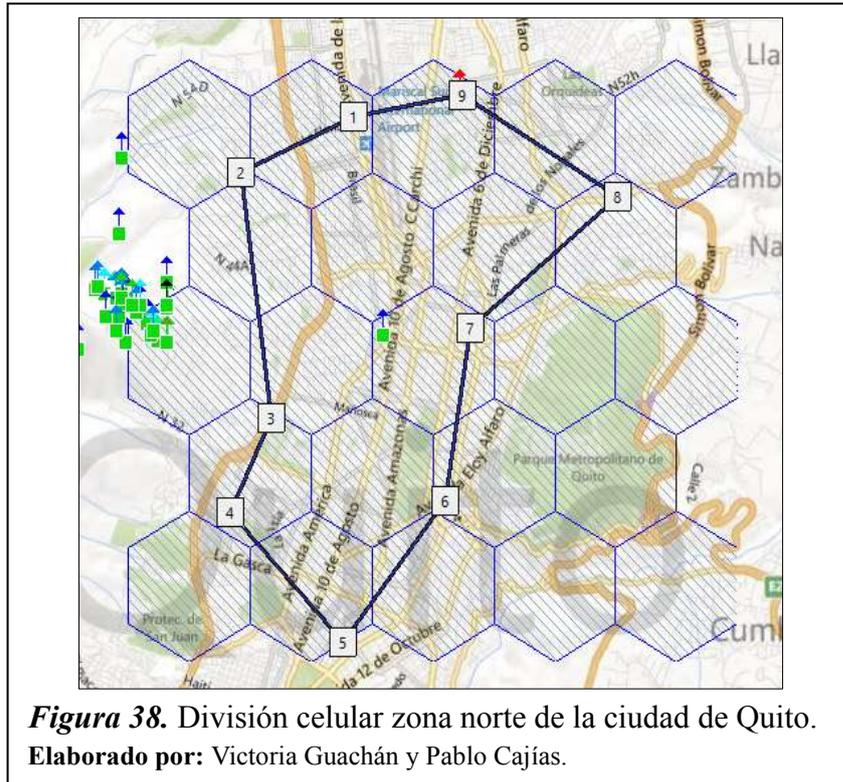
Para el diseño de la red es necesario determinar puntos topográficos estratégicos, en donde se colocarán los equipos para dar cobertura a la zona norte.

Estos puntos corresponderán a la infraestructura de la red y a los lugares donde se brindará el servicio de LTE, todo esto facilitará el diseño de la red y a la vez la ubicación tanto de la estación base como de las estaciones suscriptoras, componentes fundamentales dentro de una red LTE.

Para realizar una posible ubicación de los equipos para la zona norte de Quito, la configuración a utilizarse en el diseño de la red es la hexagonal, misma que tiene una estación base y 6 celdas que contienen un equipo de radio.

Este sistema celular tiene como objetivo dividir a la ciudad en pequeñas celdas, permitiendo la reutilización de frecuencias cuantas veces sea necesaria, soportando varias conversaciones simultáneamente sin dejar espacios sin cobertura.

La figura 38 muestra la división celular en el mapa de la zona norte de Quito en la herramienta ICS Designer.



**Calculo área total de la zona norte de la ciudad de Quito.**

Para saber el área total de la zona norte de la ciudad de Quito, se dividió de acuerdo a las parroquias en forma de triángulo como muestra la figura 39, utilizando la herramienta ICS Cloud.

Para cálculo del semiperímetro de utilizó la siguiente ecuación:

$$p = \frac{(a+b+c)}{2} \quad (4)$$

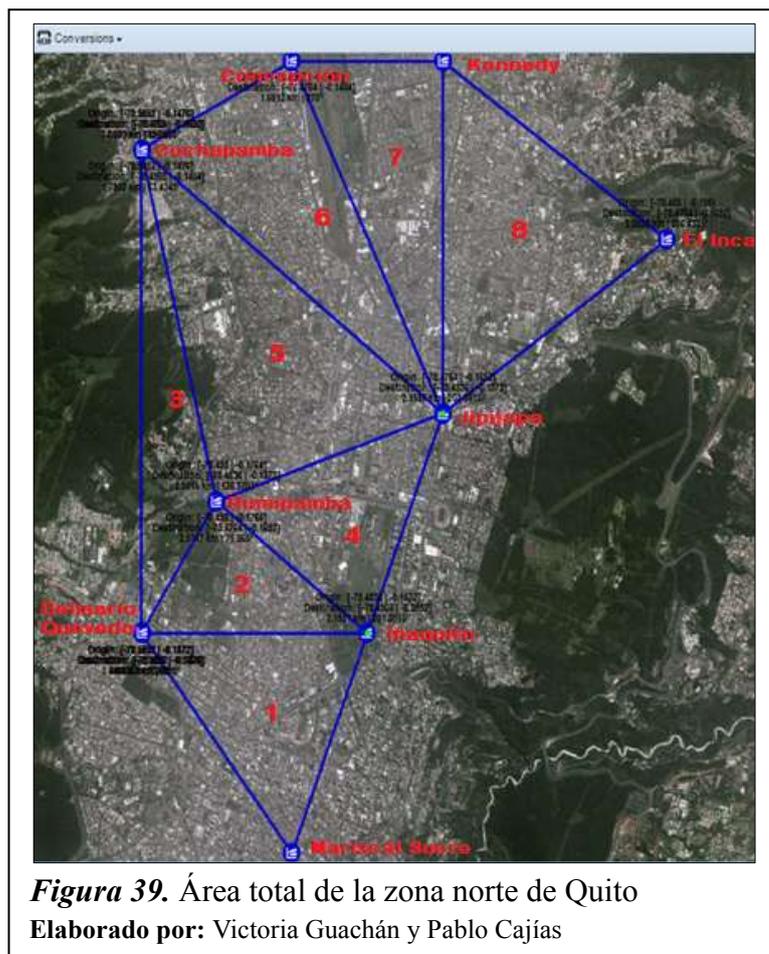
Para el cálculo del área total de la zona de estudio se utilizó la fórmula de Herón:

$$A = \sqrt{(p(p - a)(p - b)(p - c))} \quad (5)$$

Donde:

**p** = semiperímetro.

**a, b, c** = puntos vértices de cada triángulo.



La tabla 48 muestra el cálculo del semiperímetro y el área de cada uno de los triángulos y el área total de la zona norte de la ciudad de Quito.

**Tabla 48.** Cálculo de semiperímetro y área

	a	B	c	Semiperímetro(Km)	Área (km)
<b>1er triángulo</b>	2,5632	2,4018	2,1557	3,56	2,40
<b>2do triángulo</b>	1,4433	2,0015	2,4018	2,92	1,44
<b>3ro triángulo</b>	4,4033	3,3010	1,4433	4,57	1,76
<b>4to triángulo</b>	2,5317	2,1557	2,0015	3,34	2,08
<b>5to triángulo</b>	3,3010	4,0030	2,5317	4,92	4,17
<b>6to triángulo</b>	1,7902	3,5804	4,0030	4,69	3,20
<b>7mo triángulo</b>	1,6012	3,2024	3,5804	4,19	2,56
<b>8vo triángulo</b>	2,8806	2,8558	3,2024	4,47	3,81
				<b>TOTAL</b>	<b>21.44</b>

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

## 5.4 Geometría de las redes celulares

El concepto celular se basa en dos características principales, la reutilización de frecuencias (compartir frecuencias en áreas con coberturas distantes), y la división celular.

El mayor problema a la hora de diseñar una red celular es el espectro radioeléctrico disponible. Los sistemas celulares tratan de aprovechar al máximo los radiocanales disponibles, restringiendo el área de cobertura de una estación base para utilizar la misma frecuencia a una cierta distancia, mediante la altura y potencia de transmisión de las antenas.

Existen tres polígonos regulares que cumplen esta condición: el triángulo, el cuadrado y el hexágono, suponiendo que se coloca la estación base en el baricentro del polígono y que el radio de cobertura es  $R$  es la distancia del baricentro a un vértice, las superficies de los polígonos son: (Manosalvas, 2012)

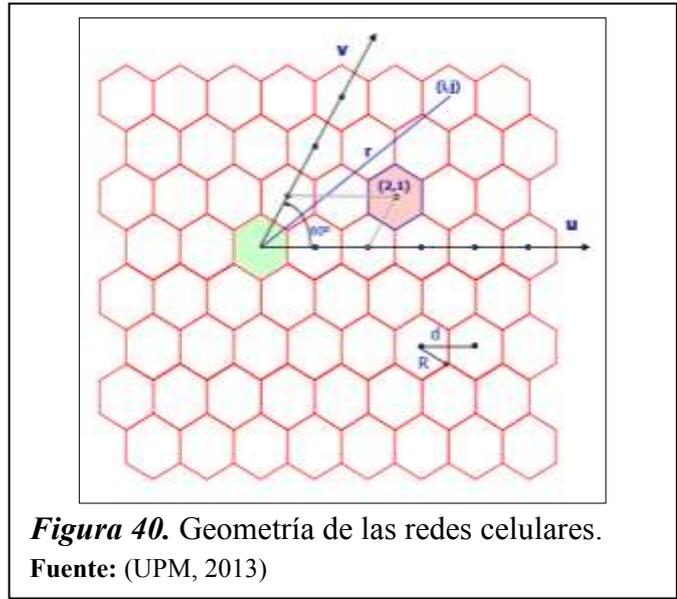
- Triángulo  $S = \frac{3\sqrt{3}R^2}{4}$
- Cuadrado  $S = 2R^2$
- Hexágono  $S = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2}$

Para el diseño se tomará la forma hexagonal ya que la misma es más robusta, proporciona la mayor superficie de célula, por lo que, utilizando hexágonos será mínimo el número de células necesarias para la cobertura de un área determinada.

La geometría celular facilita las ubicaciones de las estaciones base, además de los datos necesarios para los cálculos de interferencia, tamaño de agrupación y distancia de reutilización.

La reutilización de frecuencia permite reutilizar canales de frecuencia en distintas zonas geográficas y garantizar un nivel de interferencia adecuado.

Para determinar la distancia mínima en la cual se pueden volver a utilizar los canales, se introduce un sistema de referencia U-V con un ángulo de 60 grados entre los ejes. La distancia entre dos nodos consecutivos se llama paso de la retícula, representada con la letra  $d$ , como se muestra en la figura 40.



Donde:

$d$  = distancia entre los centros de celdas adyacentes (nodos consecutivos).

$R$  = radio de la celda

Para el rango del radio de acuerdo a la clasificación de las celdas se utilizarán el rango de Microceldas.

**Tabla 49.** Tipos de celdas

TIPO DE CELDA	RANGO DEL RADIO	COBERTURA
<b>Macrocelda</b>	2km - 20km	Rural (carreteras, poblaciones cercanas)
<b>Microceldas</b>	0,5km – 2km	Urbana (zonas de ciudades con elevada densidad de tráfico y penetración en interiores de edificios). (Guerra, CNMC Blog, 2010)
<b>Picoceldas</b>	0,03km - 0,2km (30m - 200m)	Urbana (interiores: aeropuertos, centros comerciales, etc.)
<b>Femtoceldas</b>	Hasta 10 metros	Para uso en interiores, viviendas o edificios.

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

El radio  $R$  del hexágono, se asocia al radio de la cobertura de la célula, la relación entre el paso de la retícula y el radio celular es:

$$d = R\sqrt{3} \quad (6)$$

La superficie de la célula será:

$$Sc = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2} = \frac{\sqrt{3}d^2}{2} \quad (7)$$

De acuerdo a las ecuaciones establecidas anteriormente, se va a calcular la cantidad de estaciones base que se necesita para la zona norte de Quito.

**Área Total de estudio de la zona norte de Quito  $A_T = 21,44 \text{ km}^2$**

Para el área de cobertura se utilizará la ecuación (7) y el valor del radio para las celdas será de 1km.

$$A = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2} = \frac{3\sqrt{3}(1)^2}{2} = 2.598 \text{ km}$$

Número de Celdas:

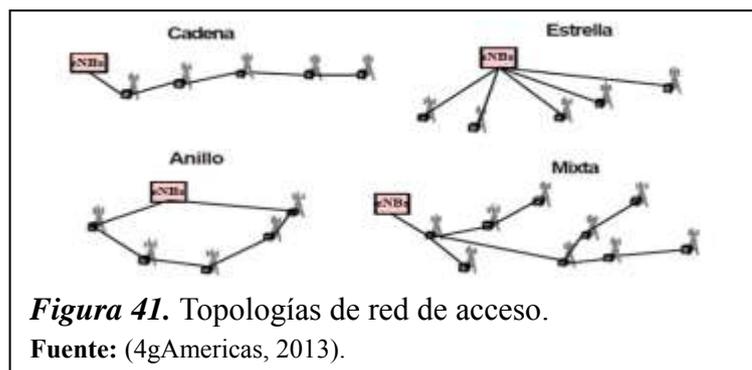
$$N^{\circ}eNB = \frac{A_T}{A_{celdas}} = \frac{21.44}{2.6} = 8.25 \text{ celdas}$$

Con este cálculo se puede determinar que se necesitan 8 estaciones base para cubrir toda la superficie de la zona norte de Quito.

### 5.5 Topología de la red

La mayoría de ISP impone una estructura física a sus redes organizándolas en puntos de presencia - POP, el cual corresponde a una ubicación física, donde se dispone de una serie de equipos como BTS (Estaciones Base), Backbone entre otros.

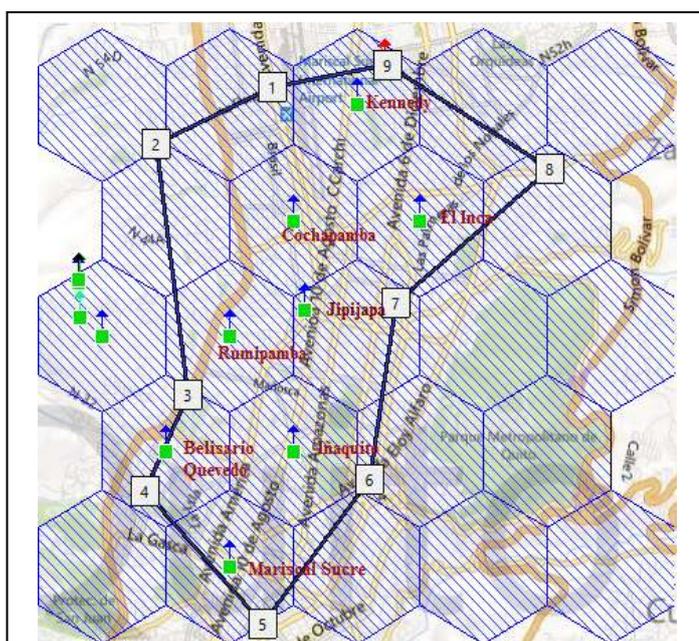
La interconexión de los usuarios con la red de datos se realiza a nivel de estos Puntos de Presencia (POP). En las redes móviles, estos puntos de presencia corresponden a las antenas de telecomunicaciones y sistemas radiantes de acceso, los cuales pueden adoptar redes de distintas configuraciones como se ve en la figura 41 a continuación (4gAmericas, 2013).



La topología a utilizarse en este estudio será la topología estrella, ya que todas las estaciones base estarán conectadas directamente a un punto central, mismo que estará ubicado en el cerro Pichincha en las coordenadas: longitud -78.5161147117 y latitud -0.1677465788984.

## 5.6 Localización de los sitios para la implementación BTS y celdas

Para la simulación de la red, se tomará en cuenta la división celular de la zona norte de la ciudad de Quito, la figura 42 muestra la ubicación de las BTS.



**Figura 42.** Localización estaciones base

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Las 8 estaciones base se encuentran ubicadas en:

**Tabla 50.** Estaciones base

PARROQUIA	LATITUD	LONGITUD
Keneddy	0°08'38.01"	78°28'55.85"
Cochapamba	0°09'26.82"	78°29'23.97"
El Inca	0°09'26.82"	78°28'27.73"
Jipijapa	0°10'5.00"	78°29'19.00"
Rumipamba	0°10'15.63"	78°29'52.08"
Ñaquito	0°11'4.44"	78°29'23.95"
Belisario Quevedo	0°11'4.45"	78°30'20.19"
Mariscal Sucre	0°11'53.25"	78°29'52.06"

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

En la tabla 51 se muestran los posibles equipos a utilizarse en las estaciones base, detallando sus características para después elegir los equipos adecuados para la simulación de la red.

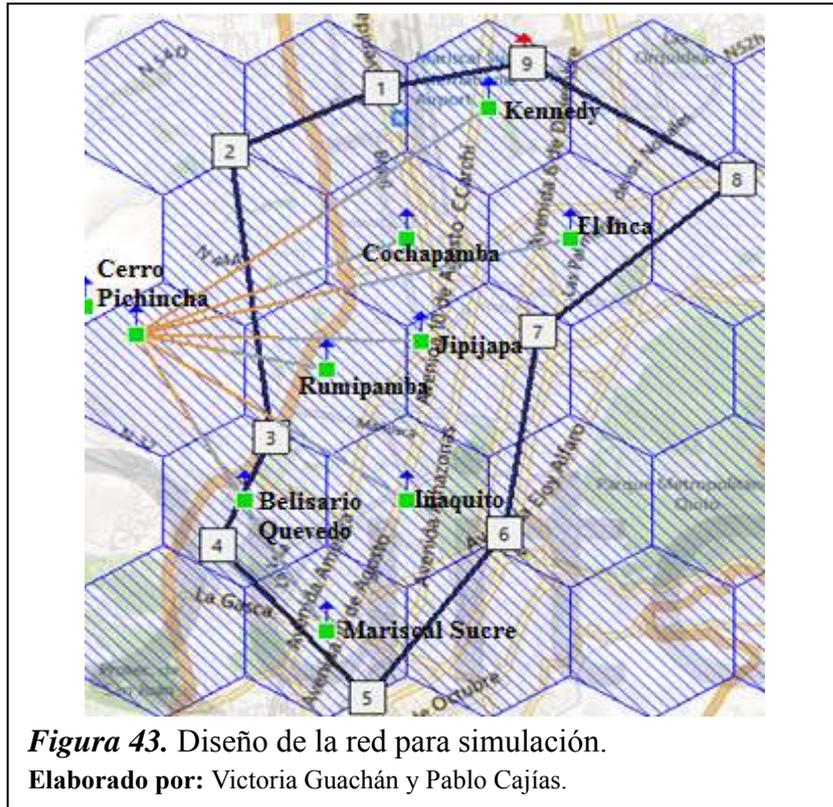
**Tabla 51.** Características de las antenas de la estación base

CARACTERÍSTICAS	Antena HIPS LTE/4G Modelo ANTP8	Antena Huawei LTE/4G Modelo B593	Antena Poynting LTE/4G Modelo XPOL - A0002
Mejora de la recepción LTE	✓	✓	✓
Incremento de la velocidad de carga y descarga		✓	✓
Aseguramiento de una señal estable	✓	✓	✓
Compatible con redes 4G, 3G , 2G	✓		✓
De pequeño tamaño, de fácil instalación.		✓	✓
Frecuencia	1710 - 2700 MHz	1710 - 2690 MHz	1710 - 2170MHz
Ganancia	8dBi	28dBi	8dBi
Impedancia	50 ohm	50 ohm	50 ohm
Peso	500g	200g	450g

Elaborado por: Victoria Guachán y Pablo Cajías

Para la simulación de este proyecto se utilizarán las antenas Antena Poynting LTE/4G Modelo XPOL - A0002, ya que la frecuencia a utilizarse esta entre 1720 – 2120MHz.

La figura 43 indica cómo será el diseño de la red a realizarse en la simulación en el siguiente capítulo.



Se analizaron varios aspectos fundamentales, tales como modelo de propagación que se utilizará el modelo Hata Extendido, en la geometría de las redes celulares se calculó 8 estaciones base para utilizarse en la simulación, para la topología de la red se utilizará la topología estrella; añadiendo una estación base en el Cerro del Pichincha y la localización de las estaciones base en cada una de las celdas, toda esta información analizada será de gran ayuda para la simulación de la red, además de garantizar la cobertura total del área en la zona norte de la ciudad de Quito.

## **CAPÍTULO 6**

### **SIMULACIÓN DE LA RED LTE**

#### **6.1 Introducción**

Existen diversas herramientas de simulación de redes, las mismas pueden ser de licencia pagada o gratuita.

La simulación es una herramienta muy importante para la mejora y el análisis de las tecnologías de red, ya que la misma que recrea diversos escenarios desarrollados antes de que estos sean implementados, reduciendo la probabilidad de que los investigadores puedan cometer errores.

Para la simulación de este proyecto se utilizará el software ICS Designer de la empresa ATDI, con licencia pagada para uso estudiantil.

#### **6.2 ICS Designer**

ATDI desarrolla y comercializa software y servicios que cubren las principales áreas relacionadas con el diseño, la planificación y el uso de redes inalámbricas que operan en un rango de frecuencia de 10kHz a 450GHz.

ATDI incluye:

- Simulación de la propagación de señales de radio.
- La planificación de redes de comunicaciones inalámbricas.
- La gestión del espectro de frecuencias.
- Análisis de interferencia de radio.
- Cartografía digital (en relación con los servicios cartográficos del Instituto Geográfico Nacional, IGN).
- Sistemas de control de pedidos y control del espectro radioeléctrico.
- Consultoría y desarrollo de software específico.

ATDI lanza ICS Designer - el software de planificación radio más completo que existe en el mercado, a un precio muy atractivo. Sin módulos adicionales, y con una política de precios flexibles para el usuario.

ICS Designer incluye y soporta:

Multi-tecnologías (móvil, radiodifusión, fijo, microondas, satélites, radares aeronáuticos, punto a multipunto y otros). Esto incluye estudios de coexistencia entre diferentes tecnologías (LTE contra DVB-T, móviles contra fijos y otros).

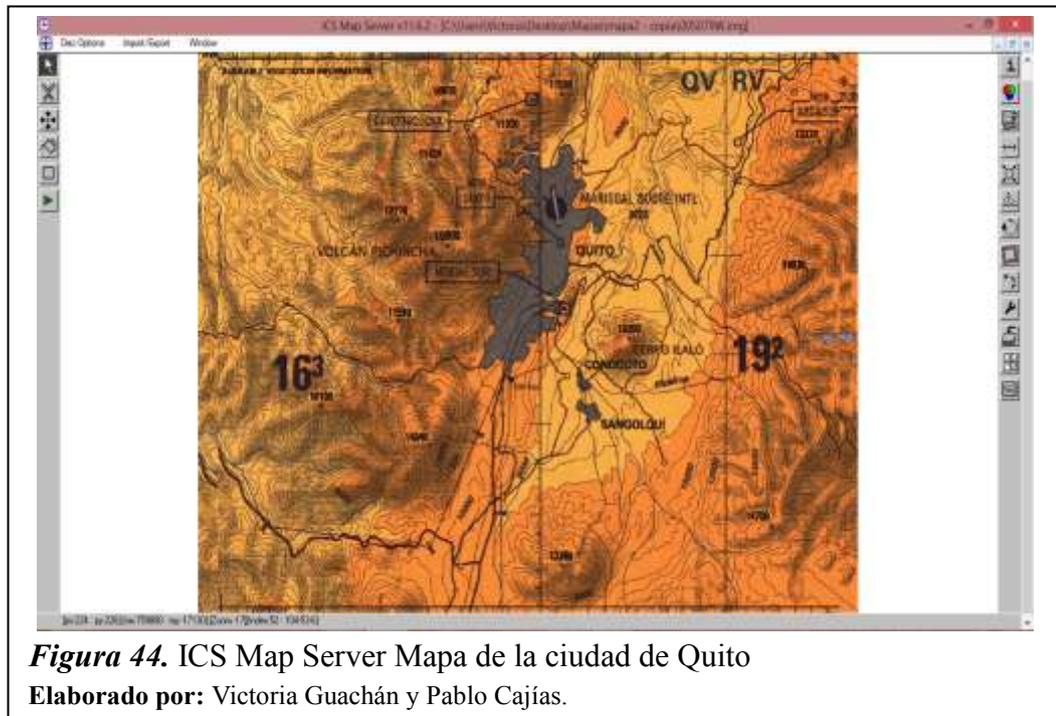
Tipos de redes compatibles con ICS Designer: GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSPA, HSPA +, LTE (TDD y FDD), WiMAX, WiFi, CDMA 2000, EVDO, TDMA, FDMA, DVB-H, Tetra, DVB-T / 2, ISDB-T, DMR, BWA, TV, FM, MLAT, DME, radares, enlaces de microondas y otros. (ATDI, 2014)

Para la simulación de este proyecto se utilizará una licencia pagada temporal como paquete estudiantil, teniendo el costo de €19 es decir \$25.90 mensualmente.

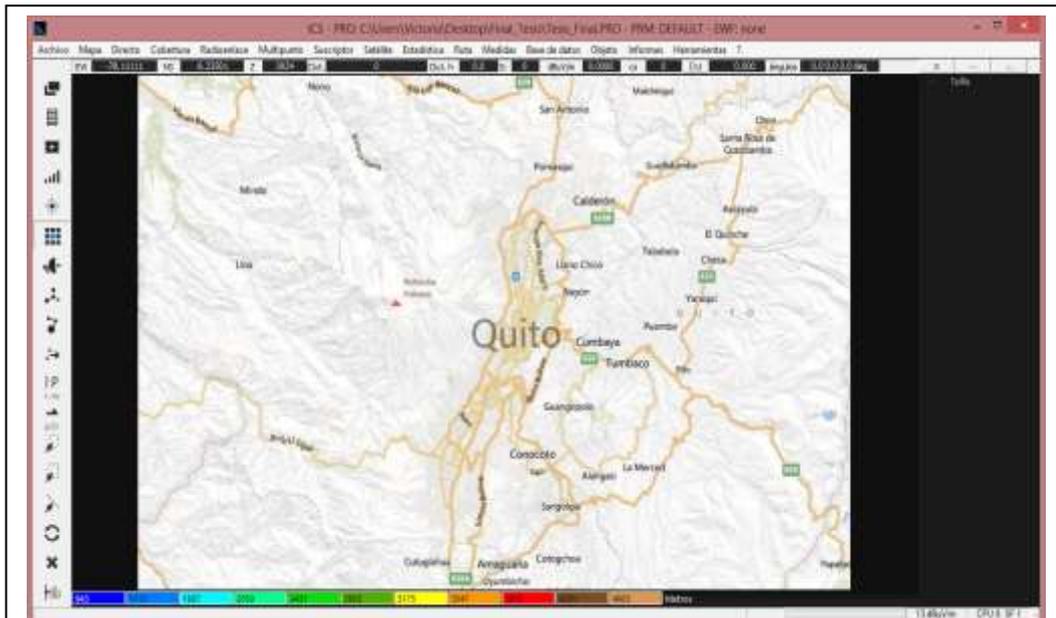
### 6.3 Configuración de la Red LTE en ICS Designer

Para comenzar la simulación de la red en ICS Designer, primero se obtiene el mapa utilizando ICS Map Server que una de las herramientas de ATDI.

La figura 44 muestra la zona en donde se realizará la simulación de la red, es decir, la zona norte de la ciudad de Quito.



Una vez obtenido el mapa se lo exporta al ICS Designer en donde se comenzará a realizar la simulación de la red quedando el mapa como muestra la figura 45.



**Figura 45.** ICS Designer mapa de la ciudad de Quito  
**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

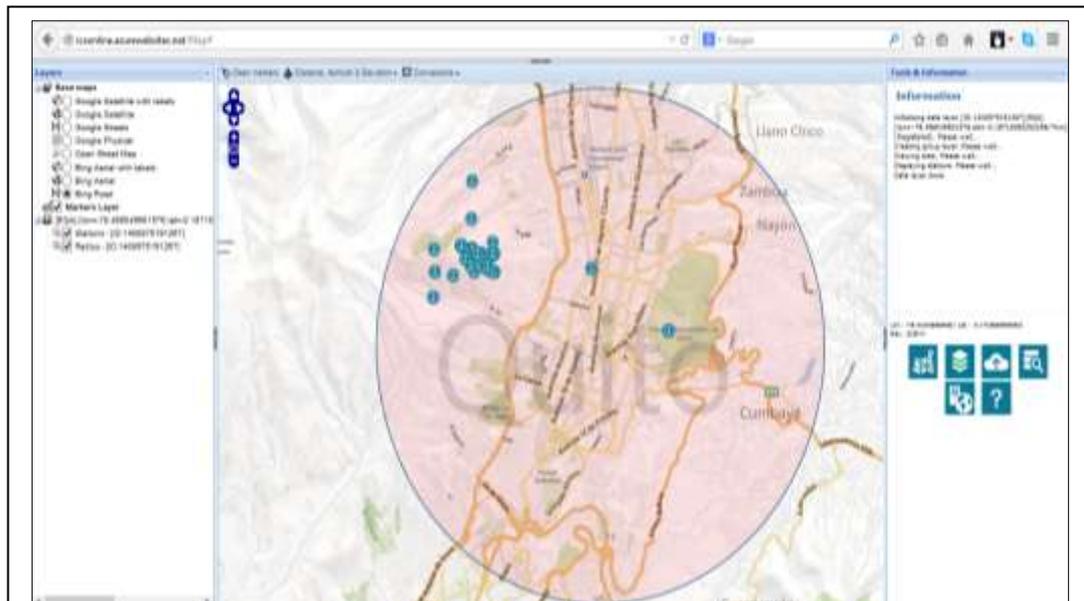
Con la ayuda de la herramienta ICS Online se obtuvo la información de las antenas existentes en la ciudad de Quito, utilizando los siguientes datos, latitud -0.18710083252, longitud -78.48604960157 y con radio de 7km desde las coordenadas mencionadas, para posteriormente exportarlas a la herramienta ICS Designer y verificar su posible reutilización.

La figura 46 muestra el ingreso de los datos anteriormente mencionados y el listado de las antenas existentes en la ciudad de Quito.

Administration	Longitude	Latitude	Altitude	Antena	ERP kW
EDA   EDA   QUITO   2	-78.48667	-0.1833333	0	0	0.25
EDA   EDA   QUITO   2	-78.48667	-0.1833333	0	0	0.25
EDA   EDA   QUITO   2	-78.48667	-0.1833333	0	0	0.25
EDA   EDA   QUITO   2	-78.48667	-0.1833333	0	0	0.25
EDA   EDA   QUITO   2	-78.48667	-0.1833333	0	0	0.25
EDA   EDA   QUITO   2	-78.48667	-0.1833333	0	0	0.25
EDA   EDA   QUITO   2	-78.48667	-0.1833333	0	0	1
EDA   EDA   QUITO   2	-78.48667	-0.1833333	0	0	1
EDA   EDA   CERRO PICHINCHA   2	-78.51839	-0.1844444	3640	24	10
EDA   EDA   CERRO PICHINCHA   2	-78.52308	-0.1838111	3640	24	10
EDA   EDA   CERRO PICHINCHA   2	-78.51811	-0.1844444	3640	24	10
EDA   EDA   CERRO PICHINCHA   2	-78.53308	-0.1833333	3640	24	10
EDA   EDA   CERRO PICHINCHA   2	-78.52308	-0.1833333	3640	24	10
EDA   EDA   CERRO PICHINCHA   2	-78.51839	-0.1844444	3640	24	10

**Figura 46.** Datos para antenas de la ciudad de Quito  
**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

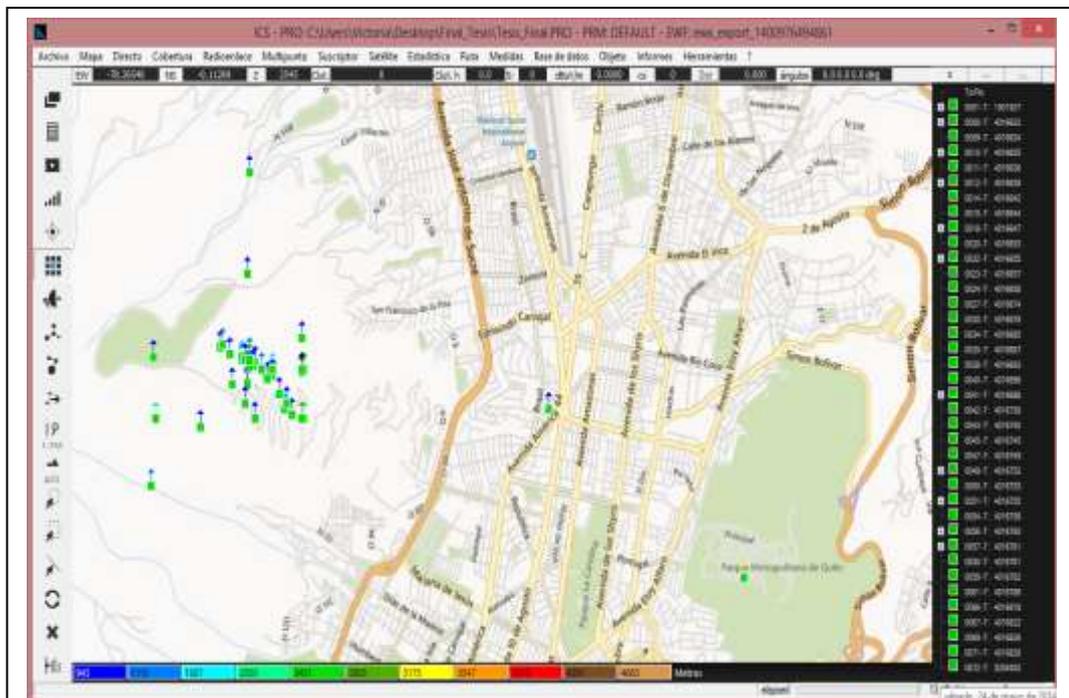
Una vez obtenidos estos datos se procede a la ubicación de las antenas en el mapa como lo muestra la figura 47.



**Figura 47.** Antenas ubicadas en la ciudad de Quito.

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

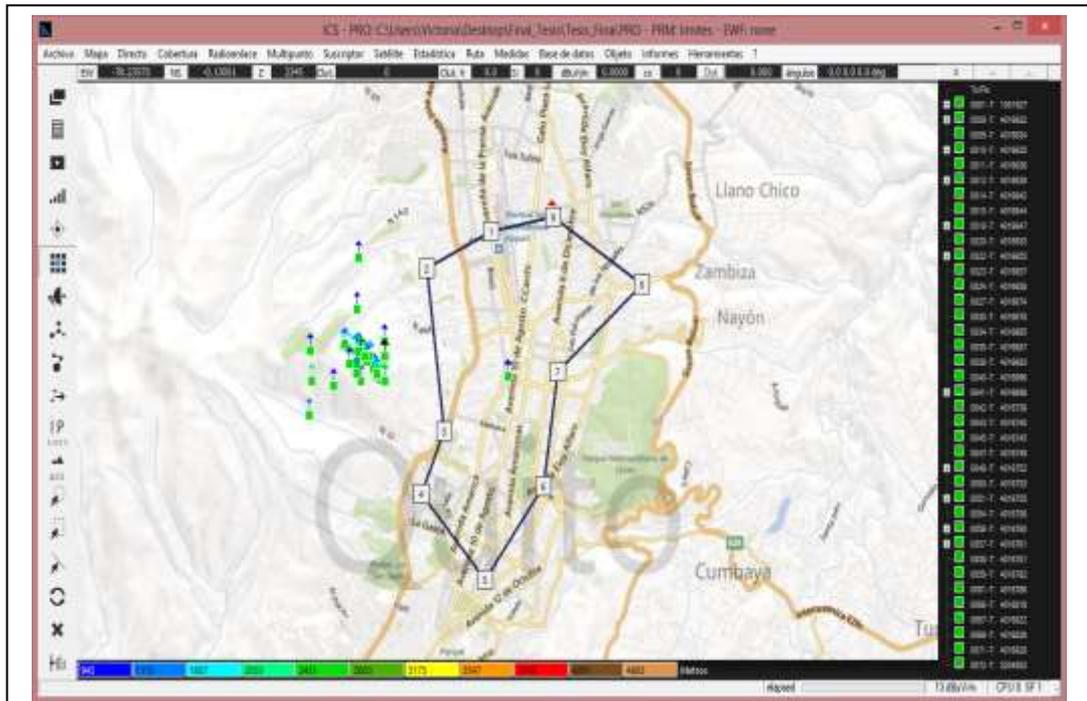
Se exportan los datos obtenidos a la herramienta ICS Designer, quedando las antenas ubicadas en el mapa como lo muestra la figura 48.



**Figura 48.** Antenas ubicadas en ICS Designer.

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

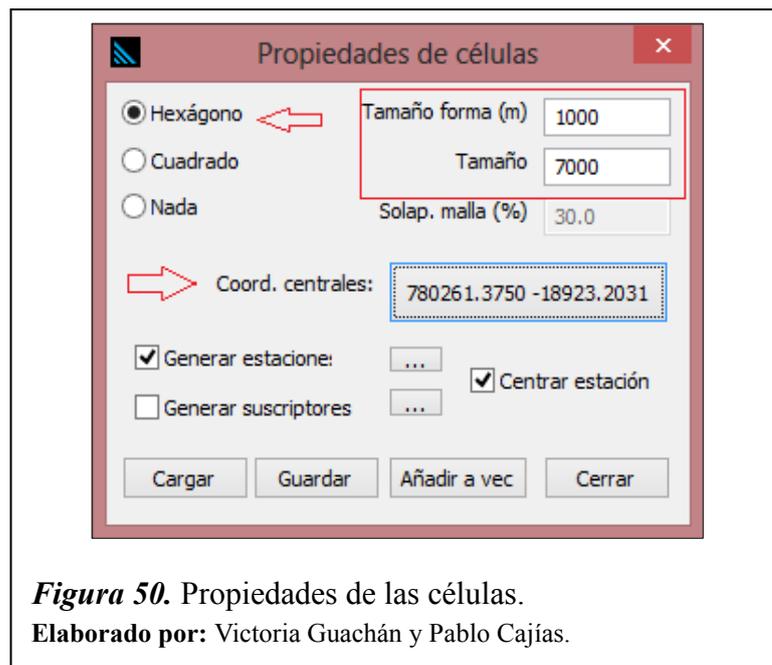
La figura 49 muestra los límites de la zona norte de la ciudad de Quito, para empezar a realizar la simulación de la red.



**Figura 49.** Límites de la zona norte de la ciudad de Quito  
**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

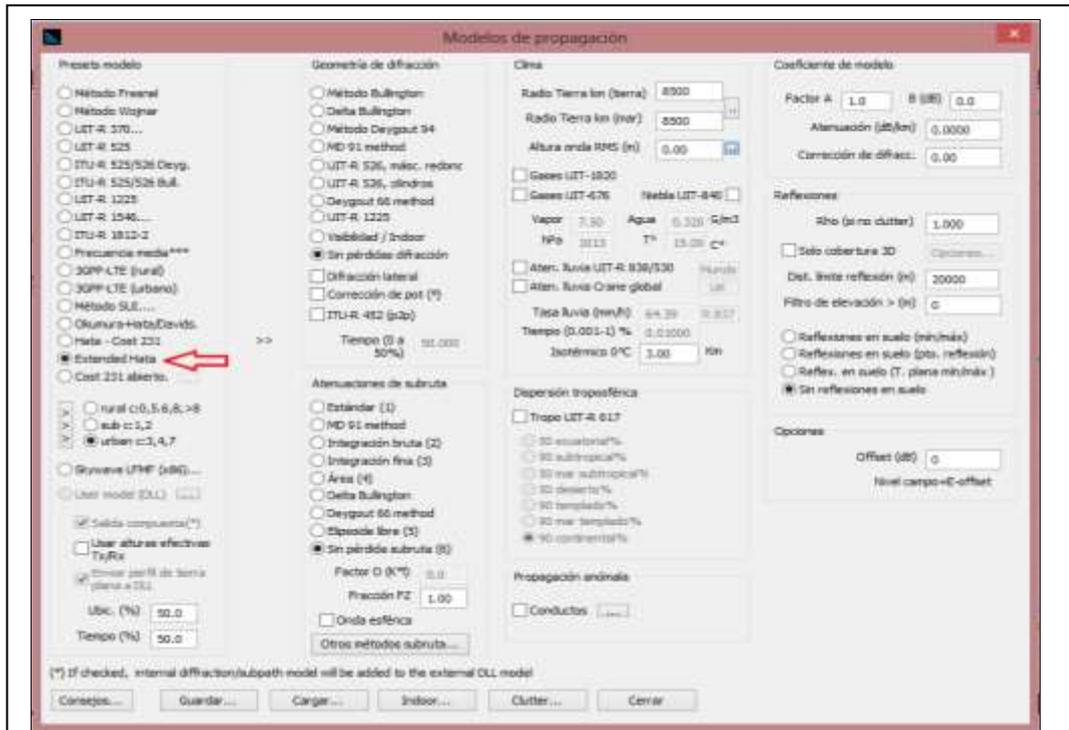
#### 6.4 Selección de parámetros a usarse en el simulador

Para la división celular en la simulación se utilizaron los siguientes datos de ingreso, mismos que fueron calculados en el capítulo 6, literal 6.3, como muestra la figura 50.



**Figura 50.** Propiedades de las células.  
**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

La figura 51 muestra los datos utilizados del modelo de propagación, para la simulación se utilizó el Modelo Hata Extendido.



**Figura 51.** Modelo de propagación hata extendido.

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

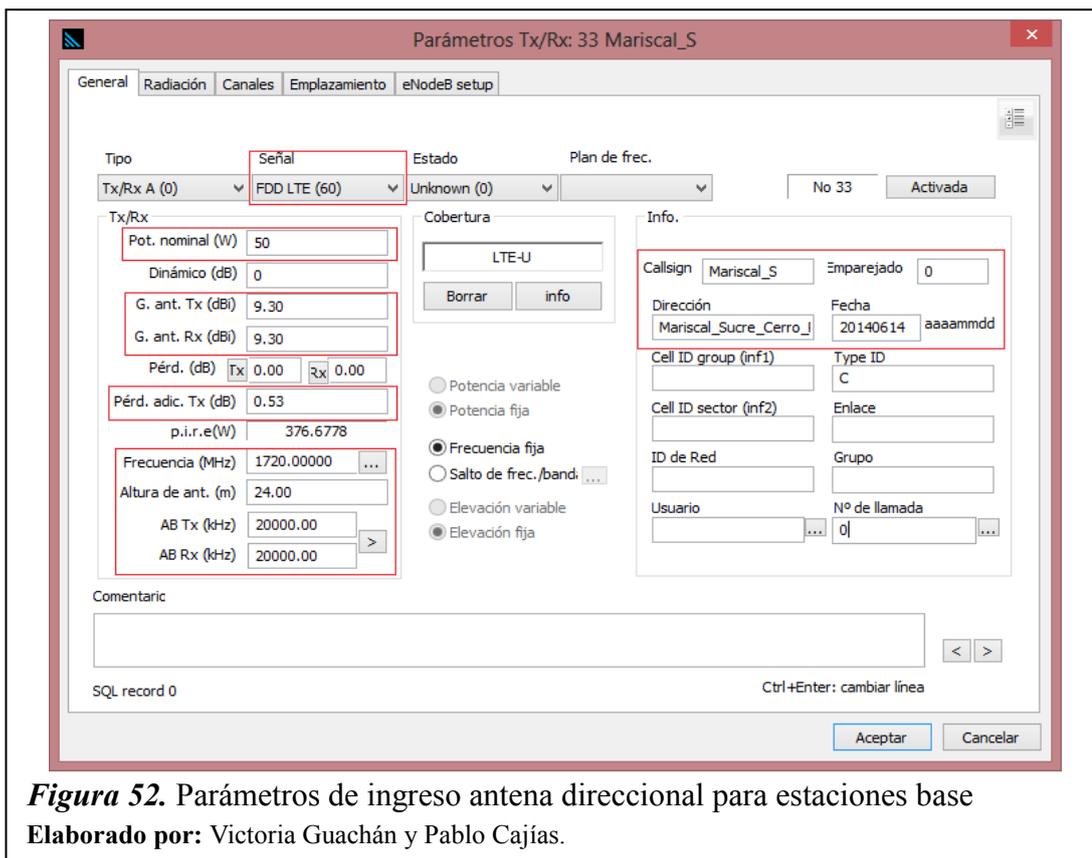
Para continuar con la simulación de la red LTE, en la zona norte de la ciudad de Quito, se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros para cada una de las antenas a utilizarse en las estaciones base.

Los parámetros de ingreso para las antenas direccionales en cada una de las nueve estaciones base, se muestran en la figura 52, apreciando los datos ya ingresados en el simulador:

**Tabla 52.** Parámetros BSC antena direccional

PARÁMETROS BSC ANTENA DIRECCIONAL	
Señal	FDD LTE
Nombre de la Estación base	Mariscal_Sucre
Ganancia	25dBi
Perdidas Adicionales (Tx)	0.53dB
Frecuencia	1720 MHz
Altura de la antena	24m
Ancho de Banda	20000KHz

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.



**Figura 52.** Parámetros de ingreso antena direccional para estaciones base  
**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

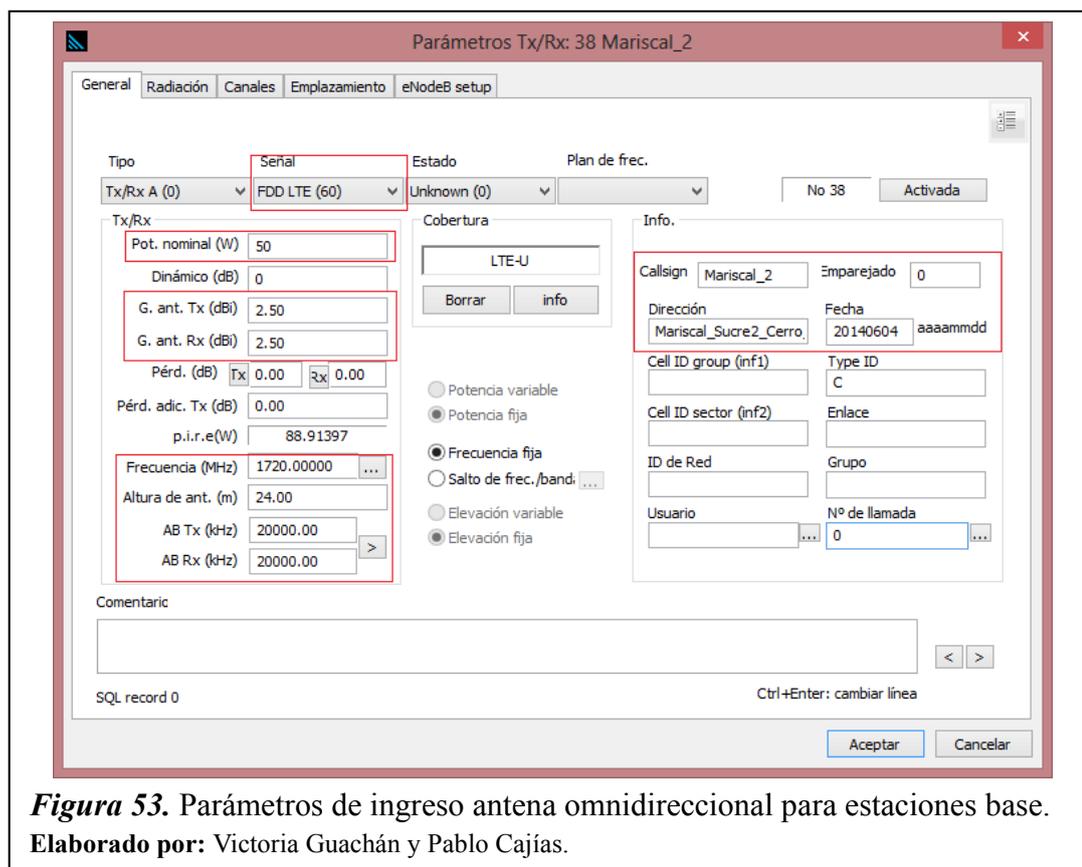
La configuración de las ocho estaciones base restantes se muestran en el **anexo 3**.

Los parámetros de ingreso para las antenas omnidireccionales en cada una de las nueve estaciones base, son los siguientes, la figura 53, muestra los datos ya ingresados en el simulador.

**Tabla 53.** Parámetros BSC antena omnidireccional

PARÁMETROS BSC ANTENA OMNIDIRECCIONAL	
<b>Señal</b>	FDD LTE
<b>Nombre de la Estación base</b>	Mariscal_2
<b>Ganancia</b>	2.5dBi
<b>Frecuencia</b>	1720 MHz
<b>Altura de la antena</b>	24m
<b>Ancho de Banda</b>	20000KHz

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.



**Figura 53.** Parámetros de ingreso antena omnidireccional para estaciones base.  
**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Con la ayuda de la herramienta ICS Cloud, la tabla 35 muestra el azimut de cada una de las estaciones base, dirigidas hacia la estación Cerro\_Pichincha,

**Tabla 54.** Azimut hacia la estación Cerro\_Pichincha

PARROQUIA	AZIMUT (CERRO PICHINCHA)
Keneddy	230°
Cochapamba	240°
El Inca	250°
Jipijapa	260°
Rumipamba	270°
Iñaquito	300°
Belisario Quevedo	330°
Mariscal Sucre	330°

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Para usar las antenas en las estaciones base primero hay que realizar el ingreso de los parámetros técnicos de las antenas a utilizarse en la simulación, mismos que se encuentran en el **anexo 4**. Se va a utilizar una antena direccional y una

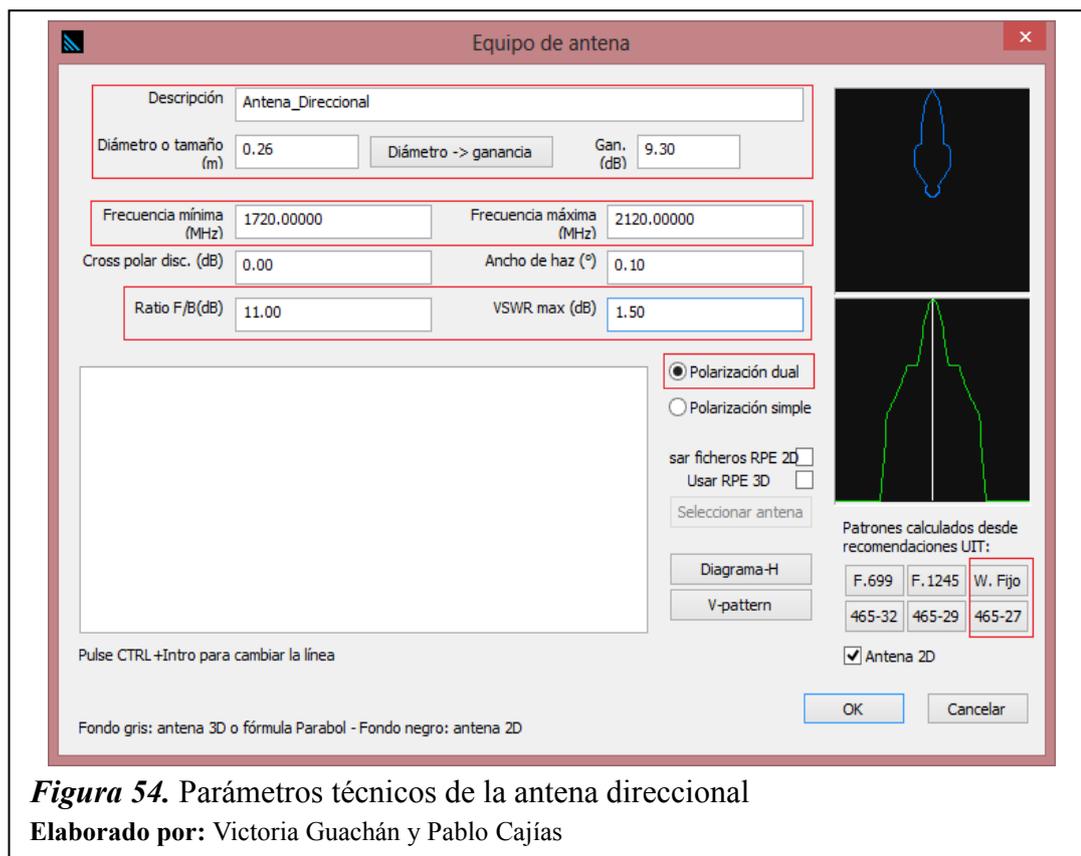
omnidireccional para cada base. La figura 54 muestra la configuración de las antenas direccionales de acuerdo a la siguiente tabla de datos.

**Tabla 55.** Parámetros antena direccional

PARÁMETROS ANTENA DIRECCIONAL	
<b>Descripción</b>	Antena_Direccional
<b>Diámetro o tamaño</b>	0.26m
<b>Ganancia</b>	9.3dB
<b>Frecuencia Mínima</b>	1720MHz
<b>Frecuencia Máxima</b>	2120MHz
<b>Ratio F/B</b>	11dB
<b>VSWR max</b>	1.5
<b>Polarización</b>	Vertical y horizontal (dual)

**Elaborador por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías

Para el patrón de radiación en el software, se utilizará W. Fijo como se muestra en la figura 54, ya que como es un enlace punto a punto es la mejor opción para obtener una mejor señal de transmisión y recepción.



**Figura 54.** Parámetros técnicos de la antena direccional

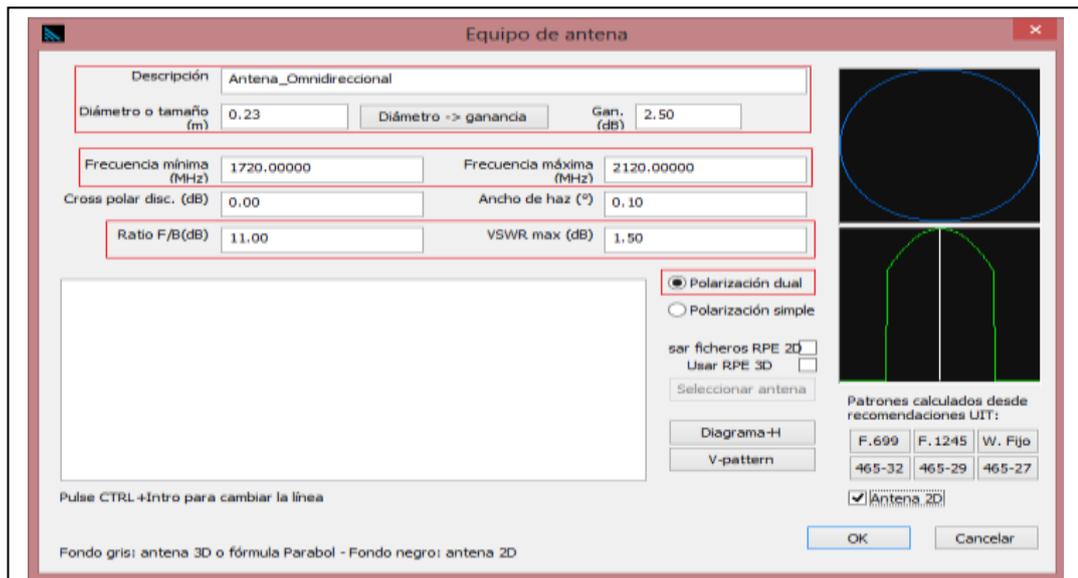
**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías

La figura 55 muestra la configuración de las antenas omnidireccionales de acuerdo a la siguiente tabla de datos:

**Tabla 56.** Parámetros antena omnidireccional

PARÁMETROS ANTENA OMNIDIRECCIONAL	
Descripción	Antena_Omnidireccional
Diámetro o tamaño	0.23m
Ganancia	2.5dB
Frecuencia Mínima	1720MHz
Frecuencia Máxima	2120MHz
Ratio F/B	11dB
VSWR max	1.5
Polarización	Vertical y horizontal (dual)

Elaborado por: Victoria Guachán y Pablo Cajías



**Figura 55.** Parámetros técnicos de la antena omnidireccional.

Elaborado por: Victoria Guachán y Pablo Cajías

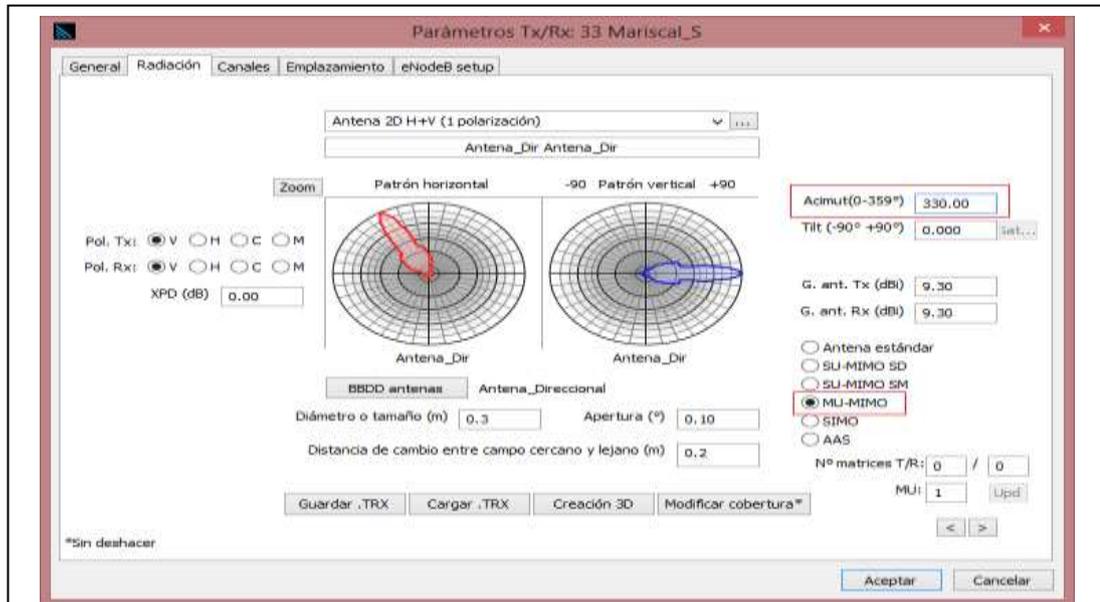
La figura 56 muestra el listado de las antenas que se va a utilizar en cada una de las estaciones base en la simulación de la red.



**Figura 56.** Lista de antenas

Elaborado por: Victoria Guachán y Pablo Cajías

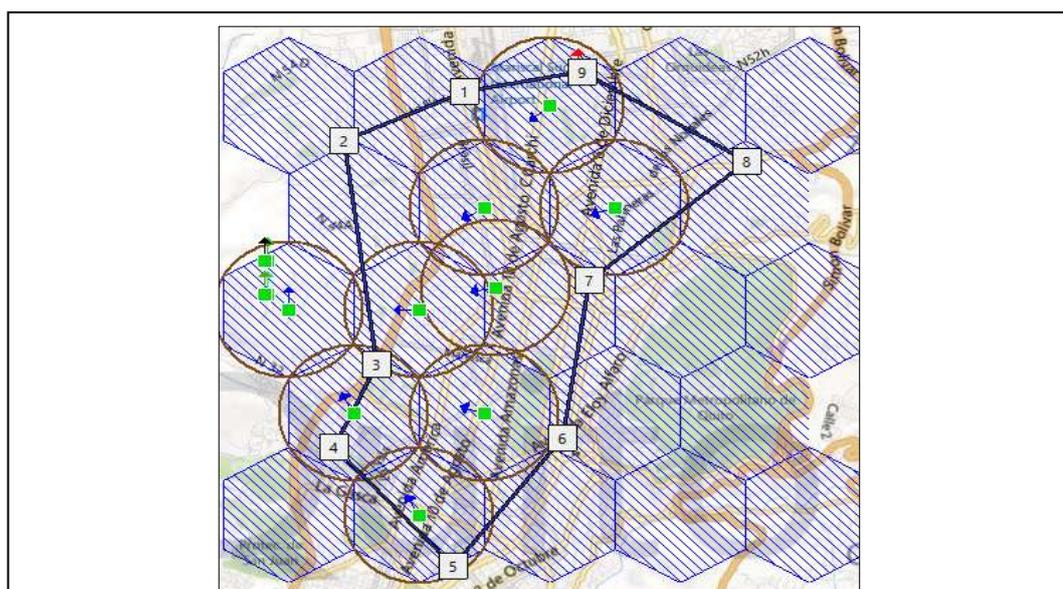
La figura 57 muestra la configuración final del ingreso de las antenas a utilizarse en el simulador, además del ingreso del azimut que se encuentra en la tabla 36 de acuerdo a cada una de las estaciones base y se utilizará el sistema MU-MIMO (Multi- User MIMO) por su transmisión múltiple entre usuarios.



**Figura 57.** Parámetros de la antena direccional - radiación

**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías

Una vez ingresados todos los datos, el diseño de la red queda como se muestra en la figura 58, tomando en cuenta que ya se encuentran ingresadas las dos antenas (direccional, omnidireccional) en cada estación base.



**Figura 58.** Diseño de la red con las 8 estaciones base en la zona norte de Quito

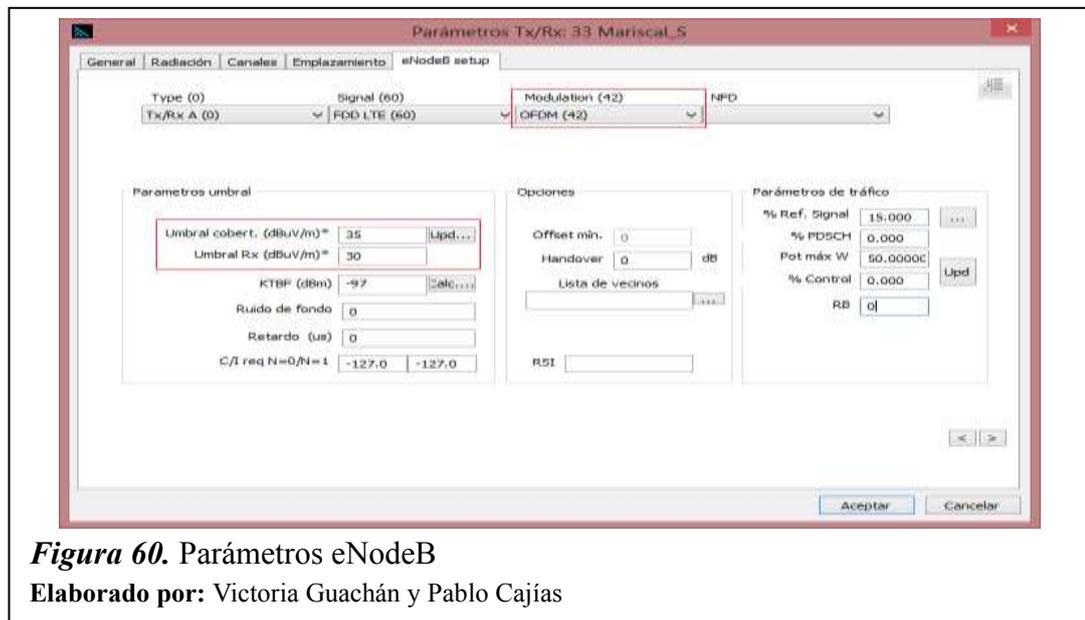
**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías.

Continuando con la simulación de la red LTE, se ingresarán los datos calculados en el capítulo 6, literal 6.3 geometría de las redes celulares, mismos que corresponden al radio de la celda 1Km o 1000m y la distancia entre estaciones base de 1.75km, datos que se utilizarán en todas las estaciones base, como se muestra en la figura 59.



**Figura 59.** Parámetros de celdas  
**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías

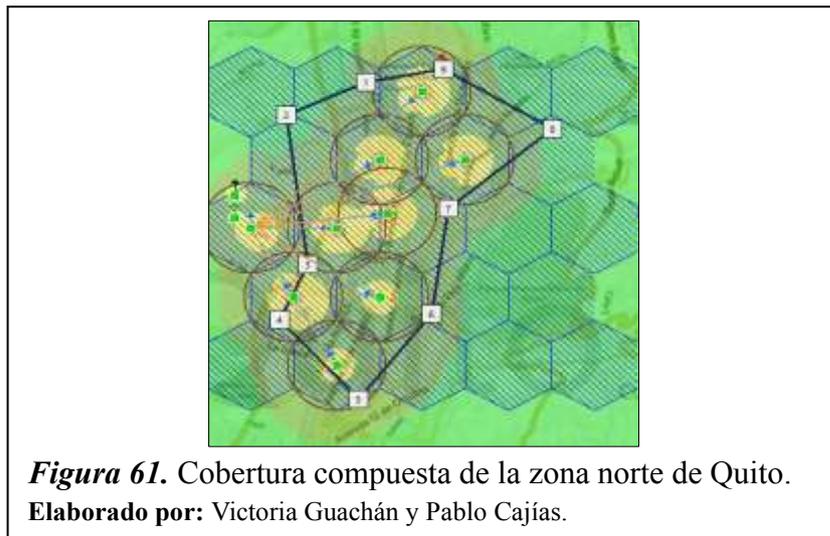
En el ingreso de los parámetros de eNodeB, se debe elegir la modulación OFDM, de acuerdo a lo expuesto en el capítulo 3, literal 3.4.1 y la sensibilidad, mismo valor que fue elegido por el software, quedando la configuración final como lo muestra la figura 60, esta configuración se la realizará en cada una de las antenas de las estaciones base.



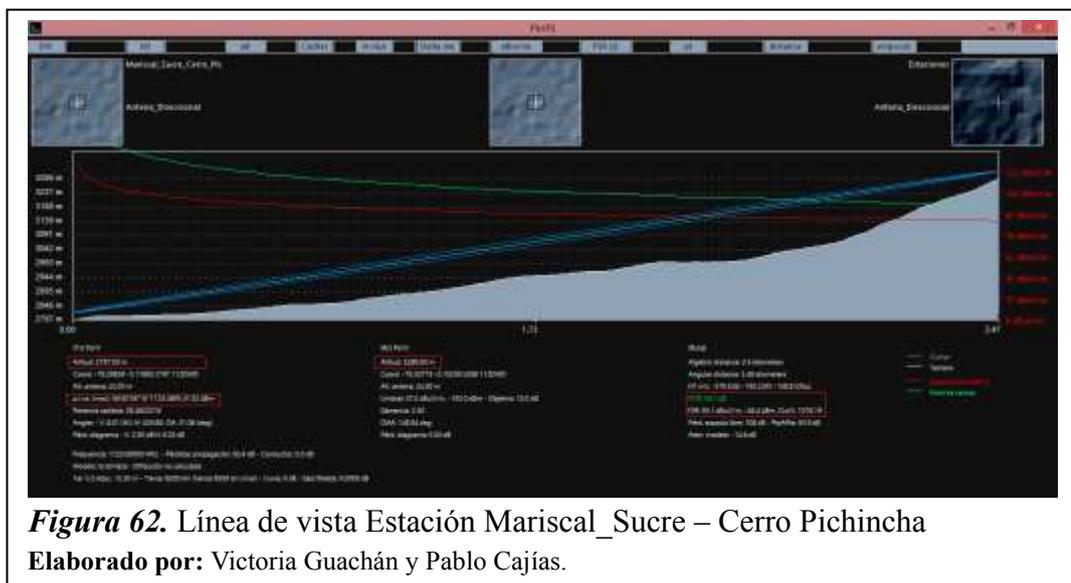
**Figura 60.** Parámetros eNodeB  
**Elaborado por:** Victoria Guachán y Pablo Cajías

## 6.5 Análisis de los resultados

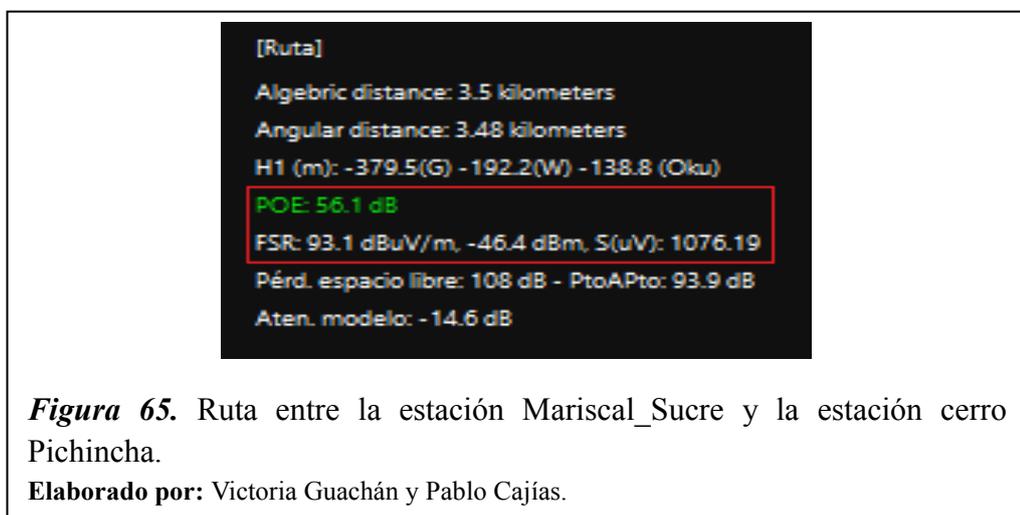
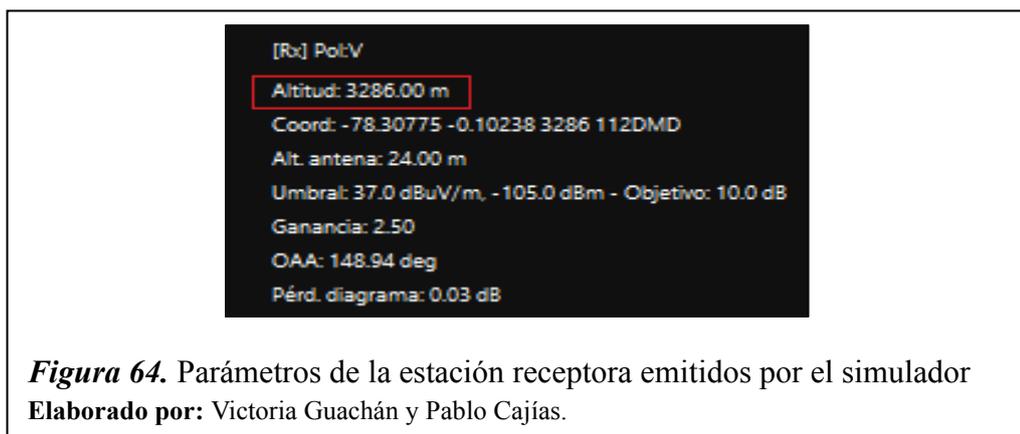
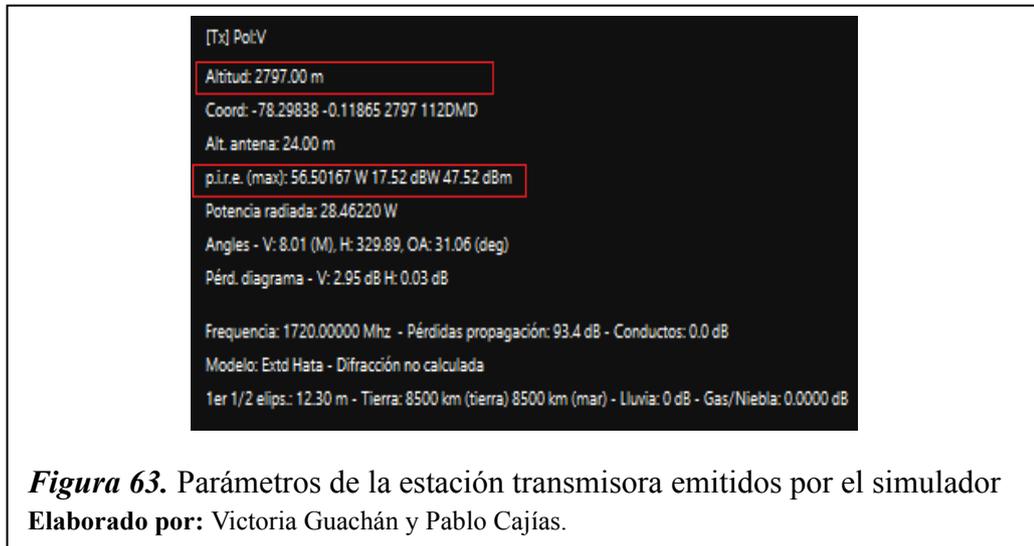
El siguiente paso a realizar en la simulación de la red LTE, es realizar el análisis de la cobertura compuesta, es decir el software realizará el cálculo de cobertura de las antenas direccional y omnidireccional, también se realizó el enlace de cada una de las estaciones base a la estación ubicada en el cerro Pichincha, utilizando la topología estrella, expuesta en el capítulo 6, como lo muestra la figura 61.



El siguiente procedimiento en la simulación de la red LTE es el análisis de la línea de vista desde cada estación base a la estación que se encuentra en el cerro Pichincha, tomando en cuenta que para que exista la mejor propagación de las señales de alta frecuencia, es necesario una línea de vista sólida es decir que el camino entre las antenas transmisoras y receptoras se encuentre sin obstrucciones, la figura 62 muestra cómo se encuentra la línea de vista en la simulación.

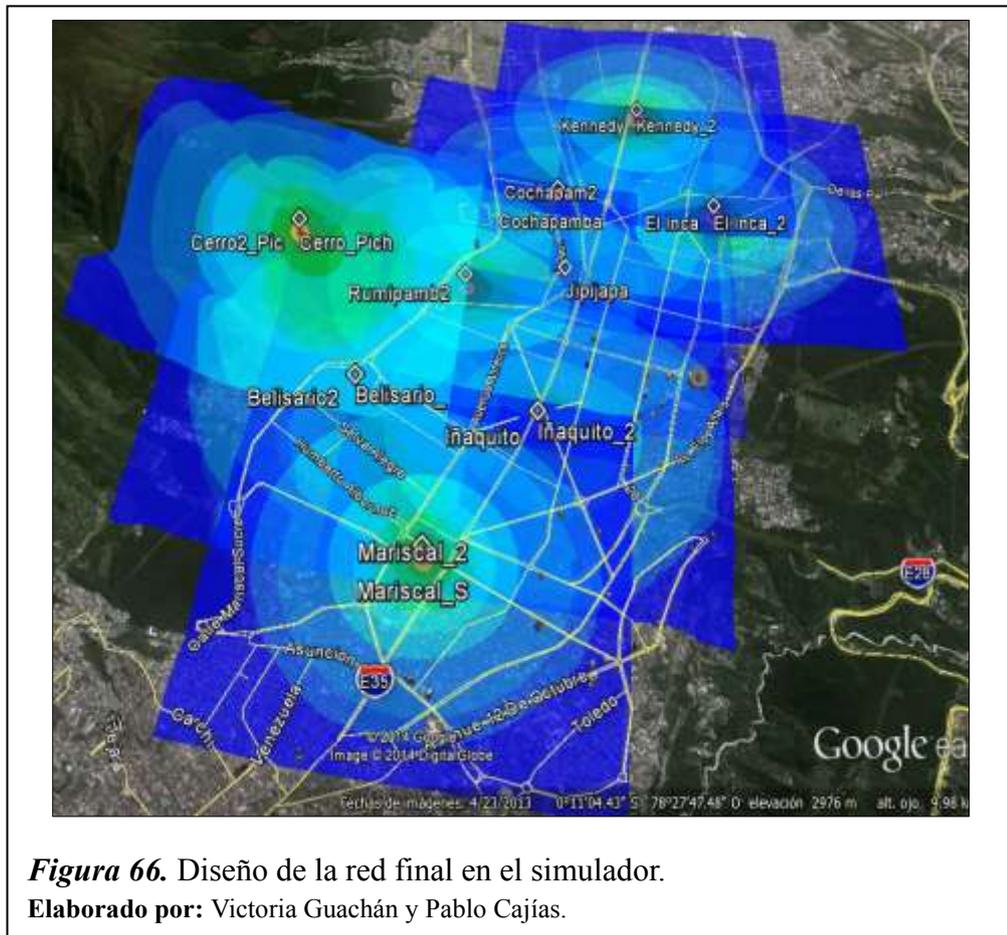


La figura 63 muestra los resultados de transmisión que emite el perfil de línea de vista entre la estación base Mariscal\_Sucre y la estación cerro Pichincha, mismos que corresponden a la altitud y Potencia Isotrópica Radiada Equivalente - PIRE de cada una de las estaciones base.



El simulador emite un informe de todos los parámetros ingresados y de los parámetros calculados, mismo que se encuentra en el **anexo 5**.

La figura 66 muestra el diseño final de la red realizada en el simulador ICS-Designer, misma que indica la cobertura en el área de estudio.



La simulación de la red LTE se realizó con la recopilación de la información obtenida en el capítulo 5 y en el capítulo 6, dando como resultado en la simulación, que en la parte más alejada se tiene una cobertura mínima entre (75dBm y 103dBm), y cerca de las estaciones base una cobertura entre (130dBm y 177dBm), concluyendo que si existe cobertura y a la vez asegurando la comunicación en la zona norte de la ciudad de Quito – Ecuador.

## CONCLUSIONES

- En Ecuador la tecnología ha evolucionado y se ha convertido en una herramienta primordial para el usuario de telefonía celular, haciendo necesario un constante desarrollo tecnológico por parte de las operadoras móviles, para así brindar un mejor servicio a sus abonados y, como se ha demostrado en la presente investigación la tecnología LTE se muestra como la principal opción para cubrir esta necesidad.
- De acuerdo a la delimitación de la zona, expuesta en el capítulo 4, este proyecto se realizará en la Administración Zonal número 5, que consta de 9 parroquias, mismas que serán los límites a utilizarse para realizar el diseño de la red; se tomó en cuenta la altura de las estaciones base, que de acuerdo a la Ordenanza Metropolitana N° 0227, es de 54m desde el suelo, para la simulación se utilizará la altura de 24m, altura adecuada para que la línea de vista no presente- obstrucción y la zona de fresnel interferencias con las estaciones base vecinas.
- Tomando en cuenta que la nueva tecnología LTE (Long Term Evolution), está basada netamente en IP, ofrece altas tasas de velocidad para la transmisión y recepción de datos permitiendo velocidades entre 2 Mbps y 8 Mbps de bajada y hasta entre 1Mbps y 50Mbps de subida, esto cubriría las necesidades expuestas por los abonados, ya que como se demostró en el estudio de campo realizado mediante encuestas, la principal base del mercado ecuatoriano está conformada por usuarios con tendencia al consumo del servicio de transferencia de datos.
- Se realizó un breve análisis de varios software de predicción, para la simulación de la red LTE (Long Term Evolution), de acuerdo al análisis de costos de licencias de software de la tabla 20, se utilizó el software ICS Designer de la empresa ATDI, mismo que fue elegido por sus características técnicas a utilizarse en la simulación de este proyecto, además también se tomó en cuenta la accesibilidad de costos, este software será utilizado para realizar la evaluación de la cobertura de cada una de las estaciones base,

utilizando un mapa digital generado por la herramienta ICS Map Server de la misma empresa mencionada anteriormente.

- Para la simulación de la red LTE, el diseño cumplió un papel muy importante, ya que con la información investigada en el capítulo 6, se determinó que se utilizarán 8 estaciones base ubicadas en la zona de norte de Quito, reutilizando una estación ubicada en la parroquia Jipijapa, además de la utilización de una estación base adicional ubicada en el cerro Pichincha.
- Con respecto a los aspectos regulatorios, de acuerdo al CONATEL la frecuencia asignada a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones es de uplink 1710-1730 MHz y downlink 2110-2130MHz, por lo que para la simulación, la frecuencia a utilizarse será de 1710MHz para uplink y 2120 para downlink. También hay que tomar en cuenta que el 11 de junio del 2014, se empezó la negociación del espectro radioeléctrico, con las empresas privadas CONECEL S.A y OTECEL S.A para que puedan hacer uso del mismo, y así brindar a los abonados los servicios de la tecnología 4G.
- Se analizó la factibilidad de migración de cada una de las operadoras desde su infraestructura actual hacia una estructurada para servicios LTE, concluyendo su viabilidad, ya que como se demostró en esta investigación cada operadora puede reutilizar la mayoría de sus equipos tecnológicos, abaratando costos y sin perder ninguno de sus clientes, de igual modo se expuso el caso de ejemplo de Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), el cual ya se encuentra en la primera etapa de la utilización de esta nueva tecnología celular LTE.
- Como se evidencio, en las encuestas tomadas a los abonados del sector, en cuanto a la pregunta sobre el costo que estarían dispuestos a pagar por adquirir un equipo final y según el ítem 4.7.3 sobre el costo actual de los equipos para usuarios finales, se puede concluir que los abonados podrían adquirir un equipo con acceso a servicios LTE sin ningún inconveniente.

## RECOMENDACIONES

- Los proveedores en cuanto a los servicios de Internet proporcionados, deberán tener en cuenta, que es necesario ofertar planes en los cuales se mejoren las tarifas existentes, con el objetivo principal de que haya más accesibilidad al mercado por parte del usuario de telefonía móvil y así se pueda dar un mayor crecimiento a nivel nacional, lo cual beneficiaría al ámbito de las telecomunicaciones en general.
- Los entes reguladores deberán considerar que, es necesario facilitar la liberación de bandas de frecuencia para acceso a la convergencia LTE, ya que una de las operadoras ya cuenta con dicho acceso, el resto se ve al margen para realizar su respectiva migración y brindar servicios LTE, lo cual también limita el crecimiento tecnológico, pero hay que tomar en cuenta las negociaciones que se están realizando actualmente con las operadora privadas.
- Las operadoras de telefonía móvil deberían tomar en cuenta los datos obtenidos en la encuesta realizada a sus abonados, ya que en su mayoría han expresado su malestar en cuanto al servicio que utilizan, si bien al migrar a LTE se tendrá una gran diferencia en cuanto a calidad de servicio se refiere,
- También es necesario conocer el nivel de satisfacción del usuario para obtener un nivel de confianza estadístico, así mismo los encuestados expusieron sus deseos de nuevos servicios tal como Televisión on-line lo que con la implementación de LTE en Ecuador sería viable.
- De acuerdo a las encuestas realizadas, los abonados no se encuentran satisfechos con el servicio que brinda las operadoras mencionadas en este estudio; tales como, Movistar, Claro y CNT E.P, por lo que se puede recomendar que las entidades que se encargan de la regularización de las obligaciones de cada una de las operadoras, generen bienestar en los consumidores.

- El software utilizado para la simulación de la red LTE se puede decir que es recomendable para utilizarlo para emular redes actuales (3G - LTE), también porque es un sistema intuitivo no complicado para el usuario que lo administra.

## LISTA DE REFERENCIAS

- 3GAmericas. (2009 de junio). *3GAmericas*. Recuperado el julio de 2013, de [http://www.3gamericas.org/documents/Mimo\\_Transmission\\_Schemes\\_for\\_LTE\\_and\\_HSPA\\_Networks\\_June-2009.pdf](http://www.3gamericas.org/documents/Mimo_Transmission_Schemes_for_LTE_and_HSPA_Networks_June-2009.pdf)
- 4gAmericas. (septiembre de 2013). *4g Americas*. Recuperado el junio de 2014, de <http://www.4gamericas.org/documents/Internet%20Velocidad%20y%20Regulaci%C3%B3n%209.24.13.pdf>
- Analuisa, J. (julio de 2013). *Universidad Técnica de Ambato*. Recuperado el septiembre de 2013, de [http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/7796/Tesis\\_t905ec.pdf?sequence=1](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/7796/Tesis_t905ec.pdf?sequence=1)
- Aptica. (noviembre de 2013). Recuperado el 10 de junio de 2014, de <http://aptica.es/?op=productos/sirenet>
- Apuango. (2006). Recuperado el marzo de 2013, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/207/5/Capitulo%204.pdf>
- Apuango. (mayo de 2011). *Universidad Politécnica Salesiana*. Recuperado el agosto de 2013, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/207/5/Capitulo%204.pdf>
- Asamblea Nacional. (14 de octubre de 2011). *Asamblea Nacional*. Recuperado el febrero de 2014, de <http://documentacion.asambleanacional.gov.ec/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/1c5c26d1-463c-4a6b-baba-988cf8cf04f6/Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20Telecomunicaciones%20y%20de%20Servicios%20Postales>
- ATDI. (2014). Recuperado el 10 de junio de 2014, de <http://www.atdi.es/ics-designer/>
- ATOLL. (2014). Recuperado el 10 de junio de 2014, de <http://www.teleres.com.au/Atoll>
- Carmen, M. (2008). *Universidad Politecnica de Cartagena*. Recuperado el abril de 2013, de <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/739/1/pfc2806.pdf>
- Claro. (2012). Recuperado el mayo de 2013, de <http://www.claro.com.ec/wps/portal/ec/pc/personas/nuestra-empresa/quienes-somos/informacion-general>

- Claro. (enero de 2013). *Claro*. Recuperado el abril de 2013, de <http://www.claro.com.ec/wps/portal/ec/pc/personas/movil/planes/prepago/tarifas>
- CLARO S.A. (2014). *CLARO S.A.* Recuperado el marzo de 2014, de [www.claro.com.ec](http://www.claro.com.ec)
- CNT. (enero de 2013). *CNT*. Recuperado el abril de 2013, de <https://www.cnt.gob.ec/index.php/tarifa-pais>
- CNT. (2014). *Corporación Nacional de Telecomunicaciones*. Recuperado el marzo de 2014, de [www.cnt.com.ec](http://www.cnt.com.ec)
- CONATEL. (12 de diciembre de 2012). *CONATEL*. Recuperado el noviembre de 2013, de [http://www.conatel.gob.ec/site\\_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012\\_.pdf](http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf)
- CONATEL. (mayo de 2013). Recuperado el mayo de 2014, de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/?s=Interconexion>
- CONATEL. (2013). *CONATEL*. Recuperado el noviembre de 2013, de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/conatel/>
- Conde, R. (2013). *About.com*. Recuperado el 11 de febrero de 2014, de About.com: <http://celulares.about.com/od/Smartphones/a/Telefonia-Celular-Beneficios-Al-Usuario-De-Redes-LTE-4g.htm>
- Congreso\_Nacional. (julio de 2013). *CNT*. Recuperado el noviembre de 2013, de [http://www.cnt.gob.ec/images/Pdfs/normas\\_regulatorias/LEY%20ESPECIAL%20DE%20TELECOMUNICACIONES%20REFORMADA.pdf](http://www.cnt.gob.ec/images/Pdfs/normas_regulatorias/LEY%20ESPECIAL%20DE%20TELECOMUNICACIONES%20REFORMADA.pdf)
- Consejo Nacional de Telecomunicaciones. (enero de 2013). *CNT*. Recuperado el noviembre de 2013, de <https://www.cnt.gob.ec/index.php/antecedentes-historicos>
- Consejo\_Metropolitano\_de\_Quito. (mayo de 2005). Recuperado el mayo de 2014, de [http://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A%C3%91OS%20ANTERIORES/ORDM-227%20-%20%20ESTACIONES%20RADIOELECTRICAS,%20RADIOCOMUNICACIONES%20Y%20ANTENAS.pdf](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A%C3%91OS%20ANTERIORES/ORDM-227%20-%20%20ESTACIONES%20RADIOELECTRICAS,%20RADIOCOMUNICACIONES%20Y%20ANTENAS.pdf)
- Correa, C. (10 de octubre de 2005). *scielo*. Recuperado el mayo de 2014, de <http://www.scielo.cl/pdf/rfacing/v13n3/art06.pdf>
- Distrito\_Metropolitano\_de\_Quito. (27 de junio de 2012). *Municipio del Distrito Metropolitano de Quito*. Recuperado el enero de 2014, de <http://www.quito.gob.ec/>

- EcuRed. (12 de julio de 2012). *Ecured*. Recuperado el marzo de 2013, de [http://www.ecured.cu/index.php/Telefon%C3%ADa\\_celular](http://www.ecured.cu/index.php/Telefon%C3%ADa_celular)
- El Universo. (5 de marzo de 2013). *El Universo*. Recuperado el abril de 2014, de <http://www.eluniverso.com/2013/03/05/1/1356/operadoras-cierran-2012-ventas-2160-millones.html>
- Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador. (13 de abril de 2012). *Slideshare*. Recuperado el 6 de agosto de 2014, de <http://es.slideshare.net/HugoWCarrionRobalino/fundamentos-de-trafico-12660508>
- EventHelix. (septiembre de 2012). *Informática*. Recuperado el junio de 2014, de <http://cesarcabrera.info/blog/dimensionamiento-de-recursos-usando-formulas-erlang/>
- Freire, J. (27 de Marzo de 2013). *Doctor Tecno*. Recuperado el Noviembre de 2013, de <http://www.doortecno.com/noticia/conectividad-lte-disponible-para-ultimo-trimestre-del-ano-ecuador-exclusiva-cnt>
- Freire, J. (27 de marzo de 2013). *Doctor Tecno*. Recuperado el agosto de 2014, de <http://www.doortecno.com/noticia/conectividad-lte-disponible-para-ultimo-trimestre-del-ano-ecuador-exclusiva-cnt>
- García, J. (18 de abril de 2012). *slideshare*. Recuperado el abril de 2013, de <http://www.slideshare.net/javitojr/historia-de-la-telefonía-celular-12598330>
- Geocities. (octubre de 2010). *Geocities*. Recuperado el abril de 2013, de <http://www.oocities.org/es/rafaelalbertorr/hw/telefonía3.html>
- Google\_Maps. (enero de 2014). *Google Maps*. Recuperado el enero de 2014, de <https://maps.google.com.ec/>
- Gordón, H. C. (octubre de 2007). *Imaginar*. Recuperado el agosto de 2013, de [http://www.dirsi.net/sites/default/files/dirsi\\_07\\_TRE\\_ecu\\_es.pdf](http://www.dirsi.net/sites/default/files/dirsi_07_TRE_ecu_es.pdf)
- Guerra, I. (21 de Mayo de 2010). *CNMC Blog*. Recuperado el Abril de 2014, de <http://cnmcblog.es/2010/05/21/conceptos-basicos-del-telecos-evolucion-de-las-comunicaciones-moviles-del-gsm-al-lte/>
- Guerra, I. (mayo de 2010). *CNMC Blog*. Recuperado el septiembre de 2013, de <http://cnmcblog.es/2010/05/21/conceptos-basicos-del-telecos-evolucion-de-las-comunicaciones-moviles-del-gsm-al-lte/>
- Guevara, P. (abril de 2013). *Universidad de Cuenca*. Recuperado el junio de 2013, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/349/3/Tesis.pdf>
- Guillén, D. (2013). *Blogspot Tecnologías LTE*. Recuperado el enero de 2014, de [http://lte-movil4g.blogspot.com/2013\\_04\\_01\\_archive.html](http://lte-movil4g.blogspot.com/2013_04_01_archive.html)

- Hackbasth. (13 de diciembre de 2012). *Grupo de Ingeniería Telemática*. Recuperado el marzo de 2014, de <http://www.tlmat.unican.es/siteadmin/submaterials/923.pdf>
- Huawei. (enero de 2014). Recuperado el junio de 2014, de [https://www.enterprise.huawei.com/ilink/.../HW\\_195346](https://www.enterprise.huawei.com/ilink/.../HW_195346)
- Hurtado, C. (abril de 2011). *Repositorio EPN*. Recuperado el mayo de 2013, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3738/1/CD-3533.pdf>
- Inazuma, R. (noviembre de 2010). *TARINGA*. Recuperado el abril de 2013, de <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/9159574/Telefonia-Movil-3-5G.html>
- Inzirillo, I. (febrero de 2012). *PUCP*. Recuperado el 08 de junio de 2014, de <http://www.um.edu.ar/catedras/claroline/backends/download.php?url=L1RlbGVmb27tYS9UcuFmaWNvX1RlbGVmb25pY29fUmV2MS5wZGY%3D&cidReset=true&cidReq=IT002>
- Isi, J. (11 de agosto de 2011). *Monografias*. Recuperado el marzo de 2013, de <http://www.monografias.com/trabajos34/telefonía-celular/telefonía-celular.shtml>
- kioskea. (mayo de 2012). *kioskea*. Recuperado el abril de 2013, de <http://es.kioskea.net/contents/telephonie-mobile/reseaux-mobiles.php3>
- liberal, V. (octubre de 2013). *companiamedica*. Recuperado el abril de 2013, de [http://www.companiamedica.com/variado/telefonía\\_de\\_cuarta\\_generacion.html](http://www.companiamedica.com/variado/telefonía_de_cuarta_generacion.html)
- Mancero, F. B. (2013). *Supertel*. Recuperado el febrero de 2014, de Supertel: [http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/cuaderno2\\_telecomunicaciones.pdf](http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/cuaderno2_telecomunicaciones.pdf)
- Manosalvas, H. (28 de junio de 2012). *Repositorio ESPE*. Recuperado el abril de 2014, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5547/4/T-ESPE-033669.pdf>
- Marcano, D. (2012). *ATEL*. Recuperado el 18 de junio de 2014, de [http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion\\_telecomunicaciones/Capitulo%205%20Modelos%20de%20Tráfico.pdf](http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion_telecomunicaciones/Capitulo%205%20Modelos%20de%20Tráfico.pdf)
- Marcano, D. (4 de julio de 2012). *Atel Asesores*. Recuperado el marzo de 2014, de [http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion\\_telecomunicaciones/Capitulo%205%20Modelos%20de%20Tráfico.pdf](http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion_telecomunicaciones/Capitulo%205%20Modelos%20de%20Tráfico.pdf)
- Maritza, C. (27 de abril de 2012). *UPS*. Recuperado el abril de 2013, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2072/13/UPS-CT002379.pdf>

- Martínez, E. (1 de mayo de 2001). *eveliux*. Recuperado el abril de 2013, de <http://www.eveliux.com/mx/la-evolucion-de-la-telefonía-movil.php>
- Menutti, S. (febrero de 2013). *STNews*. Recuperado el agosto de 2013, de <http://www.signalstelecomnews.com/index.php/analisis-y-columnas/5256-ecuador--en-el-camino-hacia-4g>
- Miguel, J. (agosto de 2011). *Blogspot*. Recuperado el agosto de 2013, de <http://introlte.blogspot.com/>
- Movistar. (enero de 2013). *Movistar*. Recuperado el abril de 2013, de <http://www.movistar.com.ec/site/movil-personas/voz/planes-prepago/tarifas.html>
- Movistar. (2014). *Movistar*. Recuperado el marzo de 2014, de [www.movistar.com.ec](http://www.movistar.com.ec)
- Ortíz, J. (17 de octubre de 2013). *La República*. Recuperado el febrero de 2014, de <http://www.larepublica.ec/blog/economía/2013/10/17/huawei-presente-en-lanzamiento-de-la-red-4g-lte-de-cnt/>
- Poole, I. (febrero de 2012). *Radio Electronics*. Recuperado el julio de 2013, de <http://www.radio-electronics.com/info/antennas/mimo/formats-siso-simo-miso-mimo.php>
- Ramírez, C. (octubre de 2011). *Repositorio ULPGC*. Recuperado el noviembre de 2013, de [http://www.idetic.ulpgc.es/idetic/images/Tesis/Carlos\\_Ramirez/tesis\\_cramirez\\_def.pdf](http://www.idetic.ulpgc.es/idetic/images/Tesis/Carlos_Ramirez/tesis_cramirez_def.pdf)
- Redacción\_redes\_telecom. (11 de septiembre de 2009). *redestelecom*. Recuperado el abril de 2013, de <http://www.redestelecom.es/comunicaciones/opinion/1022222000303/gustado-saber-ems.1.html>
- Restrepo, J. (octubre de 2011). *Repositorio UNAL*. Recuperado el octubre de 2013, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4836/9/josefernandorestrepopedrahit.2011.parte5.pdf>
- Rohde&Schwarz. (octubre de 2010). Recuperado el septiembre de 2013, de [http://www.redeweb.com/\\_txt/671/82.pdf](http://www.redeweb.com/_txt/671/82.pdf)
- Ruben. (9 de julio de 2012). *Blogspot*. Recuperado el noviembre de 2013, de [http://deberinformatik.blogspot.com/2012\\_07\\_01\\_archive.html](http://deberinformatik.blogspot.com/2012_07_01_archive.html)
- Sametband, R. (3 de diciembre de 2007). *lanacion*. Recuperado el abril de 2013, de <http://www.lanacion.com.ar/967031-llega-la-tercera-generacion-de-telefonía-celular-a-la-argentina>

- Secretaria\_Nacional\_de\_Comunicaciones. (2012). *Secretaria Nacional de Comunicaciones*. Recuperado el agosto de 2013, de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>
- SENATEL. (8 de noviembre de 2011). *kaosenlared*. Recuperado el marzo de 2013, de [http://old.kaosenlared.net/media/33/33675\\_0\\_INGRESOS\\_CELULARES.PDF](http://old.kaosenlared.net/media/33/33675_0_INGRESOS_CELULARES.PDF)
- Sequeira, L. (junio de 2012). *Tribu Global*. Recuperado el mayo de 2013, de <http://www.tribuglobal.com/index.php/tecnologia/telecomunicaciones/372-lte-caracteristicas-tecnicas-ii-parte.html>
- Supertel. (2012). Recuperado el enero de 2014, de [http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/revista\\_supertel\\_16\\_final.pdf](http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/revista_supertel_16_final.pdf)
- SUPERTEL. (enero de 2012). *SUPERTEL*. Recuperado el diciembre de 2013, de [www.supertel.gob.ec/pdf/informacion\\_publica/planes\\_2012.xls](http://www.supertel.gob.ec/pdf/informacion_publica/planes_2012.xls)
- Traverso, D. (05 de junio de 2010). *Monografias*. Recuperado el marzo de 2013, de <http://www.monografias.com/trabajos13/tecnacc/tecnacc.shtml>
- UMTSForum. (febrero de 2008). *UMTS FORUM*. Recuperado el mayo de 2013
- UPM. (agosto de 2013). Recuperado el enero de 2014, de <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles/contenidos/capitulo-4.-sistemas-celulares-clasicos-fdma-tdma-1>
- Vallejo, P. M. (diciembre de 2012). *Universidad Pontificia Comillas*. Recuperado el abril de 2014, de <http://web.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/Tama%F1omuestra.pdf>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

### A

**AMPS:** Advanced Mobile Phone System (Sistema telefónico móvil avanzado).

### B

**BAUDS:** Unidad de medida que determina el número de cambios de estados en una señal por segundo.

**BTS:** Base Transceiver Station (Estación Base), es una instalación fija o moderada de radio para la comunicación media, baja o alta bidireccional.

### E

**EFICIENCIA ESPECTRAL:** Es una medida de lo bien aprovechada que está una determinada banda de frecuencia, para transmitir datos (bits); Parámetro para medir la calidad de una modulación digital.

**E-UTRAN:** Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, es la estación base que está en control de todas las funciones de radio relacionadas a la parte fija del sistema.

### F

**FDD:** Frequency Division Duplexing, significa que el transmisor y el receptor operan a diferentes frecuencias portadoras.

**FEC:** Forward Error Correction, es un tipo de mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original

### G

**GMSK:** Gaussian Minimum ShiftKeyin esquema de modulación binaria.

**3GPP:** Third Generation Partnership Project (Asociación de tercera Generación), colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como Miembros Organizativos.

**GPRS:** General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes de Radio), proporciona un mejor rendimiento a la conmutación de paquetes en radioenlaces.

## **H**

**HANDOVER:** sistema utilizado en comunicaciones móviles para transferir el servicio de una estación base (antena) a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente.

## **I**

**IMS:** IP Multimedia Subsystem (Subsistema Multimedia IP), es un conjunto de especificaciones que describen la arquitectura de las redes para soportar telefonía y servicios multimedia a través de IP.

**ITU-T:** Sector de Normalización de las Telecomunicaciones

## **M**

**MIMO:** Multiple-input Multiple-output (Múltiple entrada múltiple salida).

## **O**

**OFDMA:** Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal), Se utiliza para conseguir que un conjunto de usuarios de un sistema de telecomunicaciones puedan compartir el espectro de un cierto canal para aplicaciones de baja velocidad.

**ORTOGONAL:** es un adjetivo que se emplea para nombrar a aquellas señales que se encuentran en sentido paralelo a su semejante siguiente o anterior.

## **P**

**PAR:** Peak-to-Average Ratio, es un parámetro de particular importancia para el dimensionamiento de amplificadores de potencia.

## **Q**

**QPSK:** Quadrature Phase Shift Keying, se refiere a una técnica para variar la fase de una onda portadora, una onda de amplitud y de frecuencia fija, mediante la aplicación de una señal digital.

## R

**RNC:** Radio Network Controller, es responsable de todo el control de los recursos lógicos de una estación base.

## S

**SIM:** Subscriber Identity Module (Módulo de Identificación del Suscriptor), es una tarjeta inteligente desmontable usada en teléfonos móviles.

**SIP:** Session Initiation Protocol (Protocolo de Inicio de Sesiones), es uno de los protocolos de señalización para voz sobre IP.

**SMS:** Short Message Service (Servicio de mensajes cortos), sistema de mensajes de texto para teléfonos móviles.

## T

**TDD:** Time Division Duplexing, es una técnica para convertir un canal simplex en un canal dúplex separando las señales enviadas y recibidas en intervalos de tiempos diferentes sobre el mismo canal.

**TDMA:** Time Division Multiple Access (Acceso múltiple por división de tiempo), técnica de división de tiempo de los canales de comunicación

**THROUGHPUT:** es la tasa media de éxito de la entrega de mensajes en un canal de comunicación.

## U

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System (Sistema universal de telecomunicaciones móviles), es una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación, sucesora de GSM.



## Anexo 2. Formato de encuesta

### Encuesta al usuario de telefonía móvil en la ciudad de Quito – Ecuador

Lugar de trabajo/estudio: .....

Fecha: .....

Edad: .....

Sexo:  Masculino

Femenino

**1. ¿Qué operadora de telefonía móvil usted utiliza?**

CONECEL S.A (Claro)

OTECEL S.A (Movistar)

TELECSA S.A (CNT)

**2. ¿Qué tiempo lleva utilizando esta operadora de telefonía móvil?**

Un mes o menos

De 6 meses a 1 año

De 1 mes a 6 meses

Más de un año

**3. ¿La cobertura que brinda su operadora telefónica es?**

Mala

Buena

Regular

Muy Buena

**4. ¿Qué tipo de servicio telefónico móvil tiene?**

Prepago

Postpago

**5. La calidad de los servicios de mensajes y llamadas de su operadora telefónica móvil le parecen:**

Mala

Buena

Regular

Muy Buena

**6. El costo de los servicios (llamadas y mensajes) que ofrece su operadora telefónica le parece:**

Bajo

Medio

Alto

**7. ¿Qué tipos de servicios tiene su celular?**

- Llamadas de voz
- Mensajes
- Internet

**8. En caso de tener el servicio de internet en su teléfono celular la velocidad de acceso es, caso contrario continúe con la pregunta 10:**

- Buena
- Mala
- Regular

**9. Conoce la velocidad con la que se conecta usted a internet por medio de su teléfono celular en el caso de que sea así seleccione:**

- 400/64 kbps
- 2048/256 kbps
- 2048/1024 kbps
- Desconoce

**10. ¿Cómo cliente a que nuevos servicios de telefonía móvil le gustaría acceder?**

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Video llamada  | <input type="checkbox"/> Juegos online |
| <input type="checkbox"/> Redes Sociales | <input type="checkbox"/> Chat          |
| <input type="checkbox"/> Televisión     | <input type="checkbox"/> Otros.....    |

**11. En la actualidad considera que implementar los servicios mencionados en la pregunta anterior son:**

- Poco importante
- Importante
- Muy Importante

**¿Porque?** .....

.....

**12. Por los servicios mencionados anteriormente ¿Cuánto pagaría usted mensualmente?**

- \$10 - \$20
- \$20 - \$30
- \$30 - \$40
- Más de \$40

**13. ¿Cuál sería el costo que usted pagaría por un celular inteligente (cuarta generación) con los servicios mencionados anteriormente?**

- \$200 - \$300
- \$300 - \$400
- \$400 - \$500
- Más de \$500

**¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!**

### Anexo 3. Parámetros de las estaciones base

En este Anexo se encuentra la configuración de las 8 estaciones base restantes, teniendo en cuenta que los parámetros serán los mismos ingresados en el capítulo 7, ya que se utilizarán las mismas antenas direccionales y omnidireccionales, en cada una de las estaciones base.

Nombre Estación Base	Tipo de Antena
Belisario	Antena Direccional
Iñaquito	Antena Direccional
Rumipamba	Antena Direccional
Jipijapa	Antena Direccional
Cochapamba	Antena Direccional
El Inca	Antena Direccional
Kennedy	Antena Direccional
Cerro_P	Antena Direccional
Belisario2	Antena Omnidireccional
Iñaquito_2	Antena Omnidireccional
Rumipamba2	Antena Omnidireccional
Jipijapa_2	Antena Omnidireccional
Cochapamba2	Antena Omnidireccional
El Inca_2	Antena Omnidireccional
Kennedy_2	Antena Omnidireccional
Cerro2_P	Antena Omnidireccional

### Estación base Belisario Quevedo

The screenshot displays the configuration interface for a base station. The title bar reads 'Parámetros Tx/Rx: 36 Belisario\_'. The interface is divided into several sections:

- General:** Includes tabs for 'General', 'Radiación', 'Canales', 'Emplazamiento', and 'eNodeB setup'.
- Tipo:** Shows 'Tx/Rx A (0)', 'Señal' (FDD LTE (60)), 'Estado' (Unknown (0)), and 'Plan de frec.' (No 36). A 'Activada' button is present.
- Tx/Rx:** Contains fields for 'Pot. nominal (W)' (50), 'Dinámico (dB)' (0), 'G. ant. Tx (dBi)' (25.00), 'G. ant. Rx (dBi)' (25.00), 'Pérd. (dB)' (Tx: 0.00, Rx: 0.00), 'Pérd. adic. Tx (dB)' (0.53), 'p.i.r.e(W)' (13994.91), 'Frecuencia (MHz)' (1720.00000), 'Altura de ant. (m)' (24.00), 'AB Tx (kHz)' (20000.00), and 'AB Rx (kHz)' (20000.00).
- Cobertura:** Shows 'LTE-U' with 'Borrar' and 'info' buttons. Radio buttons for 'Potencia variable', 'Potencia fija', 'Frecuencia fija', and 'Salto de frec./band.' are visible.
- Info.:** Includes 'Callsign' (Belisario\_), 'Emparejado' (0), 'Dirección' (Belisario\_Quevedo\_Cer), 'Fecha' (20140614), 'aaaammdd', 'Cell ID group (inf1)', 'Type ID' (C), 'Cell ID sector (inf2)', 'Enlace', 'ID de Red', 'Grupo', 'Usuario', and 'Nº de llamada' (0).
- Comentarios:** A text area for notes.
- Footer:** Shows 'SQL record 0' and 'Ctrl+Enter: cambiar línea'.

## Estación base Iñaquito

Parámetros Tx/Rx: 37 Iñaquito

General Radiación Canales Emplazamiento eNodeB setup

Tipo Señal Estado Unknown (0) Plan de frec. No 37 Activada

Tx/Rx A (0) FDD LTE (60)

Pot. nominal (W) 50  
Dinámico (dB) 0  
G. ant. Tx (dBi) 25.00  
G. ant. Rx (dBi) 25.00  
Pérd. (dB) Tx 0.00 Rx 0.00  
Pérd. adic. Tx (dB) 0.53  
p.i.r.e(W) 13994.91  
Frecuencia (MHz) 1720.00000  
Altura de ant. (m) 24.00  
AB Tx (kHz) 20000.00  
AB Rx (kHz) 20000.00

Cobertura LTE-U  
Borrar info

Info.  
Callsign Iñaquito Emparejado 0  
Dirección Iñaquito\_Cerro\_Pichinc Fecha 20140614 aaaammdd  
Cell ID group (inf1) Type ID C  
Cell ID sector (inf2) Enlace  
ID de Red Grupo  
Usuario N° de llamada 0

Comentarios

SQL record 0 Ctrl+Enter: cambiar línea

Aceptar Cancelar

## Estación base Rumipamba

Parámetros Tx/Rx: 32 Rumipamba

General Radiación Canales Emplazamiento eNodeB setup

Tipo Señal Estado Unknown (0) Plan de frec. No 32 Activada

Tx/Rx A (0) FDD LTE (60)

Pot. nominal (W) 50  
Dinámico (dB) 0  
G. ant. Tx (dBi) 25.00  
G. ant. Rx (dBi) 25.00  
Pérd. (dB) Tx 0.00 Rx 0.00  
Pérd. adic. Tx (dB) 0.53  
p.i.r.e(W) 13994.91  
Frecuencia (MHz) 1720.00000  
Altura de ant. (m) 24.00  
AB Tx (kHz) 20000.00  
AB Rx (kHz) 20000.00

Cobertura LTE-U  
Borrar info

Info.  
Callsign Rumipamba Emparejado 0  
Dirección Rumipamba\_Cerro\_Pich Fecha 20140614 aaaammdd  
Cell ID group (inf1) Type ID C  
Cell ID sector (inf2) Enlace  
ID de Red Grupo  
Usuario N° de llamada 0

Comentarios

SQL record 0 Ctrl+Enter: cambiar línea

Aceptar Cancelar

## Estación base Jipijapa

Parámetros Tx/Rx: 24 Jipijapa

General Radiación Canales Emplazamiento eNodeB setup

Tipo Señal Estado Unknown (0) Plan de frec. No 24 Activada

Tx/Rx A (0) FDD LTE (60)

Tx/Rx

Pot. nominal (W) 50

Dinámico (dB) 0

G. ant. Tx (dBi) 25.00

G. ant. Rx (dBi) 25.00

Pérd. (dB) Tx 0.00 Rx 0.00

Pérd. adic. Tx (dB) 0.53

p.i.r.e(W) 13994.91

Frecuencia (MHz) 1720.00000 ...

Altura de ant. (m) 24.00

AB Tx (kHz) 12.50

AB Rx (kHz) 12.50

Cobertura

LTE-U

Borrar info

Info.

Callsign Jipijapa Emparejado 0

Dirección Jipijapa\_CERRO PICHIN Fecha 20140614 aaaammdd

Cell ID group (inf1) H Type ID N

Cell ID sector (inf2) H Enlace NT

ID de Red EQA | EQA | CERRO PI Grupo NTF

Usuario NTFD\_RR N° de llamada 0

Comentaric

SQL record 0

Ctrl+Enter: cambiar línea

Aceptar Cancelar

## Estación base Cochapamba

Parámetros Tx/Rx: 34 Cochapamba

General Radiación Canales Emplazamiento eNodeB setup

Tipo Señal Estado Unknown (0) Plan de frec. No 34 Activada

Tx/Rx A (0) FDD LTE (60)

Tx/Rx

Pot. nominal (W) 50

Dinámico (dB) 0

G. ant. Tx (dBi) 25.00

G. ant. Rx (dBi) 25.00

Pérd. (dB) Tx 0.00 Rx 0.00

Pérd. adic. Tx (dB) 0.53

p.i.r.e(W) 13994.91

Frecuencia (MHz) 1720.00000 ...

Altura de ant. (m) 24.00

AB Tx (kHz) 20000.00

AB Rx (kHz) 20000.00

Cobertura

LTE-U

Borrar info

Info.

Callsign Cochapamba Emparejado 0

Dirección Cochapamba\_Cerro\_Pik Fecha 20140614 aaaammdd

Cell ID group (inf1) Type ID C

Cell ID sector (inf2) Enlace

ID de Red Grupo

Usuario N° de llamada 0

Comentaric

SQL record 0

Ctrl+Enter: cambiar línea

Aceptar Cancelar

## Estación base El Inca

Parámetros Tx/Rx: 35 El Inca

General Radiación Canales Emplazamiento eNodeB setup

Tipo Señal Estado Unknown (0) Plan de frec. No 35 Activada

Tx/Rx A (0) FDD LTE (60)

Tx/Rx

Pot. nominal (W) 50

Dinámico (dB) 0

G. ant. Tx (dBi) 25.00

G. ant. Rx (dBi) 25.00

Pérd. (dB) Tx 0.00 Rx 0.00

Pérd. adic. Tx (dB) 0.53

p.i.r.e(W) 13994.91

Frecuencia (MHz) 1720.00000 ...

Altura de ant. (m) 24.00

AB Tx (kHz) 20000.00

AB Rx (kHz) 20000.00

Cobertura

LTE-U

Borrar info

Info.

Callsign El Inca Emparejado 0

Dirección El\_Inca\_Cerro\_Pichinch Fecha 20140614 aaaammdd

Cell ID group (inf1) Type ID C

Cell ID sector (inf2) Enlace

ID de Red Grupo

Usuario N° de llamada 0

Comentaric

SQL record 0 Ctrl+Enter: cambiar línea

Aceptar Cancelar

## Estación base Kennedy

Parámetros Tx/Rx: 30 Kennedy

General Radiación Canales Emplazamiento eNodeB setup

Tipo Señal Estado Unknown (0) Plan de frec. No 30 Activada

Tx/Rx A (0) FDD LTE (60)

Tx/Rx

Pot. nominal (W) 50

Dinámico (dB) 0

G. ant. Tx (dBi) 25.00

G. ant. Rx (dBi) 25.00

Pérd. (dB) Tx 0.00 Rx 0.00

Pérd. adic. Tx (dB) 0.53

p.i.r.e(W) 13994.91

Frecuencia (MHz) 1720.00000 ...

Altura de ant. (m) 24.00

AB Tx (kHz) 20000.00

AB Rx (kHz) 20000.00

Cobertura

LTE-U

Borrar info

Info.

Callsign Kennedy Emparejado 0

Dirección Kennedy\_Cerro\_Pichinch Fecha 20140614 aaaammdd

Cell ID group (inf1) Type ID C

Cell ID sector (inf2) Enlace

ID de Red Grupo

Usuario N° de llamada 0

Comentaric

SQL record 0 Ctrl+Enter: cambiar línea

Aceptar Cancelar

#### Anexo 4. Ficha técnica de las antenas direccional y omnidireccional

##### ANTENA DIRECCIONAL

##### Cross Polarised High-Gain LTE Panel Antenna

650 – 960, 1710 – 2170 and 2500 – 2700 MHz Bands

Código Producto: XPOL-A0002

**Price: 130.00 € - \$176.09**

PRODUCT CODE	
XPOL-A0002	EAN 6009693810792 
ELECTRICAL.	
Gain	8.3 dBi Max Gain @ 650-960 MHz 9.3 dBi Max Gain @ 1710-2170 MHz 8.2 dBi Max Gain @ 2500-2700 MHz
Input Frequency	650 – 960, 1710 – 2170 and 2500 – 2700 MHz Bands
VSWR across operating bands	< 2.5:1
Feed power handling	4 W
Input impedance	50 Ohm (nominal)
Polarisation	2 x Linear (Vertical and Horizontal)
Cable	2 x 5m HDF 195
Connector	2 x SMA male
Cable loss	0.35dB/m @900MHz, 0.53dB/m @2000MHz, 0.6dB/m @2500MHz
MECHANICAL	
Dimensions (l x w x h)	260 x 260 x 80 mm (without bracket)
Radome Material	ABS (halogen free)
Radome Colour	UL 94-V0

## ANTENA OMNIDIRECCIONAL

### Cross Polarised Omnidirectional LTE Antenna

790 – 960, 1710 – 2170, 2300-2400 and 2500 – 2700 MHz Bands

Product code: XPOL-A0001

Price: 82.00 € - \$111.07

PRODUCT CODE	
XPOL-A0001	EAN 6009693810754 
ELECTRICAL.	
Gain	Gain (Max) 2.5 dBi Gain (Nominal) 2.0 dBi
Input Frequency	790 – 960, 1710 – 2170, 2300 – 2400 and 2500 – 2700 MHz Bands
Max Power	50W
VSWR across operating bands	< 2.5:1
F/B Ratio	>11
Input impedance	50 Ohm (nominal)
Polarisation	2 x Linear (Vertical and Horizontal)
Cable	2 x 5m HDF 195
Connector	2 x SMA male
Cable loss	Isolation (Nominal, see graph) 15 dB
MECHANICAL	
Dimensions (l x w x h)	234 x 134 x 84 mm
Radome Colour	RAL9001 Cream/grey
Flammability Rating	UL 94-V0

## Anexo 5. Reporte de simulador

Este informe es emitido por cada una de las estaciones base que se encuentran el diseño de la red LTE.

### RADIO VANO

Estación A	Estación B
Manscal Sucre Cerro Pic	Cerro Pichincha
Manscal S	Cerro Pich
2797.00 metros (MDI altitud+clutter)	3286.00 metros (MDI altitud+clutter)
-78.29836 -0.11865 2797 1120MD	-78.30775 -0.10238 3286 1120MD
H-angle 329.89 degrees	H-angle 149.89 degrees

Distancia entre estaciones: 3.47 km

Estación A	Unidades
Potencia nominal	38.75 dBm
P.T.R.E	28.46220 W
Atenuación de antena (H)	0.03 dB
Atenuación de antena (V)	2.95 dB
Altura de antena	24.00 Longitud (m)
Acimutantena	330.00 deg
Ganancia	9.30 dB
Pérdidas Tx	0.53 dB

Estación B	Unidades
Atenuación de antena Hx	0.15 dB
Altura de antena	24.00 Longitud (m)
Acimutantena	0.00 deg
Ganancia	9.30 dB
Pérdidas Rx	0.00 dB
Umbral 10-3	-88.00 dBm
Umbral 10-6	-83.00 dBm
K1BF	-97 dBm
TD	0 dB

Cálculo	Unidades
Frecuencia	1720.00000 MHz
Radio de la tierra (suelo)	6370 km
Radio de la tierra (mar)	6370 km
Atenuación (Gaz) (1.50 g/m <sup>3</sup> )	0.00 dB
Atenuación de lluvia (64.44 mm/h)	0.00 dB
Nivel de campo recibido	93.11 dBuV/m
PSU	56.11 dB
Umbral	37.01 dBuV/m
Umbral	-105.01 dBm
Potencia recibida	-39.68 dBm
G. Rx (conversión)	9.30 dB
Espacio libre de campo	81 dBuV/m
Atenuación modelo	-14.61 dB
Gan. de conducto	0.00 dB
Atenuación de difracción	0.00 dB
Atenuación de clutter	0.00 dB
Atenuación de reflexión	0.00 dB
Angulo-V	8.01 Grados