



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO**

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A OBTENER
EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
MENCIÓN GESTIÓN EMPRESARIAL EN
TELECOMUNICACIONES**

**“ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UNA RED CELULAR DE
CUARTA GENERACIÓN LONG TERM EVOLUTION (LTE)”**

NOMBRE: ADRIAN ALEXANDER SALAZAR GRIJALVA

TUTOR: ING. CARLOS ROMERO ROSERO

GUAYAQUIL, MAYO 2014



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Salazar Grijalva Adrian Alexander**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

TUTOR (A)

Ing. Carlos Romero

REVISOR(ES)

Ing. Jimmy Alvarado

Ing. Luis Vallejo

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Armando Heras

Guayaquil, a los 12 días del mes de mayo del año 2014



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Adrián Alexander Salazar Grijalva

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Análisis y Simulación de una Red Celular de Cuarta Generación Long Term Evolution (LTE)** previa a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 12 días del mes mayo del año 2014

EL AUTOR:

Adrián Alexander Salazar Grijalva



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERIA EN TELECOMUNICIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Adrian Alexander Salazar Grijalva**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Análisis y Simulación de una red Celular de Cuarta Generación Long Term Evolution (LTE)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 12 días del mes de mayo del año 2014

EL AUTOR:

Adrián Alexander Salazar Grijalva

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la salud y fuerzas necesarias para alcanzar esta meta.

A mi madre y hermanos por su incondicional apoyo durante estos 5 años de vida universitaria.

A mi padre, que desde el cielo, ha sido mi guía para seguir por el camino correcto.

Al ingeniero Carlos Romero por su ayuda en el desarrollo del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN	10
1.2. ANTECEDENTES.....	10
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.3.1. Delimitación del problema.....	11
1.3.2. Justificación.....	11
1.4. OBJETIVOS.....	12
1.4.1. Objetivo General.....	12
1.4.2. Objetivos Específicos.	12
1.5. HIPOTESIS.....	12

Capítulo 2

2.1. TELEFONÍA MÓVIL	13
2.2. EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL	15
2.2.1. Primera Generación (1G)	15
2.2.2. Segunda Generación (2G).....	16
2.2.3. Tercera Generación (3G).....	17
2.3. INTRODUCCIÓN A LTE	18
2.4. CARACTERÍSTICAS.....	19
2.5. ARQUITECTURA.	19
2.6. INTERFACES.	20
2.7. ANCHO DE BANDA DEL CANAL	21
2.8. BANDAS DE TRABAJO	22
2.9. CALIDAD DEL SERVICIO (QoS).....	24

2.10.	INTERFAZ AEREA ENLACE DESCENDENTE.....	25
2.10.1.	Acceso Múltiple	25
2.10.2.	Estructura De La Trama.....	27
2.10.3.	Prefijo Cíclico	27
2.10.4.	Bloques De Recursos	28
2.10.5.	Modulación	29
2.10.6.	Transmisión Y Recepción	29
2.11.	INTERFAZ AÉREA ENLACE ASCENDENTE.	30
2.11.1.	Estructura De Trama Y Sincronización.	30
2.11.2.	Bloques De Recursos.	31
2.11.3.	Acceso Múltiple.....	32
2.11.4.	Modulación.	33
2.11.5.	Transmisión Y Recepción.	34
2.12.	OTRAS TECNOLOGÍAS	34
2.12.1.	HSPA +	34
2.12.2.	Wimax.....	36
2.13.	VENTAJAS DE LTE FRENTE A HSPA+ Y WIMAX	36
2.13.1.	LTE vs HSPA +	36
2.13.2.	LTE vs Wimax.....	38

Capítulo 3

3.1.	PRE-PLANIFICACIÓN	39
3.2.	PLANIFICACIÓN	40
3.3.	PLANIFICACIÓN DETALLADA	40
3.4.	LIMITACIONES.....	41
3.5.	SUPOSICIONES.....	41
3.6.	PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO	41

3.6.1. Requerimientos de la Red.....	43
3.6.1.1. Zona de Cobertura.....	43
3.6.1.2. Número de Abonados.....	44
3.6.1.3. Bandas de Frecuencia y Ancho del Canal	44
3.6.1.4. Modelo de Tráfico	44
3.6.1.5. Rendimiento al Borde de la Célula de Enlace Ascendente...	45
3.6.2. Cobertura Enlace Ascendente y Descendente.....	49
3.6.2.1. Modelos de Propagación.....	49
3.6.2.2. Radio de la Célula.....	50
3.6.3. Capacidad Enlace Ascendente.....	52
3.6.4. Capacidad Enlace Descendente.....	52
3.6.5. Finalización del Dimensionamiento.....	53
3.6.5.1. Número de usuarios por célula	53
3.6.5.2. Área cubierta y no cubierta	53

Capítulo 4

4.1. SOFTWARE A UTILIZAR.....	55
4.1.1 MATLAB.....	55
4.2. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS.....	56
4.3. SIMULACIÓN.....	57
4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
4.5. PRESUPUESTO DE UNA ESTACIÓN DE SIMULACIÓN.....	61

Capítulo 5

5.1. CONCLUSIONES.....	62
5.2. RECOMENDACIONES.....	63

ANEXO 1: RESOLUCIÓN TEL-804-29-CONATEL-2012 (FRAGMENTO) .	64
--	-----------

ANEXO 2: ¿LTE ES O NO 4G?	66
ANEXO 3: TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER	70
ANEXO 4: REGLAMENTO PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIO MÓVIL AVANZADO (FRAGMENTO)	72
ANEXO 5: FORMULARIO	74
ANEXO 6: RESUMEN DE RESULTADOS DADOS POR LTE SIMULATOR TOOLBOX	76
GLOSARIO	78
BILIOGRAFÍA	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Resumen de Tecnologías 2G y 3G. Elaborado por Autor.....	18
Tabla 2.2: Anchos de Banda del Canal.....	22
Tabla 2.3: Bandas Pareadas para LTE.....	23
Tabla 2.4: Bandas no Pareadas para LTE.....	24
Tabla 2.5: QoS Estandarizado con Características Asociadas a cada QCI..	25
Tabla 2.6: Características de los Bloques de recursos en función del ancho de banda del canal.....	39
Tabla 2.7: Esquemas de Modulación Aplicados a los Canales Físicos del Enlace Descendente.....	30
Tabla 2.8: Características de los Bloques de Recursos en Función del Ancho de Banda del Canal.....	32
Tabla 2.9: Esquemas de Modulación Aplicados a los Canales Físicos.....	34
Tabla 2.10: Características IEEE 802.16.....	37
Tabla 2.11: Comparación LTE-HSPA+.....	38
Tabla 2.12: Comparación entre Wimax y LTE.....	39
Tabla 3.1: Parámetros según el modode canal.....	48
Tabla 3.2: Tipos de Pérdidas. Elaborado por autor.....	51
Tabla 3.3: Posición Geográfica de los eNodeB.....	53
Tabla 4.1: Parámetros de Simulación.....	58
Tabla 4.2: Presupuesto de una Estación de Simulación.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema General de una Red celular.....	14
Figura 2.2: Elementos Principales de una Red Celular.....	15
Figura 2.3: Arquitectura LTE.....	20
Figura 2.4: Interfaces Utilizadas por Elementos de Red.....	21
Figura 2.5: Funcionamiento OFDMA.....	26
Figura 2.6: Espectro de una subportadora (a) y conjunto de subportadoras(b) OFDMA.....	27
Figura 2.7: estructura de la trama LTE.....	27
Figura 2.8: Bloque de Recursos.....	28
Figura 2.9: Diagrama de Bloques; a. Transmisor; b. Receptor.....	30
Figura 2.10: Tiempo de Sincronización de la Trama enlaces ascendente con Relación a la de enlace descendente.....	31
Figura 2.11: Comparación OFDMA y SC-FDMA con Modulación QPSK.....	33
Figura 2.12: Diagrama de Bloques; a. Transmisor; b. Receptor.....	34
Figura 2.13: Evolución HSPA.....	36
Figura 3.1: Proceso General de Planificación de una Red Inalámbrica.....	40
Figura 3.2: Dimensionamiento de la Red LTE. Elaborado por autor.....	43
Figura 3.3: Zona de Cobertura.....	45
Figura 3.4. Relación entre la velocidad de bits (T) y la SNR.....	48
Figura 3.5: Ejemplo Bloques de Recursos Disponibles.....	49
Figura 3.6: Ubicación de las células. Elaborado por autor.....	53
Figura 3.7: Sectores donde no tiene cobertura. Elaborado por autor.....	56
Figura 4.1: interferencia inter-celular.....	60
Figura 4.2: Pérdidas por Trayectoria.....	61
Figura: 4.3: Solapamiento entre células.....	61
Figura 4.4: EL BLER vs SNR según el CQI.....	62

RESUMEN

El presente trabajo explica detalladamente el funcionamiento de la tecnología LTE, su arquitectura, interfaces de comunicación, esquemas de modulación soportados, las diferencias entre sus interfaces de enlace ascendente y descendente y demás características principales.

Se diseña una red pequeña de tráfico medio para una zona de 20Km² en el norte de Guayaquil en la cual se parte de lo básico y mediante cálculos matemáticos se va deduciendo poco a poco la forma de la red, eligiendo los parámetros necesarios como la asignación de frecuencia y ancho de banda del canal, hasta llegar a un cluster de 7 células que cubre más del 90% de la zona delimitada. Se realizan los cálculos necesarios para obtener las capacidades de los canales ascendente y descendente, demostrando así su superioridad frente a redes 3G.

Se realiza la simulación por medio de un aplicativo basado en MATLAB llamado LTE Simulator Toolbox v1.6 para predecir el comportamiento radioeléctrico de la red diseñada, verificar si los datos obtenidos analíticamente coinciden con los simulados y observar de las gráficas obtenidas para un buen análisis. Se estudia los resultados para verificar si conviene o no reubicar células o cambiar parámetro alguno con el fin de maximizar el funcionamiento de la red mientras se mantienen las mismas tasas de transmisión de bits por usuarios.

ABSTRACT

This paper explains in detail the operation of LTE technology, its architecture, communication interfaces supported modulation schemes, the differences between their interfaces uplink and downlink and other key features.

A small network of average traffic is designed for an area of 20km² in northern Guayaquil in which we start on the basics concepts and using mathematical calculations is going deducting gradually form the network, selecting the required parameters such as assigning frequency and bandwidth of the channel, up to a cluster of 7 cells that covers over 90% of the defined area. The calculations are performed to obtain the capabilities of the upstream and downstream channels, demonstrating their superiority over 3G networks.

The simulation is performed using a MATLAB-based application named LTE Simulator Toolbox v1.6 for predicting the behavior of the radio network designed to verify whether the data obtained analytically match to the simulated and observed the graphs obtained for a good analysis. The results are studied to verify whether or not to relocate or change any parameter cells in order to maximize network performance while the same bit rates are maintained per user.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La telefonía celular se ha convertido en la actualidad en el principal medio de comunicación inalámbrico, debido al gran avance que se ha visto en los últimos años las operadoras de telefonía celular se ven obligadas a proporcionarnos diversos y mejores servicios de calidad.

En la actualidad la combinación de redes de segunda y tercera generación permiten comunicaciones de voz y datos muy buenas. Pero la demanda actual exige un servicio con mejores velocidades de transmisión que no conseguimos con las redes 3G. Es por eso que se ha dado paso a las redes Long Term Evolution (LTE) las cuales forman parte de la cuarta generación (4G) en la telefonía celular. Estas no solo mejoran la tasa de transmisión de datos, sino que proporcionan baja latencia facilitando las aplicaciones en tiempo real.

Para aplicar las redes LTE en nuestro país es necesario realizar una simulación de la mismas y verificar su funcionamiento y trabajo con las redes desplegadas actualmente. En internet hay disponibles muchos software, con o sin licencia, que permiten realizar una correcta simulación y ver su trabajo junto con otros tipos de redes bajo nuestras condiciones.

1.2. ANTECEDENTES.

Si comparamos los servicios de telefonía celular de países extranjeros con los nuestros, es fácil darnos cuenta de la ventaja que nos llevan, En naciones desarrolladas sus operadoras apuestan al uso de tecnologías nuevas, implementándolas rápidamente y ofreciendo servicios de óptima calidad. Como ejemplo nombramos a T-Mobile y Vodafone en Europa, las cuales varios años atrás ya se encuentran dando servicios mediante LTE. En Ecuador tenemos 3 operadoras de las cuales solo una de ellas posee el permiso necesario para la implementación de esta tecnología (ver anexo 1). CNT EP es la operadora que tiene los permisos y la tecnología desplegada,

pero con cobertura limitada, para ofrecer conexiones mediante LTE. Sin embargo muchas son los usuarios que desconocen en su totalidad los beneficios y de este nuevo estándar que nos acerca a la 4G.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las redes celulares de tercera generación proveen servicios con algunas limitaciones. La gran afluencia de usuarios y las nuevas aplicaciones interactivas ven necesario la mejora de estos estándares para proporcionar óptimos servicios, gran transmisión de datos con bajos retardos y alta confiabilidad. Es fundamental la implementación de nuevas tecnologías que conjuntamente con las anteriores, satisfagan la demanda actual en nuestro país y particularmente en la ciudad de Guayaquil.

1.3.1. Delimitación del problema.

Necesidad de brindar mejores servicios en la telefonía celular, aplicando tecnologías nuevas para mejorar las redes actuales, haciendo que funcionen conjuntamente sin reemplazar una a otra.

1.3.2. Justificación.

Muchas personas que a diario utilizan los servicios de telefonía móvil desconocen de los avances de ésta. He ahí la razón por lo que se ve conveniente exponer al público, las características, aplicaciones y servicios que proporciona LTE.

Otra razón es infundir e incentivar a alumnos y profesores de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil la investigación en nuevas tecnologías en el área de las redes inalámbricas, por lo que se deja a disposición de sus docentes y estudiantes LTE Simulator para el libre uso, estudio y modificación en su formación académica.

1.4. OBJETIVOS.

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se plantearon los siguientes objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Diseñar, analizar y desarrollar una red celular LTE apoyándose en Matlab 7.8 junto con LTE Simulator Toolbox como ayuda, para el completo entendimiento de las redes LTE mostrando sus principales características, fortalezas y debilidades, bajo condiciones específicas.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Diseñar un cluster LTE de 7 células de tráfico medio en el norte de la ciudad de Guayaquil y analizar su comportamiento.
- Simular bajo parámetros establecidos, la red diseñada para así aumentar su eficiencia.
- Mostrar la factibilidad del despliegue de una red LTE en Ecuador.
- Investigar acerca de la operación de las redes LTE en otros países y verificar si su funcionamiento es correcto junto con las redes 2G y 3G

1.5. HIPOTESIS.

La hipótesis planteada es que es necesaria la implementación de la tecnología LTE en Ecuador para satisfacer las necesidades de los usuarios móviles ya que LTE supera el rendimiento de las redes 3G desplegadas actualmente en aspectos como: cobertura, velocidad de transmisión, flexibilidad y latencia. El diseño y simulación de una red celular con tecnología LTE es fundamental en este estudio la cual se intenta demostrar mediante Matlab y LTE Simulator Toolbox.

CAPÍTULO 2

2.1. TELEFONÍA MÓVIL

La estructura del sistema celular está basada en la interconexión de unidades móviles a través de una red de estaciones base repartidas en un área geográfica las cuales mantienen una comunicación entre sí y con redes externas. (Figuroa de la Cruz, 2008).

Entre las principales características de una red celular:

- Movilidad: acceso a la información en cualquier lugar donde se encuentra el usuario, sólo limitado por la cobertura de la red.
- Velocidad de Instalación y Simplicidad: eliminan la necesidad de cables a través de paredes y techos.
- Flexibilidad: permite cambios de topologías fácilmente y alcanzar sitios donde la tecnología cableada no podría instalarse.
- Costo reducido: en aquellos sitios que requieran cambios de topologías frecuentes.
- Escalabilidad: las configuraciones de la red pueden cambiarse fácilmente y una red que inicialmente soportaba pocos usuarios puede extenderse a medida que se incorporan más usuarios, incluyendo nuevos dispositivos de interconexión, sin necesidad de preocuparse por las instalaciones de cables. (Wikispaces Classroom, 2011)

La Base Station Transceiver (BTS), llamada también estación base, controla la conexión vía radio de los terminales móviles y permite tener localizados a los suscriptores dentro de la red. La central de conmutación realiza la comunicación entre unidades móviles y/o con redes externas.

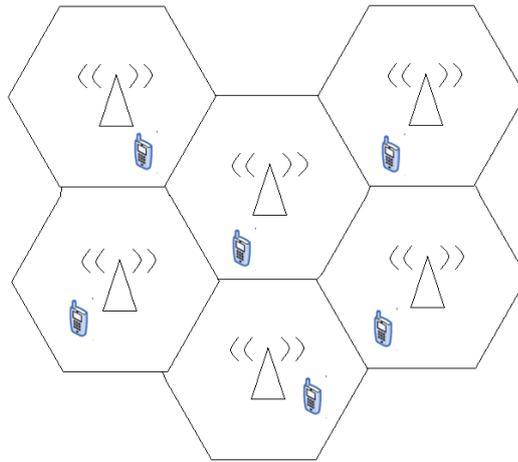


Figura 2.1: Esquema General de una Red celular.
Fuente: Elaborado por autor

Un sistema celular divide su zona de aplicación en áreas más pequeñas llamadas células, para tema de diseño se consideran de forma hexagonal, la cobertura de cada una de ellas depende de la radiación de la BTS. El conjunto de células son llamadas clusters, los cuales varía su tamaño de acuerdo a la cantidad de células presentes. (Figura 2.1).

El número de canales de radio disponibles se distribuye en el grupo de células de manera que la distribución se repite en toda la zona de cobertura. Así el espectro de frecuencias puede volver a ser reutilizado eficientemente en todas las células, siempre teniendo cuidado de evitar las interferencias entre las células próximas (Figueroa de la Cruz, 2008).

Los elementos principales de una red celular básica (figura 2.2) incluyen el MSC (Mobile Switching Center), BSC (Base Station Controller) y las BTS.

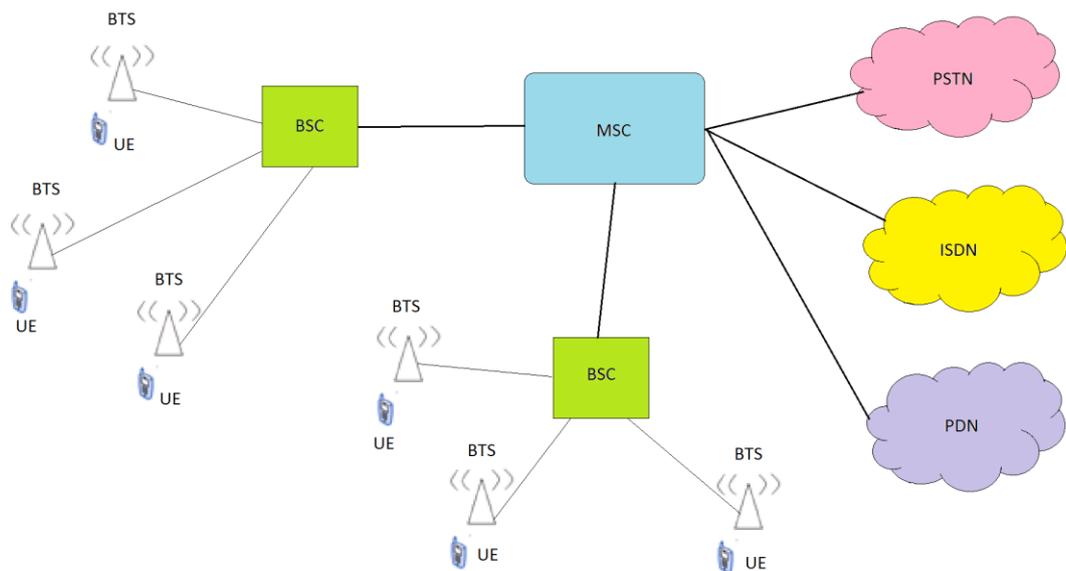


Figura 2.2: Elementos Principales de una Red Celular.
Fuente: Elaborado por autor.

Las estaciones base, como ya se dijo anteriormente, provee la interfaz aérea necesaria para que haya conectividad entre este elemento y los respectivos terminales móviles (UE), comprende un transceptor de radio, amplificador de potencia, planta de alimentación y antenas. El controlador de estación base BSC es el conjunto de equipos y materiales que permiten la conectividad entre BTS, permite la administración de la red radial, por ejemplo el control de radio frecuencias. El centro de conmutación móvil MSC controla y administra las BSC, proporciona la conectividad con diferentes sistemas (PSTN, ISDN, etc). Tiene el Registro de Ubicación de Usuarios Locales (HLR) realiza el monitoreo de operaciones y también la tasación.

2.2. EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL

2.2.1. Primera Generación (1G)

La primera generación de telefonía móvil basaba su funcionamiento en comunicaciones analógicas y dispositivos terminales muy grandes. Los primeros estándares que la conformaron son:

- AMPS (Sistema telefónico móvil avanzado): Presentado en USA. El primer estándar conocido para esta tecnología. Fue utilizada por América, Rusia y Asia.
- TACS (Sistema de comunicaciones de acceso total): Versión europea del modelo AMPS. Esta tecnología, en su tiempo fue muy usado en Japón, Hong Kong e Inglaterra, utilizaba la de 900 MHz.
- ETACS (Sistema de comunicaciones de acceso total extendido): Es una versión mejorada de TACS desarrollado en Inglaterra, se caracterizaba por utilizar una gran cantidad de canales de comunicación.

2.2.2. Segunda Generación (2G)

El paso de 1G a 2G es marcado por un gran avance al cambiar su tecnología de analógica a digital, por lo que esto dejó obsoleta a la primera generación. Los principales estándares de telefonía móvil de 2G son:

- GSM (Sistema global para las comunicaciones móviles): Considerada la tecnología más usada en Europa a fines de siglo XX, también aplicada en Estados Unidos. Utiliza las bandas de frecuencia de 900 MHz y de 1800 MHz en Europa. No obstante, en Estados Unidos la banda de frecuencia utilizada es la de 1900 MHz.
- CDMA (Acceso múltiple por división de código): Utiliza una técnica de espectro ensanchado que permite transmitir una señal de radio a través de un extenso rango de frecuencias.
- TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo): Emplea una técnica de división de tiempo de los canales de comunicación para aumentar el volumen de los datos que se transmiten simultáneamente. Esta tecnología se usa, principalmente, en el continente americano, Nueva Zelanda y en la región del Pacífico asiático (Kioskea -Telefonía Móvil, 2013).

Debido al gran avance de la 2G, es posible transmitir voz y datos digitales de bajos volúmenes, por ejemplo: mensajes de texto (SMS) o

mensajes multimedia (MMS). El estándar GSM permite una velocidad de datos máxima de 9,6 Kbps, aunque se han realizado ampliaciones y progresos al estándar GSM con el fin de mejorar el rendimiento, una de esas es el servicio GPRS (Servicio general de paquetes de radio) que permite velocidades de datos teóricas en el orden de los 114 Kbps pero con un rendimiento cercano a los 48 Kbps en la práctica. Como esta tecnología no se encuentra dentro de la categoría 3G, se refieren a ella como 2.5G.

El estándar EDGE (Velocidades de datos mejoradas para la evolución global) anunciado como 2.75G, supera hasta 4 veces más el rendimiento de GPRS, con una tasa de datos teóricos de 384 Kbps, por lo tanto, admite aplicaciones de multimedia. En realidad, el estándar EDGE permitía velocidades de datos teóricas de 470 Kbps pero ha sido limitada para cumplir con las especificaciones IMT-2000 de la ITU (Kioskea.net, 2013).

2.2.3. Tercera Generación (3G)

Las especificaciones IMT-2000 la Unión internacional de telecomunicaciones (ITU) definieron la 3G. Las características más importantes son:

- Alta velocidad de transmisión de datos :
 - 144 Kbps para uso móvil.
 - 384 Kbps para uso de peatones.
 - 2 Mbps para uso fijo.
- Compatibilidad mundial.
- Flexibilidad de los servicios móviles de 3G que permiten la interacción con las redes de segunda generación.

La 3G ofrece velocidades de datos de más de 144 Kbps brindando la capacidad para usos multimedia, por ejemplo: acceso a internet, videoconferencias, transmisión fotos y otros tipos de archivos. 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 relevante que se usa en Europa es UMTS y emplea codificación W-CDMA la cual usa un ancho de

banda de 5 MHz para transferir voz y datos con una tasa de velocidad que va desde los 384 Kbps a los 2 Mbps.

El HSDPA (Acceso de alta velocidad del paquete de enlace descendente) es un protocolo de telefonía móvil integrado a la tercera generación, apodado 3.5G, debido a que puede alcanzar velocidades teóricas de datos en el orden de los 8 a 10 Mbps en enlace descendente. La tecnología HSDPA usa la banda de frecuencia de 5 GHz y codificación W-CDMA (Figuroa de la Cruz, 2008)

A continuación se muestra una tabla resumen:

Estándar	Generación	Descripción	Rendimiento	promedio
GSM	2G	Transmisión de voz o datos digitales de bajo volumen	9.6 Kbps	9.6 Kbps
GPRS	2.5G	Transmisión de voz o datos digitales de volumen moderado	21.4 a 171.4 kbps	48 kbps
EDGE	2.75G	Transferencia simultánea de voz y datos digitales	43.2 a 345.6 kbps	171 kbps
UMTS	3G	Transferencia simultánea de voz y datos digitales a alta velocidad	0.144 a 2 Mbps	384 kbps

Tabla 2.1: Resumen de Tecnologías 2G y 3G.
Fuente: Elaborado por Autor.

2.3. INTRODUCCIÓN A LTE

La tendencia que está marcando la evolución tecnológica de las comunicaciones móviles son básicamente dos aspectos, el primero el asombroso incremento del uso de internet y la proliferación de las redes de datos inalámbricas. Bajo esta misma línea ha nacido un sinfín de nuevos servicios, que antes eran soportados únicamente por redes fijas, tales como servicios de: videoconferencia, videostreaming, redes sociales, juegos en red, entornos virtuales, entre otros, consecuencia de esto el incremento

exponencial del tráfico de datos que demanda cada vez capacidades superiores a las que ofrecen las redes móviles actuales.

En vista de esto, los operadores sienten la necesidad de implementar nuevas tecnologías que puedan hacer frente a este aumento de tráfico; y que además no represente costos extremadamente altos para los usuarios finales. Impulsada por esta tendencia se origina lo que se conoce como LTE y como lo que ya algunos denominan red 4G.

2.4. CARACTERÍSTICAS

LTE es definido en el reporte técnico No. 25.913 de 3GPP donde indica que sus principales objetivos son:

- Soportar una transmisión de banda ancha flexible que llega hasta los 20Mhz.
- Tasa de datos pico de 100Mbps (downlink) y de 50Mbps (uplink).
- Latencia menor a 10ms.
- Eficiencia de espectro mejorado 3 a 4 veces (uplink) y de 2 a 3 veces (downlink) con relación a HSPA.

Entre otras características importantes podemos nombrar que posee una arquitectura plana lo que minimiza el número de elementos de red. Permite la interacción con redes existentes como GSM y UMTS. Soporta la tecnología MIMO de antenas. LTE simplifica la planificación de la red, reduciendo al mínimo el requisito para la lista de redes vecinas planificadas manualmente.

2.5. ARQUITECTURA.

La arquitectura de LTE es también llamada SAE (System Architecture Evolution) en la cual se identifica 2 partes: EPC (Evolved Packet Core) y E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network), como se muestra en la figura 2.3.

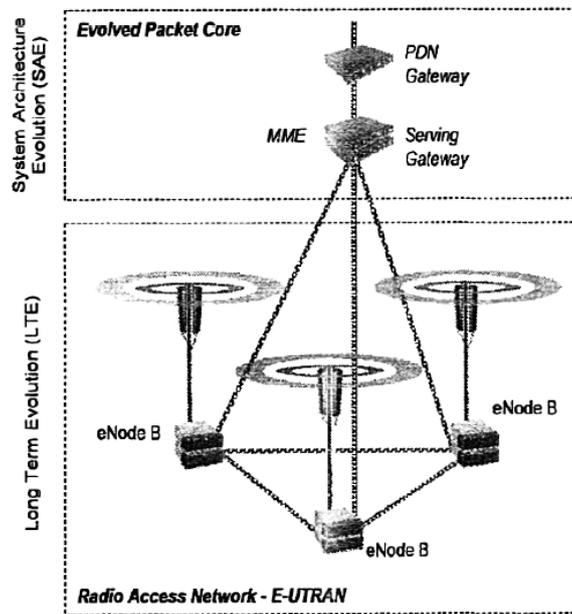


Figura 2.3: Arquitectura LTE
Fuente: Johnson, Cris; LTE in Bullets(2010)

Como se puede observar en la figura las BTS son consideradas eNodeB las cuales corresponden a todo el sistema de transmisión de radio. Estos se comunican con el EPC mediante el MME (Mobility Management Entity) para el control de la señalización y el Serving Gateway (SG) para los datos del plano de usuario. El SG se comunica con el PDN Gateway (pasarela de datos de paquetes de red) el cual permite la conectividad con redes externas.

2.6. INTERFACES.

Se llama interfaz a la conexión física y funcional entre dispositivos de una red la cual permite la comunicación en distintos niveles.

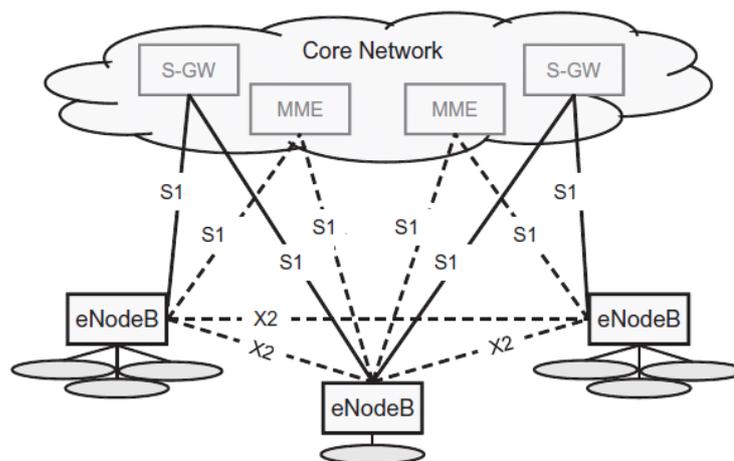


Figura 2.4: Interfaces Utilizadas por Elementos de Red
Fuente: Dahlman, Parkvall, & Skold; 4G LTE/LTE-Advance for Mobile Broadband (2011)

La interfaz S1 definida en la especificación 3GPP TS 36.410 permite la comunicación entre eNodeB y el EPC, ya que soporta el intercambio de la información de señalización. Es una comunicación lógica punto a punto entre los elementos mencionados usando diferentes tipos de comunicación física. Permite la integración entre equipos de diferentes proveedores de tecnología y hace el uso del S1 Application Protocol llamado SCTP (Stream Control Transfer Protocol).

X2 definida en la especificación 3GPP TS 36.420 es una interfaz abierta que permite la comunicación punto a punto con distintos eNB dentro de la E-UTRAN donde realiza el intercambio de información de señalización aun si no hubiera comunicación física directa entre ellas. Entre sus funciones tenemos la cancelación de los handovers, la liberación de los UE desde eNB de origen, coordinación de interferencia inter-celular, entre otros.(Dahlman, Parkvall, & Skold, 2011)

2.7. ANCHO DE BANDA DEL CANAL

Un listado de 6 anchos de banda del canal está especificado en 3GPP TS 36.101 y TS 36.104 tal como se ve en la tabla 2.2. Existen 12 subportadoras por cada bloque de recursos, por lo tanto dependiendo el ancho de banda se tendrá 12 x # bloques de recursos como número total de

subportadoras. Cada subportadora tiene un ancho de banda de 15kHz por lo que el total ocupado por estas será 15 KHz x # subportadoras. En el downlink se posee una subportadora nula ubicada en el centro, que no lleva información, lo cual significa que esta tendrá 15 KHz adicionales con respecto a las de uplink.

	Ancho de banda del canal (MHz)					
	1.4	3	5	10	15	20
Numero de bloques de recursos	6	15	25	50	75	100
Número de subportadoras	72	180	300	600	900	1200
Ancho de banda subportadora de uplink (MHz)	1.08	2.7	4.5	9	13.5	18
Ancho de banda subportadoradownlink (MHz)	1.095	2.715	4.515	9.015	13.515	18.015

Tabla 2.2: Anchos de Banda del Canal
Fuente: ETSI; 3GPP Standards (2012).

El total del ancho de banda ocupada por las subportadoras es menor al del ancho de banda del canal, esto es para proveer lo restante como banda de guarda.

2.8. BANDAS DE TRABAJO

En la publicación 8 de las especificaciones 3GPP para LTE incluye 19 bandas de frecuencia para FDD y nueve para TDD. Las bandas pareadas para el funcionamiento FDD se numeran de 1 a 21 (Tabla 2.3), mientras que las bandas no pareadas para la operación TDD están numerados 33 a 41, como (Tabla 2.4).

Banda	Rango Uplink (MHz)	Rango Downlink (MHz)	Región
1	1920-1980	2110-2170	Europa, Asia
2	1850-1910	1930-1990	Américas, Asia
3	1710-1785	1805-1880	Europa, Asia, Américas
4	1710-1755	2110-2155	Américas
5	824-849	869-894	Américas
6	830-840	875-885	Japón (solo para UTRAN)

7	2500-2570	2620-2690	Europa, Asia
8	880-915	925-960	Europa, Asia
9	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	Japón
10	1710-1770	2110-2170	Américas
11	1427.9-1447.9	1475.9-1495.9	Japón
12	698-716	728-746	USA
13	777-787	746-756	USA
14	788-798	758-768	USA
17	704-716	734-746	USA
18	815-830	860-875	Japón
19	830-845	875-890	Japón
20	832-862	791-821	Europa
21	1447.9-1462.9	1495.9-1510.9	Japón

Tabla 2.3: Bandas Pareadas para LTE.
Fuente: ETSI; 3GPP Standards (2012).

Las bandas 15 y 16 han sido incluidas para otros propósitos por lo que no han sido asignadas para LTE.

Banda	Rango de Frecuencia (MHz)	Región
33	1900-1920	Europa, Asia (no Japón)
34	2010-2025	Europa, Asia
35	1850-1910	Américas
36	1930-1990	Américas
37	1910-1930	-
38	2570-2620	Europa
39	1880-1920	China
40	2300-2400	Europa, Asia
41	2496-2690	USA

Tabla 2.4: Bandas no Pareadas para LTE.
Fuente: ETSI; 3GPP Standards (2012).

Algunas de las bandas de frecuencia son parcial o totalmente ocupadas. En la mayoría de los casos, esto se explica por las diferencias

regionales en cómo se implementan las bandas definidas por la ITU. Al mismo tiempo, se desea un alto grado de uniformidad entre las bandas para permitir la itinerancia global. El conjunto de bandas se había especificado primero como bandas para UTRA, con cada banda originaria de los acontecimientos globales, regionales y locales de espectro. El conjunto completo de bandas UTRA luego fue trasladado a las especificaciones de LTE en la publicación de 8 y otros adicionales se han agregado en versiones posteriores.

Bandas 1, 33 y 34 son las mismas bandas pareadas y no pareadas que se definieron por primera vez para UTRA en la publicación 99 de las especificaciones 3GPP, también llamada la "banda base" 2 GHz. La banda 2 se añadió más tarde para el funcionamiento en la banda PCS1900 en EE.UU. y la banda 3 para la operación 3G en la banda GSM1800. Las bandas no pareadas 35, 36, y 37 también se definen para los rangos de frecuencia PCS1900, pero no se despliegan en cualquier lugar hoy en día. Banda 39 es una extensión de la banda no pareada 33 de 20 a 40 MHz para uso en China.

2.9. CALIDAD DEL SERVICIO (QoS)

La calidad de servicio es la que permite a los distintos usuarios ser diferenciados. Los usuarios "Premium" tienen prioridad a los usuarios básicos, así mismo se lo aplica en los servicios: servicios en tiempo real son priorizados sobre servicios de tiempo no real.

La importancia del QoS se da en momentos de mucha congestión. En una red no totalmente cargada de tráfico, sus usuarios gozaran de los servicios por igual. Cuando la carga de tráfico comienza a hacerse mayor, la QoS priorizará los usuarios y servicios que mantendrán su normal rendimiento mientras que otros disminuirán su normal desempeño.

Esto significa que QoS influye en las decisiones de control de admisión, en otras palabras, para garantizar el correcto rendimiento de los

usuarios y servicios, QoS podría impedir el funcionamiento de algunas conexiones si no hubiera los suficientes recursos en la red.

El QoS es aplicado entre el UE y PDN Gateway dentro de la red LTE, las portadoras EPS y E-RAB pueden ser categorizadas como Tasa de Bit Garantizada (GBR) y Tasa de Bits no Garantizada (Non-GBR).

QCI	Tipo de Fuente	Prioridad	Retraso de paquete estimado (ms)	Tasa de error de paquetes	Ejemplos de Servicios
1	GBR	2	100	10^{-2}	Llamada de voz
2		4	150	10^{-3}	Video llamada (streaming en vivo)
3		3	50		Juegos en tiempo real
4		5	300	10^{-6}	Video (bufferedstraming)
5	Non-GBR	1	100		Señalización IMS
6		6	300		Video (bufferedstraming) basado en TCP
7		7	100	Voz, video, juegos interactivos (streaming en vivo)	
8	Non-GBR	8	300	10^{-6}	Video (bufferedstraming) basado en TCP
9		9			

Tabla 2.5: QoS Estandarizado con Características Asociadas a cada QCI
Fuente: Johnson, Cris; LTE in Bullets (2010).

El identificador de clase de calidad de servicio (QCI) es un puntero de una lista de características estandarizada para determinar QoS, como se puede observar en la Tabla 2.5.

2.10. INTERFAZ AEREA ENLACE DESCENDENTE.

2.10.1. Acceso Múltiple

Como ya se dijo anteriormente LTE utiliza Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal en su enlace descendente.

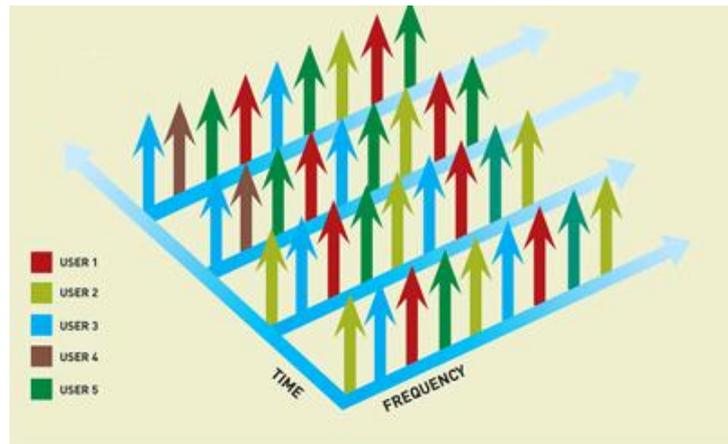


Figura 2.5: Funcionamiento OFDMA.
Fuente: MaximumPC(2011)

Una señal OFDMA está basada en un conjunto de subportadoras ortogonales. Los recursos son compartidos por la asignación de un grupo de subportadoras para cada usuario (Figura 2.5). Se dicen que son ortogonales, porque cuando se muestrea una subportadora en su apogeo, todas las subportadoras tienen amplitud cero. (Johnson, 2010)

Lo citado anteriormente podemos visualizarlo en la figura 2.6.a donde se muestra el espectro de una subportadora simple. El conjunto de subportadoras ortogonales se muestra en la figura 2.6.b

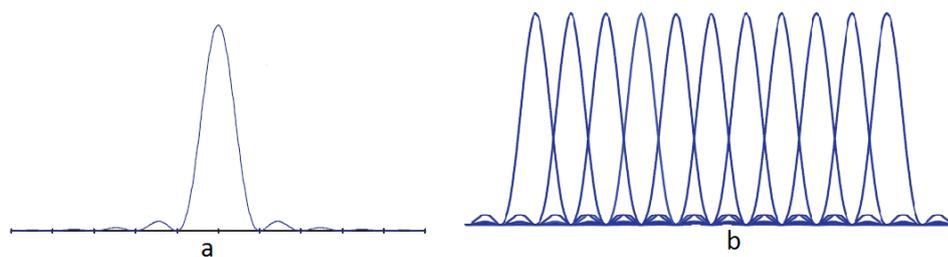


Figura 2.6: Espectro de una subportadora (a) y conjunto de subportadoras (b) OFDMA.
Fuente: Elaborado por autor.

Un beneficio significativo de OFDMA es su tolerancia al retardo de canal de propagación. Esto se debe a que los símbolos OFDMA en el dominio del tiempo tienen duraciones relativamente largas debido a que la

información es transferida en paralelo, a través de las subportadoras, en vez de en serie.

2.10.2. Estructura De La Trama

Para el análisis de la estructura de la trama la tomamos en cuenta el dominio del tiempo. En la especificación 3GPP TS 36.211 se define la estructura de la trama como una radio frame dividida en 20 time slots, donde 2 time slots = 1 subframe, como se ve en la figura 2.7.

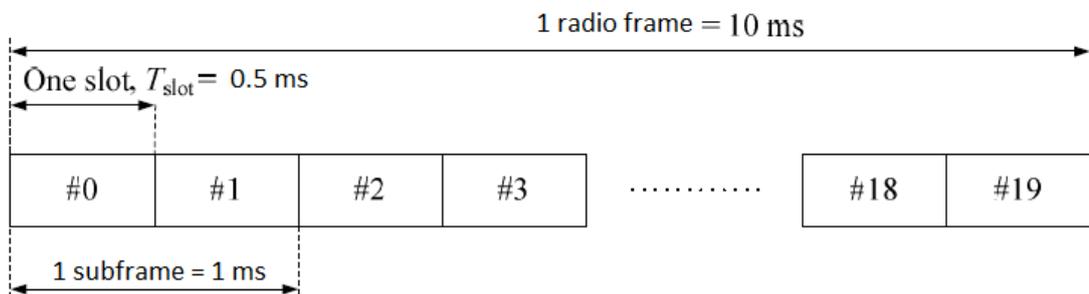


Figura 2.7: estructura de la trama LTE
Fuente: ETSI; 3GPP Standards(2012).

Al transmitirse las tramas son numeradas según su SFN (Sistema de Numeración de Tramas), el cual consta de una cadena de 10 bits los cuales proveen un rango de numeración desde 0 a 1023. La duración cíclica de SFN es de 10.24 segundos.

2.10.3. Prefijo Cíclico

El prefijo cíclico representa una banda de guarda que se sitúa al inicio de cada símbolo y provee protección contra el retraso de propagación multicamino. Representa un encabezado el cual es minimizado. La duración del prefijo debe ser mayor al retraso de propagación multicamino.

Existen 2 tipos: normal y extendido. Este último se lo usa en escenarios donde el retraso de propagación multicamino es mayor y por ende el prefijo cíclico extendido también debe serlo.

2.10.4. Bloques De Recursos

Un bloque de recursos representa la unidad básica para la interfaz aérea de LTE. Un bloque de recursos ocupa un time slot, 0.5 ms en el dominio del tiempo, aunque su análisis se lo hace en ambos dominios: tiempo y frecuencia. El time slot es dividido en 7 símbolos OFDMA cuando se usa prefijo cíclico normal, o 6 símbolos OFDMA cuando se usa prefijo cíclico extendido, como se ve en la figura 2.8. Se usa menos símbolos con el prefijo cíclico extendido porque este ocupa un gran porcentaje de los 0.5 ms del time slot. (Sesia, Toufik, & Baker, 2011)

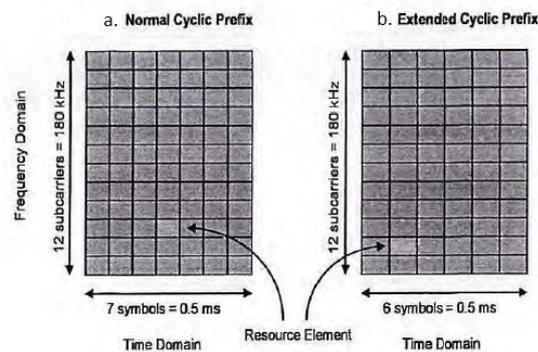


Figura 2.8: Bloque de Recursos.
Fuente: Johnson, Cris; LTE in Bullets (2010)

La cuadrícula generada por la subportadoras en el dominio de la frecuencia y los símbolos en el dominio del tiempo definen un conjunto de elementos de recursos. Un bloque de recursos tiene 84 elementos de recursos con prefijo cíclico normal y 72 con el extendido. En este simple elemento de recurso se aloja un símbolo de modulación, dando una tasa de 168 ksps con prefijo cíclico normal y 144 ksps con el extendido.

Ancho de banda del canal	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Bloques de Recursos en el dominio de la frecuencia	6	15	25	50	75	100
Subportadoras en el dominio de la frecuencia	72	180	300	600	900	1200
Ancho de banda de subportadora total (MHz)	1.095	2.715	4.515	9.015	13.515	18.015
Tasa de símbolos de modulación	1.008	2.52	4.2	8.4	12.6	16.8

con Prefijo cíclico Normal (Msps)						
Tasa de símbolos de modulación con Prefijo cíclico Extendido (Msps)	0.864	2.16	3.6	7.2	10.8	14.4

Tabla 2.6: Características de los Bloques de recursos en función del ancho de banda del canal.

Fuente: J. Salo, M. Nur-Alam, K. Chang, (2011).

2.10.5. Modulación

Un punto interesante en el entramado de LTE es que cada elemento de recurso puede tener un esquema de modulación distinto, por ejemplo un elemento de recurso puede tener símbolos de modulación QPSK mientras que el elemento adyacente puede tener símbolo de modulación 16-QAM o 64-QAM.

Por ejemplo podemos nombrar los canales físicos y sus distintos esquemas de modulación distintos presentados en la tabla 2.7.

Canal físico	Esquema de Modulación	Símbolos de modulación por segundo
PBCH	QPSK	2
PCFICH	QPSK	2
PDCCH	QPSK	2
PHICH	BPSK	1
PDSCH	QPSK, 16QAM, 64QAM	2, 4, 6
PMCH	QPSK, 16QAM, 64QAM	2, 4, 6

Tabla 2.7: Esquemas de Modulación Aplicados a los Canales Físicos del Enlace Descendente.

Fuente: J. Salo, M. Nur-Alam, K. Chang, (2011).

2.10.6. Transmisión Y Recepción

Para realizar un resumen de los procesos que acontecen durante la transmisión y recepción en el enlace descendente se ha elaborado un

diagrama de bloques en el que se explica paso a paso el proceso. (Ver figura 2.9)

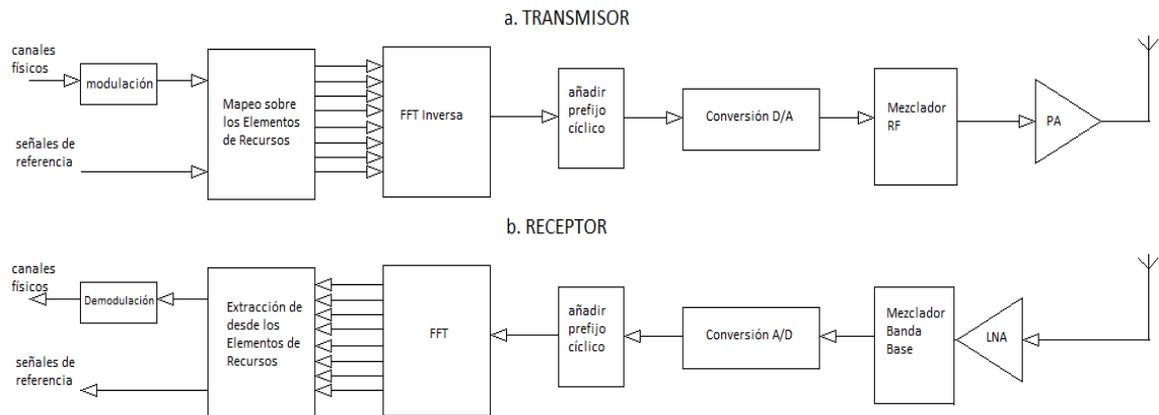


Figura 2.9: Diagrama de Bloques; a. Transmisor; b. Receptor.

Fuente: (Dahlman, Parkvall, & Skold, 2011)

2.11. INTERFAZ AÉREA ENLACE ASCENDENTE.

De la misma manera como se analizó la interfaz aérea de enlace descendente, se lo hará con la ascendente, dejando a un lado los conceptos ya tratados anteriormente.

2.11.1. Estructura De Trama Y Sincronización.

La radio frame de enlace ascendente tiene la misma estructura que la de enlace descendente como se mostró en la figura 2.8.

En este tema trataremos algo que no se vio en la otra interfaz que es el sincronismo de la trama (ver figura 2.10).

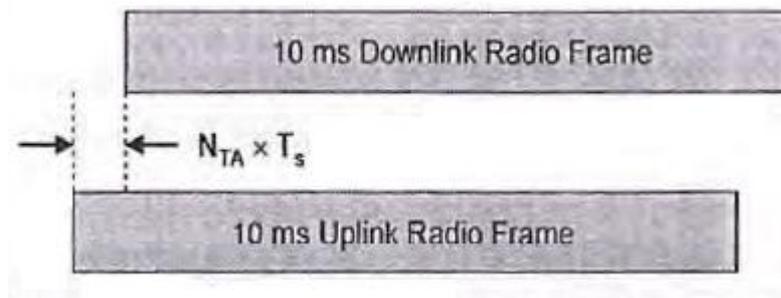


Figura 2.10: Tiempo de Sincronización de la Trama enlaces ascendente/descendente.
Fuente: (Sesia, Toufik, & Baker, 2011).

Cabe mencionar que T_s definida en la especificación 3GPP TS 36.211 como la unidad de tiempo cuyo valor es $T_s = 1/30.72 \mu s = 32.55 \text{ ns}$. N_{TA} puede tener un rango desde 0 a 20512 y si es multiplicado por T_s proporciona un tiempo máximo de avance de sincronización de 0.67 ms, lo que equivale a 200 Km. Esto nos representa la distancia ida y vuelta, por lo que deducimos que el alcance máximo de una célula es 100 Km. (Sesia, Toufik, & Baker, 2011)

El eNodeB genera instrucciones sobre el avance de sincronización para cada terminal de usuario de tal manera que todas las transmisiones uplinks son sincronizadas cuando llegan al eNodeB. Si los UE encuentran cercanos al borde de la célula, son avisados para usar un tiempo de sincronización largo, mientras se acercan a la célula esta le envía instrucciones para que reduzca el mismo.

2.11.2. Bloques De Recursos.

La estructura de los bloques de recursos de uplink es igual al downlink mostrado en la figura 2.9.

El eNodeB realiza la asignación de los bloques de recursos a los UE cuando estos permiten la transferencia de información. Estos también utilizan los mismos prefijos cíclicos (normal y extendido) según les convenga, teniendo 7 o 6 símbolos en el dominio del tiempo.

Ancho de banda del canal (MHz)		1.4	3	5	10	15	20
Bloques de recursos		6	15	25	50	75	100
Subportadoras		72	180	300	600	900	1200
Ancho de banda Total de Subportadoras (MHz)		1.08	2.7	4.5	9	13.5	18
Tasa de Símbolo de Modulación (Msps)	Prefijo Cíclico Normal	1.008	2.5 2	4.2	8.4	12.6	16.8
	Prefijo Cíclico Extendido	0.864	2.1 6	3.6	7.2	10.8	14.4

Tabla 2.8: Características de los Bloques de Recursos en Función del Ancho de Banda del Canal.

Fuente: (Sesia, Toufik, & Baker, 2011)

Una de las diferencias entre el enlace ascendente y descendente es que el primero no incluye la subportadora nula en el centro del ancho de banda del canal, reduciendo la totalidad del ancho de banda de la subportadora en 15KHz.

2.11.3. Acceso Múltiple.

Como ya se dijo anteriormente en el enlace descendente LTE utiliza OFDMA, pero un inconveniente de esto es que su relación de potencia pico/promedio (PAPR) es alta, esto se debe a la adición de grandes números de subportadoras. Un alto PAPR significa que los amplificadores de potencia tienen que operar con un mayor retroceso lo que conduce a una menor eficiencia. Reducción de la capacidad de energía tiene un impacto sobre las baterías de los dispositivos móviles. Esto ha resultado en un esquema de acceso múltiple diferente a ser seleccionado para la interfaz de enlace ascendente de LTE.

En OFDMA los símbolos se transmiten en paralelo mientras que en SC-FDMA los símbolos son enviados en serie a cuatro veces la velocidad. Como se puede observar en la figura 2.11 observamos que en OFDMA la señal luce como una multiportadora mientras que en SC-FDMA las señales juntas lucen como una sola portadora, de ahí su nombre. Esta característica hace que el PAPR sea menor por lo que representa menos consumo

energético y por lo tanto mejor para las condiciones del enlace ascendente. (Johnson, 2010)

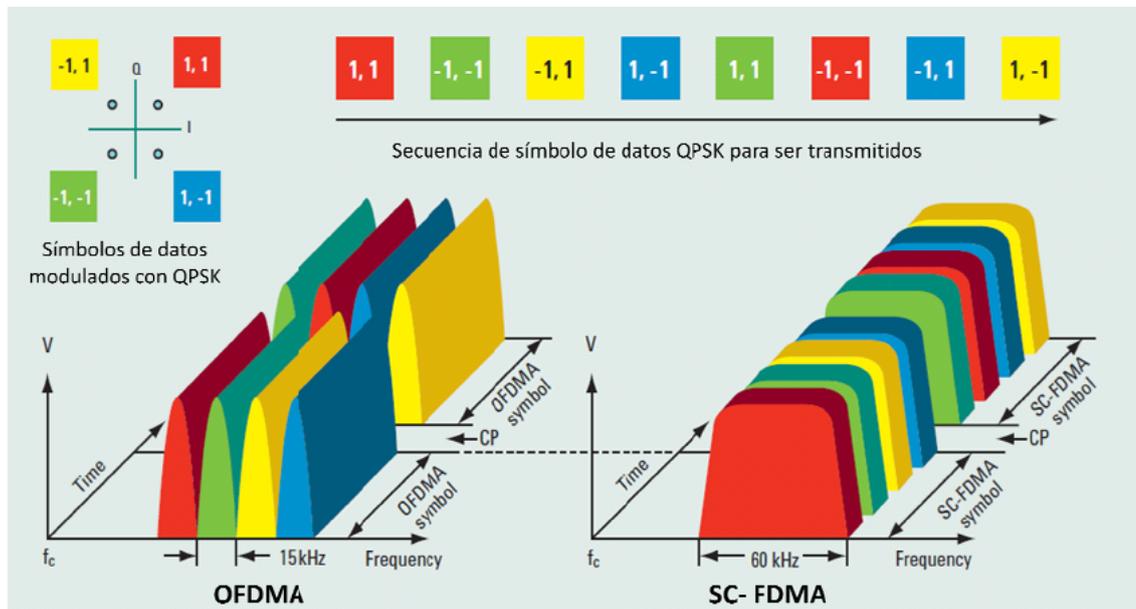


Figura 2.11: Comparación OFDMA y SC-FDMA con Modulación QPSK
Fuente: (IXIA-Company, 2009).

2.11.4. Modulación.

Al igual que en el enlace descendente cada canal físico puede tener su propio esquema de modulación como se puede observar en la tabla 2.9.

Canal físico		Esquema de modulación
PRACH		-
PUCCH	Formato 1	-
	Formato 1a	1 símbolo BPSK
	Formato 1b	1 símbolo QPSK
	Formato 2	10 símbolos QPSK
	Formato 2 ^a	10 símbolos QPSK + 1 símbolo BPSK
	Formato 2b	10 símbolos QPSK + 1 símbolo QPSK
PUSCH		QPSK, 16QAM, 64QAM

Tabla 2.9: Esquemas de Modulación Aplicados a los Canales Físicos.

Fuente: (Dahlman, Parkvall, & Skold, 2011)

2.11.5. Transmisión Y Recepción.

Al igual que en el enlace descendente, el receptor es lo inverso al transmisor como se observa en el diagrama de bloques (figura 2.12).

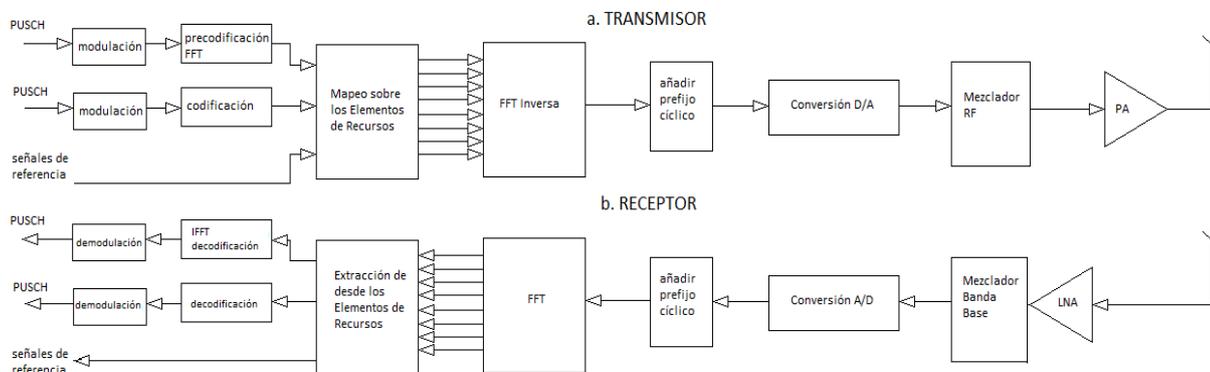


Figura 2.12: Diagrama de Bloques; a. Transmisor; b. Receptor.
Fuente: (Dahlman, Parkvall, & Skold, 2011).

En este caso la información que va en los canales físicos compartidos de enlace ascendente (PUSCH) el transmisor combina la precodificación FFT (ver anexo 3) junto con la FFT inversa para generar los símbolos SC-FDMA. El PUSCH recibido combina la función FFT con la decodificación FFT inversa para extraer el flujo de símbolos de modulación.

2.12. OTRAS TECNOLOGÍAS

2.12.1. HSPA +

HSPA + (High Speed Packet Access Plus) es también conocida como HSPA Evolution y Evolved HSPA se estandarizó en 3GPP Release 7 y ha continuado a través de a la versión 10. HSPA + se aplica algunas de las técnicas desarrolladas para Long Term Evolution(LTE) y permite a los operadores para extender la vida de sus redes HSPA.

Algunas proyecciones sitúan HSPA en más de 3,5 millones de abonados a finales de 2016. Había 478 despliegues comerciales de HSPA en 181 países, incluyendo 240 redes HSPA + a partir de octubre de 2012. Con la cobertura mayoritaria de HSPA existente en el mundo, HSPA + seguirá siendo mejorada a través del proceso de estándares 3GPP para

proporcionar una solución perfecta para los operadores que desean actualizar sus redes (4G Americas, 2008).

Algunas de las características clave de HSPA + son las siguientes:

- HSPA + es una simple actualización de las redes HSPA de hoy en día, lo que significa la protección de la inversión de un operador en la red.
- HSPA + proporciona una ventaja estratégica planificación de rendimiento para los operadores GSM-HSPA ya que proporciona un rendimiento - OFDMA equivalente en 5X5 asignaciones de espectro MHz lo cual indica que podría igualar, y posiblemente exceda las capacidades potenciales de rendimiento de IEEE 802.16e (WiMax móvil) en la misma cantidad de espectro.
- HSPA + aumenta significativamente la capacidad de HSPA, así como reducir la latencia inferior a 50 ms. En la figura 13 se puede observar un resumen de la evolución de HSPA.

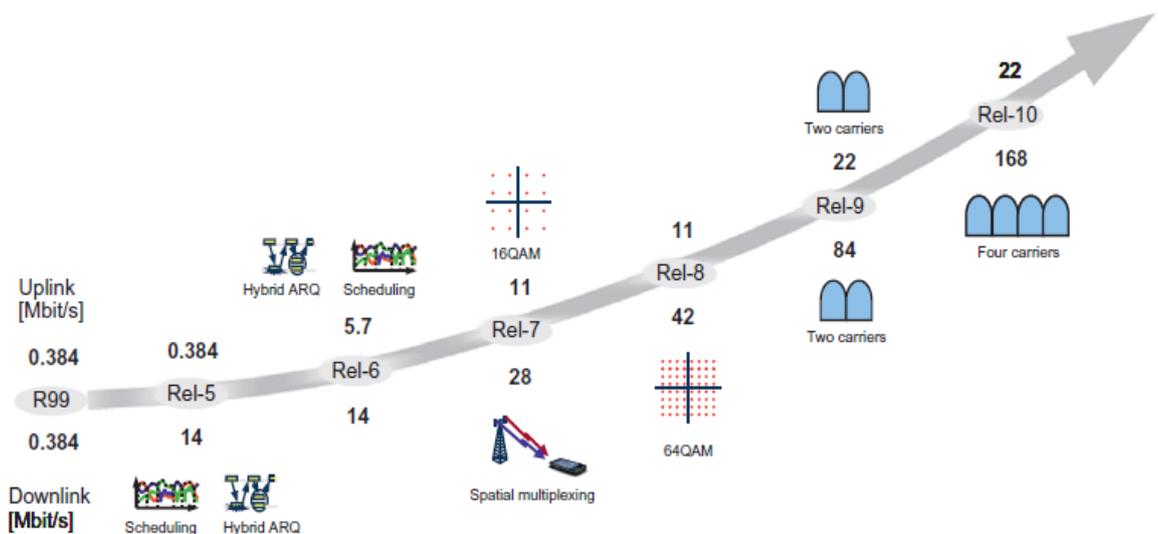


Figura 2.13: Evolución HSPA.
Fuente: (Dahlman, Parkvall, & Skold, 2011).

2.12.2. Wimax

Es la propuesta del IEEE estandarizado en la 802.16e-2005, la cual surgió como una alternativa potencial a la tecnología celular para redes inalámbricas de área amplia. Usando OFDMA en las redes de área metropolitana, WiMAX móvil ganó su mayor fuerza en los países en desarrollo como una alternativa inalámbrica fija para el despliegue de telefonía fija.

Soporta bandas de frecuencia licenciadas y no licenciadas entre 2 y 66 GHz, utilizando canales largos y típicamente de 28 MHz. Donde la tasa de transferencia de los datos es del orden de 130Mbps (4G Americas, 2008). Utiliza OFDMA lo cual facilita la transmisión simultánea de múltiples señales a través de cable o aire en diversas frecuencias; usa espaciamiento ortogonal de las frecuencias para prevenir interferencias multicamino. Además la utilización de OFDM permite operación sin línea de vista (NLOS). Anchos de banda de canal flexibles entre 1.5 y 20MHz para facilitar la transmisión de gran alcance y a diferentes tipos de plataformas de abonados. Además, esta flexibilidad de ancho de banda del canal también es crucial para la planificación de las celdas, especialmente en el espectro con licencia.

	802.16	802.16a	802.16e
Espectro	10GHz – 66GHz	2GHz – 11GHz	< 6GHz
Configuración	LOS	NLOS	NLOS
Velocidad de datos (Mbps)	34 a 134	≤ 70 o 100	Hasta 15 Mbps
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Movilidad	fijo	fijo	≤ 113 Km/h
Ancho de banda del canal (MHz)	20, 25, 28	1.25 - 20	5MHz

Tabla 2.10: Características IEEE 802.16
Fuente: (Inzarrualde, Isi, & Garderes, 2008)

2.13. VENTAJAS DE LTE FRENTE A HSPA+ Y WIMAX

2.13.1. LTE vs HSPA +

Una de las principales ventajas respecto a HSPA + es que se realiza planificación en frecuencia, es decir, se analiza el comportamiento del canal

y se asigna a los abonados aquellos bloques de recursos con mejores condiciones y desvanecimientos.

Este planificador permite hacer una adaptación rápida del enlace según las variaciones del canal, ajustando los esquemas de modulación y codificación para maximizar el rendimiento.

Otra ventaja supone la armonización de LTE con las redes existentes asegurando la interconexión entre las mismas, extendiendo la cobertura actual y permitiendo que una conexión de datos establecida por un usuario en el entorno LTE continúe aun cuando esta se desvanezca. Por su parte el operador móvil tiene la ventaja de desplegar la red LTE de forma paulatina, iniciando por áreas de gran demanda de servicios de banda ancha y ampliarla progresivamente en función de ésta.

Otro punto a favor con respecto a HSPA+ es que LTE consigue mayor eficiencia espectral y mucha mayor velocidad de respuesta al usuario.

- Ancho de banda variable, que permite la simplificación del proceso de reasignación de espectro a LTE.
- Menor latencia, tanto en la transferencia de datos como en señalización, permitiendo nuevos servicios interactivos que pueden ser del agrado del usuario como por ejemplo juegos en tiempo real.
- Mejor gestión de la calidad de servicio, porque se simplifica la parametrización de las distintas clases de QoS, y la calidad de servicio se controla desde la red.
- La red es de sólo paquetes, la voz se manejará como VoIP/ paquetes IP.

	HSPA +	LTE
Velocidad Máxima Downlink (Mbps)	28	100
Velocidad Máxima Uplink (Mbps)	11	50
Latencia (ms)	50	10
Técnica de Acceso Múltiple	CDMA	OFDMA/SC-FDMA

Tabla 2.11: Comparación LTE-HSPA+.
Fuente: Elaborado por Autor.

2.13.2. LTE vs Wimax

Wimax es un estándar abierto impulsado por el IEEE, sus versiones más actuales (802.16m) lo hace alcanzar velocidades equivalentes a LTE. Aun así tienes grandes diferencias que es necesario considerar. Su funcionamiento puede aplicarse en bandas licenciadas como en las no licenciadas. Esto hace que sea más fácil y barata su implementación.

Ambos utilizan OFDMA en enlace descendente, pero WiMax optimiza para obtener el máximo uso de canales de procesamiento de toda la información en un amplio canal. LTE utiliza acceso múltiple por división de frecuencia por portadora simple (SC-FDMA) para la señalización de enlace ascendente, mientras que WiMax se pega con OFDMA. Un problema con OFDMA, ya mencionado anteriormente, es su alta relación de potencia pico/promedio. Esto haría que los terminales consuman más energía.

“Se puede mejorar la eficiencia del 5 por ciento hasta un 50 por ciento simplemente cambiando esquemas de modulación, entonces usted puede ahorrar mucho tiempo de batería”, dijo Anders Nilsson, principal arquitecto del sistema multimodo especialista en Coresonic AB (Roja, 2012).

	802.16a	802.16e	LTE
Espectro	2GHz – 11GHz	< 6GHz	700 MHz - 2500MHz
Latencia (ms)	100	100	10
Velocidad de datos (Mbps)	≤ 70 o 100-130	Hasta 15 Mbps	≈100 Mbps
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Técnica de AccesoMúltiple	OFDMA	OFDMA	OFDMA/SC-FDMA
Ancho de banda del canal (MHz)	1.25 – 20	5	1.5, 3, 5, 10, 15, 20

Tabla 2.12: Comparación entre Wimax y LTE.
Fuente: Elaborado por Autor.

CAPÍTULO 3

3.1. PRE-PLANIFICACIÓN

En esta fase podemos ayudar en las evaluaciones de tecnología, diseños conceptuales, de licitación, selección de proveedores, presupuestos, instalación y configuración del proceso de organización. Los criterios de planificación de la red se utilizan como punto inicial para el dimensionamiento de la red. Como puntos básicos tenemos:

- Los requisitos de cobertura, el nivel de señal para al aire libre, en automóviles e interiores.
- Criterio de calidad de servicio en los bordes de la célula.
- Espectro de frecuencia, número de canales, incluyendo información acerca de posibles bandas de protección necesarias.
- La información del suscriptor, número de usuarios y figuras de tráfico crecimiento por usuario, el tráfico de hora pico, etc.
- Servicios esperados.



Figura 3.1: Proceso General de Planificación de una Red Inalámbrica
Fuente: (Mohamed, Farag, & Co., 2011)

3.2. PLANIFICACIÓN

La fase de planificación tiene pasos del proceso de dimensionamiento, la base de la configuración de la red inicial es un plano nominal. Un plano nominal es un escenario ideal, y en el mundo práctico puede aparecer una serie de limitaciones y restricciones.

El proceso de planificación interactúa con las autoridades, el proceso de adquisición de sitios, permisos, construcción y proceso de planificación de la transmisión. Está estrechamente relacionado con el proceso de optimización que proporciona retroalimentación para la planificación futura y por lo tanto mejora la calidad de la planificación en el tiempo. El objetivo de la fase de planificación de la cobertura es encontrar lugares óptimos para eNodeB's para construir una cobertura continua de acuerdo a los requisitos de planificación. En la fase de planificación de la capacidad del plan de cobertura final, incluyendo los sitios lugares se combina con la información de la densidad de usuarios, de esta manera la capacidad puede ser asignada. La salida de la fase de planificación son los planes de cobertura y capacidad finales y detalladas. Los mapas de cobertura se hacen para el área prevista y ubicaciones y configuraciones de sitios finales (Huawei Technologies Co.; LTE Cell Planning, 2013).

3.3. PLANIFICACIÓN DETALLADA

La fase de planificación detallada incluye la designación de frecuencia, planificación de parámetros de frecuencia en células vecinas. Para este caso, se usa un factor de reutilización de frecuencia 1 ya que es porque se quiere hacer uso de todo el ancho de banda en cada célula para alcanzar muy altas velocidades de bits. En la fase de planificación de parámetros es recomendable una configuración de parámetros asignada a cada elemento de la red. La planificación de radio es la responsable en asignar parámetros tales como el control del handover y control de potencia, así también como definir las áreas de localización y establecer los parámetros en consecuencia.

3.4. LIMITACIONES

Las limitaciones a los métodos de cálculo son las siguientes:

- Múltiple entrada múltiple salida (MIMO) se considera sólo para el enlace descendente y por un máximo de dos antenas.
- De control de potencia de bucle exterior en el enlace ascendente no se modela. El método se adapta y se desarrolló principalmente como un servicio de banda ancha móvil.
- Calidad de servicio (QoS) no es manejado por el método.

3.5. SUPOSICIONES

Cálculos para la cobertura y la capacidad se basan en los siguientes supuestos:

- Todo el equipo de usuario se supone que tiene dos antenas receptoras. Todos los bloques de recursos se transmiten con la misma potencia, incluyendo los datos del usuario, los canales de control y señal de control.
- La cobertura de los canales de control y señales de control es igual a la de los datos de usuario en los mismos niveles de potencia.
- Los canales y señales de control de la capa física están incluidos en la relación de señal a interferencia y ruido (SINR) para relaciones de velocidad de bits.

3.6. PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO

Los requisitos de red típica que conforman la entrada al dimensionamiento proceso son: área de cobertura, número de abonados, modelo de tráfico y rendimiento al borde de las células de enlace ascendente / enlace descendente. En la figura 3.2 se ilustra un proceso de dimensionamiento LTE que pueden ser seguidos para producir un conteo final de sitio que cumple con la cobertura de enlace ascendente y descendente y requisitos de capacidad. (Mohamed, Farag, & Co., 2011)

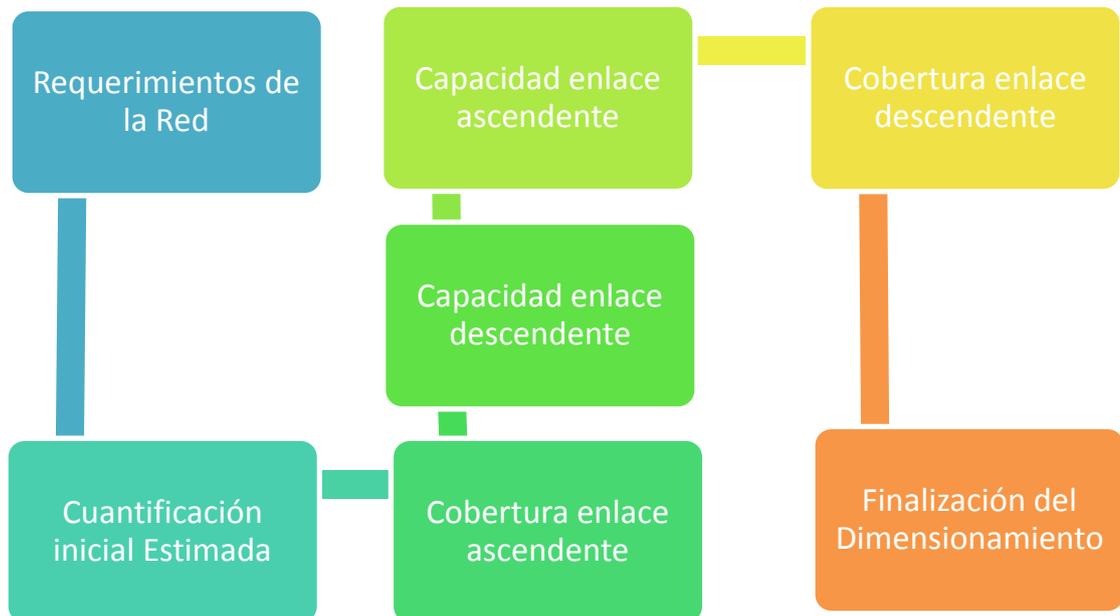


Figura 3.2: Dimensionamiento de la Red LTE.
Fuente: Elaborado por autor.

Para la finalización del rendimiento se tendrá: Cuantificación final del sector, rendimiento de la célula de enlace ascendente/descendente, el máximo rendimiento de usuarios de enlace ascendente y descendente.

Los cálculos de cobertura de enlace ascendente se llevan a cabo para determinar si la cuantificación inicial estimada sitio cumple con los requisitos de la red de enlace ascendente. Si no es así el conteo inicial se realiza nuevamente y los cálculos son realizados de nuevo. Una vez que la cuantificación inicial estimada y el rango de celdas cumpla con los requisitos de enlace ascendente se ha determinado se utiliza como entrada para los cálculos de cobertura del enlace descendente.

Los cálculos de cobertura de enlace descendente se llevan a cabo para asegurar que en el enlace se cumplen los requisitos de la red. Al igual que el enlace ascendente puede ser necesario un aumento si los requisitos de enlace descendente si no se cumplen con la cuantificación inicial estimada. Los cálculos de capacidad de enlace ascendente y descendente se realizan para proporcionar el rendimiento promedio de las células de

enlace ascendente/descendente y el máximo rendimiento de usuario que son las entradas a las tareas de subsiguientes para la dirección de NodeB y la red de transmisión.

3.6.1. Requerimientos de la Red.

Como ya se dijo anteriormente los requerimientos de la red son: la zona de cobertura, número de clientes, modelo de tráfico, rendimiento al borde de la célula de enlace ascendente.

3.6.1.1. Zona de Cobertura

La zona de cobertura destinada para el presente trabajo se ubica en la ciudad de Guayaquil, zona norte, los sectores comprendidos: Saucos, Guayacanes, Samanes etapas 1-6, Alborada XIII, Parque Samanes, Los Vergeles, urbanizaciones ubicadas a lo largo de la Av. Narcisca de Jesús como Acuarelas del Río, Metrópolis y parte del conjunto Mucho Lote 2. Como se puede observar en la figura 3.3.

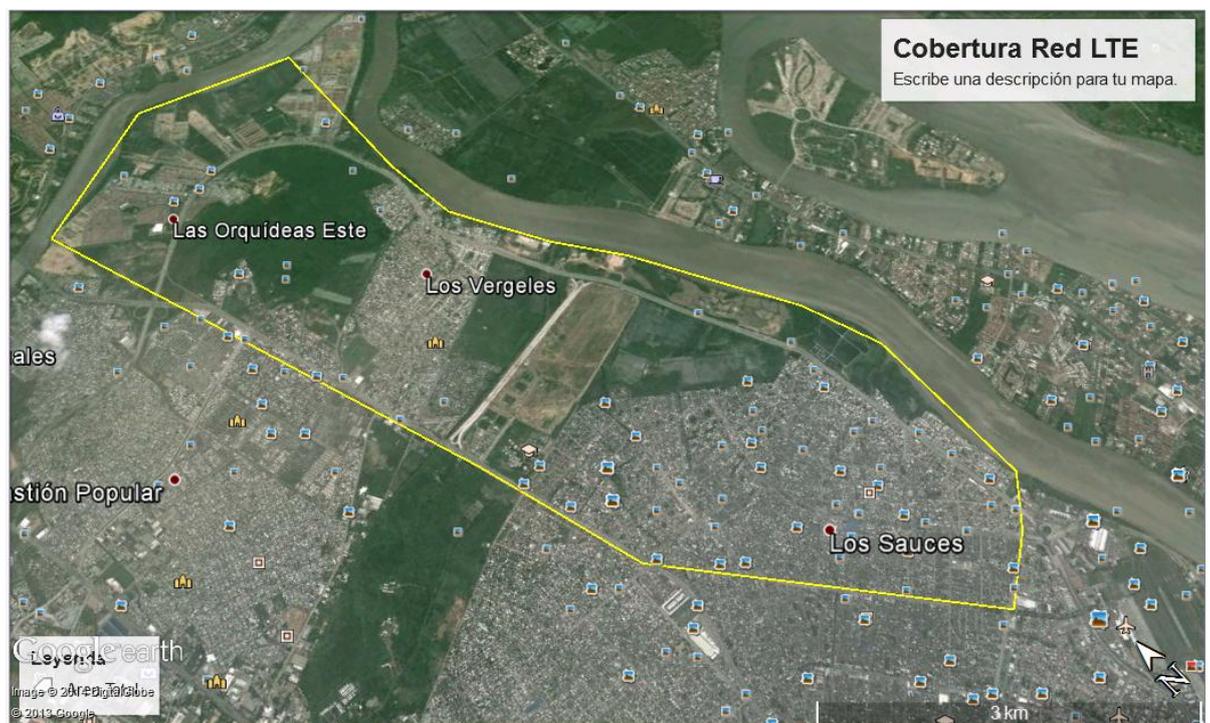


Figura 3.3: Zona de Cobertura.
Fuente: Google Earth

3.6.1.2. Número de Abonados.

El área total del área delimitada de color amarillo (figura 3.3) según Google Earth es de 22 Km². Se tiene que el cantón Guayaquil tiene una superficie de 344.5 Km² y una población de 2 350 915 (INEC, 2010). Por lo que su densidad poblacional es de 6824.1 hab/Km². Es decir si consideramos el área propuesta para el diseño, tenemos un total de 136482 habitantes, para la cual se considera que el 40% de ese conglomerado humano pueda acceder a los servicios de la red a diseñar. Por lo tanto el número total de abonados será de 54592.

3.6.1.3. Bandas de Frecuencia y Ancho del Canal

Una parte fundamental antes de realizar el dimensionamiento es definir la frecuencia en la que funcionará el sistema y el ancho de banda del canal a utilizar. Para este tipo de redes inalámbricas el Reglamento para la Prestación de Servicio Móvil Avanzado indica que las bandas disponibles son (CONATEL, Reglamento para la Prestación del Servicio Móvil Avanzado, 2002):

- 824 MHz a 849 MHz
- 869 MHz a 894 MHz
- 1710 MHz a 2025 MHz
- 2110 MHz a 2200 MHz

Por lo tanto se eligió la banda 824MHz – 849MHz para el enlace ascendente y 869 MHz – 894 MHz para el enlace descendente.

3.6.1.4. Modelo de Tráfico

El modelo de tráfico que se tomó es uno que indica la relación entre la cantidad de información usada por el usuario durante un tiempo promedio en un mes. (Mohamed, Farag, & Co., 2011)

Si suponemos que hay 30 días al mes y el suscriptor promedio está activo durante 10 horas al día y desde allí 3.600 segundos en una hora y 8 bits en un byte, la cantidad de datos cargados por un abonado medio ($D_{sub,UL}$) en GB (Bytes $\times 2^{30}$) puede ser convertido al rendimiento de enlace ascendente de abonado ($T_{sub,UL}$) en kbps utilizando la ecuación 1:

$$T_{sub,UL} = \frac{D_{sub,UL} * 2^{30} * 8}{30 * 10 * 3600 * 10^3} [\text{Kbps}] \quad (1)$$

Si $D_{sub,UL} = 300$ MB, aplicando la ecuación 1 se tiene que $T_{sub,UL} = 2.38$ Kbps

3.6.1.5. Rendimiento al Borde de la Célula de Enlace Ascendente.

El rendimiento de células de enlace ascendente ($T_{CELL, UL}$) En kbps se puede calcular multiplicando el rendimiento de enlace ascendente por abonado ($T_{sub,UL}$) por el número de abonados servidos por la célula (N_{sub}) como se indica en la ecuación 2.

$$T_{Cell,UL} = T_{sub,UL} * N_{sub,UL} [\text{Kbps}] \quad (2)$$

Por lo tanto el valor de $T_{Cell,UL} = 130.26$ Mbps.

Cada célula de LTE también debe ser dimensionado para soportar un cierto rendimiento de enlace ascendente en el borde de la celda ($T_{req,UL}$) con una cierta probabilidad de cobertura. El número de los RB utiliza para apoyar este rendimiento es decidido por el eNodeB y es la fuente de la elevación del ruido de enlace ascendente en las células circundantes. Para el cálculo del aumento de ruido de enlace ascendente del número de despachos de soporte ($T_{req,UL}$) en las células de interferencia se conoce como (n''_{RB}). La velocidad de bits de enlace ascendente, requisito de cada uno de estos RB ($R_{RB,UL}$) se halla con la ecuación 3.

$$R_{RB,UL} = \frac{T_{req,UL}}{n''_{RB}} [\text{Kbps}] \quad (3)$$

Los valores que puede tomar n''_{RB} son desde 1 hasta el número con el apoyo del ancho de banda del canal (N_{RB}), menos el número reservado para PUCCH (n_{pucch}), siempre es un factor de 2, 3 o 5. Los valores de acotación típicos de $n''_{RB} = 2, 5$ y 10 .

Asumimos que el valor de eficiencia al borde de la célula es el 50% del $T_{Cell,UL}$ y el número disponibles de RB para este dimensionamiento será 2. Entonces $R_{RB,UL} = 3.9$ Mbps.

Para los formatos de transporte en LTE, la relación entre la velocidad de bits, T , y de señal a ruido (SNR), " γ " se determina en la figura 3.4.

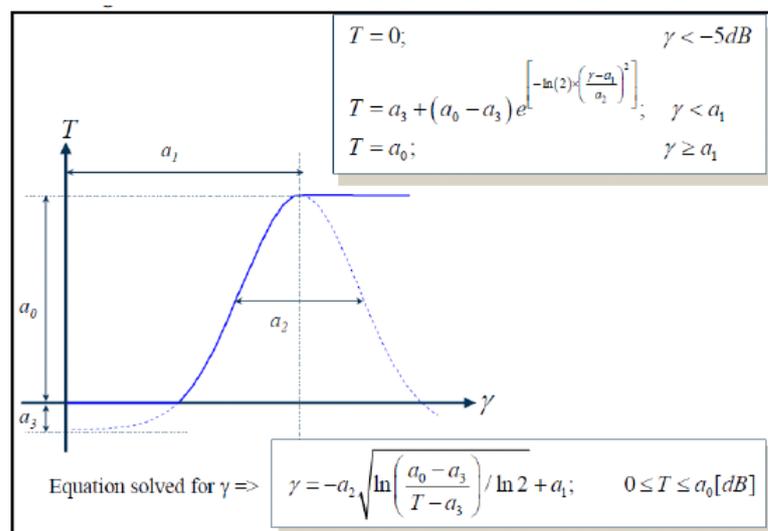


Figura 3.4. Relación entre la velocidad de bits (T) y la SNR.
Fuente: (Mohamed, Farag, & Co., 2011).

Donde los parámetros a_0, a_1, a_2 y a_3 tienen valores diferentes en función del modelo de canal y esquema de modulación. El parámetro a_0 representa la velocidad de bits máxima que pueda obtenerse en un bloque de recurso. Los valores de a_0, a_1, a_2 y a_3 están definidos según su perfil de propagación de canal (EPA, EVA, ETU) los cuales involucran otros factores como desplazamiento Doppler. (Tabla 3.1) En este diseño se consideró el EPA 5 y se obtuvo el valor de -20.9 db. (Motorola Inc.; LTE RF Planning Guide, 2011).

Perfil del Canal	EPA 5	EVA 5	EVA 70	ETU 300
a ₀	459.9	493.6	456.9	322.5
a ₁	20.76	20.98	20.91	20.15
a ₂	13.28	13.08	13.74	12.41
a ₃	0	0	0	0

Tabla 3.1: Parámetros según el modo de canal.
Fuente: ETSI; 3GPP Standards,(2012).

El rendimiento de células de enlace ascendente de una celda LTE ($T_{Cell,UL}$) es igual al producto de la utilización del sistema o de la carga (Q_{UL}) la tasa de bits por RB ($R_{RB,UL}$) y el número de disponibles RB'S en el sistema de (n_{pucch}) como se ilustra en la fórmula en la ecuación 4 y figura 3.5.

$$Q_{UL} = \frac{T_{Cell,UL}}{R_{RB,UL}(n'_{RB} - n_{PUCCH})} \quad (4)$$

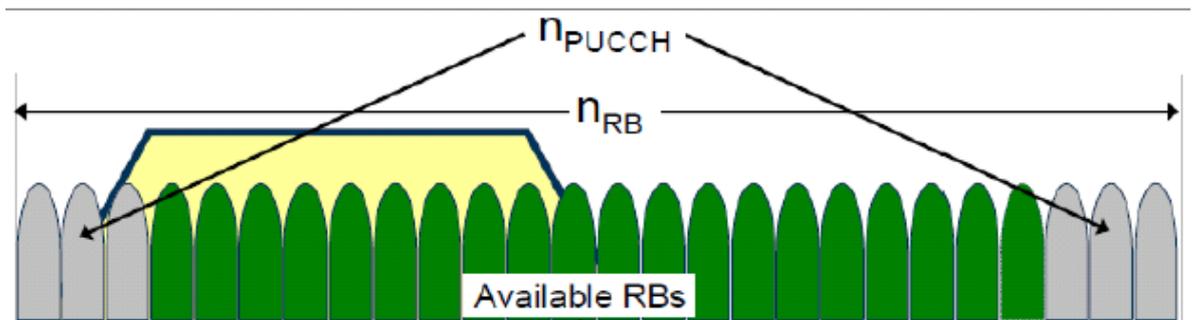


Figura 3.5: Ejemplo Bloques de Recursos Disponibles.
Fuente: (Mohamed, Farag, & Co., 2011)

Todos los RB's programan la producción de un rendimiento combinado igual a la carga del sistema de enlace ascendente. No todos los despachos están programados pero el rendimiento combinado de los que son es igual a la rendimiento de células de enlace ascendente ($T_{Cell,UL}$). Si

$Q_{UL} = 1$ significa que el sistema está cargado al 100%. Para este caso se calculó $Q_{UL} = 0.4$

Otro factor fundamental en el dimensionamiento de la red LTE es hallar el valor del margen de interferencia, el cual se da con la ecuación 5.

$$B_{IUL} = 10 \log(1/(1 - \gamma Q_{UL} F)) \text{ [db]} \quad (5)$$

Para este caso, $B_{IUL} = -8.35 \text{ db}$

La sensibilidad del eNodeB (S_{eNodeB}) es la señal mínima recibida que necesita para decodificar un RB en el enlace ascendente, la cual depende de la densidad de potencia de ruido térmico (N_t) la figura de ruido del eNodeB, el ancho de banda de cada RB. Como se puede observar en la ecuación 6.

$$S_{eNodeB} = N_t + N_f + 10 \log W_{RB} + \gamma \text{ [dbm]} \quad (6)$$

Donde:

$$N_t = -174 \text{ dbm/Hz}$$

$N_f = 2-3 \text{ db}$, dependiendo si el eNodeB posee un TMA (tower mounted amplifier)

$$W_{RB} = 180 \text{ KHz}$$

Realizando el cálculo respectivo se tiene que $S_{eNodeB} = -140.34 \text{ dbm}$

Entonces la relación de máxima pérdida por trayectoria está dada por la expresión:

$$L_{pmax} = P_{U, RB} - S_{eNodeB} - B_{IUL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CPL} - L_{BPL} + G_a - L_{JA} \text{ [dB]} \quad (7)$$

Donde:

$P_{U, RB}$ = Potencia por RB
 B_{LNF} = Desvanecimiento normal inicial.
 L_{BL} = Pérdidas por el cuerpo
 L_{CPL} = Pérdidas por automóviles
 L_{BPL} = Pérdidas por penetración de edificios.
 G_a = Ganancia de antenas.

Tipo de Pérdida	Descripción	Notación	Valor [dB]
Por el cuerpo	Dispositivo junto al cuerpo	L_{BL}	3
Por penetración automóvil	Automóvil totalmente cubierto	L_{CPL}	6
Por penetración de edificios	Urbano	L_{BPL}	18
	Suburbano		12
Por jumper y conectores	Pérdidas entre jumper y conectores		0.2
Desvanecimiento normal inicial	Urbano exteriores	B_{LNF}	6
	Urbano interiores		12
	Suburbano exteriores		8
	Suburbano interiores		10

Tabla 3.2: Tipos de Pérdidas.
 Fuente: (Motorola Inc.; LTE RF Planning Guide, 2011).

Realizando el cálculo considerando la zona como urbana, se tiene que $L_{pmax} = 127.39$ dB.

3.6.2. Cobertura Enlace Ascendente y Descendente

3.6.2.1. Modelos de Propagación.

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas usados para representar las pérdidas de propagación de ondas electromagnéticas en un ambiente dado (J. Salo, 2011).

Entre los diferentes modelos, el que más se ajusta a al escenario presentado es el modelo de Okumura – Hata, el cual es bueno para predecir pérdidas en ambientes urbanos. Como se muestra en la ecuación 8.

$$L_{path} = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log hb - a(hm) + (49.9 - 6.55 \log hb) \log R \quad (8)$$

Donde:

L_{path} = pérdidas por trayectoria.

hb = altura de la antena (30m - 200m)

hm = altura del móvil (1m-10m)

f = frecuencia central.

$a(hm)$ varía según la frecuencia y la zona.

Para este caso se tiene que $a(hm) = 3.2 (\log 11.75 hm)^2 - 4.97$

3.6.2.2. Radio de la Célula.

Ya teniendo todos nuestros valores base calculados, procedemos a seleccionar el tipo de modelo de propagación a utilizar para así poder predecir las pérdidas de propagación lo más exactas posibles. (Ortega, 2010)

Entonces si en la ecuación 8 reemplazamos las pérdidas de trayectoria (L_{path}) por las pérdidas máximas de trayectoria (L_{pmax}), calculadas anteriormente, podremos de esta forma hallar el radio de cobertura que tendrá una célula. Deducida en la ecuación 9.

$$R = \log^{-1} \left(\frac{L_{pmax} - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log hb + 3.2 [\log 11.75 hm]^2 - 4.97}{44.9 - 6.55 \log hb} \right) \quad [Km]$$

(9)

Si reemplazamos los valores tenemos que el radio de una célula $R = 1.16$ Km, por lo que aplicando cálculo geométrico para el diseño hexagonal de las células se tiene que el área de cobertura es de 3.495 Km².

Para calcular el número total de células a utilizar se realiza la relación entre el área total a cubrir y el área de una célula por lo que se tiene:

$$\# \text{ Células} = \frac{\text{área total}}{\text{área de 1 célula}} = \frac{20 \text{ Km}^2}{3.495 \text{ Km}^2} = 6.29 \text{ células}$$

Por lo tanto se usarán 7 células para la total cobertura del sector delimitado.

De esta manera podemos sectorizar las células, como se muestra en la figura 3.6 y localizar los puntos de los eNodeB en Google Earth con sus coordenadas exactas como se muestra en la tabla 3.3.

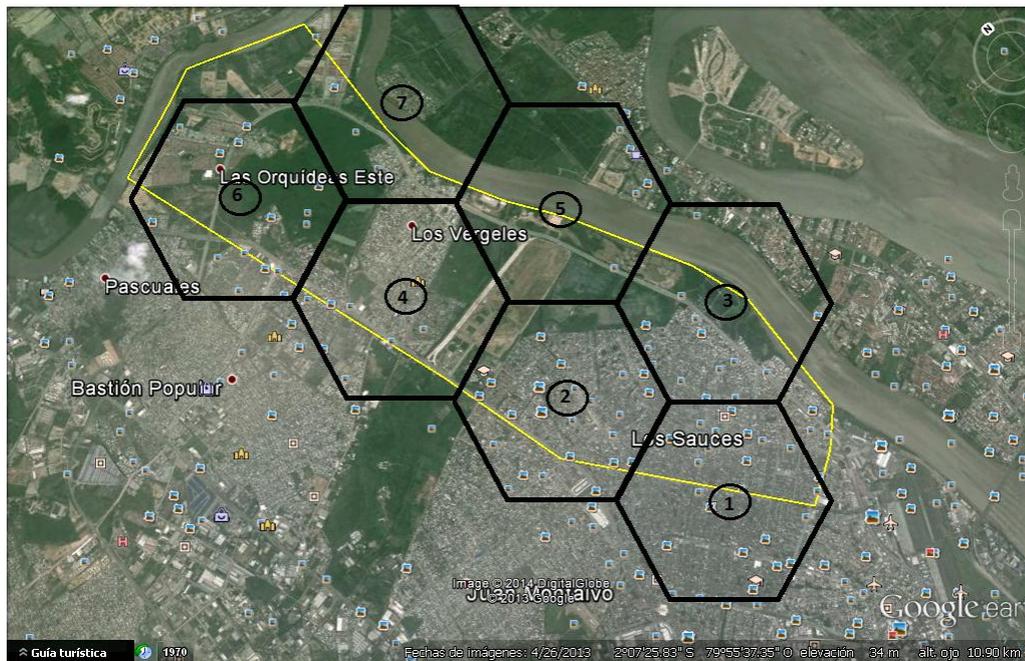


Figura 3.6: Ubicación de las células.
Fuente: Elaborado por Autor

No. eNodeB	Latitud	Longitud
eNB1	2° 8'13.10"S	79°53'52.87"O
eNB2	2° 6'53.84"S	79°54'7.04"O
eNB 3	2° 7'14.50"S	79°52'49.35"O
eNB 4	2° 5'55.80"S	79°53'15.69"O

eNB 5	2° 5'42.61"S	79°54'20.90"O
eNB 6	2° 4'18.26"S	79°54'43.45"O
eNB 7	2° 4'28.97"S	79°53'30.79"O

Tabla 3.3: Posición Geográfica de los eNodeB

Fuente: Google Earth

3.6.3. Capacidad Enlace Ascendente.

La tasa de bit correspondiente enlace ascendente por RB ($R_{RB,UL}$) se puede escalar con el número de bloques de recursos disponibles en el sistema ($n'_{RB} - n_{PUCCH}$) para producir la tasa de bits de usuario promedio por célula ($R_{avg,UL}$). El rendimiento de la celda de enlace ascendente ($T_{Cell,UL}$), Entonces se puede calcular multiplicando la tasa media de bits de usuario por celda ($R_{avg,UL}$) por la carga del sistema de enlace ascendente Promedio (Q_{UL}) como se muestra en la ecuación 11.

$$R_{avg} = \frac{R_{RB}(n_{RB} - n_{PUCCH})}{10^3} [\text{Mbps}] \quad (11)$$

Entonces el rendimiento de la celda de enlace ascendente:

$$T_{Cell,UL} = Q_{UL} * R_{avg} [\text{Mbps}] \quad (12)$$

Teniendo en cuenta que usando el ancho de banda de 10MHz se obtiene un total de 50 RB, tomando en cuenta la disponibilidad de 25 RB se tiene que $R_{avg} = 11.49$ Mbps.

3.6.4. Capacidad Enlace Descendente.

La tasa de bit correspondiente enlace descendente por RB ($R_{RB,DL}$) se puede hallar con el número de bloques de recursos disponibles en el sistema ($n'_{RB} - n_{PUCCH}$) para producir la tasa de bits de usuario promedio por célula ($R_{avg,DL}$). El rendimiento de la celda de enlace ascendente ($T_{Cell,UL}$), se halla de la misma manera que en el enlace ascendente.

$$R_{avg} = \frac{R_{RB}(n_{RB} - n_{PUCCH})}{10^3} [\text{Mbps}] \quad (11)$$

Entonces el rendimiento de la celda de enlace ascendente:

$$T_{Cell,DL} = Q_{DL} * R_{avg} \text{ [Mbps]} \quad (12)$$

La gran diferencia es la tasa de bits por RB la cual dependiendo del sistema multiantena puede ser desde 912 Kbps – 1583.8 Kbps (ETSI, 2012). Teniendo en cuenta que usando el ancho de banda de 10MHz se obtiene un total de 50 RB, tomando en cuenta la disponibilidad de 25 RB se tiene que $R_{avg} = 22.8$ Mbps.

3.6.5. Finalización del Dimensionamiento.

Para finalizar el dimensionamiento es necesario deducir ciertos parámetros para mejor entendimiento de la red.

3.6.5.1. Número de usuarios por célula

Como se observó en la figura 3.6, se realizó la sectorización de 7 células cada una con un área geométrica de 3.495 Km² por lo que la cantidad de subscriptores por célula sería 9540 (CAMPOS, 2013).

3.6.5.2. Área cubierta y no cubierta

Al realizar el diseño de la cobertura por parte de células hexagonales, se dedujo que 7 células bastarían para la cobertura del sector delimitado. Sin embargo podemos observar en la figura 3.6 que debido a la agrupación de las células, el cluster no es capaz de cubrir el sector en su totalidad y también brinda cobertura a sectores fuera de área asignada. En la figura 3.7 se tiene sombreada la zona que no tiene cobertura en el diseño la cual es de 2.55 Km². Lo cual significa que se tiene una cobertura del 91.33%.

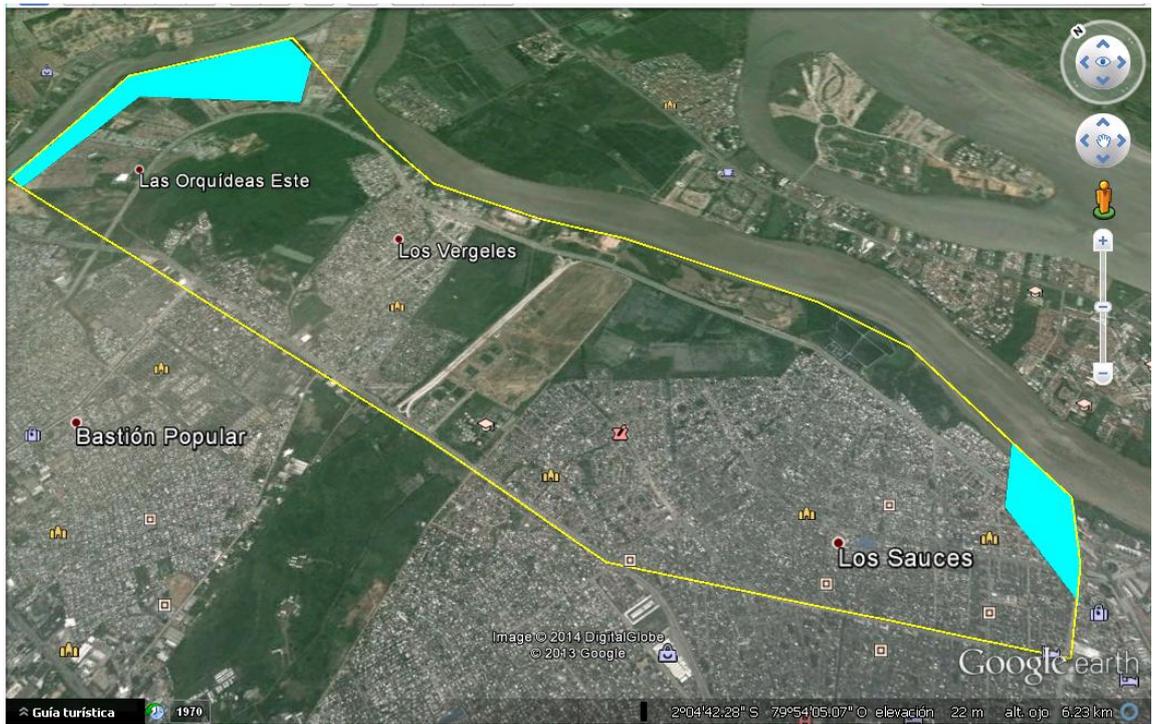


Figura 3.7: Sectores donde no tiene cobertura.
Fuente: Elaborado por autor.

CAPÍTULO 4

4.1. SOFTWARE A UTILIZAR.

Para la simulación de la red LTE se optó por utilizar MATLAB v. 7.8 (R2009a), junto con Communications Toolbox v4.1; Signal Processing Toolbox v6.7 los cuales permitirán el desempeño óptimo y una interfaz agradable de LTE Simulator v1.7.

4.1.1 MATLAB.

“MATLAB es un lenguaje de alto nivel y un entorno interactivo para el cálculo numérico, visualización y programación. Usando MATLAB, puede analizar los datos, desarrollar algoritmos y crear modelos y aplicaciones. El lenguaje, las herramientas y funciones matemáticas integradas que permiten explorar múltiples enfoques y llegar a una solución más rápida que con hojas de cálculo o lenguajes de programación tradicionales, como C / C + + o Java” (Matworks, 2005).

Es una herramienta de software usado por muchos ingenieros, matemáticos y hasta científicos ya que ofrece un entorno de desarrollo integrado con su propio lenguaje de programación (lenguaje M) disponible en varias plataformas.

Entre sus funciones básicas se hallan: operaciones con matrices, representación gráfica de datos y funciones, desarrollo e implementación de algoritmos, creación de interfaces de usuario (GUI) entre otras cosas. El paquete MATLAB dispone de herramientas adicionales que expanden sus funciones, una de ellas es Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes) y las de Simulink con sistemas de bloques (blocksets).

Para la realización de la simulación de la red se decidió usar Matlab junto con LTE Simulator Toolbox, desarrollado por el Instituto de

Telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica de Viena, la cual permite el libre uso, descarga y modificación del aplicativo siempre y cuando sea para fines académicos.

Este aplicativo de Matlab desarrolla cálculos y múltiples gráficas sobre los parámetros previamente ingresados. El análisis de una red LTE mediante esta herramienta vuelve fácil su comprensión aún para personas que no tengan mucho conocimiento del tema.

4.2. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS.

El paquete de herramientas viene con una lista de parámetros por defecto las cuales es necesario cambiar. En la que se eligen las mismas con las que se realizó el diseño en el capítulo anterior como se muestra en la tabla 4.1.

Parámetro	Valor
Frecuencia Central	850 MHz
Ancho de banda del Canal	10MHz
Bloques de Recursos	50
Número de antenas transmisoras	2
Número de antenas receptoras	2
Número de eNodeB	7
Distancia entre eNodeB	1740m
Número de UE por eNodeB	5
Radio del eNodeB	1.16Km
Potencia de Transmisión eNodeB	20W
Ancho de Banda del RB	180KHz

Tabla 4.1: Parámetros de Simulación.
Fuente: Autor

4.3. SIMULACIÓN.

Todos los parámetros son ingresados en la ventana de comandos de Matlab de la siguiente manera:

```
>>LTE_load_params captura matlab  
>>LTE_load_params_dependant  
>>LTE_config. (Parámetro a modificar) = [nuevo valor]
```

Los comandos más utilizados para la configuración son los siguientes

LTE_config.frequency.: frecuencia utilizada en el sistema [Hz].

LTE_config.bandwidth.: ancho de banda del canal del sistema. Los valores permitidos son: 1.4 MHz, 3MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, and 20 MHz. Esto equivale a 6, 15, 25, 50, 75, and 100 bloques de recursos respectivamente.

LTE_config.nTX: número de antenas transmisoras. Usado para generar el trazado del canal

LTE_config.nRX: número de antenas receptoras. Usado para generar el trazado del canal.

LTE_config.tx_mode: los modos de transmisión definidos son:

1. Antena simple.
2. Diversidad de transmisión.(TxD).
3. Open Loop Spatial Multiplexing (OLSM). Multiplexación espacial con Large Cyclic Delay Diversity (CDD).
4. Closed Loop Spatial Multiplexing (CLSM).
5. MIMO multiusuario

Una vez configurados los parámetros se puede iniciar la simulación. También se pueden cargar valores por defecto para una demostración del funcionamiento de esta herramienta.

Para iniciar la simulación se debe ejecutar el comando:

```
>>LTE_sim_main_launcher
```

El programa ejecutará una serie de procesos los cuales pueden durar de unos pocos segundos a muchos minutos dependiendo de la capacidad del computador.

Luego que haya realizado los cálculos aparecerá una serie de gráficos entre los cuales se muestra el siguiente:

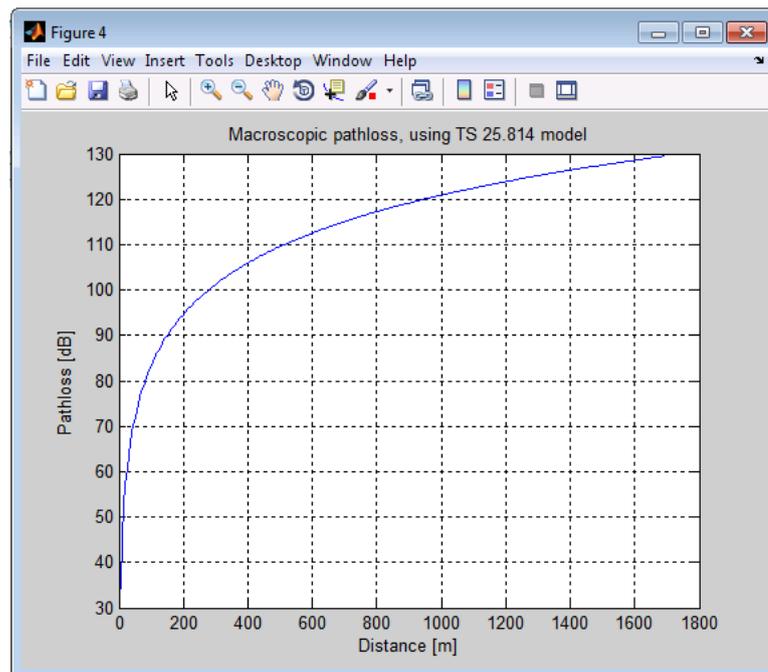


Figura 4.1: Pérdidas por Trayectoria
Fuente: Captura Matlab

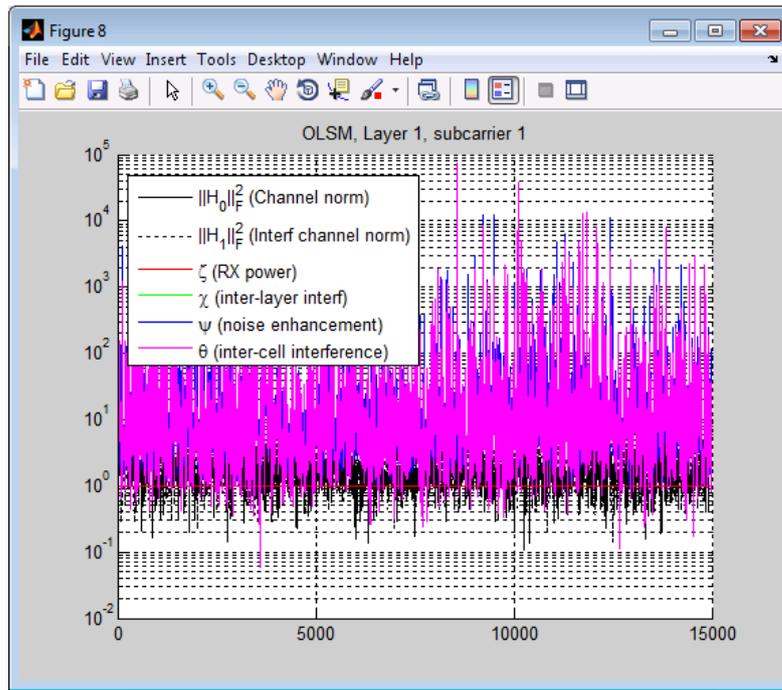


Figura 4.2: interferencia inter-celular
Fuente: Captura Matlab

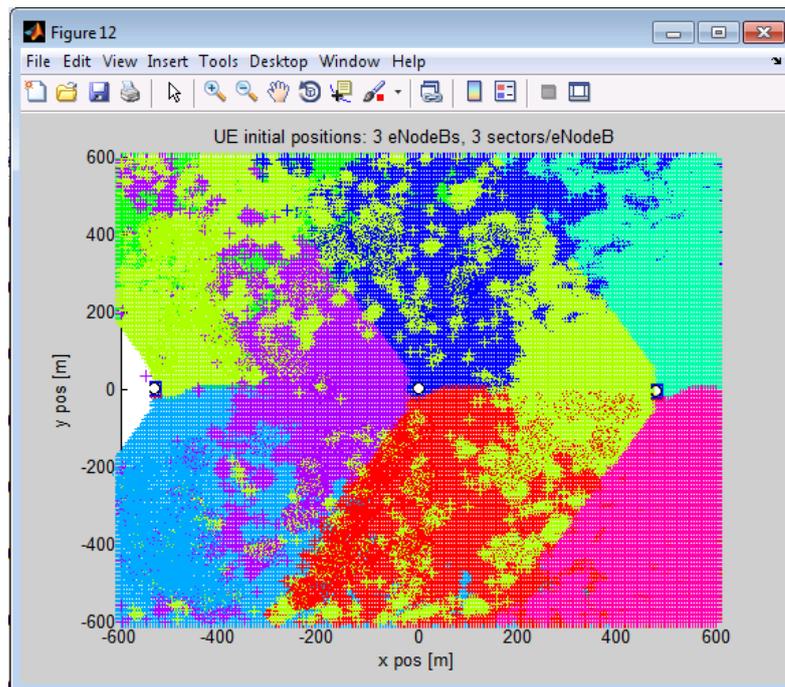


Figura: 4.3: Solapamiento entre células.
Fuente: Captura Matlab

Como se puede observar en figuras 4.1 se muestra las pérdidas por trayectorias la cual coincide con el valor hallado anteriormente. Se puede

diferencias que en la figura 4.2 la red tiene un problema de interferencia inter-celular esto se puede resolver asignando frecuencias diferentes a cada célula y reutilizándolas en las no adyacentes. El solapamiento se muestra en la figura 5.3.

También se muestra en la simulación que el rendimiento máximo de la célula incluyendo el BLER es de 48 Mbps similar al análisis hecho en el capítulo 3.

El BLER de los CQI es mostrado en la figura 4.4. Muestra la relación de los errores de bloques con el indicador de calidad del canal los cuales son transportados en los PUCCH.

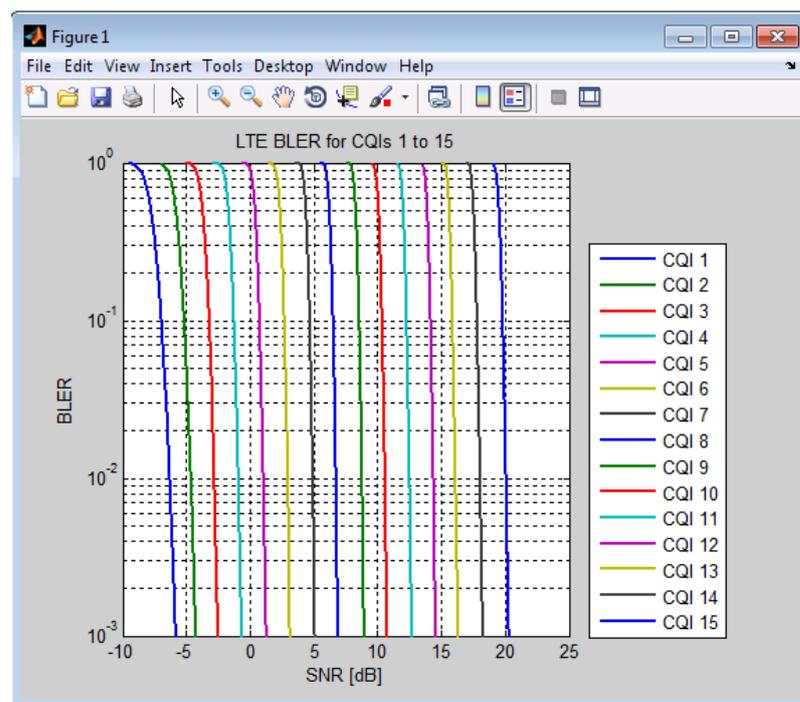


Figura 4.4: EL BLER vs SNR según el CQI.
Fuente: Captura Matlab

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Realizando la simulación comprobamos la veracidad de muchos datos hallados en el capítulo 3. El gran inconveniente que se vio fue la interferencia inter-celular la cual puede ser minimizada bajando la potencia de los transmisores y/o asignando frecuencias diferentes a las células,

realizando obviamente la reutilización con las celdas más alejadas del cluster para así no sufrir del problema. También tenemos que los resultados de enlace descendente y ascendente coinciden con los obtenidos analíticamente.

4.5. PRESUPUESTO DE UNA ESTACIÓN DE SIMULACIÓN.

En este estudio se ha realizado un presupuesto estimado de una estación de simulación en la cual queda de la siguiente manera:

Producto	Precio Unitario	Cantidad	Total/Producto
Computadora Xtratech Intel Ci7 3.1GHz/8GB/2TB/DVDWR/TMP	\$1099	20	\$21980
Matlab and Simulink Student Suite	\$89	20	\$1780
Communications System Toolbox	\$25	20	\$500
Phased Array System Toolbox	\$25	20	\$500
Fixed-Point Designer	\$25	20	\$500
RF Toolbox	\$25	20	\$500
Wavelet Toolbox	\$25	20	\$500
LTE Simulator	-	20	0
		Total	\$26260.00
		% Costo Indirecto	15.4%
		Total Presupuesto	\$30304.04

Tabla 4.2: Presupuesto de una Estación de Simulación.

Fuente: Computron S.A.; Mathworks

Es necesario recalcar que uno de los laboratorios de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo posee el hardware necesario y parte de los programas enlistados, es decir si se implementaría en dicho laboratorio el costo descendería \$2500 anuales por conceptos de las licencias de las cajas de herramientas (toolboxes) en la lista.

CAPÍTULO 5

5.1. CONCLUSIONES

Mediante el material presentado podemos concluir que la Tecnología LTE precursora de la 4ta generación de telefonía móvil, proporciona velocidades de transmisión muy altas comparadas con las redes 3G actuales.

Si ciertamente LTE no cumple con todos los requisitos definidos en la IMT-2000-Advance, que es el estándar para 4G (ver anexo 2), un comunicado de la ITU en el 2012 permite que LTE sea promocionada como parte de dicha generación al igual que Wimax móvil debido a que las capacidades de estas tecnologías superan hasta 10 veces las velocidades de estándares anteriores.

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones actualmente tiene desplegada como puntos de acceso (hotspots) su red LTE en ciertos sectores de Guayaquil y Quito. Fue la primera empresa en obtener la concesión de frecuencias para implementar esta tecnología, en las bandas de 700MHz, 1700MHz/2100MHz y 2.5GHz (anexo 1).

La convergencia de tecnologías es fundamental para el despliegue progresivo de nuevos estándares, ya que la idea principal es que las tecnologías actuales se complementen con las anteriores, mas no se reemplacen.

Se demostró que es posible el diseño y simulación de una red LTE con software existente en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

5.2. RECOMENDACIONES

Hay que tomar en cuenta cuando se quiera adquirir un móvil con capacidad LTE es necesario saber la banda en que trabaja, ya que como se explicó, LTE trabaja en distintas bandas y en países desarrolladores de teléfonos móviles, se utiliza en las que posiblemente aquí no, por lo tanto se recomienda a los organismos de control que impongan a las operadoras de servicios celulares la correcta publicidad del servicio ya que muchos móviles traídos del exterior no podrían utilizar sus redes LTE.

Los temas de actualidad son los que motivan a la investigación en los estudiantes, por lo que recomiendo al cuerpo docente introducir estos temas en su diaria enseñanza, para que infundan en ellos la estima hacia nuestra carrera.

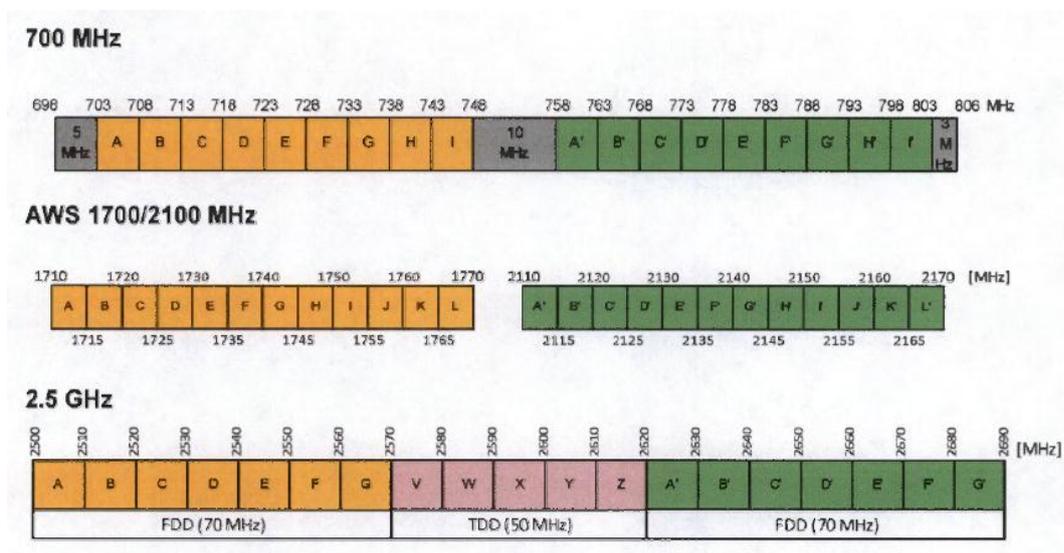
Son muy pocos los programas gratuitos existentes sobre planificación de redes inalámbricas, por lo que se recomienda a las empresas privadas realizar convenios con universidades para emitir licencias académicas que permitan el libre uso de estas herramientas, tan útiles para nuestra formación como profesionales.

Se recomienda a las entidades gubernamentales, como la SUPERTEL, facilitar información sobre temas de telecomunicaciones a los estudiantes ya que es fundamental guiar nuestros estudios bajo conceptos reales.

ANEXO 1: RESOLUCIÓN TEL-804-29-CONATEL-2012 (FRAGMENTO)

El CONATEL como organismo regulador precedida por su presidente de ese entonces, el Ing. Jaime Guerrero Ruíz, actual Ministro de Telecomunicaciones, emite esta resolución en la ciudad de Babahoyo el 12 de diciembre de 2012 donde se cita puntualmente los artículos: tres, cuatro y cinco que son de nuestro interés.

“ARTÍCULO TRES.- Adoptar la siguiente canalización para las bandas de 700 MHz, AWS 1700/2100 MHz y 2.5 GHz.



ARTÍCULO CUATRO.- Autorizar a la empresa pública CNT E.P. en la banda de 700 MHz los bloques G – G', H – H' e I – I' correspondiente a los rangos 733 – 748 MHz (UP LINK) y 788 – 803 MHz (DOWN LINK) a nivel nacional, sin embargo en las ciudades donde operan servicios de Televisión Digital Codificada Terrestre en dichos bloques, la CNT E.P. podrá operar una vez que se finalicen los contratos de concesión respectivos por cualquier motivo. Las condiciones y exigencias por el otorgamiento de este espectro serán autorizadas por el CONATEL sobre la base del informe de la Comisión conformada para este efecto.

ARTÍCULO CINCO.- Autorizar y asignar a la empresa pública CNT E.P. en la banda AWS 1700/2100 MHz los bloques A – A', B – B', C – C' y D

– D' correspondientes a los rangos 1710 – 1730 MHz (UP LINK) y 2110 – 2130 (DOWN LINK) a nivel nacional, sin embargo, en las ciudades donde actualmente operen enlaces de radiodifusión sonora y de televisión en dichos bloques, la CNT E.P. podrá operar una vez que estos hayan migrado de acuerdo a las Resoluciones emitidas por el CONATEL. Las condiciones y exigencias por el otorgamiento de este espectro serán autorizadas por el CONATEL sobre la base del informe de la Comisión conformada para este efecto.” (CONATEL, Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 ; Pág. 5, 2012)

ANEXO 2: ¿LTE ES O NO 4G?

Son muchos los debates sobre si LTE es una tecnología 4G. En el 2010 cuando se empezó a implementar en países desarrollados junto con HSPA+ y Wimax, las operadoras de servicios celulares empezaron a llamar a LTE tecnología 4G, cuando en ese tiempo, dicha generación todavía no se encontraba definida.

Actualmente en el IMT-Advanced se define: las características de 4G siendo la principal: velocidad de descarga hasta 1Gbps. LTE tiene velocidad teóricas hasta de 100Mbps. Entonces, ¿por qué se llama a LTE 4G?

Todo comenzó cuando las operadoras celulares, después de explotar la tercera generación mediante publicidad, decidieron apostar por nuevas tecnologías, unos optaron por HSPA+ otros por Wimax y los que vieron más prometedora a LTE, se decidieron por ella. En concepto LTE supera a las otras en velocidades de transmisión, pero “LTE” de por sí no era un título que atrajera a muchos clientes. Es por eso que como estrategia de publicidad comenzaron a incluirla a este grupo de nuevos estándares “4G”.

La ITU se pronunció sobre esto, declarando que es incorrecto el uso del denominativo “4G” en sus nuevas redes, esperando que quitaran toda publicidad desinformativa.

Como ejemplo podemos citar a la operadora Movistar, la cual cuando implementó HSPA+ la promocionó indicando que se brindaba con velocidades 4G.



Publicidad de Movistar 4G
Fuente: (MOVISTAR, 2011)

La SUPERTEL intervino declarando:

“La Superintendencia de Telecomunicaciones ordenó el año pasado a las operadoras de telefonía móvil que no publiquen la implementación de redes móviles de cuarta generación (4G), hasta que el servicio ofertado cumpla con las especificaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones – UIT (...)” (www.supertel.gob.ec, 2012)

Sin embargo en Ginebra, el 6 de diciembre del 2010, en el Seminario Mundial de Radiocomunicaciones, la ITU se retracta diciendo:

“Tras efectuar una evaluación detallada en función de estrictos criterios técnicos y operativos, la UIT ha determinado que ‘LTE-Avanzada’ y ‘WirelessMAN-Avanzada’ han de incluirse oficialmente dentro de las IMT-Avanzadas. En tanto que tecnologías más punteras actualmente definidas para las comunicaciones móviles inalámbricas en banda ancha mundiales, las IMT-Avanzadas se consideran la ‘4G’, aunque este término, aún por definir, también puede aplicarse a los antecesores de estas tecnologías: LTE y WiMax, y otras tecnologías 3G evolucionadas, cuyo rendimiento y

capacidades son sustancialmente superiores a los sistemas de tercera generación iniciales, hoy implantados.” (ITU, 2012)

Si bien bastaría con esta declaración, los que deciden si permiten este tipo de publicidad son los organismos reguladores de cada país los que deben dar el visto bueno. Basta con encender el televisor para darnos cuentas que muchas son las operadoras que ofrecen LTE como tecnología 4G en Ecuador y otros países latinoamericanos.

Este tema fue de mucha discusión en foros de tecnología, no fue la excepción en Xakata, una reconocida página española sobre noticias actuales de telecomunicaciones, la cual se pronuncia acerca del tema en su país en la siguiente forma:

“Quizás muchos os estéis preguntando, ¿por qué Vodafone anuncia su red LTE como 4G? Bueno, por dos motivos. El primero, porque vende mucho más. Es cierto que el cambio de tecnología de UMTS a LTE es espectacular. Y eso hay que venderlo, y vende mucho más decir 4G que decir LTE, tiene más nombre. Pero hay un segundo motivo, también importante: porque pueden. El IMT-Advanced decidió permitir que los candidatos a ser evolucionados a 4G, como LTE, pueden publicitarse como 4G. Por tanto en todo el mundo vemos hablar de LTE como 4G. Y curiosamente se está empezando a hablar de LTE Advanced como 4G+(...) pero al final estamos en un debate semántico. ¿Qué más da si LTE es 3,99G o 4G? Lo que está claro es que es una evolución muy importante y que al final se extenderá a LTE-Advanced que sí que cumple los requisitos del IMT-Advanced”(Nieto, 2013).

Este caso se repite en muchos países de Latinoamérica como vemos en la siguiente lista:

Centro América		Caribe		Sudamérica	
País	Operadora(s)	País	Operadora(s)	País	Operadora(s)
México	Movistar y Telcel	República Dominicana	Orange y Tricom	Colombia	Tigo y Une
Belice	BTL	Puerto Rico	Claro, AT&T y T-Mobile	Venezuela	Digitel
El Salvador	Movistar	Antigua y Barbuda	Digicel	Ecuador	CNT
Costa Rica	Kolbi	Aruba	SETAR	Bolivia	Entel
				Perú	Movistar
				Brasil	Vivo, Claro, TIM
				Chile	Movistar y Claro
				Paraguay	Vox y Personal
				Uruguay	Antel y Claro

Lista de Operadoras con LTE promocionada como 4G.

Fuente: (Cuartas, 2014)

Como conclusión podemos decir que es “aceptable” referirnos a LTE como 4G ya que la diferencia del servicio que se ofrece es muy superior a las actuales redes 3G, además será cuestión de pocos años más para que las redes LTE implementadas sean mejoradas a su predecesor LTE-Advanced la cual si cumple con todas las especificaciones de 4G.

ANEXO 3: TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER

La Transformada Rápida de Fourier (Fast Fourier Transform) es una herramienta de alta eficiencia utilizado en el procesamiento de señales digitales la cual permite el cálculo de la transformada discreta de Fourier y su inversa.

La FFT no es una nueva transformada, sino que se trata de un algoritmo para el cálculo de la Transformada Discreta de Fourier (DFT). Su importancia radica en el hecho que elimina una gran parte de los cálculos repetitivos a que está sometida la DFT, por lo tanto se logra un cálculo más rápido. Además, la FFT generalmente permite una mayor precisión en el cálculo de la DFT disminuyendo los errores de redondeo (EHU-Procesado de Señales, 2008).

Este algoritmo puede ser implementado mediante un programa en un ordenador que posea un microprocesador específico para este caso.

Cuando la función $f(t)$ está dada por una lista de N valores $f(t_1)$, $f(t_2)$, ... $f(t_N)$ se dice que está discretizada o muestreada, entonces la integral que define la Transformada de Fourier:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

Se convierte en sumatoria:

$$F(n) = \sum_{k=1}^N f(t_k)e^{-j\frac{2\pi}{N}(k-1)n}, \quad \text{para } 1 \leq n \leq N$$

Este procedimiento permite reducir el número de sumas y multiplicaciones a un valor proporcional a $N \log_2 N$. Esta manera de

descomposición se denomina Algoritmo de Transformada Rápida de Fourier (FFT).

El ahorro o reducción en el número de operaciones es significativo para valores de N como los que es doble esperar en imágenes prácticas, por ejemplo, para una imagen de 1024×1024 píxeles,

$N = 1024$, se tendría:

$N^2 = 1.048.576$ operaciones complejas,

Con FFT

$N^2 \log_2 N = 10.240$ operaciones complejas

Con una reducción de $102.4:1$, el tiempo de cómputo, empleando máquinas equivalentes, se reduce a menos del 1%. (UAM, 2009)

ANEXO 4: REGLAMENTO PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIO MÓVIL AVANZADO (FRAGMENTO)

El reglamento para la Prestación de Servicio Móvil Avanzado (Resolución No. 498-25-CONATEL-2002), documento que comprende y regula aspectos como: asignación de espectro, título habilitante para prestar SMA, definición de las redes de telecomunicaciones para SMA, obligaciones y derechos de los prestadores de dicho servicio.

Se ha visto conveniente citar solo el capítulo 3 el cual habla acerca del uso del espectro radioeléctrico.

“ DE LA ASIGNACIÓN Y USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Art.6.-Son frecuencias esenciales del SMA aquellas vinculadas a los sistemas involucrados en la prestación final del servicio, esto es, la banda de frecuencias que enlaza a las estaciones móviles terrestres del SMA con las estaciones de base y la banda de frecuencias que enlaza a las estaciones de base con las estaciones móviles terrestres del SMA. Todas las otras frecuencias que se utilicen como soporte de transmisión para la prestación del SMA son frecuencias no esenciales.

Art.7.-La asignación y el uso de las frecuencias esenciales requieren de la obtención del título habilitante, que será una concesión, que deberá estar integrado al proceso de obtención del título habilitante para la prestación del SMA y constará en un anexo al título habilitante del SMA.

Art.8.-El espectro radioeléctrico de frecuencias esenciales para el SMA de acuerdo con las recomendaciones del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y el Plan Nacional de Frecuencias, está subdividido en las siguientes bandas:

- 824 MHz a 849 MHz
- 869 MHz a 894 MHz

- 1710 MHz a 2025 MHz
- 2110 MHz a 2200 MHz

Y las que el CONATEL, fundamentado en el Plan Nacional de Frecuencias, considere en adelante para este servicio.

Art.9.-El Estado velará porque los prestadores del SMA tengan el uso de las frecuencias que les hayan sido concesionadas sin interferencias perjudiciales.

Art. 10.- La asignación y el uso de las frecuencias no esenciales que sean utilizadas como soporte para la prestación del SMA requerirá de los títulos habilitantes correspondientes. El título habilitante para frecuencias no esenciales se renovará de conformidad con la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada. La obtención del título habilitante para la asignación y el uso de las frecuencias no esenciales es un proceso independiente que puede realizarse o no simultáneamente con el proceso de obtención del título habilitante para la prestación del SMA. La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones asignará las frecuencias no esenciales para la prestación del SMA en concordancia con el Plan Nacional de Frecuencias.

Art. 11.- El pago por el uso de frecuencias esenciales y no esenciales del SMA se regirá por el Reglamento de Tarifas por el Uso de Frecuencias expedido por el CONATEL.” (CONATEL, Reglamento para la Prestación de Servicio Móvil Avanzado; Capítulo III; Pág 2-3, 2002)

ANEXO 5: FORMULARIO

A continuación se anexan las formulas utilizadas en el capítulo 3, para el cálculo del dimensionamiento y diseño de la red LTE.

1. Rendimiento de enlace ascendente de abonado

$$T_{sub,UL} = \frac{D_{sub,UL} * 2^{30} * 8}{30 * 10 * 3600 * 10^3} [\text{Kbps}]$$

2. Rendimiento de enlace ascendente al borde de la célula

$$T_{cell,UL} = T_{sub,UL} * N_{sub,UL} [\text{Kbps}]$$

3. Velocidad de bits de enlace ascendente

$$R_{RB,UL} = \frac{T_{req,UL}}{n''_{RB}} [\text{Kbps}]$$

4. Carga del sistema

$$Q_{UL} = \frac{T_{cell,UL}}{R_{RB,UL} (n'_{RB} - n_{PUCCH})}$$

5. Margen de interferencia

$$B_{IUL} = 10 \log(1/(1 - \gamma Q_{UL} F)) [\text{db}]$$

6. Sensibilidad del eNodeB

$$S_{eNodeB} = N_t + N_f + 10 \log W_{RB} + \gamma [\text{dbm}]$$

7. Pérdidas máximas por trayectoria

$$L_{pmax} = P_{U,RB} - S_{eNodeB} - B_{IUL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CPL} - L_{BPL} + G_a - L_{JA} [\text{dB}]$$

8. Pérdidas por trayectoria

$$L_{path} = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log hb - a(hm) + (49.9 - 6.55 \log hb) \log R [\text{dB}]$$

9. Radio de la célula

$$R = \log^{-1}\left(\frac{L_{pmax} - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log hb + 3.2[\log 11.75hm]^2 - 4.97}{44.9 - 6.55 \log hb}\right) \quad [\text{Km}]$$

10. Número de células

$$\# \text{ Células} = \frac{\text{área total}}{\text{área de 1 célula}} \quad [\text{u}]$$

11. Tasa media de bits de usuario por celda

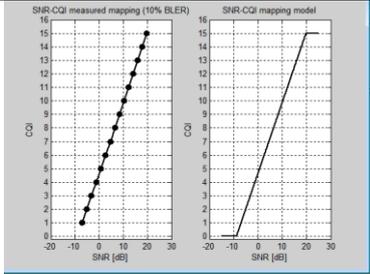
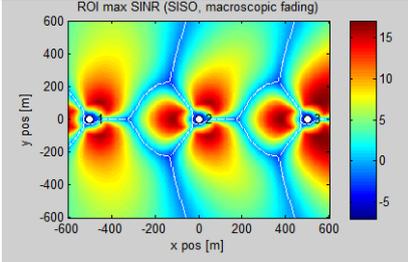
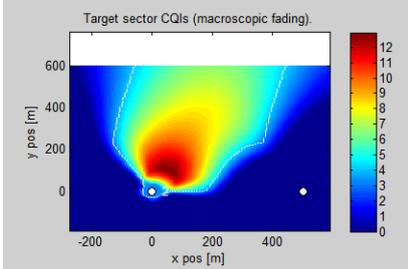
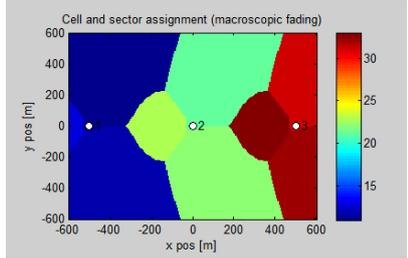
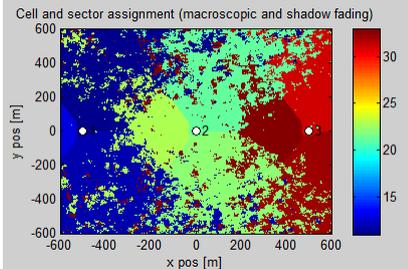
$$R_{avg} = \frac{R_{RB}(n_{RB} - n_{PUCCH})}{10^3} \quad [\text{Mbps}]$$

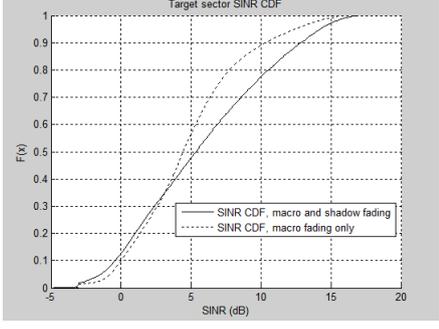
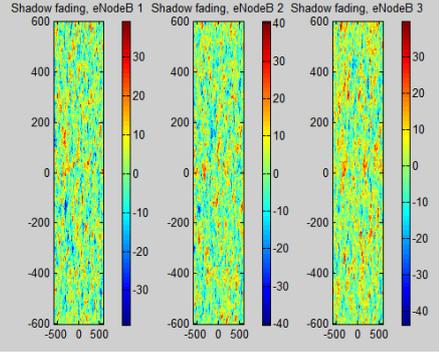
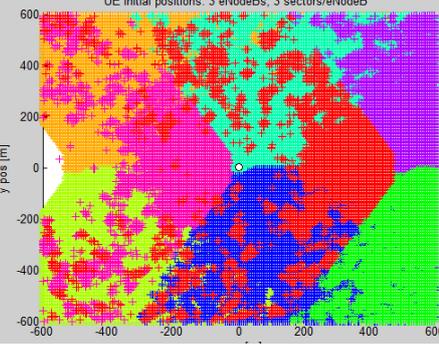
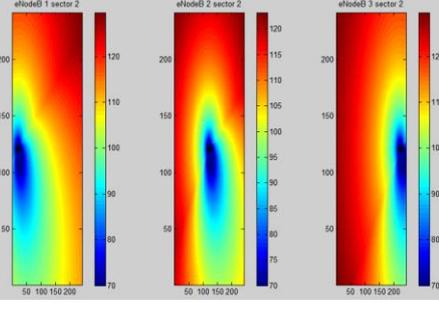
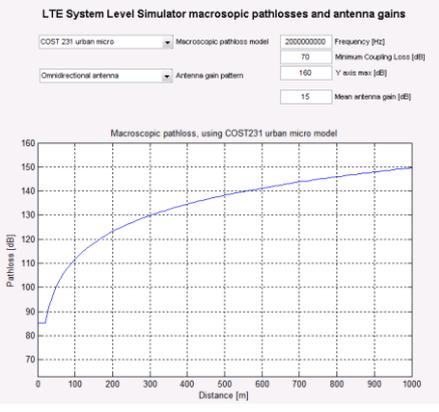
12. Rendimiento de la celda

$$T_{cell} = Q_{UL} * R_{avg} \quad [\text{Mbps}]$$

ANEXO 6: RESUMEN DE RESULTADOS DADOS POR LTE SIMULATOR TOOLBOX

Al ejecutar LTE Simulator, la simulación da como resultado una serie de gráficos donde se pueden detallar los siguientes:

Resultado	Descripción	Gráfico
Relación SNR-CQI	Se muestra la relación del SNR dado en dB con el indicador numérico CQI	
Patrón de Radiación eNodeB	Intensidad de la señal emitida por eNodeB mostrando su patrón de radiación.	
CQI Sectorizado	Muestra la zona delimitada y la incidencia de los CQI	
Distribución de Células	La sectorización de las células diferenciadas por distintos colores	
Desvanecimiento de células sectorizadas	Muestra el desvanecimiento por sector junto con las células adyacentes	

<p>SINR por sector</p>	<p>La relación del SINR con la distancia en el sector cubierto por la célula</p>	 <p>The plot shows the cumulative distribution function (CDF) of SINR (dB) for a target sector. The x-axis ranges from -5 to 20 dB, and the y-axis (F(x)) ranges from 0 to 1. Two curves are shown: a solid line for 'SINR CDF, macro and shadow fading' and a dashed line for 'SINR CDF, macro fading only'. The solid line is shifted to the right, indicating higher SINR values due to the inclusion of shadow fading.</p>
<p>Desvanecimiento por célula</p>	<p>Muestra el desvanecimiento por separado según el eNodeB</p>	 <p>Three heatmaps illustrate shadow fading for eNodeB 1, eNodeB 2, and eNodeB 3. Each heatmap shows a 2D spatial distribution of fading values over a 600m x 600m area. The color scale for each plot ranges from -40 to 40 dB, with red indicating positive fading and blue indicating negative fading.</p>
<p>Solapamiento de las Células</p>	<p>Zona de cobertura de cada célula y como se sobrepone una con otra</p>	 <p>The plot shows the initial positions of User Equipment (UE) and the coverage zones for three eNodeBs, each with three sectors. The x and y axes represent position in meters, ranging from -600 to 600. The coverage zones are represented by different colors: red, green, and blue.</p>
<p>Potencia del eNodeB</p>	<p>Muestra los niveles de potencia con relación a la distancia desde los eNodeB</p>	 <p>Three heatmaps show the power levels for eNodeB 1 sector 2, eNodeB 2 sector 2, and eNodeB 3 sector 2. The x-axis represents distance in meters (50, 100, 150, 200), and the y-axis represents distance in meters (50, 100, 150, 200). The color scale ranges from 70 to 120 dB, showing a clear decrease in power as distance increases.</p>
<p>Pérdidas por desvanecimiento sujeto a cambios del programador</p>	<p>Desvanecimiento máximo por trayectoria la cual puede ser cambiada según nuestro modelo, frecuencia y antena</p>	 <p>The screenshot shows the 'LTE System Level Simulator macroscopic pathloss and antenna gains' interface. It includes a control panel with the following settings: Macroscopic pathloss model: COST 231 urban micro; Frequency [Hz]: 2000000000; Minimum Coupling Loss [dB]: 70; Antenna gain pattern: Omnidirectional antenna; Y axis max [dB]: 160; Mean antenna gain [dB]: 15. Below the controls is a plot titled 'Macroscopic pathloss, using COST231 urban micro model' showing Pathloss [dB] vs Distance [m]. The pathloss starts at approximately 100 dB at 0 meters and increases to about 150 dB at 1000 meters.</p>

GLOSARIO

1G (1stGeneration): Primera Generación de comunicaciones inalámbricas.

2G (2ndGeneration): Segunda Generación de comunicaciones inalámbricas.

3G (3rdGeneration): Tercera Generación de comunicaciones inalámbricas.

3GPP (3G Partnership Project): proyecto de asociación para la 3G.

4G (4thGeneration): Cuarta Generación de comunicaciones inalámbricas.

16-QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation): Modulación de amplitud por cuadratura 16.

64-QAM (64-Quadrature Amplitude Modulation): Modulación de amplitud por cuadratura 64.

256-QAM (256-Quadrature Amplitude Modulation): Modulación de amplitud por cuadratura 256.

AMPS (Advanced Mobile Phone Systems): Sistema avanzado de teléfonos móviles.

AWS (Advanced Wireless Services): servicios inalámbricos avanzados

BLER (Block Error Rate): tasa de error de bloques.

BPSK (binaryphaseshiftkeying): modulación por desplazamiento de fase binaria.

BSC (base station controller): controlador de la estación base.

BTS (base station transceiver): estación base transceptora.

CDD (cyclic delay diversity): diversidad de retardo cíclico.

CDMA (Code Division Multiple Access): Acceso múltiple por división de código.

CLSM (Closed Loop Spatial Multiplexing): Multiplexación Espacial por Bucle-Cerrado.

CQI (Channel Quality Indication): Indicación de Calidad del Canal

EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution): Datos Mejorados para la Evolución de GSM

eNB (evolved NodeB): NodeB evolucionado.

EPA (Extended Pedestrian A Mode): Modo Peatonal Extendido tipo A.

EPC (Evolved Packet Core): Núcleo de Paquetes Evolucionados.

EPS (Evolved Packet System): Sistema de Paquetes Evolucionados.

E-RAB (Evolved Radio Access Bearer): Portadora por Radio Evolucionado.

ETACS (Evolved Total Access Communication System): Sistema de Acceso Total de Comunicaciones Evolucionadas.

ETU (Extended Typical Urban Model): Modelo Típico Urbano Extendido.

EVA (Extended Vehicular A Mode): Modo Vehicular Extendido tipo A

FDD (Full Division Duplex): Duplexación por División de Frecuencia.

FFT (Fast Fourier Transform): Transformada Rápida de Fourier.

GB: Gigabyte

GBR (Guaranteed Bit Rate): Tasa de Bits Garantizada

GPRS (General Packet Radio Service): Servicio General de Paquetes de Radio.

GSM (Global System for Mobile Communications): Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

GUI (Graphical User Interface): Interfaz Gráfica de Usuario.

GUIDE (Graphical User Interface Desing Editor): Editor de Diseño de Interfaz Gráfica de Usuario.

HLR (Home Location Register): Registro de Ubicación Local.

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access): Acceso por Paquetes de Enlace Descendente de Alta Velocidad.

HSPA (High Speed Packet Access): Acceso por Paquetes de Alta Velocidad.

HSPA+ (High Speed Packet Access Plus): Acceso por Paquetes de Enlace Descendente de Alta Velocidad.

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access): Acceso por Paquetes de Enlace Ascendente de Alta Velocidad.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers): Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

IFFT (InverseFast Fourier Transform): Transformada Rápida de Fourier Inversa.

ISDN (Integrated Services Digital Network.): Red Digital de Servicios Integrados.

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

LNA (Low Noise Amplifier): Amplificador de Bajo Ruido.

LOS (Line of Sight): Línea de Vista.

LTE (Long Term Evolution): Evolución a Largo Plazo

LTE-Advanced (Long Term Evolution Advanced): Evolución a Largo Plazo Avanzadas.

MB: Megabytes

MIMO (Multiple Input Multiple Outputs): Múltiples Entradas Múltiples Salidas.

MME (Mobility Management Entity): Entidad de Gestión de Movilidad.

MMS (Multimedia Messaging System): Sistema de Mensajería Multimedia.

MSC (Mobile Switching Center): Centro de Comunicación Móvil.

NB (Node B): Nodo B.

NLOS (Non-Line of Sight): Sin Línea de Vista.

Non-GBR (Non Guaranteed Bit Rate): Tasa de Bits no Garantizadas.

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal.

OLSM (Open Loop Spatial Multiplexing): Multiplexación Espacial por Bucle Abierto.

PA (Power Amplifier): Amplificador de Potencia.

PAPR (Peak Average Power Ratio): Relación Promedio Pico-Potencia.

PCS (Personal Communication System): Sistema Personal de Comunicaciones.

PDCCH (Physical Downlink Control Channel): Canal de Control Físico de Enlace Descendente.

PDN (Packet Data Network): Paquete de Datos de Red.

PSTN (Public Switching Telephone Network): Red Pública de Telefonía Conmutada.

PUCCH (Physical Uplink Control Channel): Canal de Control Físico de Enlace Ascendente.

QoS (Quality of Service): Calidad de Servicio.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying): Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadraturas.

RB (Resource Block): Bloque de Recurso.

SAE (System Architecture Evolution): Arquitectura de Sistema Evolucionado.

SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Frecuencia por Portadora Simple.

SCTP (Stream Control Transfer Protocol): Protocolo de Control de Flujo.

SG (Service Gateway): Pasarela de Servicios.

SMA: Servicio Móvil Avanzado

SMS (Short Message Service): Servicio de Mensajes Cortos.

SNR (Signal-Noise Ratio): Relación Señal a Ruido.

TACS (Total Access Communication System): Sistema de Comunicación de Acceso Total.

TCP (Transmission Control Protocol): Protocolo de Control de Transmisión.

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

TDMA (Time Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Tiempo.

TS (Time Slot): Ranura de Tiempo.

UE (User Equipment): Equipo de Usuario.

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System): Sistema Móvil Universal de Telecomunicaciones.

UTRA (Universal Terrestrial Radio Access): Acceso Universal Terrestre por Radio

UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network): Red de Acceso Universal Terrestre por Radio

VoIP (Voice over Internet Protocol): Voz sobre Protocolo de Internet.

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Códigos de Banda Ancha.

WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access): Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas.

BILIOGRAFÍA

- 4G Americas. (12 de 11 de 2008). Recuperado el 10 de 02 de 2014, de <http://www.4gamericas.org/>
- CAMPOS, Á. A. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CURSO TEÓRICO Y DE UN LABORATORIO SOBRE CALIDAD DE REDES 3G Y LTE*. Santiago-Chile: Universidad de Chile.
- CONATEL. (2002). *Reglamento para la Prestación de Servicio Móvil Avanzado; Capítulo III; Pág 2-3*. Obtenido de http://www.cnt.gob.ec/images/Pdfs/lotaip/reglamento_sma.pdf
- CONATEL. (2002). Reglamento para la prestación del servicio móvil avanzado. En CONATEL, *Reglamento para la prestación del servicio móvil avanzado* (pág. 10). Quito-Ecuador.
- CONATEL. (12 de diciembre de 2012). *Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 ; Pág. 5*. Recuperado el 12 de enero de 2014, de CONATEL: http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf
- Cuartas, E. (17 de febrero de 2014). *Celularis*. Recuperado el 18 de febrero de 2014, de <http://www.celularis.com/redes/4g-latinoamerica-2014/>
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2011). *4G LTE/LTE-Advance for Mobile Broadband*. Oxford - United Kingdom: Academic Press.
- EHU-Procesado de Señales. (2008). *La Transformada Rápida de Fourier*. Recuperado el noviembre de 2013, de <http://www.ehu.es/Procesadodesenales/tema7/ty3.html>
- ETSI. (25 de 06 de 2012). *3GPP Standards*. Recuperado el 08 de 02 de 2014, de www.3gpp.org
- Figuroa de la Cruz, M. (2008). *Introducción a los Sistemas de Telefonía Celular*. Buenos Aires - Argentina: Hispano Americana S.A. - HASA.
- Huawei Technologies Co.; LTE Cell Planning. (2013). *LTE Cell Planning v. 1.10; Modified by Ivan Mozola*.
- INEC. (2010). *Ecuador en Cifras*. Recuperado el 05 de 02 de 2014, de www.inec.gob.ec

- Inzarrualde, M., Isi, J., & Garderes, J. (2008). *Telefonía Celular*. Montevideo-Uruguay.
- ITU. (20 de diciembre de 2012). *ITU*. Recuperado el 10 de diciembre de 2013, de http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/48-es.aspx#.Uwc032J5MXt
- IXIA-Company. (02 de 11 de 2009). *IXIA Company*. Recuperado el 27 de 01 de 2014, de IXIA Company:
http://www.ixiacom.com/pdfs/library/white_papers/SC-FDMA-INDD.pdf
- J. Salo, M. N.-A. (2011). *Practical Introduction to LTE Radio Planning*. Finlandia: Helsinki University.
- Johnson, C. (2010). *LTE in Bullets*. Northampton - Inglaterra.
- Kioskea -Telefonía Móvil. (2013). *Kioskea.net*. Recuperado el 19 de enero de 2014, de <http://es.kioskea.net/contents/682-telefonía-móvil>
- Matworks. (18 de 04 de 2005). *Matworks Products*. Recuperado el 30 de 01 de 2014, de www.mathworks.es
- MaximumPC. (24 de 05 de 2011). *MamiximPC*. Recuperado el 29 de 12 de 2013, de
http://www.maximumpc.com/article/features/3_key_mobile_technologies_explained.html
- Mohamed, A. K., Farag, I. A., & Co., &. (2011). *LTE Planning Tool*. El Cairo - Egipto: AIN SHAMS UNIVERSITY.
- Motorola Inc.; LTE RF Planning Guide. (2011). *LTE RF Planning Guide v. 1.2*.
- MOVISTAR. (julio de 2011). *MOVISTAR*. Recuperado el 16 de 02 de 2014, de
<http://www.movistar.com.ec/redmovistar/content/julio2011/principal.html>
- Nieto, A. (16 de junio de 2013). *Xakata*. Recuperado el 23 de 11 de 2013, de
<http://www.xataka.com/otros/lte-y-lte-advanced-cual-de-ellos-es-realmente-4g>
- Note, S. T. (2012). *Share Tech Note*. Recuperado el 15 de 02 de 2014, de
<http://www.sharetechnote.com/>
- Ortega, I. E. (2010). *La Telefonía Móvil de Cuarta Generación y LTE. Ingenius*, 10.

- Roja, L. P. (02 de 12 de 2012). *La Pastilla Roja*. Recuperado el 14 de 02 de 2014, de <http://lapastillaroja.net/2010/01/wimax-vs-lte/>
- Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2011). *LTE The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice*. Chichester-United Kingdom: John Wiley & Sons Ltda.
- Telecomunicación, C. O. (14 de 06 de 2010). *Informe sobre emisiones electromagnéticas de sistemas de telefonía móvil*. Recuperado el 11 de 02 de 2014, de <https://www.coit.es/web/servicios/tecnologia/emision/sistemas.html>
- Telesemana. (14 de 05 de 2013). *Telesemana*. Recuperado el 02 de 02 de 2014, de <http://www.telesemana.com/blog/2012/12/13/conatel-asigno-70-mhz-de-espectro-en-700-mhz-y-aws-a-la-cnt-para-4g-lte/>
- UAM. (13 de marzo de 2009). *Universidad Autónoma de Madrid*. Recuperado el 06 de enero de 2014, de <http://www.uam.es/gruposinv/ntatuam/downloads/FFT.pdf>
- Wikispaces Classrrom. (10 de 08 de 2011). *CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES MOVILES E INALAMBRICAS*. Recuperado el 06 de 02 de 2014, de <http://redes-moviles-e-inalambricas.wikispaces.com/Caracter%C3%ADsticas+de+las+redes+m%C3%B3viles+e+inalambricas>.