



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
COMUNICACIONES

TEMA:

“DISEÑO DE UNA RED 4G *LONG TERM EVOLUTION* (LTE) EN REDES
MÓVILES”.

Trabajo de Graduación. Modalidad: TEMI. Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

Línea de investigación: Comunicaciones Inalámbricas

Autor: Jaime Daniel Analuisa Muso

Tutor: Ing. Marco Antonio Jurado Lozada., Mg

Ambato - Ecuador

Julio, 2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “**Diseño de una red 4G *Long Term Evolution* (LTE) en redes móviles**”, del señor: Jaime Daniel Analuisa Muso, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad técnica de Ambato.

Ambato, Julio de 2014

EL TUTOR

Ing. Marco Antonio Jurado Lozada., Mg.

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado: “**Diseño de una red 4G *Long Term Evolution* (LTE) en redes móviles**”. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Julio de 2014

Jaime Daniel Analuisa Muso

CC: 180432168-3

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Edgar Freddy Robalino Peña e Ing. Geovanni Danilo Brito Moncayo, Mg, revisó y aprobó el informe final del trabajo de graduación titulado Diseño de una red 4G *Long Term Evolution* (LTE) en redes móviles, presentado por el señor Jaime Daniel Analuisa Muso de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. José Vicente Morales Lozada., Mg.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Edgar Freddy Robalino Peña.

Ing. Geovanni Danilo Brito Moncayo., Mg.

DOCENTE CALIFICADOR

DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a toda mi familia, en especial a mi madre, por ser el pilar más importante en mi vida quien con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar, a mis hermanos quienes de una u otra forma me apoyaron en toda mi carrera estudiantil, a mi dos amores Gaby y Karlita quienes son pilares fundamentales para cada día crecer personalmente y finalmente a mi Tío que desde el cielo se que estará muy orgulloso de mi.

Gracias a ellos y mi esfuerzo he podido cumplir mi primer objetivo de vida planteado hace muchos años que es llegar a ser un Ingeniero Electrónico.

Daniel Analuisa

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud, sabiduría y mucha fuerza para no decaer en el camino de llegar a ser un Ingeniero.

A mi madre sabiendo que no me alcanzara la vida para agradecerle por todo su sacrificio y esfuerzo, este objetivo cumplido también es tuyo, espero me acompañes muchos años mas a mi lado.

A mis hermanos por brindarme su ayuda cuando más lo necesite fueron ejes fundamentales en mi vida estudiantil.

A mi novia que estuvo para apoyarme en todo momento sin nunca darme la espalda.

A mi tutor Ing. Marco Jurado por guiarme y brindarme sus conocimientos tanto en mi vida estudiantil como en el desarrollo del proyecto.

A mi mismo por saber escoger el camino correcto el cual me ha llevado a ser una mejor persona con buenos valores y lograr mi objetivo.

Finalmente a todos mi amigos y compañeros con los cuales conviví 5 años de mi vida los cuales nunca olvidare.

Daniel Analuisa

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORA	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	xvi
Abstract	xvii
Introducción	xviii
CAPÍTULO 1 El Problema	1
1.1 Tema de investigación	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Delimitación	3
1.4 Justificación	3
1.5 Objetivos	4
1.5.1 General	4
1.5.2 Específicos	4
CAPÍTULO 2 Marco Teórico	5
2.1 Antecedentes Investigativos	5
2.2 Fundamentación Teórica	6
2.2.1 Historia de la telefonía móvil en general	6
2.2.2 La primera red celular	6
2.2.3 Generaciones de telefonía móvil	7
2.2.3.1 Primera generación (1G)	7
2.2.3.2 Segunda generación (2G)	8

2.2.3.3	Tercera generación (3G)	8
2.2.3.4	Cuarta generación (4G)	9
2.2.4	Introducción LTE	12
2.2.5	Antecedentes LTE	13
2.2.6	Requerimientos definidos por la ITU (Unión internacional de Telecomunicaciones)	14
2.2.6.1	Tasa binaria de pico	14
2.2.6.2	Latencia	14
2.2.6.3	Eficiencia espectral	14
2.2.6.4	Throughput en el borde de la célula	14
2.2.6.5	Movilidad	15
2.2.6.6	Cobertura	15
2.2.6.7	Flexibilidad espectral	15
2.2.7	Conceptos básicos	15
2.2.7.1	Funcionamiento general de una red móvil	15
2.2.7.2	Sub-portadora	16
2.2.7.3	OFDM - Multiplexación por división de frecuencia ortogonal	16
2.2.7.4	OFDMA y SC-FDMA - Técnicas LTE de acceso	16
2.2.8	Arquitectura - LTE	17
2.2.8.1	Núcleo de red (EPC)	18
2.2.8.2	Red de acceso (E-UTRAN)	19
2.2.9	Bandas de frecuencias disponibles para LTE	20
2.2.10	Arquitectura de protocolos LTE	21
2.2.11	Interfaz aire - capa física LTE	22
2.2.12	Estructura de trama genérica	23
2.2.13	Capa física LTE - Downlink	24
2.2.13.1	Modulación LTE	24
2.2.13.2	Recursos físicos (<i>Downlink</i>)	25
2.2.13.3	Canales físicos (<i>Downlink</i>)	27
2.2.13.4	Canales transporte (<i>Downlink</i>)	27
2.2.13.5	Procesamiento de la capa física	28
2.2.14	Capa física LTE - <i>Uplink</i> (enlace de subida)	28
2.2.14.1	Parámetros de modulación del enlace de subida	28
2.2.14.2	Recursos físicos del enlace de subida	29
2.2.14.3	Canales físicos del enlace de subida	29
2.2.14.4	Canales de transporte del enlace de subida	30

2.2.14.5	Procesamiento de la capa física del enlace de subida	30
2.2.15	Técnicas de Multi-Antenas (MIMO Múltiple entrada - múltiple salida) - LTE	31
2.2.15.1	Mimo en el enlace de bajada	31
2.2.15.2	MIMO en el <i>enlace de subida</i>	31
2.2.16	Capa 2 (MAC - Control Acceso al medio)	31
2.2.16.1	Canales Lógicos del enlace de subida	32
2.2.16.2	Flujo de datos en la capa MAC	33
2.2.17	Capa RRC	34
2.2.17.1	Estados RRC (Plano de control)	34
2.2.18	Planificación de usuarios (<i>Scheduling</i>)	34
2.3	Propuesta de Solución	36
CAPÍTULO 3	Metodología	37
3.1	Modalidad Básica de la investigación	37
3.1.1	Investigación Bibliográfica	37
3.1.2	Investigación de Campo	37
3.2	Recolección de información	38
3.2.1	Plan de recolección de información	38
3.3	Procesamiento y análisis de la información	38
3.4	Desarrollo del Proyecto	38
CAPÍTULO 4	Desarrollo de la propuesta	39
4.1	Datos Informativos	39
4.2	Antecedentes de la Propuesta	39
4.3	Justificación	40
4.4	Objetivos	41
4.4.1	Objetivo General	41
4.4.2	Objetivos Específicos	41
4.5	Análisis de Factibilidad	42
4.5.1	Factibilidad Bibliográfica	42
4.5.2	Factibilidad Económica	42
4.6	Fundamentación	42
4.6.1	Parámetros técnicos para el área cobertura - Modelos de propagación	42
4.6.2	Propagación en el espacio libre (<i>Free Space</i>)	44
4.6.3	Propagación de Okumura-Hata	45
4.6.4	Propagación COST 231 Walfisch-Ikegami	48

4.6.5	Análisis de los modelos de propagación	51
4.6.6	Cobertura radioeléctrica	52
4.6.7	Geometría de las redes celulares	52
4.6.8	Limitación de frecuencia	54
4.6.9	Frecuencia de trabajo red LTE	58
4.6.10	Movilidad de usuarios	59
4.6.11	Topología de la red	60
4.6.12	Modulación y Codificación	61
4.6.13	Elementos de una red LTE	62
4.6.14	Balance de Radio Enlace	64
4.6.15	Pérdidas por propagación	66
4.6.16	Propagación por cable	66
4.6.17	Propagación por aire	67
4.6.18	Alternativas de solución LTE	67
4.6.19	Red de Acceso LTE (E-UTRAN)	70
4.6.20	Movilidad usuarios	70
4.6.21	Latencia	70
4.6.22	Técnicas MIMO	71
4.6.22.1	SU-MIMO (Single User – MIMO)	71
4.6.22.2	MU-MIMO (Multi User – MIMO)	72
4.6.23	Tipos de terminales LTE (UE - Equipo de usuario)	73
4.6.24	Ancho de banda a utilizar en el diseño de red	77
4.6.25	Topología de la Red Troncal (EPC)	79
4.7	Diseño red 4G - LTE	80
4.7.1	Requerimientos para la Red LTE	81
4.7.2	Cobertura LTE	82
4.7.3	Capacidad de la celda - División celular (Cálculo del número de <i>eNodeB</i>)	84
4.7.4	Cálculo del tráfico	86
4.7.4.1	Cálculo del tráfico para redes LTE	86
4.7.5	Cálculos de cobertura	89
4.7.6	Cobertura teórica de un <i>eNodeB</i> (Estación Base)	93
4.7.6.1	Cálculo de cobertura del <i>eNodeB</i>	93
4.7.6.2	Cálculo (<i>eNodeB</i>) <i>Link Budget</i> (presupuesto del enlace) para el <i>Uplink</i> (enlace de subida)	94
4.7.6.3	Análisis <i>link budget</i> (<i>presupuesto del enlace</i>) para <i>downlink</i> (enlace de bajada)	99

4.7.7	Cálculo del radio de la celda	102
4.7.8	Cobertura LTE	105
4.7.8.1	Distribución de frecuencias	106
4.7.9	Propuesta RED LTE	109
4.7.9.1	Equipo para la red troncal (EPC)	109
4.7.9.2	Equipo para la red de acceso inalámbrica (E-UTRAN)	111
4.7.10	Etapas para la migración hacia LTE	118
4.7.11	Servicio únicamente de datos	118
4.7.12	Servicio de datos con voz 2G y 3G	118
4.7.13	Migración voz y datos a LTE	119
4.8	Guía de implementación de la red LTE	119
4.9	Análisis de resultados	120
4.10	Ventajas y Desventajas LTE	121
4.10.1	Ventajas	121
4.10.2	Desventajas	121
4.11	LTE Y WiMAX	122
CAPÍTULO 5 Conclusiones y Recomendaciones		124
5.1	Conclusiones	124
5.2	Recomendaciones	125
Bibliografía		126
Glosario de términos		134
ANEXOS		142

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Tecnologías de telefonía móvil - Características	13
2.2	Descripción elementos núcleo de red	19
2.3	Bandas de frecuencia disponibles para LTE	21
2.4	Enlace de bajada (<i>Downlink</i>) - parámetros de modulación	25
2.5	Parámetros de modulación de Downlink	25
2.6	Enlace de bajada (<i>Downlink</i>) - Canales físicos	27
2.7	Enlace de bajada (<i>Downlink</i>) - Canales de transporte	27
2.8	Procesamiento de la capa física <i>Downlink</i>	28
2.9	Enlace de subida (<i>Uplink</i>) - Parámetros modulación	29
2.10	Enlace de subida (<i>Uplink</i>) - Canales físicos	29
2.11	Enlace de subida (<i>Uplink</i>) - Canales de transporte	30
2.12	Enlace de subida (<i>Uplink</i>) - Procesamiento de la capa física	30
2.13	Canales lógicos de control del enlace de subida	33
2.14	Canales lógicos de tráfico	33
4.1	Cálculo de pérdidas en el espacio libre	45
4.2	Resultados obtenidos con el modelo de Okumura-Hata	48
4.3	Pérdidas Modelos COST-231	50
4.4	Bandas de frecuencia OTECEL y CONECEL	56
4.5	LTE - Frecuencia de operación	57
4.6	Modelo de movilidad - Entorno peatonal	59
4.7	Parámetros - Movilidad vehicular	59
4.8	Datos y características de proveedores de equipos EPC (Red Troncal) LTE	68
4.9	Soluciones LTE	69
4.10	Parámetros de la capa física del terminal	75
4.11	Bandas de frecuencia LTE compatibles en Ecuador	76
4.12	Equipos LTE	76
4.13	Configuración de transmisión (Ancho de banda)	79
4.14	Suscriptores que soporta una Celda LTE.	84
4.15	Eficiencia espectral	87

4.16	Pérdidas y cobertura	92
4.17	<i>Shadowing</i> normalizado	94
4.18	Tipos de modulación LTE	95
4.19	Valores de SINR (Relación señal a interferencia)	95
4.20	Valores de pérdida en el espacio libre para <i>uplink</i> (enlace de subida) .	99
4.21	Valores de pérdida en el espacio libre para <i>downlink</i> (enlace de bajada)	102
4.22	Valores de pérdida en el espacio libre para <i>uplink</i> (enlace de subida) .	103
4.23	Radios de cobertura <i>uplink</i> (enlace de subida) según el tipo de modulación	104
4.24	Descripción Banda 28 de LTE	106
4.25	Rango de frecuencias LTE Banda 28	107
4.26	Distribución de frecuencias	109
4.27	Coordenadas - Sitios de instalación de las estaciones base	115
4.28	Comparativa WIMAX y LTE	122

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Redes LTE alrededor del mundo	10
2.2	Usuarios LTE	11
2.3	Esquema de funcionamiento de una red móvil	15
2.4	Estructura de SC-FDMA y OFDMA	17
2.5	Diferencia de la señal en el dominio del tiempo	17
2.6	Elementos de Red UMTS evolucionada (EPS)	18
2.7	Elementos que constituyen la Red Troncal (EPC)	18
2.8	Red de Acceso Inalámbrico	20
2.9	Protocolos LTE - Arquitectura.	22
2.10	Estructura de la trama genérica para <i>Downlink</i> y <i>Uplink</i> LTE	24
2.11	Recursos físicos Downlink	26
2.12	LTE - Organización capa 2	32
2.13	<i>Scheduling</i> de paquetes en OFDMA	35
2.14	Técnicas de <i>Scheduling</i>	36
4.1	Abonados de telefonía móvil 2010 - 2014	41
4.2	Propagación LOS	43
4.3	Propagación NLOS	43
4.4	Parámetros Modelos COST-231	49
4.5	Resultados modelos de propagación	51
4.6	Retícula planificación	53
4.7	Clúster 7 células	54
4.8	Células vecinas y colindantes	55
4.9	Canalización de frecuencias	58
4.10	Topología LTE y UMTS	60
4.11	Diagrama de constelación 16 y 64 QAM	61
4.12	Modulación y codificación SINR (Relación señal a interferencia)	62
4.13	Elementos de red LTE	63
4.14	Latencia LTE	71
4.15	SU-MIMO	72
4.16	MU-MIMO en el <i>downlink</i> (enlace de bajada)	73

4.17	Equipo de Usuario	74
4.18	Estructura del Frame LTE y Ancho de Banda	77
4.19	Ancho de Banda de canal	78
4.20	Arquitectura de la red troncal LTE	80
4.21	Mapa Cantón Ambato	83
4.22	Distribución estaciones Base	85
4.23	Sectorización	86
4.24	Capacidad total estación base.	93
4.25	Área de una celda	105
4.26	Distribución de frecuencias	108
4.27	5620 SAM	110
4.28	DBS3900	111
4.29	eBBU530	112
4.30	RRU3232	113
4.31	Antena AxxceLTE™	115
4.32	Propuesta de red LTE	116

RESUMEN

El presente proyecto nace de la necesidad de realizar un estudio de la nueva generación de telefónica móvil “4G-LTE”, analizando en detalle como esta tecnología de ultima generación evoluciona el mercado de la telefonía móvil permitiendo tener conexiones de banda ancha móvil con altas tasas de datos, además da a conocer parámetros necesarios para el diseño de una red 4G-LTE.

Pese a que el proyecto es netamente investigativo brinda información de calidad, ya que la misma tuvo un excelente tratamiento extrayendo únicamente información de suma importancia para poder diseñar y comprender mejor el funcionamiento de LTE. En el desarrollo del proyecto se da a conocer técnicas de modulación, tipos de antenas, bandas de frecuencias, arquitectura de red acceso y núcleo, cálculo de pérdidas utilizando varios métodos de cálculo como son: OKUMURA-HATA, COST-231.

Las bases tecnológicas para la implementación de redes de cuarta generación actualmente ya están consolidadas las mismas que brinda dos alternativas a utilizar como son: LTE y WiMAX, destacando LTE la cual ya ha sido implantada en gran parte de Europa y América incluso en nuestro país, sin embargo habrá que esperar algún tiempo para poder disfrutar de LTE en todo el Ecuador ya que la misma en nuestro país se encuentra aún en proceso de prueba.

La mayoría de parámetros utilizados para realizar el presente proyecto fueron tomados de organizaciones encargadas de regular las telecomunicaciones como son: ITU, 3GPP.org y 4Gamericas, las cuales aportan con una variedad de información que fue de gran ayuda para realizar el presente proyecto.

ABSTRACT

This project stems from the need for a study of the new generation of mobile phone “4G-LTE”, analyzing in detail how this latest technology market evolves allowing mobile phone have mobile broadband connections with high rates data also discloses the design parameters for a 4G-LTE network.

Although the project is purely investigative provides quality information, since it had an excellent treatment only extracting information of the utmost importance to be able to design and better understanding of LTE. In the development of the project has know modulation techniques, types of antennas, frequency, network architecture bands access and core, calculation of loss using several methods of calculation are: OKUMURA - HATA , COST - 231.

The technological basis for the implementation of fourth generation networks currently are already consolidated them offering two alternatives to use as: LTE and WiMAX, highlighting LTE which has already been implemented in much of Europe and America even in our country, however will have to wait some time to enjoy LTE throughout Ecuador as the same in our country is still in the testing process.

Most parameters used for this project were taken from organizations responsible for regulating telecommunications such as ITU, 3GPP.org and 4Gamericas, which provide a variety of information that was of great help to this project.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto analiza varios parámetros los cuales permiten comprender mejor la infraestructura de una red LTE y los beneficios que esta puede brindar en redes de banda ancha móvil lo cual permitirá brindar al usuario una experiencia diferente en la navegación sea por internet o en juegos on-line.

Las bases tecnológicas para la implementación de redes de cuarta generación actualmente ya están consolidadas las mismas que brinda dos alternativas a utilizar como son: LTE y WiMAX, destacando LTE la cual ya ha sido implantada en gran parte de Europa y América incluso en nuestro país, sin embargo habrá que esperar algún tiempo para poder disfrutar de LTE en todo el Ecuador ya que la misma en nuestro país se encuentra aun en proceso de prueba.

La mayoría de parámetros utilizados para la realizar el proyecto se tomaron de organizaciones encargadas de regular las telecomunicaciones como son: ITU, 3GPP.org y 4Gamericas, las cuales aportan con una variedad de información que fue de gran ayuda para realizar el presente proyecto.

Es así que el proyecto de investigación se divide en 5 capítulos, los mismos que son:

1. **Capítulo 1 - El problema**

Este capítulo permite conocer en un contexto macro hasta un contexto micro como se encuentra la telefonía en la ciudad de Ambato e identifica la problemática por la cual se dio la necesidad de desarrollar el presente proyecto.

2. **Capítulo 2 - Marco teórico**

En este capítulo se recopila información variada que ayuda a comprender como funciona y esta estructurada una red LTE.

Información relacionada ha generaciones de telefonía móvil, arquitectura de LTE, técnicas de multiantenas y de modulación, así como las diferentes bandas de frecuencia con que trabaja LTE, se encuentra en este capítulo.

3. Capítulo 3 - Metodología

Este capítulo muestra los diferentes métodos que se utilizaron para la realización del proyecto como son: consulta en fuentes bibliográficas como libros y artículos técnicos, análisis de proyectos relacionados con LTE desarrollados por empresas especializadas en telecomunicaciones, consulta de estándares y parámetros expuestos por entidades encargadas de normar la telefonía móvil como la ITU.

4. Capítulo 4 - Desarrollo de la propuesta

Este capítulo da a conocer en forma detallada las actividades y parámetros utilizados para el diseño de una red 4G-LTE, así como alternativas para la migración de las redes actuales y compatibilidad para trabajar en conjunto con redes de la familia 3GPP.

5. Capítulo 5 - Conclusiones y recomendaciones

Este capítulo brinda información que permite analizar varias conclusiones y recomendaciones a tomar en cuenta para futuras investigaciones relacionadas con el tema.

CAPÍTULO 1

El Problema

1.1. Tema de investigación

“Diseño de una red 4G *Long Term Evolution* (LTE) en redes móviles”

1.2. Planteamiento del problema

El teléfono celular actualmente ofrece transmisión de voz y datos para conectar a las personas, sin embargo ahora con la inclusión de funciones más sofisticadas en estos dispositivos, tarifas bajas y la posibilidad de adquirir un teléfono móvil a costos al alcance de nuestra economía.

La telefonía celular demuestra ser un excelente medio a utilizar para brindar acceso a datos y servicios de telefonía en cualquier lugar y momento surgiendo así la necesidad de que día a día la telefonía móvil este en un constante estudio y evolución.

Se puede decir que hoy en día la mitad de la población mundial tiene un teléfono celular, América Latina no es la excepción, ya que cerca del 80 % de la población es decir unos 460 millones de personas tiene un teléfono celular pese a que tienen ingresos inferiores a \$300 mensuales [1].

En la actualidad en Ecuador existen tres operadores de telefonía móvil como son:

- OTECEL S.A. – MOVISTAR con 5.150.862 abonados
- CONECEL S.A. - CLARO con 9.947.261 abonados
- CNT EP. - EX ALEGRO con 541.583 abonados

Dando un total de 15.639.706 abonados de telefonía celular información tomada de la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL) actualizada a Enero de 2104 [2], esto indica que el número de líneas de celulares supera notablemente la cantidad de habitantes del país.

Hoy en día se marca una tendencia en lo que se refiere al acceso a internet siendo los dispositivos móviles los que más se utilizan para tener acceso internet, es por esto que es necesario brindar un mejor servicio al usuario de telefonía móvil, utilizando tecnología actual como LTE, la cual es muy buena y estable con tres características claves como son:

- Soporta altas tasas de bits con baja latencia.
- Fácil de desplegar debido a que su estructura simplifica varios parámetros en su red.
- Evita la fragmentación por el tipo de duplexación que utiliza FDD y TDD.

Además permite cubrir las siguientes necesidades:

- Tener una conexión de datos con un alto rendimiento.
- Al tener un estándar menos complejo brinda una reducción de costos en la infraestructura tecnológica para fabricantes y operadores.
- Asegurar la competitividad de esta tecnología en el futuro frente a nuevas tecnologías aun en estudio como 5G.

Sin embargo en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua el servicio de los sistemas inalámbricos aún es deficiente debido a dos factores como son: la ubicación geográfica y perfil topográfico, provocando que las conexiones de llamadas y el uso de internet en dispositivos móviles sean aún limitadas en cuanto a velocidad de transmisión de datos se refieren. A pesar de que el área de cobertura ha aumentado aun existe déficit a la hora de soportar una demanda alta de conexiones ocasionando una baja y mala conectividad, es por esto que es necesario realizar un estudio apropiado para la migración de redes 3G a 4G para poder brindar a los usuarios de telefonía móvil un mejor servicio.

Todo esto se puede lograr solucionando algunos problemas como reducir la pérdida de información por zonas sin cobertura y mala calidad de servicio QoS, implementando técnicas y protocolos nuevos para optimizar el funcionamiento de la red móvil, además la carencia de una infraestructura de banda ancha móvil similar a las redes de banda ancha fija permite tener únicamente una conexión de datos con velocidad de subida y bajada lentas, por lo tanto se tiene una baja tasa de transmisión de datos desde dispositivos móviles originando movilidad y conectividad baja para el acceso a redes móviles.

1.3. Delimitación

- **Área:** Comunicaciones.
- **Línea:** Tecnologías de comunicación.
- **Sublínea:** Comunicaciones inalámbricas.
- **Espacial:** La presente investigación se desarrollo en la Ciudad de Ambato, con los proveedores de telefonía móvil para efectos de investigación bibliográfica.
- **Temporal:** La presente investigación se desarrollo en un periodo de seis meses a partir de la aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4. Justificación

El tener sistemas de telefonía móvil celular que permiten la comunicación entre usuarios en diferentes lugares geográficos proporcionando servicios como: telefonía móvil, envío de mensajes de texto y descarga de datos a baja velocidad, hace necesario tener un avance de tecnologías en telecomunicaciones para mejorar y optimizar recursos en beneficio de los usuarios y operadoras de servicio de telefonía móvil.

Sin embargo pese ha haber mejorado la calidad de servicios, seguridad, reducir los tiempos de latencia y tener un mejor uso del espectro en las comunicaciones, al existir una demanda creciente de servicios y generar más tráfico de información en la red así como la aparición de terminales de usuario más potentes, es necesario buscar la migración a tecnologías inalámbricas más eficientes, reduciendo costos y mejorando la calidad de servicio; es por ello que LTE reúne características especiales que solucionan notablemente estos problemas por lo cual en algunos países de Europa y América ya esta siendo utilizada.

Así mismo el incremento de tráfico genera otro gran problema por resolver como es tener limitación de capacidad en la red de acceso móvil, para lo cual se tiene dos tecnologías para el acceso inalámbrico como son: WiMAX y LTE (*Long Term Evolution*).

Por lo cual es necesario realizar un estudio de factibilidad técnica para la migración de nuestras redes actuales a LTE que es una de las últimas propuestas para las redes de acceso móvil, con la migración de redes móviles 3G a LTE los beneficiarios son los usuarios que utilizan internet móvil, ya que LTE ofrece una mejor velocidad de navegación siendo hasta 10 veces más rápida que 3G, permitiendo velocidades de

bajada de hasta 100 mbps y entre 40-60 mbps de subida, con una latencia de 20 a 25 milisegundos.

La implantación de esta tecnología en nuestro país dará un gran impacto ya que el cambio no sólo se notará en los servicios a los que accedemos o en la rapidez en la que lo hagamos. Hoy en día la mayoría de personas tienen un plan de datos para su casa y otro para su dispositivo móvil, con 4G-LTE los operadores pueden ofrecer servicios unificados y a la medida de lo que el usuario necesite.

Es por esto que el servicio que se puede ofrecer con LTE a pesar de necesitar un gran cambio en las redes de telefonía actuales se justifica con los beneficios que esta brinda, además la decisión para migrar hacia una nueva era de telefonía esta solo en los operadoras, mientras tanto hasta que las operadoras decidan optar por este cambio es necesario tener varias opciones para así compararlas y elegir la mejor, surgiendo así la necesidad de realizar un diseño de una red 4G-LTE.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Diseñar una red 4G *Long Term Evolution* (LTE) en redes móviles.

1.5.2. Específicos

- Analizar la estructura necesaria para el despliegue de la red inalámbrica 4G (LTE).
- Evaluar LTE en comparación con otras tecnologías semejantes, analizando aspectos técnicos.
- Analizar las posibles consecuencias técnicas y económicas, en conjunto con el desarrollo, que podrían darse por la implementación de 4G dentro del mercado nacional.
- Identificar las ventajas y desventajas que conlleva la implementación de esta tecnología.
- Realizar el diseño de una red 4G *Long Term Evolution* (LTE).

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

2.1. Antecedentes Investigativos

Revisado los repositorios digitales de las Universidades y Escuelas Politécnicas, en el Ecuador, se encuentran los siguientes temas de tesis:

Escuela Politécnica Nacional

“Estudio de factibilidad para la implementación de LTE (*Long Term Evolution*) en el Ecuador 2011.”

Elaborada por: Hurtado Ati, Christian Geovanny en abril de 2011, el cual llega a las siguientes conclusiones [3]:

- LTE es una gran opción para los operadores al permitir ofrecer una amplia gama de servicios multimedia, considerando que la tendencia presente en la región de Latinoamérica y Ecuador es la tecnología GSM/UMTS/HSPA por lo tanto se tiene un gran mercado que trabaja con esta tendencia, lo que facilita acceder a una futura migración hacia LTE.
- LTE podrá ser implementada en el Ecuador después de varios años debido a que recién en el 2011 se espera su despliegue comercial masivo en ciertos países desarrollados como Estados Unidos.

Escuela Politécnica del Ejercito

“Análisis de la tecnología *Long Term Evolution* (LTE) para su posible implementación en el Ecuador.”

Elaborada por: Lara, Román Muñoz Vera, Karina Alejandra en octubre de 2011, la cual llega a las siguientes conclusiones [4]:

- El desarrollo de las redes de datos y su proceso de evolución ha tenido un rápido progreso en cuanto a mejoras tecnológicas, dando lugar a una convergencia de redes por lo que se recomienda realizar una estructuración de nuevas normas regulatorias en el país, para así tener una mayor competencia en el mercado de las telecomunicaciones.
- La telefonía móvil en el Ecuador es la tecnología de mayor demanda y penetración en el país, existe un rápido crecimiento de usuarios de telefonía celular en los últimos años, superando los 15 millones de abonados para el año 2010, razón para determinar que la implementación de LTE es factible desde el punto de vista del mercado.

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Historia de la telefonía móvil en general

La invención del teléfono y el desarrollo de las comunicaciones vía radio son los principales ejes tecnológicos de la telefonía móvil, es así que las primeras comunicaciones de este tipo fueron las del servicio telegráfico por parte del inventor italiano Alessandro Marconi en el año 1896, quien también es el responsable de la primera transmisión de voz vía radio, la misma que tuvo su primera aplicación en la rama de las comunicaciones marítimas.

En el año 1921 se instaló los primeros sistemas de telefonía inalámbrica en Detroit para el departamento de policía, se trataba de una red unidireccional para distribución de información, y en el año 1932 en Nueva York se instaló la primera red bidireccional.

En 1973 Martin Cooper antiguo director general del departamento de sistemas de la empresa Motorola inventó el primer radioteléfono, por lo cual es considerado como el padre de la telefonía móvil, al ser la primera persona en desarrollar la tecnología inalámbrica [5].

2.2.2. La primera red celular

La base de toda la microelectrónica actual se fundamenta en la aparición del transistor, el cual fue desarrollado en los laboratorios Bell en el año 1947 por John Bardeen, Waller Brattain y William Shockley, no obstante hay un hecho significativo en la historia de las comunicaciones móviles como es el desarrollo del concepto de reutilización celular de las frecuencias.

Dicho concepto se propone en 1947 por Douglas H. Ring también desde los laboratorios Bell, el cual propone dividir el espectro disponible en varios canales,

limitar la potencia de los transistores y extender la cobertura instalando un número mayor de estos, en el cual la clave reside en reutilizar la misma frecuencia en aquellos transmisores que estén lo suficientemente alejados entre sí como para no interferirse.

A la zona cubierta por un transistor se le denomina célula y por eso la telefonía móvil también se conoce como telefonía celular. En 1949, la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) organismo que regula las comunicaciones en los EE.UU dispuso más canales y la mitad se los dio a la compañía Bell System y la otra mitad a compañías independientes como la RCC (*Radio Common Carriers*), con la intención de crear competencia y evitar monopolios [5].

2.2.3. Generaciones de telefonía móvil

La primera red celular de telefonía móvil pública la instaló NTT operadora de Tokio en 1979, desde ese instante la telefonía móvil comenzó su evolución y estudio, dividiéndose en varias etapas o también llamadas generaciones como son [5]:

- Primera generación (1G)
- Segunda generación (2G)
- Tercera generación (3G) y
- Cuarta generación (4G)

2.2.3.1. Primera generación (1G)

En el año 1981 los países nórdicos introdujeron el primer sistema de primera generación (1G) de telefonía móvil, donde una de sus principales características fue ser netamente analógica y orientada solamente para voz, uno de los principales problemas de esta generación se dio con los enlaces que este soportaba, ya que al contar con bajo procesamiento de datos dentro del sistema la transferencia de dispositivos entre células originaba pérdida de la conexión del terminal móvil con las estaciones base.

AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) es la tecnología que predominó en la primera generación de telefonía móvil, no fue hasta 1983 año en que fue comercializado el primer dispositivo verdaderamente móvil, el cual tenía un peso de 800 gramos y unas dimensiones de 33 x 9 x 4,5 cm, se denominaba familiarmente “el ladrillo” y se convirtió en un codiciado artículo de lujo entre los ejecutivos y hombres de negocio que podían pagar \$3000 dólares por su adquisición [5].

2.2.3.2. Segunda generación (2G)

En 1990 aparece una nueva generación de telefonía móvil (2G), donde una de las características que más destaca del sistema es ser digital.

Se desarrollaron sofisticados protocolos de codificación, los mismos que en la actualidad siguen siendo empleados.

GSM (*Global System for Mobile Communication*) es la tecnología que con la que se implantó la segunda generación de telefonía móvil, se dieron muchos cambios con respecto a su predecesora permitiendo así soportar altas velocidades de transferencia de información voz, además en esta generación se añaden otros servicios que facilitan la comunicación entre usuarios como son: fax y SMS (*Short Message Service*) conocidos también como mensajes de texto.

Del estudio realizado hasta el momento de las generaciones de telefonía se nota que las mismas tienen una evolución constante, sin embargo la llegada de 3G se retrasó por lo que se genera una transición intermedia entre ambas denominada 2.5G, la misma que tuvo comienzo a partir del año 2001, teniendo gran acogida por parte de los proveedores de telecomunicaciones, los mismos que migraron hacia 2.5G.

2.5G mejoró varios aspectos de 2G, lo que le permitía soportar capacidades muy superiores a los sistemas 2G y añadir una nueva tecnología llamada GPRS (*General Packet Radio System*) [5].

2.2.3.3. Tercera generación (3G)

La tercera generación de telefonía móvil más conocida como 3G se caracteriza por converger la transmisión de voz y datos con el acceso inalámbrico a internet, dando soporte para aplicaciones multimedia así como obtener por parte de la red altas transmisiones de datos.

Los protocolos que los sistemas 3G emplean permiten soportar aplicaciones como [5]:

- El audio (mp3).
- Video en movimiento.
- Videoconferencia.
- Acceso rápido a internet.

Sin embargo la industria de telecomunicaciones sigue realizando importantes inversiones con el ánimo de llegar en los próximos años a la convergencia hacia redes 4G.

2.2.3.4. Cuarta generación (4G)

El último eslabón hasta el momento en la evolución de redes móviles es la cuarta generación (4G) y dentro de ella LTE, la misma que poco a poco va implantándose en el mundo y va cobrando fuerza, ya que es el estándar seleccionado por la mayoría de los operadores móviles para trasladar a los usuarios de las actuales redes CDMA EVDO y 3G HSPA hacia un internet móvil de mayor velocidad.

Las instalaciones y lanzamientos actualmente están ya ocurriendo en América Latina, países grandes como: México, Brasil, Colombia y Chile tendrán varias en funcionamiento durante el 2013.

De acuerdo a 4Gaméricas entidad encargada de promover, facilitar y abogar por la implantación de la familia de tecnologías del 3GPP en datos móviles de banda ancha en todo el ecosistema, incluyendo las redes, servicios, aplicaciones y dispositivos conectados de forma inalámbrica en las Américas, LTE puede ofrecer velocidades de descarga de hasta 100 Mbps y 50 Mbps de carga, con una tecnología basada en protocolo de internet (IP), además puede apoyarse en otras tecnologías como WiFi y Femtoceldas para lograr una cobertura total.

Carlos Romero de la empresa Gemalto (vendedor de tarjetas inteligentes y otros productos de seguridad digital) indica que tras haber realizado un análisis de velocidad de transmisión de datos, se determina que el promedio de velocidad en los hogares de Latinoamérica es de 10 Mbits para una conexión a internet fija compartida por varios usuarios, por esto con LTE aún teniendo una velocidad final de 30 Mbps, se notará un cambio notorio y significativo en el tipo de aplicaciones y tareas que un usuario móvil puede realizar desde su teléfono [6].

Sin embargo el mapa de redes LTE está creciendo en todo el mundo, de acuerdo a la GSA (*Global Mobile Suppliers Association*) actualmente existen 268 redes comerciales en 100 países como se observa en la Figura 2.1 que va desde el norte de Europa, Estados Unidos, Medio Oriente y Asia, donde los operadores móviles han adoptado por la tecnología LTE [7].

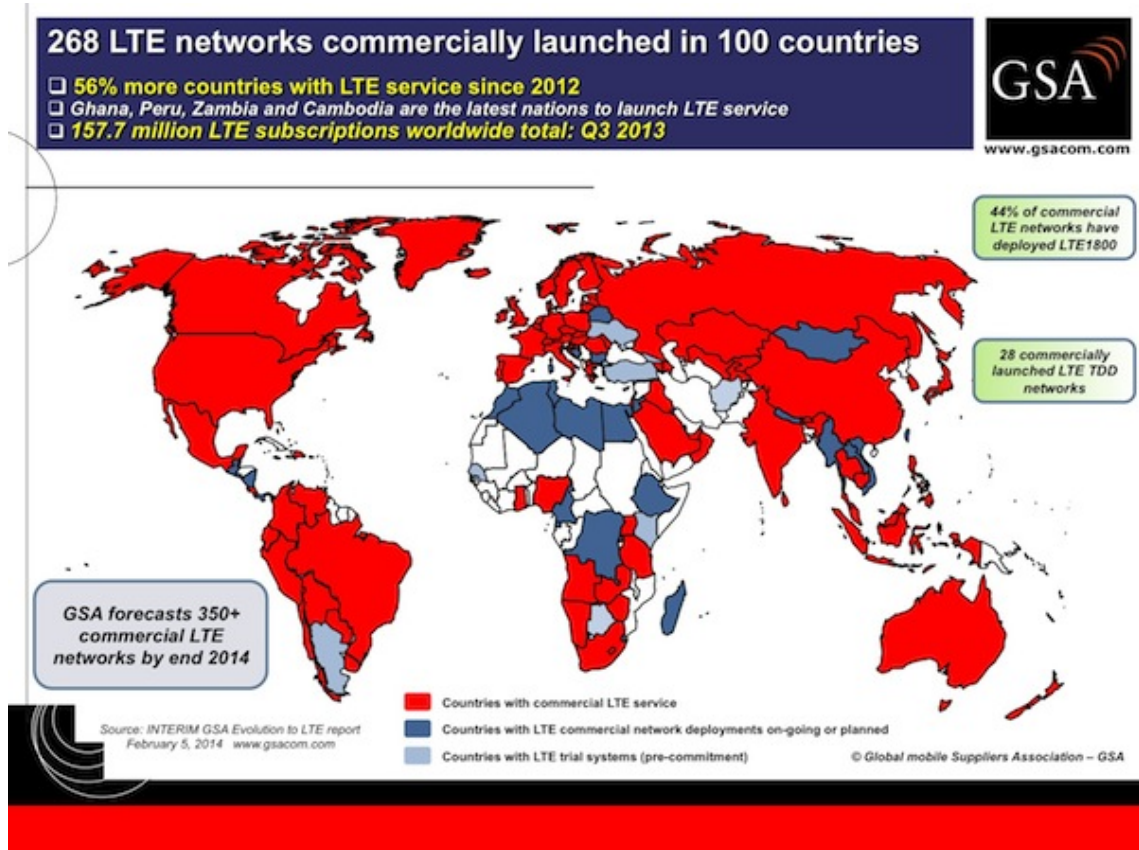


Figura 2.1: Redes LTE alrededor del mundo
Fuente: *GSA confirms new milestone for LTE* [7].

Se nota claramente el incremento de redes LTE alrededor del mundo, por lo tanto para el operador móvil hay un beneficio inmediato al adoptar ésta tecnología, ya que LTE cuenta con una arquitectura eficiente que permite tener bajos costos de operación en los servicios de datos móviles.

La asociación 4Gaméricas, en colaboración con informa Telecoms & Media estiman que hasta mayo de 2013 existían cerca de 100 millones de conexiones LTE en el mundo, un crecimiento de 50 por ciento con respecto al cierre de 2012 y pronostica que al cierre de 2013 existan alrededor de 134 millones de suscripciones LTE en todo el mundo.

En América Latina, hasta julio se tenían contabilizadas 180 mil conexiones LTE (40% de ellas en Brasil), con la expectativa de que a finales de 2013 lleguen a un total de 2 millones [8], estas cifras revelan un dinámico crecimiento de LTE en la región, la Figura 2.2 muestra un breve resumen estadístico del número de usuarios LTE a diciembre de 2013 [9].



Figura 2.2: Usuarios LTE
Fuente: 4G Américas - *Global LTE Connections* [9].

A continuación una breve reseña histórica de cómo se ha ido dando la evolucionando tanto WiMAX y LTE a lo largo de los años hasta llegar a implantarse ambas como tecnologías de cuarta generación [10].

- 2002, el ITU establece la visión estratégica de 4G.
- 2005, se escoge la tecnología de transmisión OFDMA.
- Noviembre de 2005, la empresa de telecomunicaciones KT muestra el servicio móvil WiMAX en Busan, Corea del Sur.
- Junio de 2006, KT comienza con el primer móvil que utiliza el servicio WiMAX en Seúl, Corea del Sur,
- Febrero de 2007, NTT da ha conocer un sistema prototipo de red 4G con 4x4 MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) llamado VSF-OFCDM.
- 2008, ITU-R establece algunos requerimientos de desempeño a cumplir para IMT avanzado.
- Marzo de 2009, la empresa lituana LRTC anuncia a la primera red 4G operativo en los países bálticos.

- Diciembre de 2010, la ITU establece LTE y WiMAX como tecnologías 4G.
- Noviembre de 2011, ANTEL de Uruguay anuncia 4G/LTE por primera vez en América Latina.
- Noviembre de 2011, Movistar Venezuela anuncia pruebas 4G/LTE.
- 2011 la empresa EPM telecomunicaciones anuncia el lanzamiento de la tecnología 4G/LTE en Colombia para el primer trimestre del año 2012 en la banda de 2.500 MHz, siendo así la segunda compañía en Latinoamérica en contar con dicha tecnología después de Uruguay.
- Julio de 2012, Movistar Venezuela realiza las segunda pruebas 4G/LTE en la capital de la república, utilizando frecuencias AWS (1700/2100 MHz) y la banda de 700 MHz.
- Para la copa del mundo de 2014, que se llevará a cabo en ese país, diversas ciudades tendrán acceso a redes 4G, tecnología de banda ancha móvil que promete conexiones de 100 Mbps.

Hay que tomar en cuenta que la instalación de LTE representa un cambio importante y una inversión significativa para los operadores móviles, ya que todos los elementos para la red móvil requieren ser modificados o en algunos casos ser reemplazados en su totalidad, es por esto que los diferentes proveedores de cada elemento requerido en una red LTE desde la infraestructura interna, las antenas, teléfonos y servicios están haciendo posible el contar con soluciones confiables y eficientes para tener redes en funcionamiento en un periodo de tiempo muy corto.

En consecuencia muchas aplicaciones nuevas y usuarios son beneficiados con la llegada de redes LTE, no solamente para diversión sino también en otros campos como la Telemedicina y los pagos móviles, sin duda esto hace nuestra vida más segura y aplicaciones móviles más confiables. Esto es sólo el inicio de lo que una red de alta velocidad puede traer consigo y está en camino ahora.

2.2.4. Introducción LTE

En la actualidad el gran avance de las tecnologías inalámbricas busca eficiencia en sus redes, reducción de costos y mejoramiento en la calidad de servicio; es por ello que LTE presenta varias mejoras frente a otras tecnologías en lo concerniente a velocidad de transmisión, eficiencia del espectro, baja latencia, etc., con lo que se da apertura a una gran variedad de nuevos servicios como video streaming.

2.2.5. Antecedentes LTE

LTE - evolución a largo plazo, es el estándar de comunicaciones móviles que da paso a la siguiente generación de redes móviles y nace para cubrir principalmente las siguientes necesidades:

- Tener una conexión de datos que descargue y suba datos a mayor velocidad.
- Estándar menos complejo y reduce significativamente costos.
- Asegurar la competitividad del 3G en el futuro, por ejemplo frente a WiMAX.

LTE permite tener velocidades de 50 mbps y 100 mbps para *Uplink* (UL) y *Downlink* (DL) respectivamente como se observa en la Tabla 2.1, el ancho de banda de LTE es variable pudiendo encontrarse desde 1,4 a 20 MHz.

Tabla 2.1: Tecnologías de telefonía móvil - Características

PARAMÉTROS	WCDMA - UMTS	HSPA HSDPA/HSUPA	HSPA- Plus	LTE - 4G
Máxima Velocidad enlace de bajada (Mbps)	384 Kbps	14 Mbps	28 Mbps	100 Mbps
Máxima Velocidad enlace de subida (Mbps)	128 Kbps	5.7 Mbps	11 Mbps	50 Mbps
Latencia	150 milise- gundos	100 milisegundos	50 milise- gundos - máximo	~ 10 milise- gundos
Release 3GPP	99/4	5/6	7	8
Año aproximado de lanzamiento	2003 / 2004	2005 / 2008	2008 / 2009	2009 / 2010
Método de acceso	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SCFDMA

Fuente: *Characterizing Products against Modern Wireless Communication Threats* [11]

LTE al encontrarse aún en desarrollo por parte de 3GPP, hace posible que cada vez aparecen más detalles y requerimientos

2.2.6. Requerimientos definidos por la ITU (Unión internacional de Telecomunicaciones)

A continuación se analiza varios requerimientos que la ITU aconseja tomar en cuenta para 4G-LTE como son [12]:

2.2.6.1. Tasa binaria de pico

De acuerdo a la ITU el sistema debe soportar una tasa binaria pico de 1 Gbps y de 500 Mbps, en caso de utilizar antenas MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) 4x4 para *downlink* (enlace de bajada).

2.2.6.2. Latencia

Para analizar la latencia existen dos puntos a analizar como:

- **Plano de control**

El tiempo de transición desde el modo IDL (con dirección IP asignada) a modo conectado debe ser menos de 50 milisegundos, incluyendo el establecimiento del plano de usuario.

El objetivo para la transición desde un estado pasivo a un modo conectado, DRX (*Discontinuous Reception*) debe ser menos de 10 milisegundos, excluyendo el retardo de genera el DRX.

- **Plano de usuario**

El tiempo de tránsito unidireccional entre el instante en que un paquete está disponible en la capa IP del nodo UE (equipo de usuario) y en que lo está en el nodo frontera de la red de acceso radio, la latencia será inferior a 5 milisegundos en condición descargada: un único usuario y un solo flujo de datos.

2.2.6.3. Eficiencia espectral

La ITU recomienda que en el canal descendente con una configuración de antena 8x8 LTE debe soportar una eficiencia espectral pico de 30 bps/Hz, y en el ascendente una eficiencia espectral pico de 15 bps/Hz con una configuración de antena 4x4.

2.2.6.4. Throughput en el borde de la célula

La ITU en sus requerimientos hace posible que el *throughput* de usuario en el borde de la célula sea el más alto posible generando pérdidas mínimas de paquetes.

2.2.6.5. Movilidad

Según la ITU el sistema debe soportar movilidad a lo largo de la red celular para varias velocidades que van desde 350 Km/h hasta 500 Km/h dependiendo de la banda de frecuencia utilizada en la red.

2.2.6.6. Cobertura

Los objetivos básicos deben alcanzarse en células de hasta 5 Km de radio, con ligera degradación hasta 30 Km de radio.

2.2.6.7. Flexibilidad espectral

Las bandas de frecuencia identificadas aparte de las ya fijadas en LTE *release* 8 son las siguientes: 450-470, 698-862 y 790-862 MHz, 2.3-2.4, 3.4-4,2 y 4.4-4.99 GHz. Soporta tanto FDD (*Frecuency División Duplexing*) como TDD (*Time División Duplexing*) para bandas emparejadas y sin emparejar.

2.2.7. Conceptos básicos

En este apartado se analiza parámetros y conceptos muy importantes que son de gran ayuda para comprender mejor todo lo concerniente con LTE.

2.2.7.1. Funcionamiento general de una red móvil

En la Figura 2.3 se muestra los elementos que intervienen en una llamada efectuada a través de un móvil.

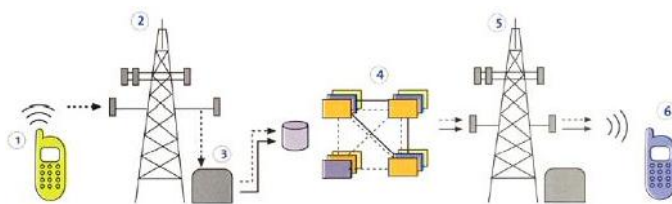


Figura 2.3: Esquema de funcionamiento de una red móvil

Fuente: CEM asociados a la Telefonía Móvil [13].

Los pasos a seguir para establecer una comunicación móvil son los siguientes:

1. El usuario realiza una llamada que interceptan las antenas receptoras.
2. Antenas y

3. Estación base: Las antenas envían la información a las estaciones base o las transforman para mandarlas a los centros de conmutación.
4. Nodos de conmutación: Los nodos de conmutación reciben todas las informaciones, ordena y las envía según donde se encuentre el destinatario: a la red fija (con lo que se acaba el trayecto de la llamada en la red móvil) o dentro de la red móvil si el destinatario es un móvil
5. Antenas: Las antenas reciben información y la transmiten en la zona donde se encuentra el usuario.
6. Llamada: El usuario recibe la llamada.

Del análisis de la Figura 2.3 se concluye que las instalaciones radioeléctricas constituyen un elemento imprescindible de la red móvil a la hora de establecer conexiones [13].

2.2.7.2. Sub-portadora

LTE al utilizar modulación OFDM permite tener sub-portadoras, estas sub-portadoras están distribuidas sobre toda la banda de frecuencias asignada al usuario, pudiendo obtenerse un espectro de hasta 1200 bandas [14].

2.2.7.3. OFDM - Multiplexación por división de frecuencia ortogonal

Tipo de multiplexación donde varias señales en banda base son moduladas utilizando diferentes frecuencias de sub-portadoras, las mismas que conformarán una única señal [14].

2.2.7.4. OFDMA y SC-FDMA - Técnicas LTE de acceso

Las técnicas de múltiple acceso que utiliza LTE son dos: OFDMA y SC-FDMA como se observa en la Figura 2.4, las mismas que se detallan a continuación:

- OFDMA: Extensión de OFDM, es usada en el *downlink* (enlace de bajada) de LTE.
- SC-FDMA: Extensión de OFDM, es usada en el *uplink* (enlace de subida) de LTE.

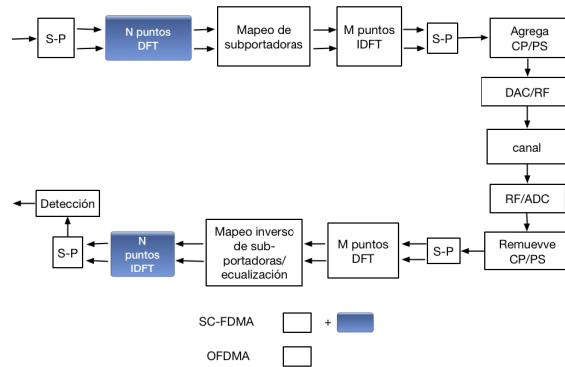


Figura 2.4: Estructura de SC-FDMA y OFDMA
Fuente: Red LTE Madrid [14].

En la Figura 2.5 se observa el trabajo que realiza OFDMA así como SC-FDMA con un símbolo de datos [14].

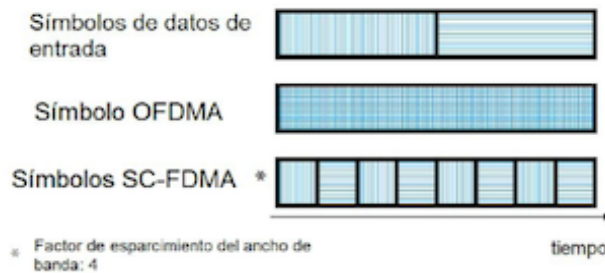


Figura 2.5: Diferencia de la señal en el dominio del tiempo
Fuente: Red LTE Madrid [14].

2.2.8. Arquitectura - LTE

LTE reduce significativamente su arquitectura con respecto a generación anteriores, la misma consta únicamente de dos elementos que son: núcleo de red y red de acceso como se observa en la Figura 2.6, donde la primera corresponde al EPC (Red Troncal) (*Evolved Packet Core*) que proviene del SAE (Arquitectura LTE) (*System Architecture Evolution*), y la red de acceso también llamada E-UTRAN (Red de Acceso Inalámbrico) evolución de UTRAN, conformando entre los dos elementos el EPS (*Evolved Packet System*) también conocida como red UMTS evolucionada.

El EPS (Red UMTS evolucionada) conecta a los usuarios a las redes lógicas para conexión PDN (*Packet Data Network*) utilizando direcciones IP, lo que le permite utilizar varios servicios como: VoIP, Internet, elementos de EPS (Red UMTS evolucionada) y sus diferentes interfaces [14].

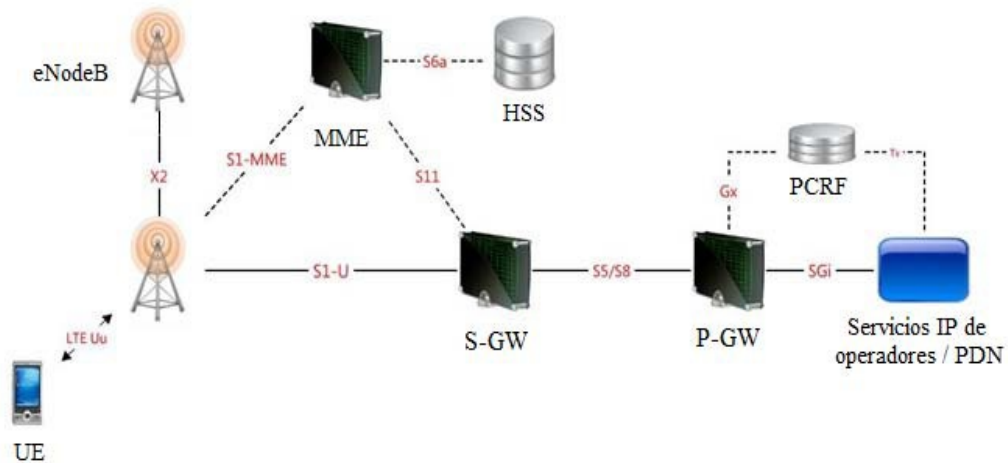


Figura 2.6: Elementos de Red UMTS evolucionada (EPS)
Fuente: Red LTE Madrid [14].

2.2.8.1. Núcleo de red (EPC)

El núcleo de red es conocido como red troncal (EPC) en el SAE (Arquitectura LTE), el mismo que consta de varios elementos como se observan en la Figura 2.7.

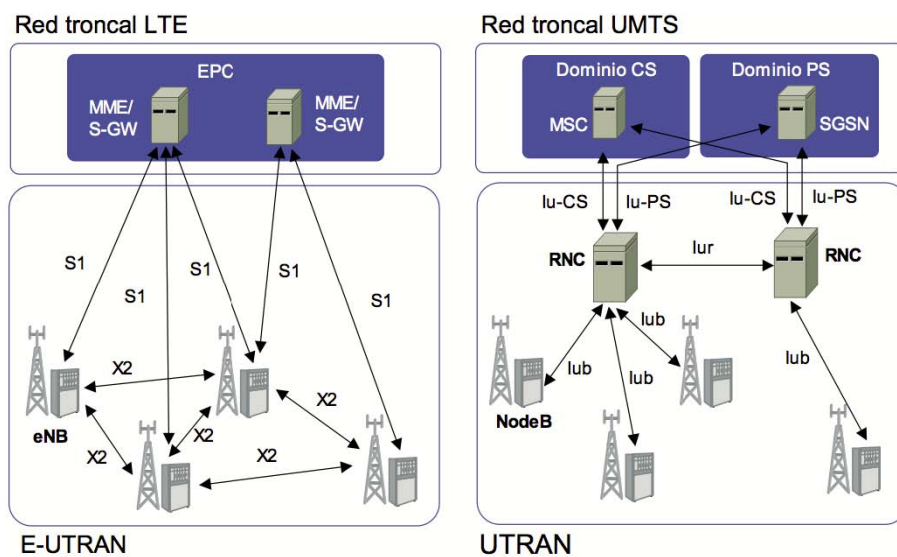


Figura 2.7: Elementos que constituyen la Red Troncal (EPC)
Fuente: 3GPP LTE: Hacia la 4G móvil [15].

En la Tabla 2.2 se detallan las funciones que cumple cada elemento que interviene en una red LTE

Tabla 2.2: Descripción elementos núcleo de red

Elementos de la Red Troncal	Función
MME	Dentro de sus funciones principales esta: autenticar, autorizar y seleccionar el PDN correcto para crear el enlace entre el E-UTRAN y redes externas.
P-GW	Asigna una dirección IP al equipo de usuario, realiza la facturación basada en el flujo que este genera. Encargado de la aplicación de QoS - Calidad de servicio.
S-GW	La función que cumple este elemento es la de transferir paquetes IP, almacenar información de movilidad local cuando un equipo de usuario a pasado por varias estaciones base.
PCRF	Crea reglas que permiten dar autorización QoS así como controlar funciones de facturación.
HSS	Aloja datos acerca de suscripción e información dinámica como la identificación del MME, base de datos principal del sistema.

Fuente: 3GPP LTE: Hacia la 4G móvil [15]

Existen protocolos que permiten al usuario tener una interacción directa con el núcleo de la red, conocidos como protocolos NAS [15].

2.2.8.2. Red de acceso (E-UTRAN)

Red de Acceso Inalámbrico compuesta por una red de estación base (*eNodeB*) conectadas entre si por medio de interfaces X2, cada estación base se encuentra conectado a red troncal utilizando la interfaz S1 y al MME (Gestión de movilidad) por medio de la interfaz S1-MME.

Los protocolos AS son el resultado de interconectar las estaciones base con el equipo de usuario, en la Figura 2.7, Figura 2.8 se observa los diferentes elementos que intervienen dentro de la red de Acceso Inalámbrico.

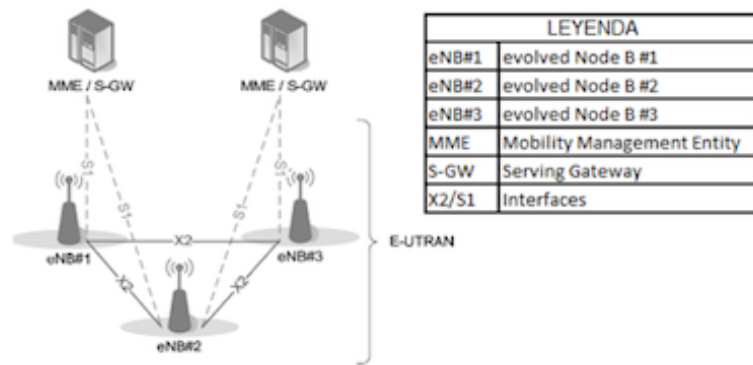


Figura 2.8: Red de Acceso Inalámbrico
Fuente: 3GPP LTE: Hacia la 4G móvil [15].

Dentro de las funciones principales de la red de acceso inalámbrico se tiene [15]:

- Gestión de recursos de radio.
- Compresión de cabecera, interfaz de radio eficiente para manejar paquetes IP pequeños.
- Seguridad en la encriptación.
- Conectividad con la red troncal.

2.2.9. Bandas de frecuencias disponibles para LTE

LTE ofrece varias alternativas que dentro del diseño permite elegir una frecuencia de operación como se observa en la Tabla 2.3, tanto para *downlink* (enlace de bajada) como para *uplink* (enlace de subida) y el modo de duplexaje [16].

Tabla 2.3: Bandas de frecuencia disponibles para LTE

Banda de operación estación base	Enlace de bajada - Downlink (MHz)	Enlace de subida - Uplink (MHz)	Espectro Flexibilidad
1	1920 - 1980	2100 - 2170	FDD
2	1850 - 1910	1930 - 1900	FDD
3	1710 - 1785	1805 - 1880	FDD
4	1710 - 1755	2110 - 2155	FDD
5	824 - 849	869 - 894	FDD
6*	830 - 840	875 - 885	FDD
7	2500 - 2570	2620 - 2690	FDD
8	880 - 915	925 - 960	FDD
9	1749,9 - 1784,9	1844,9 - 1879,9	FDD
10	1710 - 1770	2110 - 2170	FDD
11	1427,9 - 1452,9	1475,9 - 1500,9	FDD
12	698 - 716	728 - 746	FDD
13	777 - 787	746 - 756	FDD
14	788 - 798	758 - 768	FDD
15	No disponible	No disponible	FDD
16	No disponible	No disponible	FDD
17	704 - 716	734 - 746	FDD
18	815 - 830	860 - 875	FDD
19	830 - 845	875 - 890	FDD
33	1900 - 1920	1900 - 1920	TDD
34	2010 - 2025	2010 - 2026	TDD
35	1850 - 1910	1850 - 1911	TDD
36	1920 - 1990	1920 -1991	TDD
37	1910 - 1930	1910 -1931	TDD
38	2570 - 2620	2570 -2621	TDD
39	1880 - 1920	1880 -1921	TDD
40	2300 - 2400	2300 -2401	TDD

*Banda 6 no utilizable

Elaborado por: Daniel Analuisa basado en *E-UTRA frequency band* [16]

2.2.10. Arquitectura de protocolos LTE

En la arquitectura de LTE se puede observar como los datos provienen en forma de paquetes IP de capas superiores hacia el PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*), el que se encarga de realizar los siguientes procesos: compresión de cabecera y cifrado del paquete.

Los PDU's originados por el sistema son pasados al RLC donde tienen un procesamiento posterior:

- El RLC reúne todos los PDU's en RLC SDU's para segmentarlos junto añadiendo una cabecera.
- Luego los RLC PDU's son enviados hacia la capa MAC donde reúne a los MAC SDU's para convertirlos en MAC PDU's.
- Estos PDU's son trasladados a la capa física, donde se codifica y decodifica los datos que estos contienen, se organizan los PDU's enviados por la capa MAC en bloques de transporte.
- La capa física coloca un CRC en cada bloque de transporte por donde transitan los PDU's, en la Figura 2.9 se observa la arquitectura de protocolos LTE[17].

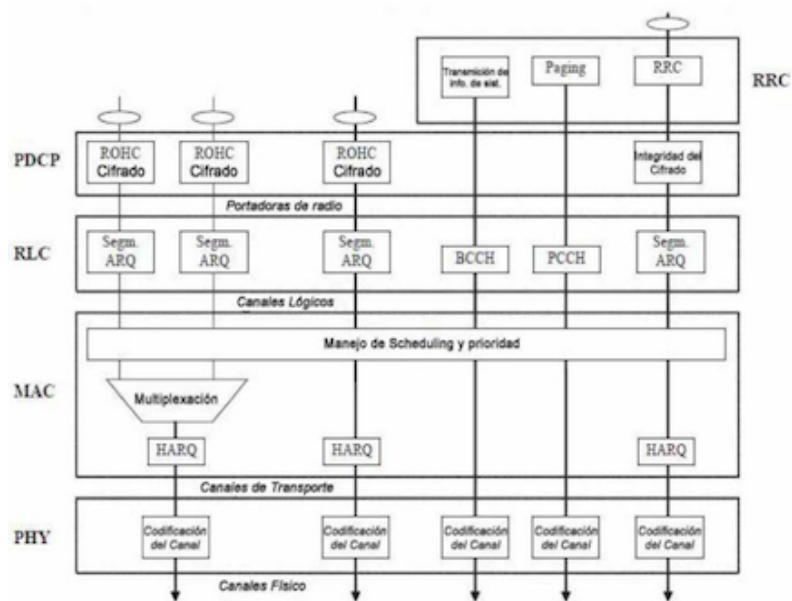


Figura 2.9: Protocolos LTE - Arquitectura.

Fuente: *Evolved Packet System* [?].

2.2.11. Interfaz aire - capa física LTE

La capa física ofrece el servicio de transporte a la subcapa MAC mediante canales de transporte, sus principales características son:

- Detección de errores en el canal de transporte.

- Codificación/decodificación FEC en el canal de transporte.
- Ajuste de la tasa de canal de transporte codificado al canal físico.
- Correspondencia entre el canal de transporte y el canal físico.
- Control de la potencia de los canales físicos.
- Modulación y demodulación de los canales físicos.
- Sincronización de tiempo y de frecuencia.
- Mediciones radio e indicación a capas superiores.
- Procesado de antenas en MIMO.
- Diversidad de TX.
- Formación de haces de antena.

LTE utiliza dos modos de duplexación que son: TDD y FDD, en el primero las señales transmitidas y recibidas son enviadas a la misma frecuencia pero en diferentes instantes de tiempo y en el segundo los enlaces de las transmisiones *uplink* (enlace de subida) y *downlink* (enlace de bajada) para un terminal utilizan bandas de frecuencia diferentes separadas entre sí [17].

2.2.12. Estructura de trama genérica

LTE tiene una trama genérica con una duración de 10 milisegundos, la cuál está subdividida en 10 subtramas de 1 milisegundo, donde cada subtrama se encuentra dividida en 2 ranuras de 0,5 milisegundos generando así entre 6 ó 7 símbolos OFDM.

En la Figura 2.10 se observa la trama genérica para *downlink* (enlace de bajada) y *uplink* (enlace de subida), se determina que cada ranura utiliza 7 y 6 símbolos OFDM con CP (Cyclic prefixes) normal y CP extendido respectivamente [14].

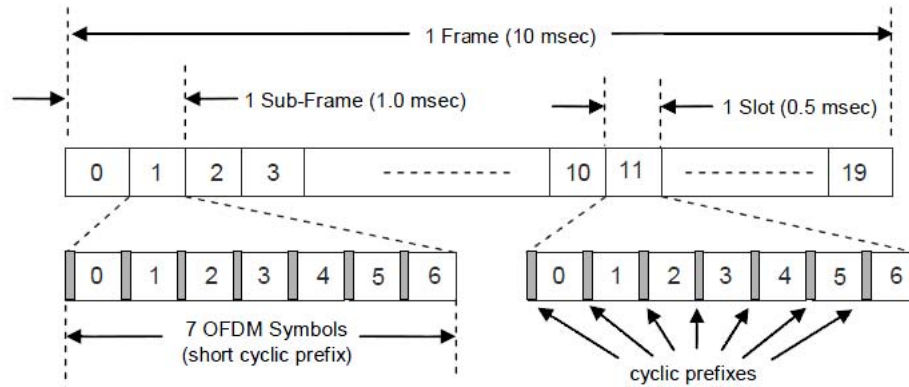


Figura 2.10: Estructura de la trama genérica para *Downlink* y *Uplink* LTE
Fuente: Red LTE Madrid [14].

Las señales de sincronización se encuentran ubicadas en las subtramas 1 y 6 para el enlace de bajada, utilizando FDD todas las subtramas se utilizan para el enlace de subida y bajada, en cambio con TDD para transmisiones el enlace de bajada se utiliza las subtramas 1 y 6 quedando disponibles el resto tanto para el enlace de bajada y subida.

2.2.13. Capa física LTE - Downlink

Es la capa encargada de realizar la transmisión a través del canal radio, en el enlace descendente el esquema de transmisión es OFDMA [18].

2.2.13.1. Modulación LTE

OFDM es el esquema de transmisión utilizado para LTE trabajando este con un prefijo cíclico CP, con 15 KHz de espaciamento base entre subportadoras así como con 66,67 us de duración por símbolo.

El enlace de bajada utiliza 7,5 KHz de espaciamento con 133 us de duración en el caso de MBSFN, las señales de *broadcast* y dedicadas comparten una sola frecuencia.

Existen 2 tipos de prefijo cíclico los mismos que son usados dependiendo del retardo de dispersión que resulte del radio de la celda.

Para áreas urbanas se ocupa CP normal trabajando con frecuencias altas y para áreas rurales CP extendido con frecuencias bajas.

En la Tabla 2.4 se puede observa varios parámetros de transmisión con distintas configuraciones de ancho de banda con las que trabaja LTE.

Tabla 2.4: Enlace de bajada (*Downlink*) - parámetros de modulación

Parámetros	Datos				
Ancho de Banda de transmisión (MHz)	1,25	2,5	5	10	15
Duración subtrama (ms)	0.5				
Espaciamiento subportadora (KHz)	15				
Frecuencia muestreo (MHz)	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04
Tamaño FFT	128	256	512	1024	1536
CP normal/CP extendido (OFDM # símbolos por slot)	7/6				
CP normal longitud (us/muestra)	(4,69/9) x 6	(4,69/18) x 6	(4,69/36) x 6	(4,69/72) x 6	(4,69/108) x 6
CP extendido longitud (us/muestra)	(5,21/10) x 1	(5,21/20) x 1	(5,21/40) x 1	(5,21/80) x 1	(5,21/120) x 1

Fuente: Red 3GPP LTE en el departamento del Cusco [18].

2.2.13.2. Recursos físicos (*Downlink*)

Estos recursos consisten en bloques conocidos como PRBs (*Physical Resource Blocks*), elemento más pequeño de la asignación de recursos realizado por el planificador de la estación base.

Cada PRB consiste de 12 sub-portadoras consecutivas para 1 slot de 0,5 ms y ancho de banda de 180 KHz, donde cada elemento de recurso corresponde a una sub-portadora para la duración de un símbolo OFDM.

Dependiendo de la longitud del CP, un PRB comprende de 84 símbolos OFDM en el caso del CP normal y de 72 símbolos para CP extendido, en la Tabla 2.5 se observa que el número de estos bloques depende del ancho de banda de banda de transmisión de LTE.

Tabla 2.5: Parámetros de modulación de Downlink

Parámetros	Valores					
Ancho de Banda de transmisión (MHz)	1.25	2.5	5	10	15	20
Ancho de banda de sub-portadora (KHz)	15					
Ancho de banda de PRBs (KHz)	180					
Número de PRBs disponibles	6	12	25	50	75	100

Fuente: Red 3GPP LTE en el departamento del Cusco [18].

Basado en la estructura de trama genérica en la Figura 2.11 se determina que el PBR lo constituyen 12 subportadoras con 15 KHz de espaciamento con 6 o 7 símbolos lo cuál depende del CP.

El enlace de bajada soporta 7,5 KHz de espaciamento únicamente para el caso del CP extendido con 24 sub-portadoras y 3 símbolos.

Con un CP normal de 84 elementos de recursos PBR (7 símbolos x 12 sub-portadoras = 84), los mismos que corresponden a un slot en el dominio del tiempo, una PBR de 180 KHz dando como resultado 15KHz x 12 sub-portadoras = 180 los mismos que corresponden al dominio de la frecuencia.

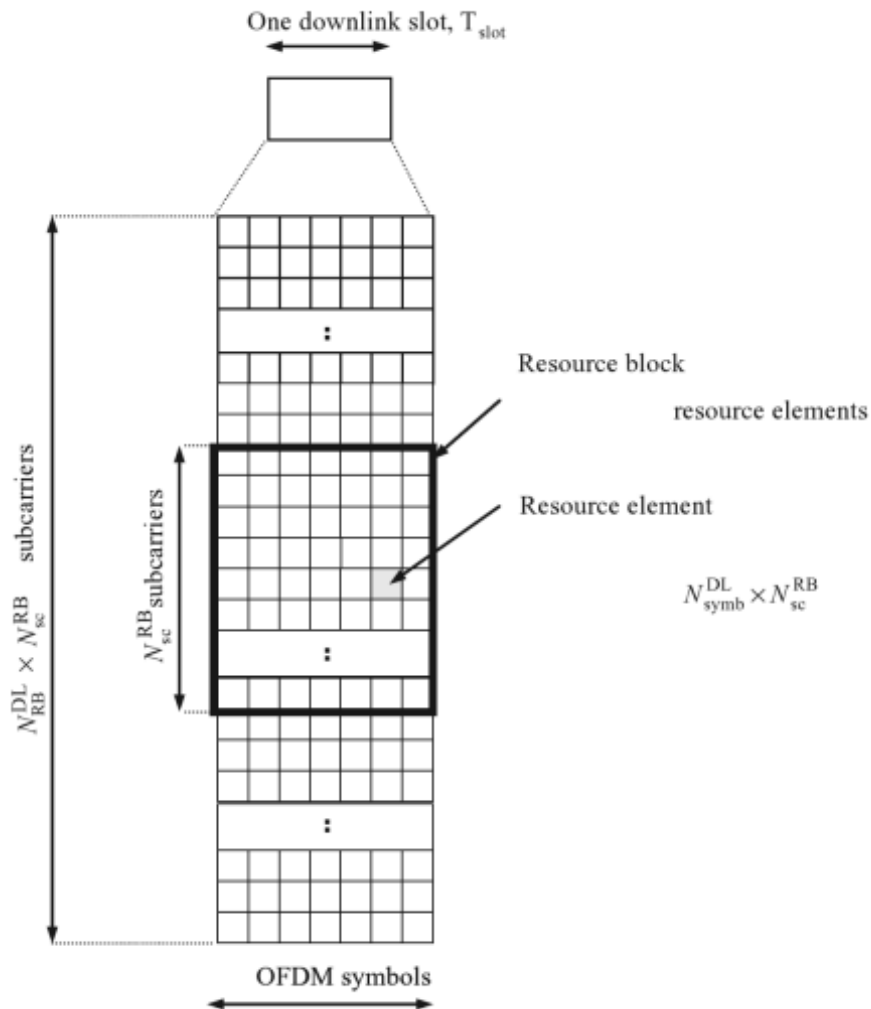


Figura 2.11: Recursos físicos Downlink

Fuente: Red 3GPP LTE en el departamento del Cusco [18].

2.2.13.3. Canales físicos (*Downlink*)

La función que estos canales desempeñan son la de transmitir información de capas superiores los mismos que son mapeados por los canales de transporte.

En la Tabla 2.6 se describe la función que cumplen los canales soportados por LTE.

Tabla 2.6: Enlace de bajada (*Downlink*) - Canales físicos

Canales físicos	Función
PBCH	Traslada la información de paging y de señalización de control, utiliza modulación QPSK.
PBFICH	Contiene el número de símbolos OFDM usados por PDCCH.
PDCCH	Utilizado para trasladar información de señalización y control al equipo de usuario.
PHICH	Lleva respuestas ACK/NAK de ARQ híbrido, utiliza modulación QPSK.
PDSCH	Trabaja con modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM además es utilizado para transportar datos y servicios multimedia.
PMCH	Trabaja con modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM también se encarga de trasladar datos de multicast.

Fuente: Red 3GPP LTE en el departamento del Cusco [18].

2.2.13.4. Canales transporte (*Downlink*)

Existen canales intermediarios para transmitir información entre la capa MAC y física, llamados canales de transporte. En la Tabla 2.7 se da a conocer en detalle cada uno de estos canales[18].

Tabla 2.7: Enlace de bajada (*Downlink*) - Canales de transporte

Canales	Función
BCH	Transmitir parámetros del sistema.
DL-SCH	Trasladar información de usuario que permita establecer una conexión punto a punto.
PCH	Permite mover el equipo de usuario del estado RRC_IDLE al RRC_CONNECTED.
MCH	Transferir datos de multicast al equipo de usuario.

Fuente: Red 3GPP LTE en el departamento del Cusco [18].

2.2.13.5. Procesamiento de la capa física

El procesamiento se da entre la MAC y la capa física mediante datos en bloques de transporte que recibe ésta última. La Tabla 2.8 detalla todos los pasos del proceso.

Tabla 2.8: Procesamiento de la capa física *Downlink*

Pasos	Función
Inserción de CRC	Un CRC es calculado e insertado al inicio de cada bloque. El CRC permite por el lado del receptor la detección de errores residuales en el bloque decodificado.
Codificación de canal	Usa un turbo código basado en QPP.
Procesamiento ARQ híbrido	Su tarea es extraer de los bloques el número exacto de bits a ser transmitidos dentro de un TTI dado.
Scrambling	El scrambling de data codificada asegura que la decodificación por el lado del receptor pueda utilizar la ganancia de procesamiento dado por el código de canal.
Modulación	El downlink soporta modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM.
Mapeo de antenas	Procesa de forma conjunta la modulación de símbolos correspondientes a dos bloques de transporte y mapea el resultado a diferentes antenas.
Mapeo de bloques de recurso	Mapea los símbolos a ser transmitidos en cada antena a elementos de recursos del conjunto de bloques asignados al planificador MAC para la transmisión de los bloques de transporte.

Fuente: Red 3GPP LTE en el departamento del Cusco [18].

2.2.14. Capa física LTE - *Uplink* (enlace de subida)

Es la capa encargada de realizar la transmisión a través del canal radio. En el enlace ascendente la capa física se basa en un esquema *Single Carrier FDMA* [18].

2.2.14.1. Parámetros de modulación del enlace de subida

Trabaja con un esquema muy similar al del enlace de bajada, cambiando únicamente la duración del CP.

En la Tabla 2.9 se observa varios parámetros de modulación del enlace de subida.

Tabla 2.9: Enlace de subida (*Uplink*) - Parámetros modulación

Parámetros	Valores
Espaciamiento subportadora en KHz	15
Duración subtrama en ms)	0,5
CP normal/CP extendido (SC-FDMA símbolos por slot)	0 : 5,2
Duración CP normal en us	1-6 : 4,7
Duración de CP extendido en us	0-5 : 16,67
Mínimo número de PRB's	6
Máximo número de PRB's	100

Fuente: Red 3GPP LTE en el departamento del Cusco [18].

2.2.14.2. Recursos físicos del enlace de subida

Están conformados de igual manera que para el *downlink* (enlace de bajada) con la diferencia que este puede soportar un espaciamento de 7,5 KHz para el enlace de subida.

2.2.14.3. Canales físicos del enlace de subida

Dentro de la Tabla 2.10 se detallan los canales soportados por el enlace de subida así como sus funciones principales.

Tabla 2.10: Enlace de subida (*Uplink*) - Canales físicos

Canales <i>Uplink</i>	Función
PRACH	Traslada información acerca de las longitudes del CP y la secuencia, preámbulos son generados por secuencias de Zadoff-Chu para reducir el PAPR y BER.
PUSCH	Trabaja con modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM y traslada datos del usuario para transmisión.
PUCCH	Se encarga de realizar reportes CQI, petición de programación, llevar respuestas HARQ ACK/NACK además traslada información de control del enlace de subida. Trabaja con modulaciones QPSK y BPSK.

Fuente: Red 3GPP LTE en el departamento del Cusco [18].

2.2.14.4. Canales de transporte del enlace de subida

En la Tabla 2.11 se detalla las funciones de cada uno de los canales soportados en el enlace de subida.

Tabla 2.11: Enlace de subida (*Uplink*) - Canales de transporte

Canales	Función
RACH	Utilizado para requerimientos de acceso aleatorio y transmitir información de control mínima.
UL-SCH	Utilizado para transmitir datos del enlace de subida, trabaja con varios canales lógicos.

Fuente: Red 3GPP LTE en el departamento del Cusco [18].

2.2.14.5. Procesamiento de la capa física del enlace de subida

El proceso en el enlace de subida es similar al del enlace de bajada, diferenciándose únicamente por no establecer la transmisión de diversidad y multiplexación espacial, por lo cuál no existe funciones de mapeo en las antenas, en la Tabla 2.12 se describen los pasos del proceso a realizar.

Tabla 2.12: Enlace de subida (*Uplink*) - Procesamiento de la capa física

Pasos del proceso	Funciones
Inserción de CRC	El CRC es calculado e insertado al final de cada bloque de transporte.
Codificación de canal	Trabaja con turbo código basado en QPP similar al del enlace de bajada.
Procesamiento ARQ híbrido	Similar al del enlace de bajada diferenciándose en los protocolos utilizados.
Scrambling	Similar al enlace de bajada, cada equipo de usuario trabaja con una única secuencia de scrambling.
Modulación	Soporta modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM al igual que el enlace de bajada.

Fuente: Red 3GPP LTE en el departamento del Cusco [18].

2.2.15. Técnicas de Multi-Antenas (MIMO Múltiple entrada - múltiple salida) - LTE

MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) técnica que es utilizada para incrementar los valores de velocidad del enlace así como expandir la cobertura para tecnologías de cuarta generación.

LTE soporta configuraciones de antena 2x2 o 4x4 así como *beamforming* [19].

2.2.15.1. Mimo en el enlace de bajada

Para el enlace de bajada comúnmente se trabaja con configuraciones de antena 2x2 y 4x4, lo cuál soporta diferentes modos de transmisión sea con una o varias antenas, multiplexación espacial se en lazo abierto o cerrado, MU-MIMO y *beamforming*.

2.2.15.2. MIMO en el *enlace de subida*

En el enlace de subida se utiliza MU-MIMO, permitiendo así conservar la baja complejidad en el diseño de terminales móviles.

Además otra característica especial de utilizar antenas MIMO es que permite a usuarios con distintos terminales con una sola antena de transmisión, usar el mismo canal.

2.2.16. Capa 2 (MAC - Control Acceso al medio)

La capa 2 de LTE la componen: MAC, RLC y PDCP, estas cumplen varias funciones como las que a continuación que se mencionan:

- Mapeo de canales lógicos sobre canales físicos.
- Segmentación y montaje de RLC PDU.
- Aseguramiento y entrega de datos ARQ/HARQ.
- Selección del formato de transporte.

Además la capa MAC cumple un papel especial ya que tiene funciones importantes a realizar como:

- Enviar y recibir PDU's sea desde o hacia la capa física por medio de los canales de transporte.
- Realizar transmisiones y retransmisiones HARQ.

- Multiplexación y demultiplexación de canales lógicos y *scheduling* tanto del enlace de bajada como del enlace de subida.

La capa MAC se encuentra conectada con el RLC, la misma se encarga de la corrección de errores a través de ARQ y la segmentación, a su vez la subcapa RLC está conectada con la PDPC que se encarga de la compresión de cabecera usando el protocolo RoHC así como todo lo referente a la seguridad como detección de duplicidad y cifrado. En la Figura 2.12 se observa la como esta organizada de la capa 2 de LTE [20].

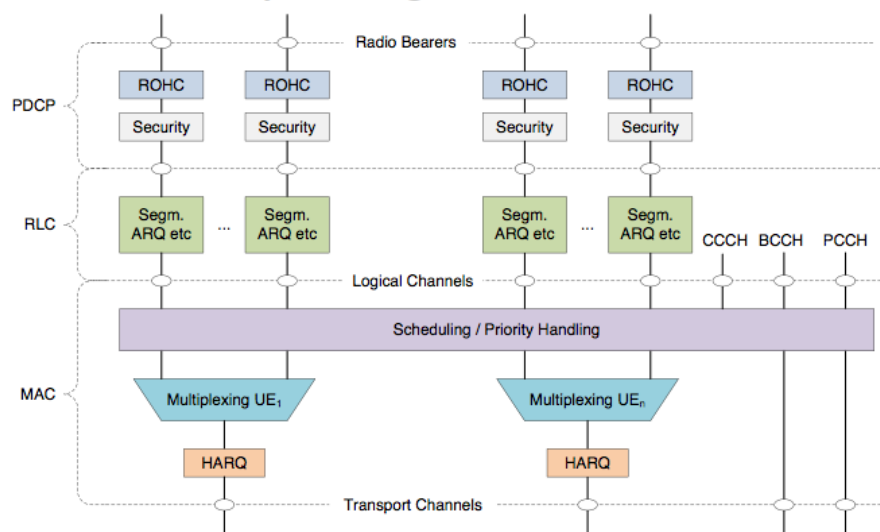


Figura 2.12: LTE - Organización capa 2

Fuente: 3GPP LTE Channels and MAC Layer [20]

2.2.16.1. Canales Lógicos del enlace de subida

Los canales lógicos cumplen una función importante como la transferir datos de la capa MAC hacia o desde la capa RLC, los canales y sus diferentes funciones se detallan a continuación en la Tabla 2.13 y Tabla 2.14 [20].

Tabla 2.13: Canales lógicos de control del enlace de subida

Canales lógicos	Funciones
PCCH	Transmitir información de control acerca del paging cuando la ubicación de celda es desconocida para la red.
BCCH	Transmitir información de control del sistema a terminales móviles a través de una celda.
CCCH	Transmisión regular de control de información entre los equipos de usuario y la estación base.
DCCH	Transmitir información de control dedicada hacia o desde un equipo de usuario específico, utilizado cuando se tiene una conexión RRC para el plano de control con la estación base. Trabaja con un canal bi-direccional con un enlace punto a punto.
MCCH	Canal utilizado exclusivamente por los equipos de usuario que reciben MBMS. Trabaja con un canal punto a multipunto para el enlace de bajada).

Fuente: *3GPP LTE Channels and MAC Layer* [20]

Tabla 2.14: Canales lógicos de tráfico

Canales lógicos	Funciones
MTCH	Transmitir datos acerca del tráfico de red hacia al equipo de usuario, utilizado exclusivamente por los equipos de usuario que reciben MBMs. Trabaja con una enlace punto a multipunto para el enlace de bajada.
DTCH	Transferir información generada por el equipo de usuario, puede existir tanto para el enlace de subida como para el de bajada.

Fuente: *3GPP LTE Channels and MAC Layer* [20]

2.2.16.2. Flujo de datos en la capa MAC

El trabajo que realiza la capa MAC con el flujo de datos es el siguiente: recibe datos en forma de SDU's de la capa RLC, luego los SDU's son combinados junto con la cabecera MAC y los elementos de control así formando PDU's.

Se encuentra que la cabecera MAC está dividida en subcabeceras, estas contienen un identificador lógico de canal llamado LCID, el cuál determina qué tipo de

elementos de control van a ser utilizados dentro del campo de carga útil o tipo de canal [20].

2.2.17. Capa RRC

Protocolo de señalización el cuál soporta varias funciones entre la estación y el terminal móvil, dentro de las funciones más importantes se tiene [20]:

- Gestionar varios parámetros relacionados con la calidad del enlace
- Gestión, establecimiento, mantenimiento y liberación de conexión RRC en el plano de control.
- Establecimiento, configuración y liberación de portadoras en recursos de radio.
- Transmisión de información del sistema.
- *Paging*.
- Transferencia de contexto del usuario entre la estación base para el *handover*.

2.2.17.1. Estados RRC (Plano de control)

El plano de control permite gestionar las conexiones entre el terminal móvil y la red de acceso inalámbrico, teniendo así dos estados que son: RRC_IDLE y RRC_CONNECTED [20].

- **RRC_IDLE**

Estado desconectado, no hay conexión entre el terminal y la estación base, el equipo de usuario es desconocido por la red estación base.

- **RRC_CONNECTED**

Estado conectado, existe una conexión activa entre el terminal y la estación base, se puede intercambiar información de usuario así como mensajes de señalización acerca de los canales lógicos.

2.2.18. Planificación de usuarios (*Scheduling*)

El *scheduling* consiste en asignar recursos de transmisión a diferentes usuarios, para ello se debe determinar en cada momento, cuáles de las sub-portadoras se asignan a cada uno de los diferentes usuarios. En la Figura 2.13 se aprecia claramente este proceso. Por un lado existen datos asociados a cuatro usuarios diferentes, cada uno representado mediante un color, y por el otro el conjunto de recursos que se

puede contemplar como una rejilla en los ejes de frecuencia y tiempo, de modo que en frecuencia existe un conjunto de sub-portadoras separadas Δf , cada una de las cuales se puede asignar durante un período temporal T a cada usuario [21].

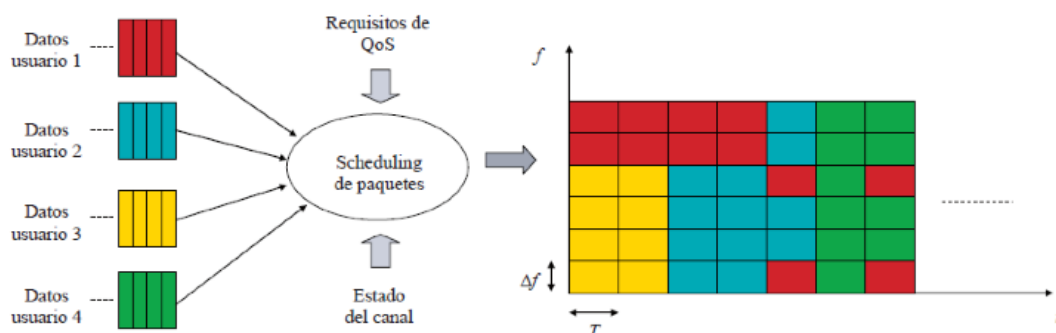


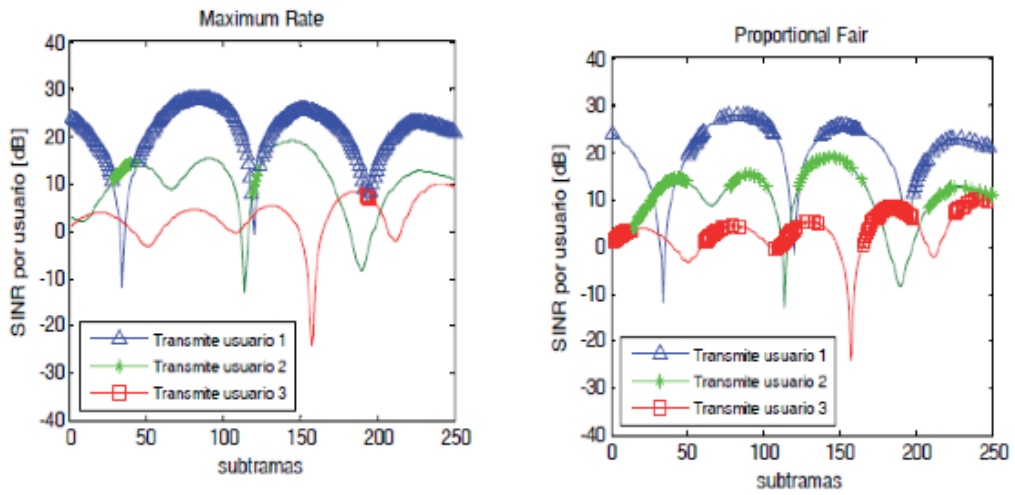
Figura 2.13: *Scheduling* de paquetes en OFDMA

Fuente: Estudio y desarrollo comunicaciones móviles, LTE [21].

Para asignar los recursos de transmisión se emplea diferentes técnicas como:

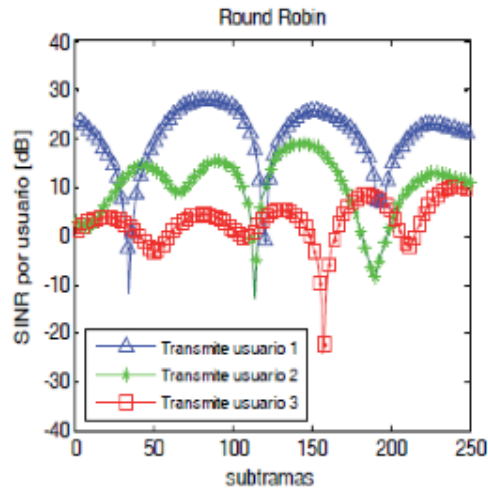
- Round robin: Esta estrategia asigna recursos a los usuarios sin tener en cuenta las condiciones del canal. Se considera una estrategia justa en el sentido de que todos los usuarios tienen la misma cantidad de recursos asignados, pero no es muy eficiente porque al no tomar en cuenta las condiciones del canal, empeora el rendimiento global del sistema.
- Bestcqi: En esta estrategia el *scheduler* asigna recursos radio a los usuarios que presenten las mejores condiciones del canal. Con esta estrategia se consigue maximizar la capacidad de la celda, pero es una estrategia no muy recomendable ya que los recursos solo estarán disponibles para los usuarios con las mejores condiciones del canal y aquellos que se encuentran en los bordes de las celdas.
- Proportional-fair: Esta estrategia sí toma en cuenta las condiciones del canal y su objetivo es conseguir un equilibrio entre ser una estrategia fiable y optimizar el *throughput* de cada usuario. Para ello, el *scheduler* asigna recursos a un usuario que obtenga mayor relación entre el *throughput* obtenido en un momento determinado y el *throughput* medio obtenido en una ocasión anterior.

A continuación, en la Figura 2.14 se puede analizar el comportamiento de cada una de las técnicas de planificación de usuarios, *schedulers*.



(a) *Maximum Rate*

(b) *Round Robin*



(c) *Proportional Fair*

Figura 2.14: Técnicas de *Scheduling*

Fuente: Estudio y desarrollo comunicaciones móviles, LTE [21]

2.3. Propuesta de Solución

Diseñar una red 4G *Long Term Evolution* (LTE) en redes móviles.

CAPÍTULO 3

Metodología

3.1. Modalidad Básica de la investigación

3.1.1. Investigación Bibliográfica

El presente proyecto se realizó en la modalidad bibliográfica ya que la información se obtuvo principalmente de libros, revistas científicas, paper's, proyectos desarrollados por empresas especializadas en el desarrollo de proyectos de telecomunicaciones y de proyectos similares relacionados con el tema, cada una de estas vinculada a redes móviles y sus aplicaciones con tecnología LTE. Para fortalecer esta investigación se considero como base fundamental normas y características para LTE establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), organismo especializado y encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras, así como 3GPP y 4G Americas.

3.1.2. Investigación de Campo

La investigación de campo no fue del todo satisfactoria debido a que las operadoras donde se acudió para realizar la presente investigación, por cuestiones de normas internas de cada empresa no están autorizadas para proporcionar información acerca de sus redes móviles, las cuales se encuentra con carácter de confidencial. Por lo tanto no se pudo obtener datos reales de la situación actual de la telefonía móvil en el país únicamente se obtuvo datos estadísticos proporcionados por la SUPERTEL.

3.2. Recolección de información

3.2.1. Plan de recolección de información

La gran mayoría de información recolectada fue de libros, artículos técnicos, paper´s y proyectos desarrollados en otros países donde ya están en funcionamiento redes LTE, puesto que acceder a ciertas entidades que tienen implementado en su infraestructura tecnología LTE es limitado y en algunos casos nulo, por lo que se optó únicamente por recolectar información de proyectos similares.

3.3. Procesamiento y análisis de la información

En el presente proyecto al no contar con información de operadoras como Claro, Movistar o CNT se decidió adaptar y procesar información recolectada bibliográficamente con un solo propósito de obtener parámetros técnicos que permitan tener una idea clara de cómo se encuentra el desarrollo de la tecnología 4G (LTE) en la actualidad y así buscar la mejor alternativa para realizar el diseño de red y poder concluir con el desarrollo del proyecto.

3.4. Desarrollo del Proyecto

- Recolección de información sobre redes móviles.
- Recolección de información sobre redes 4G (LTE).
- Procesamiento de información de redes móviles y 4G (LTE).
- Análisis de requerimientos para la compatibilidad de las redes de telefonía móvil actuales con 4G (LTE).
- Elaboración de requerimientos técnicos para el diseño de red 4G (LTE).
- Elaboración del diseño de red 4G (LTE) en redes móviles.
- Elaboración de ventajas y desventajas de 4G (LTE).
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones.
- Elaboración y presentación del proyecto final.

CAPÍTULO 4

Desarrollo de la propuesta

4.1. Datos Informativos

- **Título**

“Diseño de una red 4G *Long Term Evolution* (LTE) en redes móviles”

- **Director de Tesis**

Ing. Marco Jurado Lozada. Mg

- **Tutor**

Ing. Marco Jurado Lozada. Mg

- **Investigador**

Jaime Daniel Analuisa

4.2. Antecedentes de la Propuesta

En la ciudad de Ambato la creciente demanda de utilización de datos móviles, para subir y descargar archivos desde y hacia dispositivos móviles es un problema para las operadoras móviles, las mismas que se ven en la necesidad de buscar nuevas tecnologías para satisfacer tal demanda y brindar un mejor servicio a los usuarios.

Una de las tecnologías que llega para solucionar este gran problema es la tecnología 4G-LTE, siendo esta la más reciente, la misma que proporciona Internet móvil con una velocidad de hasta 100 Mbps, siendo 10 veces más rápida que las redes móviles 3G.

Sin embargo el desarrollo de LTE se da para mejorar considerablemente la arquitectura de red y núcleo, soportar datos móviles de banda ancha, por lo cual su arquitectura de red evoluciona hacia el sistema evolucionado de paquetes, el mismo que se compone de dos grupos de especificaciones:

- E-UTRAN (LTE): dedicado a la evolución de la interfaz de radio.

- SAE (*System Architecture Evolution*) dedicado a la evolución de la arquitectura de Núcleo (Core).

Además hay que recalcar un aspecto muy importante de LTE, la alta eficiencia espectral ya que utiliza OFDMA como técnica de acceso al medio en el enlace descendente y SC - FDMA en el enlace ascendente. Estas técnicas de acceso múltiple al medio logran reducir la interferencia y mejorar la capacidad de red.

Un aspecto muy importante de LTE es que brinda flexibilidad en el espectro, donde la banda de transmisión va de: 1.4 MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz y 20 MHz, dependiendo de la disponibilidad del espectro.

Con LTE en la banda de 20 MHz se puede llegar a tener velocidades de hasta 150 Mbps con configuración de antena 2X2 MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) y de 300 Mbps con 4X4 MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida), la máxima velocidad en el enlace de subida es 75 Mbps que permite tener velocidades de carga y descarga de 10 y 5 Mbps respectivamente, es por eso que varias de las empresas de telefonía en el mundo han optado por la implantación de esta tecnología en sus redes móviles, lo que indica que esta es una alternativa de solución para el problema que se da en las redes móviles del Ecuador y más específicamente en la ciudad de Ambato.

4.3. Justificación

A pesar de que en nuestro país el costo por utilización de datos móviles es muy elevado en comparación con otros países, esto no es un factor limitante para los usuarios que contratan este servicio, ya que la mayoría de usuarios del servicio lo que desean tener es comodidad y buena calidad del servicio a la hora de utilizar internet móvil en su teléfono celular.

Existen muchos retos para los operadores de telefonía móvil del país para llegar a implantar esta tecnología como son: fuentes de financiamiento, contar con una infraestructura que permita una migración a LTE, personal capacitado para la promoción del servicio, educar a los usuarios para que entiendan la diferencia entre 3G y 4G, entre algunos otros, todo esto muestra que LTE no es una tecnología sencilla, pero que implementada brindará grandes beneficios, mejoras en la red y en el servicio a los usuarios.

En la Figura 4.1, se observan datos acerca del incremento de usuarios de telefonía móvil.

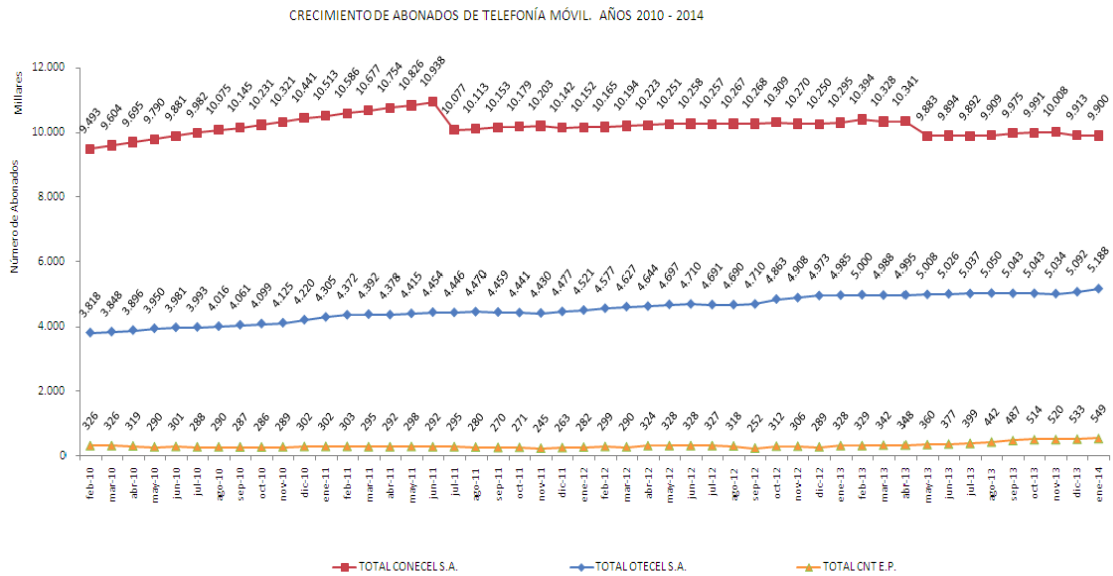


Figura 4.1: Abonados de telefonía móvil 2010 - 2014
Fuente: Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones (Supertel) [2].

Se evidencia que cada año hay un crecimiento muy significativo de usuarios es así que surge la necesidad de realizar un diseño de una red 4G para brindar un mayor ancho de banda y velocidad de transmisión de datos así como mejorar calidad de servicio.

Finalmente la presente propuesta tiene como objetivo diseñar una red 4G-LTE para brindar mayor velocidad y mejorar el servicio en la transmisión de datos móviles.

4.4. Objetivos

4.4.1. Objetivo General

- Diseñar una red 4G *Long Term Evolution* (LTE) en redes móviles de telefonía celular.

4.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar parámetros técnicos y elementos que conforman una red LTE.
- Calcular las pérdidas que produce el sistema para prever el correcto funcionamiento de la red.

- Determinar los parámetros y características de los equipos a utilizar en la red de acceso inalámbrico (E-UTRAN) y núcleo de red (EPC).

4.5. Análisis de Factibilidad

4.5.1. Factibilidad Bibliográfica

La información de libros, revistas, artículos técnicos y de trabajos de personas relacionadas en el ámbito del desarrollo e implementación de redes móviles son de gran ayuda para desarrollar esta investigación y así llegar al objetivo que es diseñar una red móvil de cuarta generación utilizando tecnología LTE una de las ultimas propuestas en lo que se refiere a redes móviles de banda ancha.

4.5.2. Factibilidad Económica

En el desarrollo del proyecto la inversión que se va hacer por parte del investigador no es tan elevada ya que el proyecto al ser netamente con fines bibliográficos los recursos a utilizar son: libros, revistas, computador, internet, hojas de papel Bond entre otros, por lo cual el gasto que se va hacer se justificar con los beneficios que se dará para el desarrollo de las redes móviles de banda ancha una vez concluido el proyecto.

4.6. Fundamentación

4.6.1. Parámetros técnicos para el área cobertura - Modelos de propagación

Para coberturas microcelulares las antenas de estaciones base (BS) se sitúan bajo los tejados de los edificios, a alturas comprendidas entre 3-10 m siendo 10 el valor típico sobre el suelo. En la Figura 4.2 se observa la propagación en condiciones de visión directa (LOS: Línea de vista), donde la señal viaja a través de un camino directo y sin obstrucciones desde el transmisor hasta el receptor, a lo largo de las calles o por múltiples difracciones en las esquinas y reflexiones laterales en las fachadas de los edificios, hay que tomar en cuenta que un enlace LOS requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel esté libre de obstrucciones, ya que al tener toda la vía libre no existirá reducción en la intensidad de señal [22].

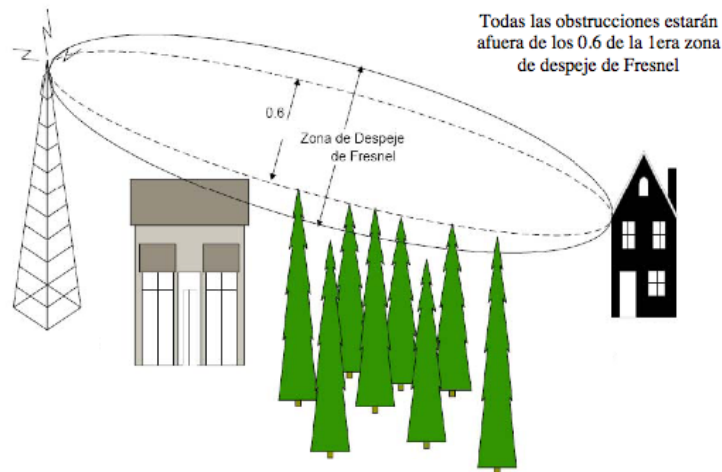


Figura 4.2: Propagación LOS

Fuente: Propagación y técnicas de modulación para Wimax [22].

En zonas donde la señal no está en visión directa desde la antena al móvil, se denomina que no hay visión directa (NLOS: No hay línea de vista) como se observa en la Figura 4.3, la señal alcanza al receptor por medio de reflexiones, difracciones y dispersiones.

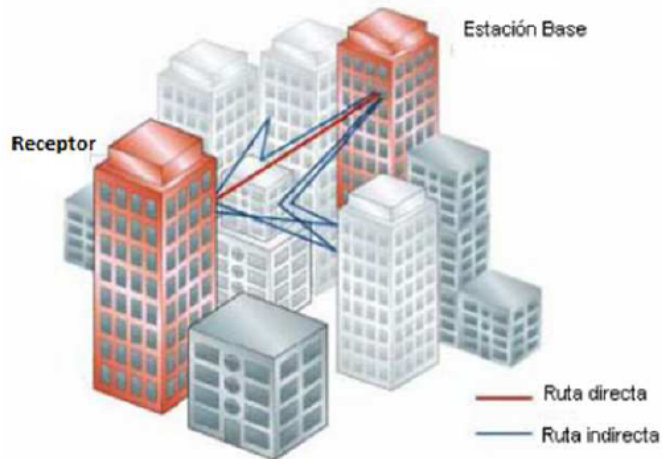


Figura 4.3: Propagación NLOS

Fuente: Propagación y técnicas de modulación para Wimax [22].

Las señales que alcanzan al receptor consisten en componentes del camino directo, caminos reflejados múltiples, energía de dispersión y caminos de propagación por

difracción. Estas señales poseen distintos retardos, atenuaciones, polarizaciones y estabilidad relativa al camino directo, la señal cae muy rápidamente en cuanto se penetra en estas zonas.

En la propagación influye la situación y orientación de las terminales con respecto a calles y edificios, así como la topografía urbana, anchura de calles, edificios, etc [22].

Los trayectos de propagación entre base y móviles resultan afectados de modo variable por el terreno, la pérdida de propagación es de carácter aleatorio, de forma que solamente puede hablarse de cobertura en un sentido netamente estadístico.

Se utiliza dos grados de calidad estadística para la cobertura [23]:

- El llamado porcentaje de emplazamientos, que indica el tanto por ciento de lugares dentro de la zona de cobertura técnica en que cabe esperar que exista enlace radioeléctrico.
- El porcentaje de tiempo, que expresa el tanto por ciento del tiempo en que se espera este establecido el enlace.

Para el desarrollo del presente proyecto se analiza tres tipos de propagación, los mismos que son recomendados en el libro Telecomunicaciones publicado por la Editorial Marcombo S.A para realizar predicciones en diferentes entornos como son:

- Propagación en el Espacio Libre (*Free Space*).
- Propagación de Okumura-Hata.
- Propagación COST231 Walfisch-Ikegami

Estos modelos son de gran ayuda para determinar el comportamiento de la red en varios medios de propagación.

En el caso del modelo de propagación *Free Space* se analizará en un entorno ideal, es decir un estudio en el espacio libre considerando únicamente antenas isotrópicas, en el modelo de Okumura-Hata se añaden ciertos parámetros que intervienen simulando o considerando un entorno más real que *Free Space* y finalmente el modelo COST 231.

4.6.2. Propagación en el espacio libre (*Free Space*)

Al tratarse de un enlace punto a punto, se recomienda como primer punto calcular la atenuación en el espacio libre, considerando antenas isotrópicas, con el fin de obtener una característica independiente de las antenas utilizadas. La mayor parte

de la potencia de la señal se perderá en el aire, aún en el vacío una onda de radio pierde energía que se irradia en direcciones diferentes a la que puede capturar la antena receptora.

Cabe mencionar que esto no tiene nada que ver con el aire, la niebla, la lluvia o cualquier otra cosa que puede adicionar pérdidas, la pérdida en el espacio libre mide la potencia que se pierde en el mismo sin ninguna clase de obstáculo. La señal de radio se debilita en el aire debido a la expansión dentro de una superficie esférica, además la pérdida en el espacio libre es proporcional al cuadrado de la distancia y también proporcional al cuadrado de la frecuencia.

La ecuación 4.1 permite calcular las pérdidas en el espacio libre [24]:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log(d \text{ Km}) + 20 \log(f \text{ Mhz}) \quad (4.1)$$

Reemplazando los diferentes rangos de frecuencia que actualmente utilizan los dispositivos móviles como son: 850, 900 y 1900 MHz en la ecuación 4.1 se obtiene los siguientes resultados de pérdidas que se muestran en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1: Cálculo de pérdidas en el espacio libre

Pérdidas en el Espacio Libre		
Frecuencia (MHz)	Distancia (Km)	Pérdida (dB)
850	1,5 Km	94,61
900	1,5 Km	95,11
1900	1,5 Km	101,59

Elaborado por: Daniel Analuisa

Se utilizo las frecuencias de 850, 900 y 1900 MHz, ya que las mismas son las autorizadas a operar en dispositivos móviles dentro de nuestro país.

4.6.3. Propagación de Okumura-Hata

A partir de una extensa campaña de medidas llevada a cabo en Tokyo, utilizando un rango de frecuencia de 100 a 1920 MHz, Okumura publico uno de los modelos más utilizados para la predicción de pérdida por propagación en áreas urbanas.

Okumura -Hata obtuvo varios resultados siendo el principal un conjunto de curvas que proporcionan los siguientes resultados:

- Nivel de atenuación media relativa respecto al espacio libre en función de la frecuencia

- Distancia entre el transmisor y receptor.
- Alturas de antenas para la estación base como estación móvil.

Obtuvo también algunos factores de corrección específicos para analizar diferentes tipos de trayecto.

El modelo de Okumura-Hata está considerado entre los más simples y mejores en términos de su precisión en el cálculo de pérdidas en el trayecto y se ha convertido en la planificación de sistemas móviles en Japón [25].

La ITU es su artículo Rec. UIT-R M.1641 recomienda utilizar una altura de antena de recepción igual a 1,5 m valor típico en aplicaciones móviles.

El método de Okumura es muy prolijo y en algunos aspectos, subjetivo, pero proporciona resultados bastante acordes con las mediciones.

$$L_b = 69,55 + 26,16 * \log(f) - 13,82 * \log(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 * \log(h_b)) \log(d_m) \quad (4.2)$$

Donde:

L_b : Pérdidas de propagación.

f : Frecuencia de la portadora en MHz.

h_b : Altura de la antena transmisora en metros, válido para $30 m < h_b < 200 m$

h_m : Altura de la antena receptora en metros, válido para $1 m < h_m < 10 m$

$a(h_m)$: Factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil.

d_m : Distancia entre la estación base y terminal móvil expresada en Km (1 a 20)

$a(h_m)$: Factor de corrección depende de la altura del terminal móvil.

$a(h_m)$ se determina para ciudades pequeñas en áreas urbanas tomando en cuenta los siguientes parámetros:

$$a(h_m) = (1,11 * \log f - 0,7) h_m - (1,56 * \log f - 0,8) \quad (4.3)$$

$$1 \leq h_m \leq 10 m$$

Para ciudades grandes se tiene dos expresiones que depende del valor de la frecuencia:

$$a(h_m) = 8,29 * (\log 1,54 * h_m)^2 - 1,1 \quad f \leq 200 Mhz \quad (4.4)$$

$$a(h_m) = 3,2 * (\log 11,75 * h_m)^2 - 4,97 \quad f \geq 400 Mhz \quad (4.5)$$

El modelo de Okumura-Hata establece rango para sus diferentes variables las mismas que se citan a continuación:

- $150 \text{ MHz} < f < 1500 \text{ MHz}$
- $30 \text{ m} < h_t < 200 \text{ m}$
- $1 \text{ m} < h_r < 10 \text{ m}$
- $1 \text{ m} < d < 20 \text{ Km}$

La ecuación 4.2 de Okumura proporciona buenos resultados en entornos urbanos y suburbanos, pero no así en áreas rurales, ya que no toma en cuenta la ondulación del terreno ni los efectos derivados del grado de urbanización a lo largo del trayecto, además está limitada a frecuencias inferiores a 1500 MHz, para trabajar con frecuencias mayores existe una variante a la fórmula de Okumura, denominada Hata-COST231, que proporciona valores de pérdidas para frecuencias hasta 2000 MHz, como se muestra a continuación [25]:

$$L_b = 46,3 + 33,9 * \log f - 13,82 * \log h_t - a(h_r) + (44,9 - 6,55 * \log h_t) * \log d + C_m \quad (4.6)$$

Para zonas urbanas:

$$a(h_r) = 3,2 (\log(11,75 H_r))^2 - 4,97$$

Para zonas suburbanas:

$$a(h_r) = (1,1 \log(f) - 0,7) H_r - (1,56 \log(f) - 0,8)$$

Siendo:

f : Frecuencia en MHz.

h_t : Altura de la torre sobre el suelo en metros.

$a(h_r)$: Parámetro de corrección para entornos urbanos y suburbanos.

d : Distancia del enlace en Km.

H_r : Altura de la antena de CPE en metros.

C_m una constante con los siguientes valores:

$C_m = 0 \text{ dB}$, para ciudades de tipo medio y áreas con una densidad de arbolado moderado - suburbano.

$C_m = 3 \text{ dB}$, para grandes centros metropolitanos - urbano.

En la Tabla 4.2, aplicando la fórmula 4.2 se obtiene los siguientes valores de pérdidas:

$$L_b = 69,55 + 26,16 * \log(850) - 13,82 * \log(30) - (1,11 * \log(850) - 0,7) 1,5 + (1,56 * \log(850) - 0,8) + (44,9 - 6,55 * \log(30)) \log(1,5)$$

$$L_b = 69,55 + 76,6336 - 20,4138 - 3,8275 + 3,7699 + 52,8373$$

$$L_b = 178,55 \text{ dB}$$

$$L_b = 69,55 + 26,16 * \log(900) - 13,82 * \log(30) - (1,11 * \log(900) - 0,7) 1,5 + (1,56 * \log(900) - 0,8) + (44,9 - 6,55 * \log(30)) \log(1,5)$$

$$L_b = 69,55 + 77,283 - 20,4138 - 3,8245 + 3,8086 + 52,8373$$

$$L_b = 179,24 \text{ dB}$$

$$L_b = 69,55 + 26,16 * \log(1900) - 13,82 * \log(30) - (1,11 * \log(1900) - 0,7) 1,5 + (1,56 * \log(1900) - 0,8) + (44,9 - 6,55 * \log(30)) \log(1,5)$$

$$L_b = 69,55 + 85,7722 - 20,4138 - 4,4091 + 4,3149 + 52,8373$$

$$L_b = 187,65 \text{ dB}$$

Tabla 4.2: Resultados obtenidos con el modelo de Okumura-Hata

Frecuencia (MHz)	Distancia (Km)	Pérdidas (dB)
850	1,5	178,55
900	1,5	179,24
1900	1,5	187,65

Elaborado por: Daniel Analuisa

4.6.4. Propagación COST 231 Walfisch-Ikegami

Este modelo es la combinación de Walfisch-Bertoni y Ikegami, con unas correcciones empíricas de algunos parámetros, el cual está restringido a terrenos urbanos planos.

A continuación la descripción de la fórmula [26]:

$$L_b = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd} \quad (4.7)$$

En la Figura 4.4 se observa los parámetros a utilizar en este modelo de propagación.

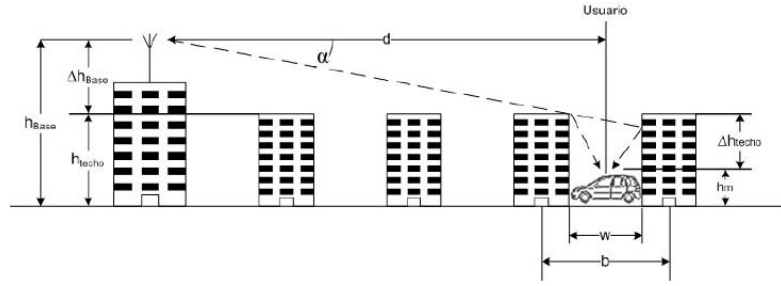


Figura 4.4: Parámetros Modelos COST-231
Fuente: *Walfisch-Ikegami Propagation Model* [26].

L_{bf} pérdidas en espacio libre:

$$L_{bf} = 32,5 + 20 \log(d \text{ Km}) + 20 \log(f \text{ Mhz}) \quad (4.8)$$

L_{rts} pérdida debida a la difracción “terrace calle” entre la terraza de los edificios y el móvil:

$$L_{rts} = -8,2 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta h_m) + L_{ori} \quad (4.9)$$

Variación $\Delta h_m = h_r - h_m$.

h_r : altura de los edificios definido como 3m por el número de pisos.

h_m : altura de estación móvil (equipo de usuario) 1,5 m como valor medio determinado por la ITU Rec. UIT-R M.1641.

Si $L_{rts} \leq 0$, se toma $L_{rts} = 0$

Donde L_{ori} es:

$$\begin{aligned} L_{ori} &= \{-10 + 0,345\varphi \quad 0 < \varphi < 35^\circ\} \\ L_{ori} &= \{2,5 + 0,075(\varphi - 35^\circ) \quad 35 < \varphi < 55^\circ\} \\ L_{ori} &= \{4 - 0,114(\varphi - 55^\circ) \quad 55 < \varphi < 90^\circ\} \end{aligned} \quad (4.10)$$

L_{msd} permite tener evaluar la difracción multiobstáculo entre el dispositivo móvil y la estación base.

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d * \log(d) + K_f * \log(f) - 9 * \log(b) \quad (4.11)$$

Término que tiene una variación de acuerdo a la altura de la estación base:

$$L_{bsh} = -18 * \log(1 + \Delta h_b) \quad (4.12)$$

$$\text{Si } \Delta h_b < 0 \quad L = 0$$

$$k_a = \left\{ \begin{array}{ll} 54 & h > h_{techo} \\ 54 - 0,8\Delta h_{base} & R \geq 0,5Km \quad h \leq h_{techo} \\ 54 - 0,8\Delta h_{base} \frac{R}{0,5} & R < 0,5Km \quad h \leq h_{techo} \end{array} \right\} \quad (4.13)$$

$$k_d = \left\{ \begin{array}{ll} 18 & h > h_{techo} \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_{base}}{h_{techo}} & h \leq h_{techo} \end{array} \right\} \quad (4.14)$$

$$k_f = \left\{ \begin{array}{l} -4 + 0,7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) \\ -4 + 1,5 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) \end{array} \right\} \quad (4.15)$$

Para la aplicación de estas fórmulas se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- $800MHz < f < 2000MHz$
- $4m < h_t < 50m$
- $1m < h_r < 3m$
- $0,02Km < d < 5Km$

A partir de la ecuación 4.7 se obtiene los siguientes valores de pérdidas, como se muestra en la Tabla 4.3, tomando en consideración en las estaciones base una altura de 30m, b=20, w=10.

Tabla 4.3: Pérdidas Modelos COST-231

Frecuencia (MHz)	Pérdida (dB)
850	136,51
900	137,90
1900	151,13

Elaborado por: Daniel Analuisa

$$L_b = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd}$$

$$L_{ori} = \{4 - 0,114(\varphi - 55^\circ) \quad 55 < \varphi < 90^\circ\}$$

$$L_{ori} = \{4 - 0,114(90^\circ - 55^\circ) \quad 55 < \varphi < 90^\circ\}$$

$$L_{ori} = \{4 - 0,114(35)\}$$

$$L_{ori} = 0,01$$

$$L_{rts} = -8,2 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta h_r) + L_{ori}$$

$$L_{rts} = -8,2 - 10 \log(10) + 10 \log(850) + 20 \log(12 - 1,5) + 0,01$$

$$L_{rts} = 31,52 \quad dB$$

$$L_{rts} = -8,2 - 10 \log(10) + 10 \log(900) + 20 \log(12 - 1,5) + 0,01$$

$$L_{rts} = 31,77 \quad dB$$

$$L_{rts} = -8,2 - 10 \log(10) + 10 \log(1900) + 20 \log(12 - 1,5) + 0,01$$

$$L_{rts} = 35,02 \quad dB$$

$$L_{msd} = L_{bsk} + K_a + K_d * \log(d) + K_f * \log(f) - 9 * \log(b)$$

$$L_{bsk} = -18 * \log(1 + \Delta h_b)$$

$$k_a = 54$$

$$k_d = 18 - 15 \frac{\Delta h_{base}}{h_{techo}}$$

$$k_f = -4 + 0,7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right)$$

$$L_{msd} = -23,01 + 54 + 3,17 + K_f * \log(850) - 11,07$$

$$L_{msd} = 10,38 \quad dB$$

$$L_{msd} = -23,01 + 54 + 3,17 + K_f * \log(900) - 11,07$$

$$L_{msd} = 11,02 \quad dB$$

$$L_{msd} = -23,01 + 54 + 3,17 + K_f * \log(1900) - 11,07$$

$$L_{msd} = 14,52 \quad dB$$

4.6.5. Análisis de los modelos de propagación

La Figura 4.5 muestra una comparación de los tres modelos de propagación antes estudiados.

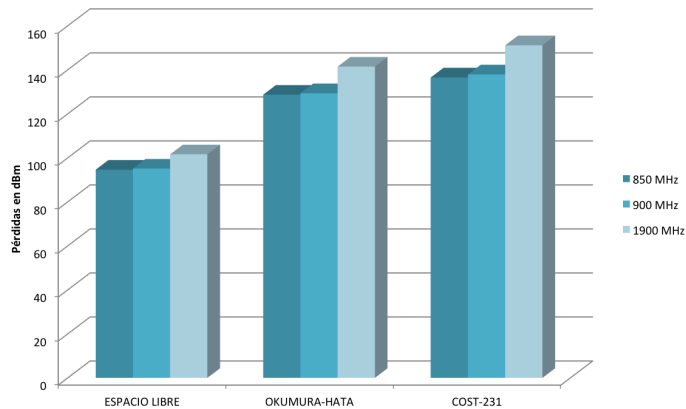


Figura 4.5: Resultados modelos de propagación

Realizado por: Daniel Analuisa.

Observando la Figura 4.5 se llega a las siguientes conclusiones, mismas que son de mucha validez para realizar el diseño, como son:

- Mientras mayor sea la frecuencia a utilizarse se presenta mayores pérdidas en la señal.
- Cuando es más exacto un modelo de propagación tomando en cuenta todos los parámetros como calles, edificios, etc., presenta una mayor pérdida de señal.
- Al utilizar una frecuencia más alta, se debe considerar una mayor potencia de los equipos de transmisión para tener una calidad de señal buena para la recepción de los dispositivos móviles.

4.6.6. Cobertura radioeléctrica

Se refiere al grado de cobertura radioeléctrica y se clasifica del siguiente modo:

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

4.6.7. Geometría de las redes celulares

Si en cada célula se utiliza antenas omnidireccionales, la zona de cobertura será casi circular pero estas no recubren el plano o producen solapes (reducción del rendimiento espectral, porque para la cobertura de un mismo punto se emplean dos frecuencias), es así que se estudia coberturas del tipo poligonal, que recubran el plano sin solapes. Hay tres polígonos regulares que cumplen esta condición: el triángulo, el cuadrado y el hexágono.

Suponiendo que se coloca la estación base en el baricentro del polígono y que el radio de cobertura es R la distancia del baricentro a un vértice, las superficies de los polígonos son:

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

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

Para el diseño se ha tomado la forma hexagonal porque es más robusta, proporciona la mayor superficie de célula por lo que, utilizando hexágonos, será mínimo el número de células necesario para la cobertura de un área determinada.

La geometría celular proporciona ubicaciones de las estaciones base y datos necesarios para cálculos de interferencia, tamaño de agrupación y distancia de reutilización, para esto se toma un eje de coordenadas oblicuo formando un ángulo de 60° entre sí.

Las estaciones se sitúan en puntos llamados nodos, la estructura resultante se denomina retícula de planificación como se observa en la Figura 4.6. La distancia entre dos nodos consecutivos se llama paso de la retícula representada con la letra d [27].

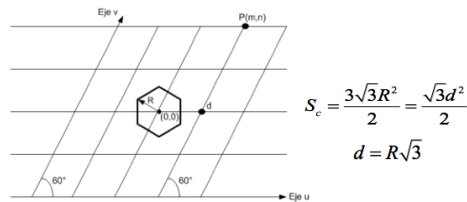


Figura 4.6: Retícula planificación

Fuente: Sistemas de comunicaciones móviles [27].

El radio R del hexágono, se asocia al radio de cobertura de la célula, se le llama radio celular.

La relación entre el paso de la retícula y el radio celular es:

$$d = R\sqrt{3} \quad (4.16)$$

Y la superficie de la célula será:

$$S_c = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2} = \frac{\sqrt{3}d^2}{2} \quad (4.17)$$

También hay que tener en cuenta el área del rombo cocanal y esta viene dada por:

$$S_{rc} = \frac{\sqrt{3}D^2}{2} = N \frac{\sqrt{3}d^2}{2} \quad (4.18)$$

Luego el rombo co-canal equivale a N rombos elementales de lado d asociados a otras tantas estaciones de base distintas. Por lo tanto el conjunto de células

encerradas por el rombo co-canal constituye una agrupación de N células. El rombo co-canal genera por traslación la distribución repetitiva y sistemática de estaciones base en el área.

La unión de varias células se conoce como Clúster y los más utilizados son $N=4$, $N=7$, $N=12$, esta configuración es utilizada para la reutilización de frecuencias, en la Figura 4.7, se muestra un Clúster de 7 células.

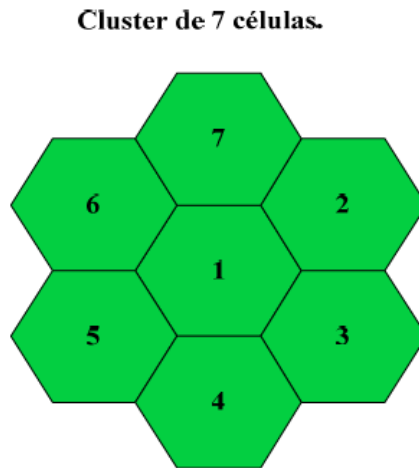


Figura 4.7: Clúster 7 células

Fuente: Sistemas de comunicaciones móviles [27].

La sectorización de una célula omnidireccional es la primera fase que se cumple, posteriormente para aumentar la capacidad se divide cada fase celular por mitades y tiene las siguientes consecuencias:

Se reduce a la mitad el radio de la célula, se multiplica por cuatro aproximadamente el número de células necesarias para la cobertura de la zona dividida, aumenta la capacidad de tráfico en un factor de cuatro, se requiere de una mayor precisión en la ubicación de las estaciones base, se reduce la potencia de transmisión, tiene un aumento de costo al ser necesario más ubicaciones y estaciones bases.

4.6.8. Limitación de frecuencia

La asignación de frecuencia para las estaciones base es un punto de gran importancia a analizar, ya que es vital proporcionar a cada célula un juego de frecuencias adecuando al volumen de tráfico, considerando márgenes de crecimiento del servicio.

Para la distribución de las frecuencias se debe tener en cuenta la interferencia de canales adyacentes, estas imponen ciertas limitaciones a las asignaciones de frecuencias en células contiguas, para lo cual se debe siempre tener muy claro lo que son las células vecinas y las células colindantes. En la Figura 4.8 se observa que las células vecinas constituyen sectores de una misma estación base y las colindantes son estaciones base diferentes pero que tienen una frontera común [28].

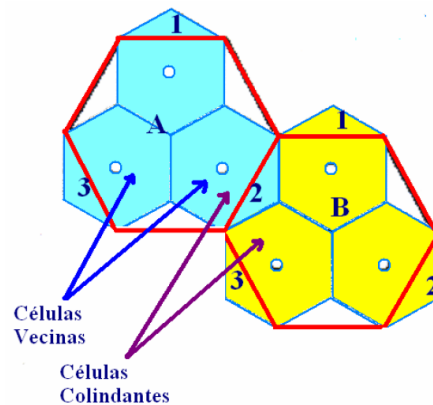


Figura 4.8: Células vecinas y colindantes
Fuente: Sistemas de Telefonía Móvil Celular [28].

Para garantizar valores adecuados para la protección contra interferencia de canales adyacentes se debe cumplir lo siguiente:

- Mayor o igual que tres canales dentro de una misma célula.
- Mayor que dos canales en células vecinas.
- Mayor que un canal en células colindantes.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta son las interferencias que puede darse si operan otros sistemas de comunicación. Tomando en cuenta las condiciones mencionadas para la asignación de la frecuencia para ingresar en nuestro diseño, se debe distinguir que bandas de frecuencias utilizan las operadoras de telefonía móvil.

En Tabla 4.4 se observa el grupo de frecuencias asignadas para OTECEL y CONECEL S.A, las mismas se encuentran en los siguientes rangos:

Tabla 4.4: Bandas de frecuencia OTECEL y CONECEL

OTECEL (MHz)	CONECEL S.A. (MHz)
835 - 845	824 - 835
846,5 - 849	845 - 846,5
880 - 890	869 - 880
891.5 - 890	890 - 891,5
Frecuencias denominado D-D'	Frecuencias en Sub banda E
1865 - 1870	1885 - 1890
1945 - 1950	1965 - 1970

Fuente: Regulación e Inversión en Telecomunicaciones Estudio de Caso para Ecuador [29]

El máximo ancho de banda que puede ser usado por los operadores es de 10 MHz, tomando en cuenta que en LTE el ancho de banda es variable, en este caso se utiliza 20MHz cabría realizar un estudio técnico para saber si el país está en la capacidad de asignar este ancho de banda, para el uso eficiente y la explotación de tecnología LTE en todo su dimensionamiento.

LTE opera en diferentes frecuencias a las ya asignadas en la actualidad a las operadoras móviles del país, la mayor parte de fabricantes de soluciones para redes LTE están construyendo soluciones para FDD, en la Tabla 4.5 se observa las diferentes bandas de frecuencia para *downlink* (enlace de bajada) y *uplink* (enlace de subida) de las cuales se analizan únicamente las bandas 1 a 17.

Tabla 4.5: LTE - Frecuencia de operación

<i>E-UTRAN</i> - Banda operación	Transmisor Enlace de bajada - <i>Downlink</i> (MHz)	Receptor Enlace de subida - <i>Uplink</i> (MHz)	Modo de duplexación
1	1920 - 1980	2100 -2170	FDD
2	1850 - 1910	1930 -1900	FDD
3	1710 - 1785	1805 -1880	FDD
4	1710 - 1755	2110 -2155	FDD
5	824 - 849	869 - 894	FDD
6*	830 - 840	875 - 885	FDD
7	2500 - 2570	2620 - 2690	FDD
8	880 - 915	925 - 960	FDD
9	1749,9 - 1784.9	1844,9 -1879,9	FDD
10	1710 - 1770	2110 - 2170	FDD
11	1427,9 - 1447.9	1475,9 - 1495,9	FDD
12	699 - 716	729 - 746	FDD
13	777 - 787	746 - 756	FDD
14	788 - 798	758 - 768	FDD
15	No disponible	No disponible	FDD
16	No disponible	No disponible	FDD
17	704- 716	734 - 746	FDD
18	815- 830	860 - 875	FDD
19	830- 845	875 - 890	FDD
33	1900 - 1920	1900 - 1920	TDD
34	2010 - 2025	2010 - 2025	TDD
35	1850 - 1910	1850 - 1910	TDD
36	1930 - 1990	1930 - 1990	TDD
37	1910 - 1930	1910 - 1930	TDD
38	2570 - 2620	2570 - 2621	TDD
39	1880 - 1920	1880 - 1921	TDD
40	2300 - 2400	2300 - 2401	TDD

*Banda 6 no es aplicable

Elaborado por: Daniel Analuisa basado en *E-UTRA frequency band* [16]

La frecuencia de portadora tanto del enlace de bajada como enlace de subida se encuentran en el rango de 0 a 65535 el cuál es designado por medio del EARFCN (*E-UTRAN Absolute Radio Frequency Channel Number*), lo que permite asignar un determinado número para cada canal en una banda determinada, además se tiene 100MHz los cuales son asignados en todos los canales para el *Raster Channel*.

4.6.9. Frecuencia de trabajo red LTE

Siendo ya una realidad el despliegue de redes LTE en otros países como se observa en la Figura 2.1, Ecuador no se queda atrás a pesar de que su única red LTE no este aún funcionando al 100 %.

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) luego de analizar la petición de CNT EP para la asignación de la banda de 700MHz (20+20MHz - 20 MHz para el canal de subida y 20 MHz para la bajada), para la prestación de servicio móvil avanzado (SMA) a través de redes LTE, autoriza en la banda AWS (*Advanced Wireless Service*) 1700/2100 MHz los bloques ABCD -A'B'CD", correspondientes a los rangos de frecuencia 1710-1730 MHz y 2110-2130 MHz para el enlace de subida y bajada respectivamente.

En la Figura 4.9 se observa la canalización adoptada para las bandas de 700 MHz y AWS, datos consultados en el CONATEL [30].

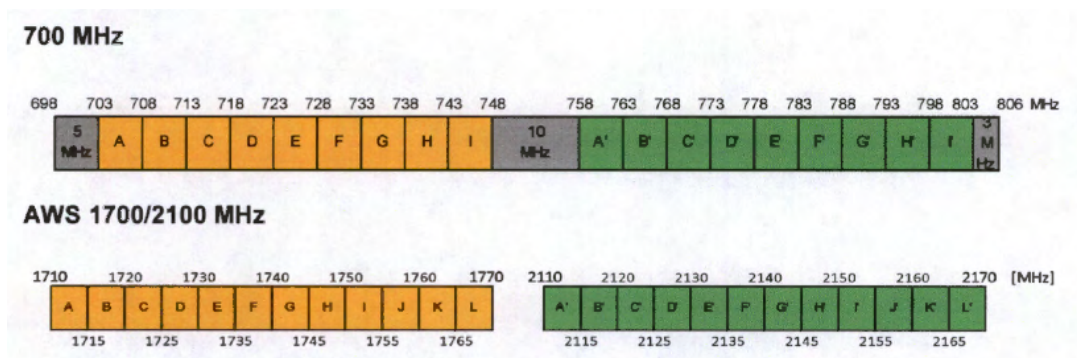


Figura 4.9: Canalización de frecuencias

Fuente: CONATEL [30].

La canalización de 2x20 MHz en la banda AWS, permite ofrecer velocidades de datos de más de 120 Mbps (por sector) usando antenas MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) 2x2, sin embargo esta velocidad puede duplicarse con antenas MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) 4x4.

Las frecuencias asignadas para que pueda operar CNT en la banda 4 del 3GPP – AWS como se puede observar en la Tabla 2.3, cuenta con un rango de frecuencias en *uplink* (enlace de subida) 1710-1755 MHz y 2110-2155 MHz en *downlink* (enlace de bajada), de acuerdo a la clasificación de las distintas bandas de operación LTE, CNT EP trabajará en la banda 4.

4.6.10. Movilidad de usuarios

La movilidad que tiene el usuario dentro de la red es un aspecto importante debido a que el mismo debe analizar la ubicación exacta del usuario para poder activar los servicios a los cuales va tener acceso el mismo.

Dentro de este aspecto se toma en cuenta que los usuarios pueden, bien estar quietos o desplazarse a velocidad constante, los móviles se distribuyen a lo largo de las calles y pueden girar en los cruces con una cierta probabilidad, otro aspecto importantes ha tomar en cuenta en la telefonía celular es que la actualización de los móviles es aproximadamente cada 5 metros y su velocidad puede cambiar en cada posición.

En la Tabla 4.6 se observa el modelo de probabilidad, el mismo que esta descrito por los siguientes parámetros [31]:

Tabla 4.6: Modelo de movilidad - Entorno peatonal

Velocidad media [Km/h]	3
Velocidad mínima [Km/h]	0
Desviación típica de velocidad [Km/h]	0,3
Probabilidad cambio velocidad [Km/h]	0,2
Probabilidad giro en intersección [Km/h]	0,5

Fuente: Red LTE Valles de Tumbaco y los Chillos [31].

La movilidad vehicular al ser pseudoaleatoria utilizando trayectorias semidirectas, produce que los dispositivos móviles se distribuyan uniformemente en las estaciones base.

En la Tabla 4.7 se presenta valores que determina la velocidad del terminal móvil:

Tabla 4.7: Parámetros - Movilidad vehicular

Velocidad [Km/h]	120
Probabilidad cambio de dirección	0,2
Ángulo máximo cambio de dirección °	45
Longitud correlación [m]	20

Fuente: Red LTE Valles de tumbaco y los Chillos [31].

El *handover* es analizado dentro de la movilidad, ya que es un factor determinante que ayuda para mantener la conexión activa cuando se da un cambio de celda. LTE utiliza *Hard Handover* lo cual permite tener una comunicación muy segura, existe un corte de enlace por un lapso <10 ms [31], este proceso se lo lleva a cabo dentro de la red debido a que quien realiza todo este proceso de cambio de estación base sin perder la conexión es la misma estación base.

4.6.11. Topología de la red

Una característica de LTE es que los nodos permiten conectarse directamente formando una topología semi-mallada como se observa en la Figura 4.10, esto permite transferencia de información de control y tráfico.

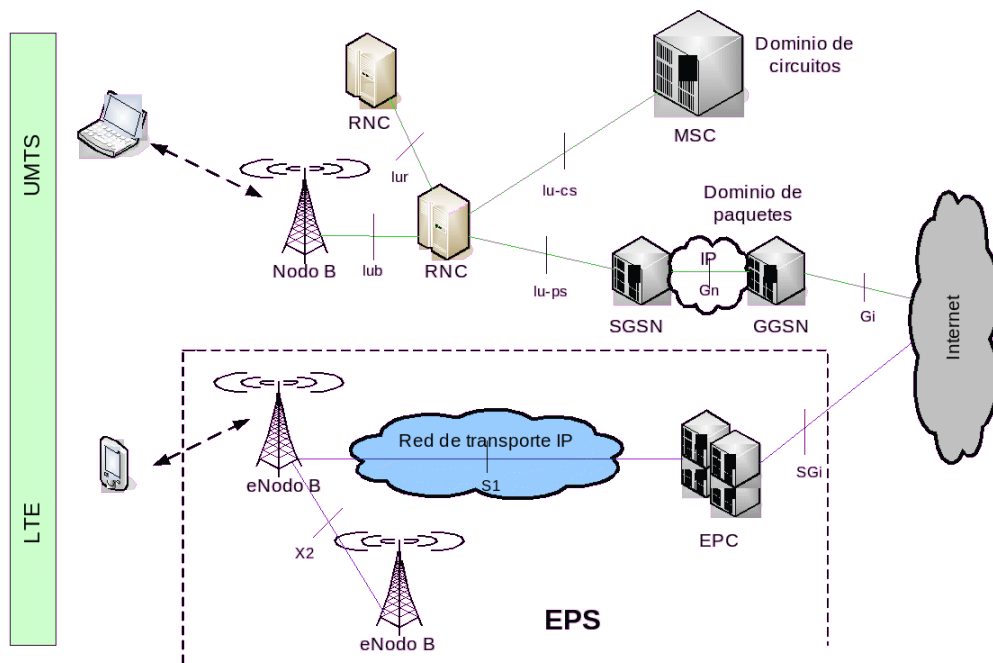


Figura 4.10: Topología LTE y UMTS
Fuente: Redes móviles LTE Costa Rica [32].

Comparando la arquitectura UTRAN con E-UTRAN (Red de Acceso Inalámbrico), se observa en la Figura 4.10 que la red de acceso inalámbrico (E-UTRAN) está compuesta por una arquitectura más simple eliminando niveles de jerarquización con respecto a UTRAN.

En LTE las estaciones base son las encargadas de ejecutar los diversos protocolos radio de comunicación, reduciendo la utilización de equipos adicionales como el caso de las estaciones UTRAN.

4.6.12. Modulación y Codificación

Dentro de LTE las técnicas a utilizar tanto para modulación y codificación del canal permite valorar la velocidad con que trabaja LTE, sin embargo este utiliza AMC (Modulación y Codificación Adaptativa), técnica que consiste en valorar las condiciones del canal de radio, por lo cual se usan distintos esquemas de codificación de canal y de modulación.

El proceso para seleccionar la modulación óptima y el esquema de codificación se lleva a cabo en coordinación con el de *fast scheduling*, los esquemas de modulación a utilizarse son: QPSK, 16QAM y 64QAM, en la Figura 4.11 se observa el diagrama de constelación tanto de 16 como 64 QAM.

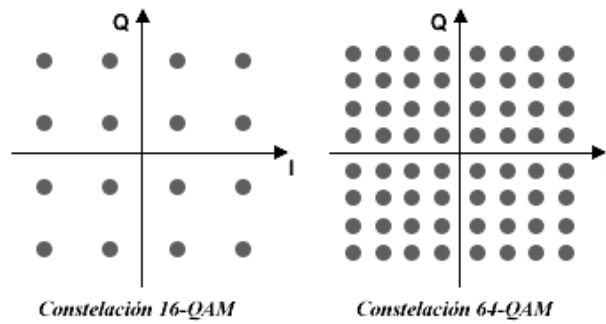


Figura 4.11: Diagrama de constelación 16 y 64 QAM
Fuente: LTE: Características Técnicas (IV Parte) [33].

LTE implementa un mecanismo de adaptación dinámica del enlace basado en control de la tasa binaria (*rate control*), que consiste en ir variando la tasa binaria asignada a un usuario activo en función de la calidad de canal, el usuario percibe una tasa binaria alta si la calidad del canal es buena, y baja si la calidad de canal es mala. Esta estrategia intenta extraer el máximo rendimiento del canal, mediante la selección de modulación que permita enviar el mayor número de bits por símbolo ante unas condiciones de SINR (Relación señal a interferencia) dada.

Por lo cual para SINR (Relación señal a interferencia) baja, se emplea mecanismos de modulación y codificación más robustos como QPSK, asumiendo el riesgo de tener baja eficiencia espectral y por lo tanto reducir la tasa binaria. Para SINR (Relación señal a interferencia) alta, se emplea modulaciones 16 QAM y 64 QAM.

En la Figura 4.12 se presenta un esquema de modulación para distintos valores de SINR (Relación señal a interferencia).

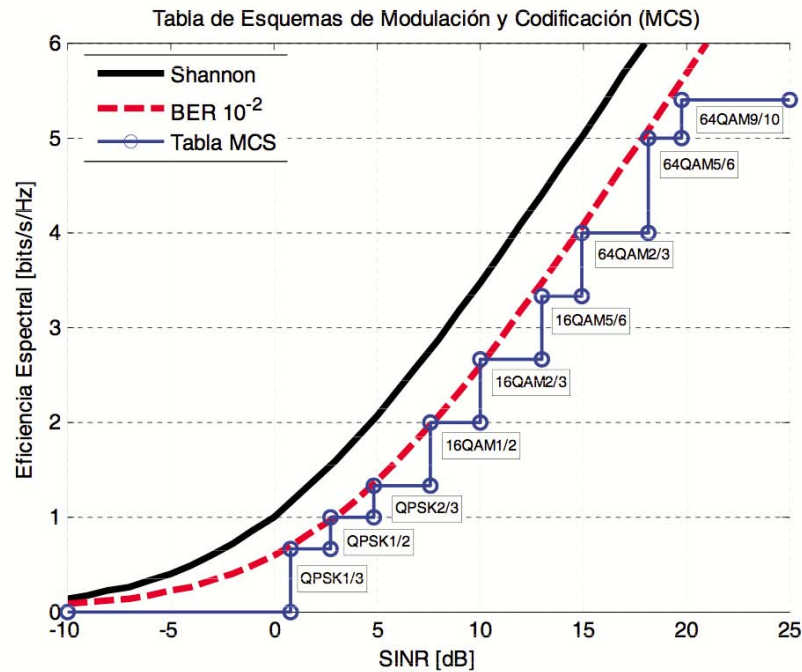


Figura 4.12: Modulación y codificación SINR (Relación señal a interferencia)
Fuente: Red LTE Madrid [14]

La codificación de canal en LTE se denomina HARQ (*Fast Hybrid ARQ*, *Fast Hybrid Automatic Repeat Request*) que es una combinación de FEC+ARQ, con la cual si una trama no puede ser corregida en su camino hacia el receptor, se solicita una retransmisión. Para este caso las tramas dañadas que han podido ser corregidas mediante el FEC no se descartan, sino que se guardan para combinarse con otras tramas sucesivas dañadas y producir una correcta, por lo cual la probabilidad de que tengan los mismos bit erróneos es muy baja y la probabilidad de reconstruir un paquete sin errores de los dos anteriores es muy alta.

Los mecanismos de corrección de errores se implementan en el *eNodeB* (Estación Base E-UTRAN).

4.6.13. Elementos de una red LTE

Una red LTE consta de dos elementos que son:

- EPC - Núcleo de la red.
- E-UTRAN - Red de acceso inalámbrico.

Lo que simplifica considerablemente el diseño de red, en la Figura 4.13 se observan los elementos básicos que intervienen en una red LTE.

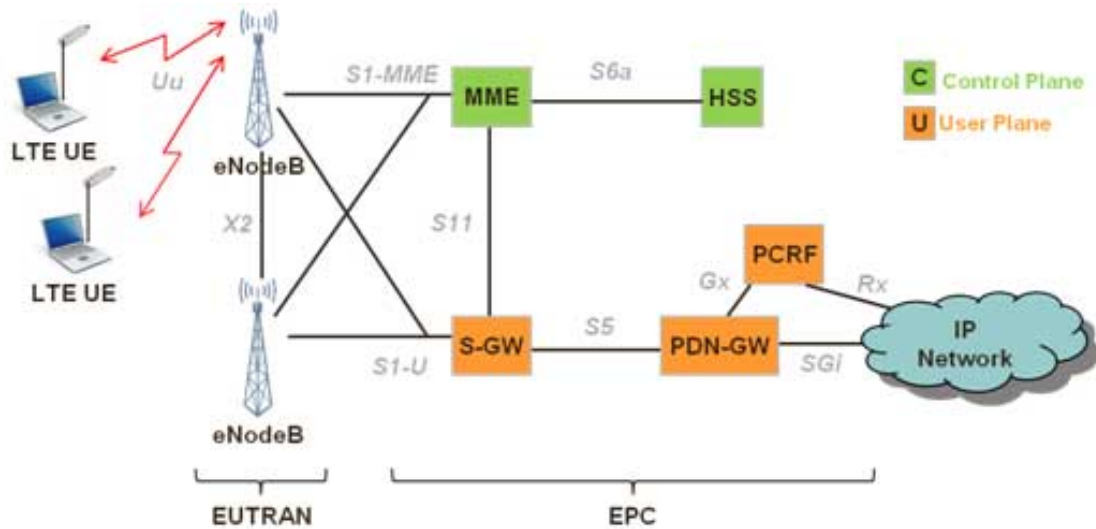


Figura 4.13: Elementos de red LTE

Fuente: LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles[34].

Se observa que la arquitectura de E-UTRAN (Red de Acceso Inalámbrico) es sencilla, la estación base se conectan a la red troncal por medio de las interfaces S1, X2.

Las estaciones base (E-UTRAN) brindan un acceso directo desde equipo de usuario hacia la red troncal y viceversa. La red de acceso inalámbrico (E-UTRAN) consta de dos capas que son: RNL (*Radio Network Layer*) y TNL (*Transport Network Layer*).

LTE tiene varias interfaces para interconectar sus elementos, las interfaces que permiten la interacción entre EPC (Red Troncal) y E-UTRAN (Red de Acceso Inalámbrico) son:

- Uu: Interfaz entre el UE (equipo de usuario) y el eNB (Estación Base E-UTRAN), representa la interfaz aire. Para *downlink* (enlace de bajada) se utiliza modulación OFDMA y para *uplink* (enlace de subida): SC-FDMA.
- S1-U: Interfaz entre el eNB (Estación Base E-UTRAN) y el S-GW (Almacena información de movilidad local) se utiliza para enviar datos de las aplicaciones utilizadas, además usa UDP (Protocolo no orientado a la conexión) para transporte y como aplicación el protocolo GTP-U (Porta datos de usuario en paquetes IPv4, IPv6).
- S1-MME: Interfaz entre el eNB (Estación Base E-UTRAN) y el MME (Gestión de movilidad) utilizada para señalización en el envío de paquetes entre eNB

(Estación Base E-UTRAN) y MME (Gestión de movilidad), además usa SCTP (protocolo de comunicación de capa de transporte) como transporte y S1-AP como protocolo de aplicación.

- S11: Interfaz entre el MME (Gestión de movilidad) y S-GW (Almacena información de movilidad local) para la gestión de *bearers*, por ejemplo para unirse a la red o para procesar las solicitudes de los diferentes servicios prestados.
- X2: Entre eNodeB, basada en el mismo protocolo que S1-U y generalmente se usa para *handover*.
- S6a: Entre el MME (Gestión de movilidad) y HSS (Almacena y administra todo lo relativo a datos de suscripción de los usuarios) utilizado para el proceso de autenticación, autorización y *accounting*. Para transporte se usa SCTP (protocolo de comunicación de capa de transporte) y como aplicación Diameter.
- S5: Se usa para el envío de datos entre el S-GW (Almacena información de movilidad local) y PDN-GW (Gateway accede al Internet o a otras redes de datos externas), además para transporte se usa UDP (Protocolo no orientado a la conexión) y como aplicación GTP-U (Porta datos de usuario en paquetes IPv4, IPv6).
- SGi: Interfaz entre PDN-GW (Gateway accede al Internet o a otras redes de datos externas) y el PDN (Redes lógicas para conexión), basada en la interface Gi de 2G/3G.

Las diferentes interfaces tienen sus propias características y cada una de ellas cumple una función importante en el correcto funcionamiento de la red, sin embargo es necesario separar el EPC (Red Troncal) y E-UTRAN (Red de Acceso Inalámbrico) para analizarlos por separado.

4.6.14. Balance de Radio Enlace

A continuación se detalla un análisis teórico a base de cálculos mediante modelos empíricos, para realizar una primera estimación de la red de telefonía móvil, lo mismo que mediante técnicas deterministas pueden brindar mejores resultados.

Para la realización de este estudio empírico, en primer lugar se detalla los pasos correspondientes al cálculo de la potencia que recibe el usuario final si se trata del

downlink (enlace de bajada) o el equipo en el caso contrario el *uplink* (enlace de subida).

En la realización de los cálculos intervienen varios factores sean estos de pérdidas o ganancias como los siguientes:

- Potencia de transmisión
- Ganancias de antena
- Pérdidas del sistema
- Diversas ganancias
- Márgenes de desvanecimiento

Los cálculos realizados a continuación tienen como objetivo obtener el valor de potencia recibida (P_{RX}). Para ello, se deben realizar cálculos intermedios para conseguir los distintos valores que se presentan en la siguiente fórmula:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{Prop} + G_{RX} \quad (4.19)$$

Donde:

- P_{TX} es la potencia de transmisión (dBm)
- G_{TX} es la ganancia de la antena de transmisión (dBi)
- L_{Prop} son las pérdidas debidas a la propagación (dBm)
- G_{RX} es la ganancia de la antena receptora (dBi)

Intervienen cuatro factores de los cuales tres de ellos son constantes y solamente uno, las pérdidas por propagación depende de otros factores.

Una vez obtenido el valor de P_{RX} , el siguiente paso a seguir es compararlo con las necesidades del sistema utilizado, como qué umbral de sensibilidad posee, para así poder asegurar o rechazar las características establecidas para la red de comunicación propuesta.

$$P_{RX} \geq SENS_{RX} \quad (4.20)$$

Así pues, en caso de cumplirse la inecuación anterior se puede asegurar que el caso propuesto cumple con las necesidades del sistema. Es por esto que el estudio ha de realizarse tanto para el enlace ascendente (*Uplink*) como para el enlace descendente (*Downlink*).

Sin embargo, a lo largo del estudio no se hace referencia sobre uno u otro ya que para el cálculo de la potencia recibida se puede considerar que intervienen los mismos elementos, siendo la única diferencia el nivel de potencia de transmisión ya que el teléfono móvil, por sus normas de funcionamiento, no puede transmitir a más de $2W$.

4.6.15. Pérdidas por propagación

Este es un punto muy importante a tomar en cuenta en el diseño de la red ya que da como resultado el cálculo de potencia recibida en un balance de enlace ya que es el único de los cuatro que atenúa la señal. Estas pérdidas son generadas tanto por los elementos que recorre la señal desde que la transmite el equipo hasta que llega a la antena transmisora así como por la distancia una vez que la antena ha transmitido dicha señal.

Para calcular las pérdidas se va utilizar la ecuación 4.22 en la cual se analizan dos factores muy importantes como son las pérdidas por cable y por aire:

$$L_{Prop} = L_{Prop,CABLE} + L_{Prop,AIRE} \quad (4.21)$$

4.6.16. Propagación por cable

El primer tramo de transmisión que recorre la señal es a través de una línea de transmisión: cable coaxial, fibra óptica o guía de ondas los mismos que producen propagación por cable, en este tramo las pérdidas vienen dadas por el fabricante del cable empleado en dB/m. Por lo tanto, para conocer qué valor total de pérdidas debidas a la propagación por cable posee el balance de enlace, bastará con conocer la cantidad de metros de cable para posteriormente multiplicar por las pérdidas indicadas por el fabricante.

Además de las pérdidas generadas por el propio cable, se incluyen también las generadas por elementos como combinadores o derivadores que posea el sistema. Al igual que para el cable, estas pérdidas también vienen dadas por el fabricante del elemento en cuestión por lo que simplemente se aplicará el factor de atenuación correspondiente.

Estas pérdidas ocasionadas en la transmisión pueden generarse tanto en el tramo entre el emisor y la antena transmisora, como en el tramo entre la antena receptora y el propio receptor. No obstante, para el caso concreto de este proyecto, únicamente existirán estas pérdidas en uno de los dos extremos, dependiendo de si se trata del enlace ascendente o del enlace descendente, ya que para el terminal móvil se considera que este no presenta pérdidas.

4.6.17. Propagación por aire

En la propagación de información en forma inalámbrica es donde se generan los mayores valores de pérdidas dentro de un sistema de comunicaciones móviles. Por ello es el factor que requiere de un mayor estudio para la creación de un sistema.

Calcular las pérdidas generadas por la propagación inalámbrica de una señal implica realizar un estudio de todos los elementos existentes entre el emisor y receptor para calcular todos los caminos que la señal puede tomar (refracción, reflexión y difracción), qué atenuación y fase lleva cada camino, entre otros parámetros.

Para evitar tener que realizar este tedioso trabajo, se toma como referencia uno de los modelos empíricos analizados comentados en el apartado 4.6.5 del proyecto, el modelo de propagación COST 231 Walfisch-Ikegami. Se toma este modelo como referencia entre los muchos existentes ya que se ajusta a las necesidades establecidas para el estudio deseado.

4.6.18. Alternativas de solución LTE

A continuación se analiza los principales proveedores de equipos del EPC (Red Troncal) de LTE, los componentes del EPC (Red Troncal) se pueden apreciar en la Figura 2.6 y consta básicamente del S-GW (Almacena información de movilidad local), P-GW (Asigna una dirección IP al equipo de usuario) y el MME (Gestión de movilidad).

La tendencia que se marca en la implementación de redes LTE indica que para los S-GW (Almacena información de movilidad local) y P-GW (Asigna una dirección IP al equipo de usuario) se utiliza routers de borde y para MME (Gestión de movilidad) plataformas ATCA (*Advanced Telecommunications Computing Architecture*). En la Tabla 4.8 se presentan varias alternativas de solución LTE que brindan empresas dedicadas a desarrollar proyecto de telefonía móvil.

Tabla 4.8: Datos y características de proveedores de equipos EPC (Red Troncal) LTE

	Datos y Características	
	Empresas	Solución
HUAWEI	La consultoría LTE de Huawei ayuda a operadores a afrontar sus retos LTE proporcionando consultoría de negocios (servicio, estrategia, redes y operaciones), soluciones específicas y propuestas prácticas para la implementación, produciendo un grado superior de éxito en el ámbito de la MBB.	La solución LTE de Huawei profesional está especialmente diseñada para la industria vertical que incluye: gobierno, transporte, sectores de redes inteligentes, energía, y WISP, incluyendo alto rendimiento móvil amplio para soportar múltiples servicios en una red, despliegue de red flexible, alta seguridad y fiabilidad.
ERICSSON	Ericsson utiliza innovación para potenciar a las personas, empresas y la sociedad. Sus redes móviles y fijas, brindan soluciones multimedia y servicios de telecomunicaciones que hacen una diferencia real en la vida de la gente y el mundo en que vivimos.	Ericsson ofrece la radio LTE totalmente integrada y transmisión IP como parte del multiestándar RBS 6000. Proporciona despliegue simplificado y mecanismos unificados para correlacionar ambos dominios de radio y de transporte. Ericsson proporciona una solución que combina: IP RAN, EPC y backhaul móvil, proporcionando capacidad y la flexibilidad para hacer frente a los desafíos de la evolución de la red, lo que permite la mejor experiencia de usuario.
ALCATEL-LUCENT	Sus últimos éxitos estratégicos abarcan proyectos de transformación de red, convergencia, IMS, triple play, IPTV, aplicaciones multimedia fijas y móviles o comunicaciones corporativas.	Su solución LTE combina una tecnología innovadora™ lightRadio y productos que con ayuda de su experiencia global, conocimientos y servicios. Pueden llegar a comercializar cuanto antes, así ganar más clientes y generar más ingresos nuevos que sus competidores.
NSN (NOKIA SIE-MENS NETWORKS)	Proveedor de LTE que proporciona aproximadamente a la mitad del servicio de comunicaciones, han lanzado comercialmente LTE incluyendo avanzados mercados de banda ancha móvil, como el norte de Europa, Corea del Sur y Japón.	NSN utiliza Flexi Network Server la cuál engloba funciones del MME (Gestión de movilidad) y Flexi Network Gateway, hace esto posible utilizando plataformas ATCA.

Elaborado por: Daniel Analuisa

A continuación en la Tabla 4.9 se detallan algunas soluciones propuestas por varias empresas encargadas de desarrollar proyectos de telecomunicaciones

Tabla 4.9: Soluciones LTE

Empresa	Solución	Características
Alcatel-Lucent	ATCA - 5780 DSC	ATCA 5780 DSC brinda una sencilla solución soportando varias funciones dentro de una red LTE, además es compatible con los estándares de ATCA PICMG 3.0 y 3.1, puede trabajar con procesadores SMP de 64 bits y provee funciones del PCRF (Controla funciones de facturación basadas en el flujo de información) y MME (Gestión de movilidad), lo cual lo hace ser un equipo con excelentes características para implementar en el EPC (Red Troncal).
Ericsson	RBS 6102 OUT-DOOR MACRO BASE STATION	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseñado para trabajar al aire libre al tener un gabinete hermético. ▪ Aire acondicionado automático mantiene la temperatura del gabinete dentro de los límites especificados, ▪ Tamaños de canal flexibles de 5 a 20 MHz ▪ Soporte para antenas MIMO 2x2 ▪ 4 canales de recepción. ▪ Bandas de frecuencia para Transmisión: Band 14 (758-768 MHz) Band 20 (791-821 MHz) ▪ Bandas de frecuencia para Recepción: Band 14 (788-798 MHz) Band 20 (832-862 MHz)
HUAWEI	DBS3900	<p>La BBU3900 tipifica el diseño compacto, la sencilla instalación y el bajo consumo de energía. Además, puede residir en el espacio libre de un sitio existente. La RRU3606 presenta un diseño compacto y poco peso. Puede ser instalado cerca de la antena para disminuir la pérdida del alimentador y mejorar la cobertura del sistema.</p> <p>El DBS3900 tiene solamente dos tipos de módulos funcionales básicos, así grandemente reduciendo la inversión en recambios y mantenimiento. Con la adaptabilidad excelente del ambiente, los módulos básicos se pueden adaptar fácilmente a las condiciones del sitio para alcanzar el despliegue eficiente, evitando un cuarto del equipo. Es decir, no hay coste de construcción adicional al sitio del equipo.</p>

Elaborado por: Daniel Analuisa

4.6.19. Red de Acceso LTE (E-UTRAN)

En nuestro país la situación del espectro es complicada ya que existen varias operadoras y emisoras que actualmente ocupan bandas de frecuencia para poner en marchas redes LTE, por lo cual sería necesario acudir a la SUPERTEL para ver si se puede desplegar LTE en la banda de 700 MHz o 2,6 GHz.s

En un informe publicado por el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 [30], da ha conocer que la banda de 700 MHz es asignada para la operadora de telefonía móvil CNT EP, el desarrollo del presente proyecto se lo realiza utilizando la banda de 700 MHz, siendo factible utilizarla conociendo que CNT ya esta ocupando esta banda para fines de telefonía móvil con tecnología LTE. Además, al ser una baja frecuencia, permite llegar a más usuarios con menos infraestructura, y por ende menos costos.

4.6.20. Movilidad usuarios

La red E-UTRAN (Red de Acceso Inalámbrico) permite tener movilidad a través de la red celular , debe ser optimizado para:

- Baja velocidad móvil desde 0-15 Km/h
- Mayor velocidad móvil entre 15 y 120 Km/h, alto rendimiento por parte de la red

La movilidad a través de la red celular se mantiene a una velocidad de 120 a 350 Km/h llegando en algunos casos hasta 500 Km/h, dependiendo únicamente de la banda de frecuencia utilizada.

Para la parametrización de E-UTRAN (Red de Acceso Inalámbrico), la capa física debe ser capaz de mantener la conexión con una velocidad de hasta 350 Km/h, llegando hasta 500 Km/h, como se menciona anteriormente todo esto se puede lograr dependiendo únicamente de la banda de frecuencia utilizada, sin embargo se necesita utilizar técnicas y mecanismos para optimizar el retardo y la pérdida de paquetes durante el traspaso de una célula a otra.

4.6.21. Latencia

La latencia es la diferencia de tiempo de respuesta que tiene el usuario sea al enviar una paquete de datos, cargar una página web, este parámetro es a veces más importante que la velocidad de bits ofrecido.

La latencia es medida por el tiempo que toma para que un pequeño paquete IP pueda viajar desde el terminal a través de la red hacia el servidor de internet y viceversa (tiempo de ida y vuelta).

En la Figura 4.14 se observa el recorrido en el cual debe ser medido la latencia de una red LTE.

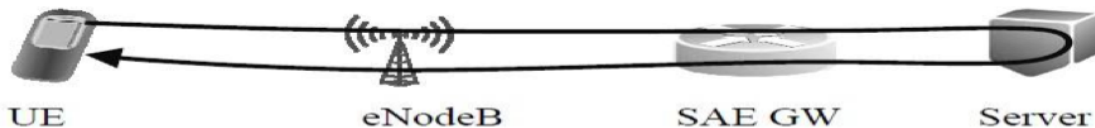


Figura 4.14: Latencia LTE

Fuente: LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles[34].

4.6.22. Técnicas MIMO

Una de las características muy importantes de LTE es el uso de antenas MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida), las mismas que permiten contar con múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor, lo cual ayuda para mejorar la calidad de comunicación, tener alto rendimiento en la transmisión de la señal y una alta eficiencia espectral; todo esto hace que las antenas MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) entren a formar una parte importante en un sistema LTE.

Además una característica importante de utilizar MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) es que utiliza de forma simultánea diversidad y multiplexaje como por ejemplo:

4.6.22.1. SU-MIMO (Single User – MIMO)

Como se observa en la Figura 4.15 en SU-MIMO la diversidad temporal trabaja enviando en diferentes instantes de tiempo el mismo símbolo, mientras que en la diversidad espacial el transmisor enviará el mismo símbolo a través de diferentes caminos de propagación independientes, es por ello que existen varias antenas en el transmisor y el receptor.

Disponer de varias antenas se lo realiza únicamente con la finalidad de obtener varias copias de la información enviada, a fin de eliminar el desvanecimiento producido por el canal, incrementar las altas tasas de transmisión sin tener que ampliar el ancho de banda ni aumentar la potencia.

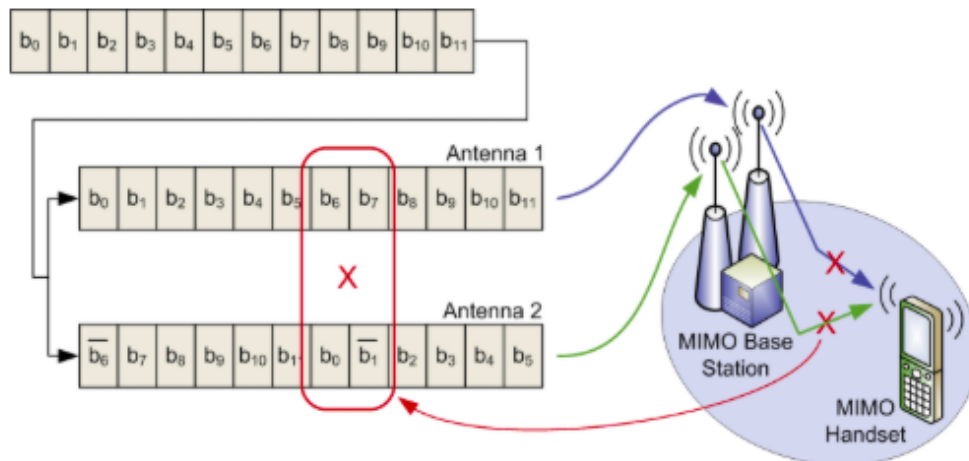


Figura 4.15: SU-MIMO

Fuente: *MIMO IV: multiuser communication* [35].

En la Figura 4.15 se observa un sistema MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida) 2x1, la información se envía por dos antenas simultáneamente, codificadas de manera distinta y dirigidas al mismo usuario, esto le da el nombre de SU-MIMO y se emplea únicamente para el *downlink* (enlace de bajada).

4.6.22.2. MU-MIMO (Multi User – MIMO)

En este tipo de MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida), la multiplexación espacial consiste en enviar símbolos distintos por antenas distintas con un mismo canal de frecuencia, lo cual mejora el rendimiento del sistema (*throughput*), MU-MIMO se utiliza para *uplink* (enlace de subida) y *downlink* (enlace de bajada).

- MU-MIMO en *downlink* (enlace de bajada): la información enviada se reparte entre varios usuarios, además es posible enviar simultáneamente datos distintos por antenas distintas a varios usuarios.
- MU-MIMO en *uplink* (enlace de subida): en este caso existe una sola antena de transmisión para soportar a varios UE (equipo de usuario) transmitiendo diferente información al mismo tiempo.

En la Figura 4.16 se observa como trabaja MU-MIMO en *downlink* (enlace de bajada).

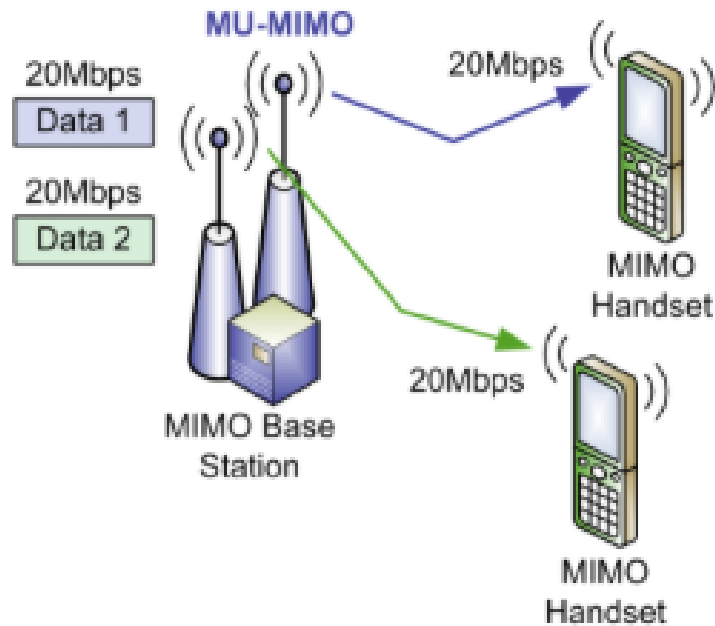


Figura 4.16: MU-MIMO en el *downlink* (enlace de bajada)
Fuente: *MIMO IV: multiuser communication* [35].

4.6.23. Tipos de terminales LTE (UE - Equipo de usuario)

Antes de analizar los tipos de terminales móviles que se pueden utilizar en una red LTE, es necesario conocer que es un equipo de usuario (UE).

El equipo de usuario es el terminal que permite acceder a servicios de telecomunicaciones que brinda la red, esto se da a través de la interfaz radio, en LTE la arquitectura de un equipo de usuario es la misma que en los sistemas GSM y UMTS.

El UE (equipo de usuario) contiene dos elementos básicos que son:

- Módulo de suscripción del usuario (**SIM/USIM**)
- Equipo móvil (*Mobile Equipment*, **ME**)

Sin embargo las funciones del equipo móvil se agrupan en dos entidades funcionales, que son:

- Terminación móvil (*Mobile Terminal*, **MT**)
- Equipo terminal (*Terminal Equipment*, **TE**)

En la Figura 4.17 se observa detalladamente como esta compuesto un UE (equipo de usuario) con los parámetros anteriormente expuestos.

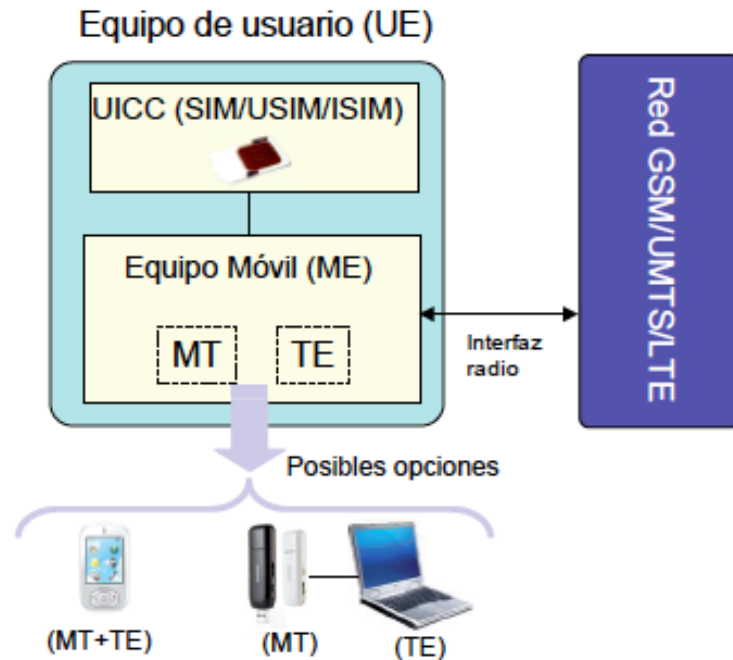


Figura 4.17: Equipo de Usuario

Fuente: LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles[34].

El SIM/USIM hace uso de una tarjeta inteligente llamada (UICC), la cual contiene una aplicación para gestionar los datos de suscripción del usuario a las redes 3GPP, una diferencia muy clara con respecto a las redes GSM, las cuales utilizan una aplicación denominada SIM (*Subscriber Identity Module*) y la aplicación que utiliza UMTS se conoce como UMTS-SIM (USIM).

Otra clara diferencia de UICC frente a SIM y USIM, es que esta tarjeta puede contener una aplicación denominada ISIM (*IP Multimedia Services Identity Module*) para almacenar los datos necesarios para la operación de los servicios IMS (Sistema multimedia IP).

La separación que tiene el usuario entre USIM y ME, facilita al mismo poder cambiar de terminal manteniendo su identidad, en la Tabla 4.10 se detalla la categoría de terminales que tiene LTE:

Tabla 4.10: Parámetros de la capa física del terminal

Categoría	<i>UpLink</i>			<i>DownLink</i>		
	Número máximo de bits recibidos por TTI	Número máximo de bits transportados por un DLSCH en un TTI	Máximo número de antenas transmisoras en el caso de multiplexado espacial	Velocidad de pico (Mb/s)	Número máximo de bits recibidos por TTI	Velocidad de pico (Mb/s)
1	10296	10296	1	$\cong 10$	5160	$\cong 5$
2	51024	51024	2	$\cong 51$	25456	$\cong 25$
3	102048	75376	2	$\cong 102$	51024	$\cong 51$
4	150752	75376	2	$\cong 150$	51024	$\cong 51$
5	299552	149776	4	$\cong 300$	75376	$\cong 75$

Fuente: LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles[34]

Sin embargo el CONATEL en un comunicado de prensa [36] da ha conocer medidas ha tomar en cuenta al adquirir un equipo, el cual permita trabajar con tecnología LTE, las mismas que se explican a continuación:

- Verificar si el dispositivo móvil soporta tecnología LTE, además el mismo tiene que venir diseñado con una antena LTE y un chip compatible con dicha tecnología.
- Conocer la banda de frecuencia de operación del dispositivo y comparar con los estándares adoptados en nuestro país.

En la Tabla 4.11 se presentan las bandas de frecuencias compatibles en el país de Acuerdo al Conatel:

Tabla 4.11: Bandas de frecuencia LTE compatibles en Ecuador

Banda de operación	Modo duplex	Nombre común	Banda de frecuencia (MHz)
4	FDD	AWS-1	1700
28	FDD	APAC	700
7-38	FDD-TDD	IMT-E	2600

Fuente: CONATEL [36]

Con estas características, como se observa en la Tabla 4.12, existen varios equipos que puede trabajar sin ningún problema en nuestro país.

Tabla 4.12: Equipos LTE

	Equipo	Bandas de operación
	iPhone 5S - Modelo A1533 (GSM)*:	UMTS/HSPA+/DC- HSDPA (850, 900, 1.700/2.100, 1.900 y 2.100 MHz); GSM/EDGE (850, 900, 1.800 y 1.900 MHz); LTE (bandas 1, 2, 3, 4, 5, 8, 13, 17, 19, 20 y 25)
	Galaxy S5	LTE Cat.4 (150/50Mbps)
	Nexus 5	LTE: Bands: 1/2/4/5/17/19/25/26/41

Elaborado por: Daniel Analuisa

De la Tabla 4.12, se determina que dentro del mercado de telefonía móvil existen varias alternativas tanto en marcas como en bandas de operación.

4.6.24. Ancho de banda a utilizar en el diseño de red

En LTE, la mínima estructura de modulación es el *Resource Element* (RE), como se observa en la Tabla 2.4, un RE es una subportadora de 15 KHz por cada símbolo.

En la Tabla 2.4, se observa como los RE's conforman un *Resource Block* (RB), un RB está dimensionado entre subportadoras y símbolos, donde un RB en general esta estructurado por 12 subportadoras en el dominio de la frecuencia con 6 ó 7 símbolos en el dominio del tiempo. El número de símbolos depende del *Cyclic Prefix* (CP) en uso. En la Figura 4.18 se observa que un CP normal en el bloque de recursos contiene siete símbolos. Mientras que cuando un CP es extendido, el bloque de recursos contiene seis símbolos en este caso sucede generalmente cuando existe una dispersión del retardo.

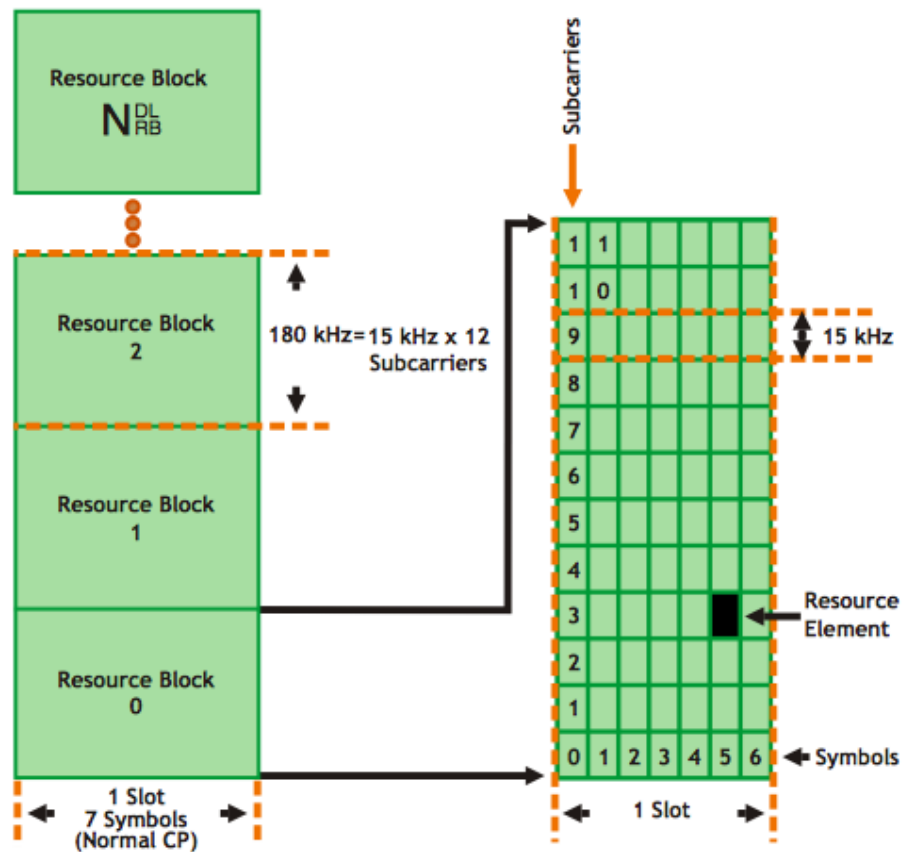


Figura 4.18: Estructura del Frame LTE y Ancho de Banda

Fuente: *LTE Resource Guide* [37].

No se trabajará con el ancho de banda del canal que seria algo netamente ideal resultado de la canalización del espectro, mientras que el *Transmission Bandwidth*

Configuration es el mayor ancho de banda permitido en *uplink* (enlace de subida) o *downlink* (enlace de bajada) en un canal dado medido en RBs (*Resource Blocks*). El ancho de banda de transmisión, también conocido como *Transmission Bandwidth*, es el ancho de banda activo que se usa para la comunicación; es decir el número de RBs activos en una transmisión por lo que a medida que aumenta el ancho de banda, el número de RBs aumenta como se observa en la Figura 4.19, y así tener como resultado que el máximo ancho de banda ocupado resulta de multiplicar el número de RBs por 180 KHz.

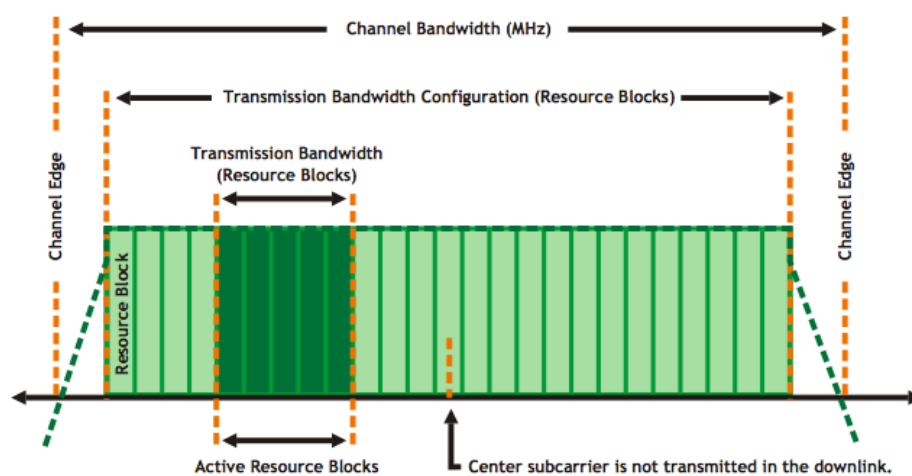


Figura 4.19: Ancho de Banda de canal
Fuente: *LTE Resource Guide [37]*.

En la Banda 4 de LTE están habilitados los canales 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz. De acuerdo a estos anchos de banda de canal en la Tabla 4.13 se muestra los parámetros de el *Transmission Bandwidth Configuration* y el Ancho de Banda de Transmisión.

Tabla 4.13: Configuración de transmisión (Ancho de banda)

Ancho de Banda (MHz)	Numero Máximo de RBs (TRANSMISSION BANDWIDTH CONFIGURATION)	Maximo Ancho de Banda Utilizable
1,4	6	1,08
3	15	2,7
5	25	4,5
10	50	9
15	75	13,5
20	100	18

Fuente: *LTE Resource Guide [37]*.

4.6.25. Topología de la Red Troncal (EPC)

En nuestro país aún existen tecnologías de tercera generación en funcionamiento, por lo cuál para las operadoras no es una prioridad migrar hacia LTE, sino más bien tener una evolución suave hacia LTE. Las operadoras para su migración hacia LTE buscaran añadir una red por separado ya que el costo de servicio de 4G es más elevado en comparación con los servicios que brinda 3G, de esta forma no afecta las redes de datos actuales, los usuarios no se ven afectados y se pueden beneficiar de la nueva red LTE. Existen varias alternativas para que las redes actuales pueden trabajar simultáneamente con LTE como mantener todas la redes separadas y dejar al usuario para que el decida que red utilizar.

En la Figura 4.20 se observa una estructura de red donde interactúan dos tipos de redes con diferente tecnología

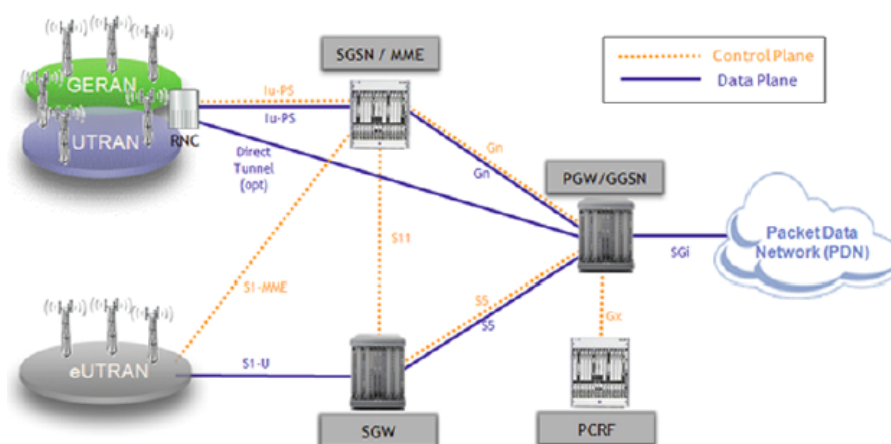


Figura 4.20: Arquitectura de la red troncal LTE

Fuente: *Mobile Packet Core: Engine of Mobile Broadband Success* [38].

4.7. Diseño red 4G - LTE

Una adecuada planificación de una red LTE implica el análisis tanto de cobertura de la red, así como la capacidad del sistema ante la demanda de tráfico.

Los pasos a seguir en el diseño de red son:

- Detallar requerimientos técnicos para el diseño de la red.
- Definir el área de cobertura para la red LTE.
- Calcular el número de estaciones E-UTRAN y analizar el tráfico de la red LTE.
- Analizar las pérdidas del sistema utilizando dos métodos de propagación como: OKUMURA-HATA y COST 231.
- Calcular el radio y área de cobertura radioeléctrica del *eNodeB* (estación base).
- Asignar las frecuencias de operación a las estaciones base.
- Determinar las coordenadas de los sitios de instalación para las estaciones base.
- Describir los equipos para la red de acceso inalámbrica (E-UTRAN) y núcleo de red (EPC) LTE.
- Elaborar la estructura de las estaciones base y núcleo de red.

- Indicar las etapas que se pueden seguir para la migración de las redes actuales de telefonía hacia LTE.
- Elaborar una guía de implementación del diseño de red LTE.

Sin embargo dentro del diseño del sistema celular a realizar se debe tomar en cuenta muchos factores interdependientes como los siguientes:

- Limitación de frecuencia
- Movilidad de los usuarios
- Distribución del tráfico
- Introducción a nuevos servicios

A más de todo lo mencionado anteriormente se suma un factor de suma importancia como es el económico, ya que dependiendo de la situación y las circunstancias se tiene que:

- Adquirir o alquilar las ubicaciones de las estaciones base.
- Disponer de infraestructura como: casetas de equipos, energía eléctrica, torres de antenas, accesos, enlaces de comunicaciones, etc.

De acuerdo a la solución seleccionado para la implementación de la red LTE, la empresa seleccionada será la encargada de las configuraciones de los equipos así como de poner en funcionamiento la red, satisfaciendo los requerimientos que la misma tiene.

4.7.1. Requerimientos para la Red LTE

A continuación se detallan los requerimientos que debe cumplir la red LTE como son:

- Velocidad para transmisión de datos: 100Mbps (enlace de descarga) y 50 Mbps (enlace de subida).
- Frecuencia de operación del sistema: Banda de 700MHz.
- Ancho de banda: 30 MHz.
- Sistema que soporte modulación adaptativa: QPSK, 16 y 64 QAM.
- Compatibilidad con terminales móviles que trabajan con dos antenas en recepción y una para transmisión.

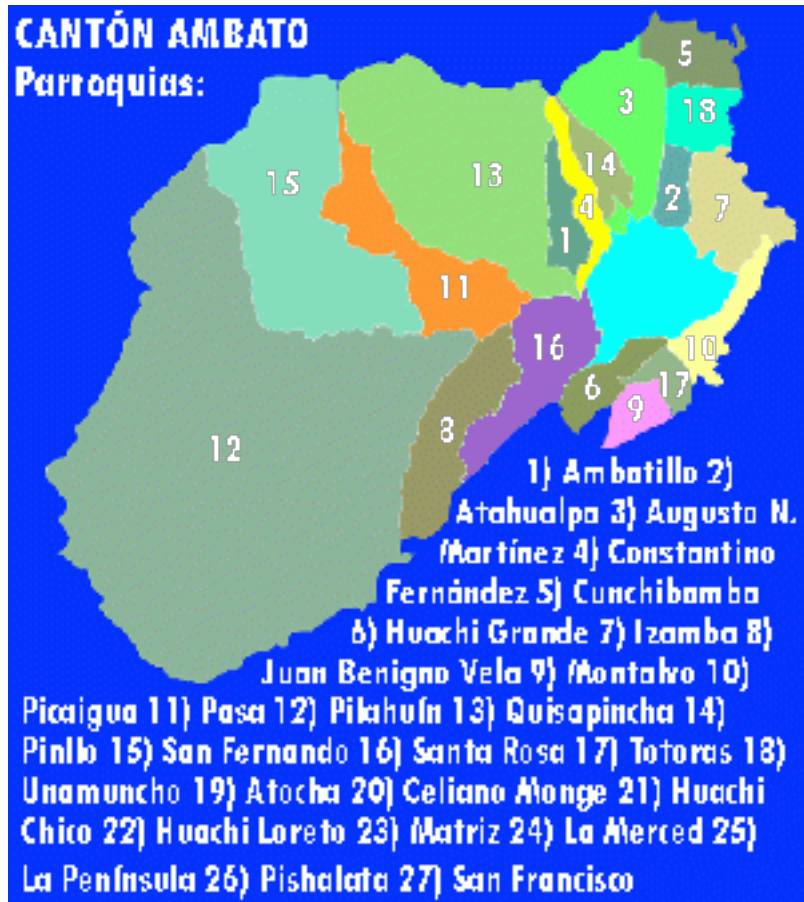
- Eficiencia espectral de 5 y 2,5 bps/Hz para el enlace de bajada y subida respectivamente.
- Latencia en el plano de usuario menor a 5 ms y en el plano de control menos de 100 ms.
- Interconexión de la nueva red con las redes existentes, posibilidad de handover para terminales móviles multimodo.
- Desempeño del sistema en entorno urbano.
- Escalabilidad de la red.

4.7.2. Cobertura LTE

El diseño de la red LTE esta destinada para cubrir únicamente el área urbana de la ciudad de Ambato [39], la misma que consta de las siguientes parroquias:

- Atocha - Ficoa
- Celiano Monge
- Huachi Chico
- Huachi Loreto
- La Matriz
- La Merced
- La Península
- Pishilata
- San Francisco

En la Figura 4.21 se observa el mapa del cantón Ambato y dentro de este el área urbana que consta de una área de 46,5 Km² de acuerdo al INEC.



(a) Parroquias Ambato



(b) Parroquias del área urbana de Ambato

Figura 4.21: Mapa Cantón Ambato

Fuente: INEC [39].

4.7.3. Capacidad de la celda - División celular (Cálculo del número de *eNodeB*)

En la Tabla 4.14 se observa el cálculo del número de estaciones base para la red LTE.

Para el cálculo del área de cobertura se utiliza la ecuación 4.17 y el valor del radio para las celdas $R = 1,5$ Km.

$$A = \frac{3\sqrt{3}(R)^2}{2} = 5,84 \text{ Km}^2$$

Tabla 4.14: Suscriptores que soporta una Celda LTE.

(a) Análisis población área urbana Ambato

Características estación base LTE	
Población sector urbano de la ciudad de Ambato - INEC [39]	205546
Posibles usuarios de LTE 20 %	41109
Usuarios que utilizan servicio de internet	259977
Extensión área urbana [Km ²] - (INEC) [40].	46,5
Radio de cobertura estación base LTE [Km]	1,5
Area de cobertura estación base LTE [Km ²]	5,84
Numero de usuarios que soporta la estación base	2000

(b) Cálculo estaciones base

Cálculo número de estaciones base	
Cantidad de estaciones base de acuerdo al área de cobertura	8
Cantidad de estaciones base de acuerdo a la cantidad de usuarios por estación base	130

Elaborado por: Daniel Analuisa.

De acuerdo a la capacidad que puede soportar una célula se necesita 54 estaciones E-UTRAN (Red de Acceso Inalámbrico) para la red 4G-LTE, sin embargo de acuerdo

al área de cobertura da como resultado 8 celdas para cubrir toda el área urbana de Ambato.

Para la implementación del presente proyecto se lo puede realizar en varias etapas, en la primera etapa se puede diseñar pocas células de gran tamaño debido a la poca demanda de tráfico que la misma soportara en un inicio.

Implementando únicamente las 8 estaciones base obtenidas de acuerdo al radio de cobertura de cada celda como se observa en la Figura 4.22, existen sectores de la ciudad donde no existe cobertura, lo que implicaría aumentar el número de estaciones base en estos sectores.

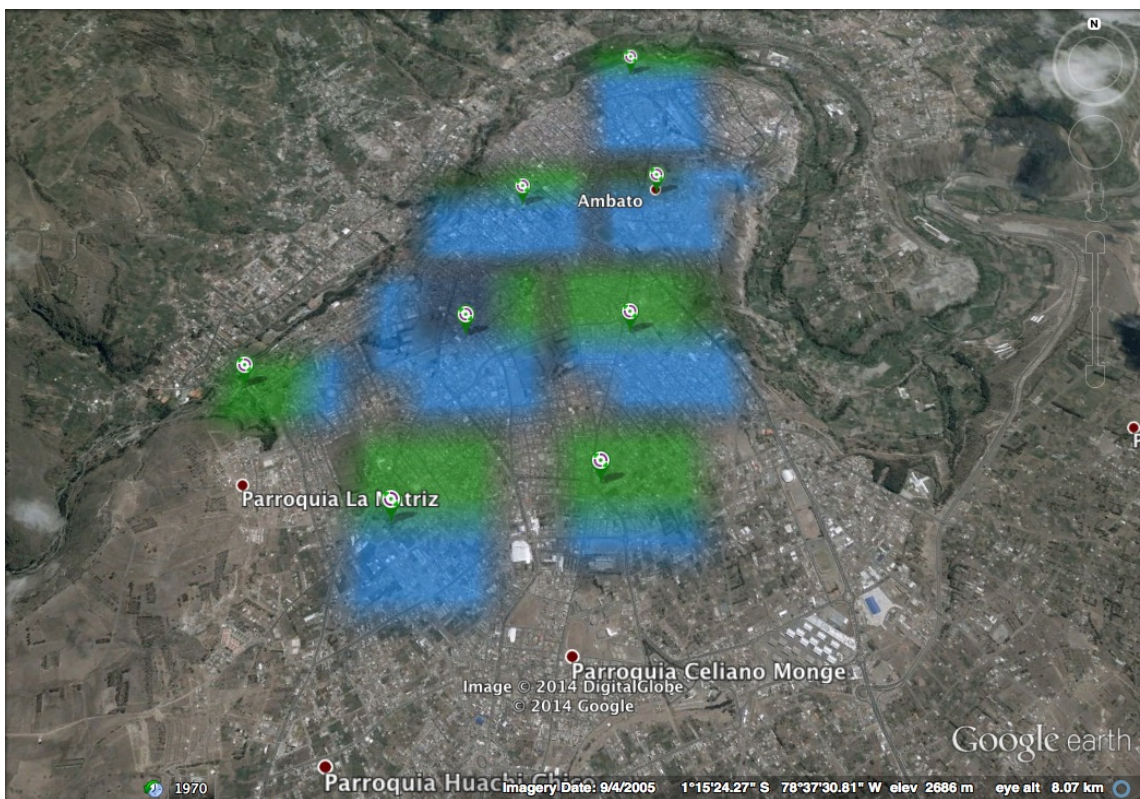


Figura 4.22: Distribución estaciones Base
Elaborado por: Daniel Analuisa.

Una alternativa a la falta de cobertura en algunos sectores de la ciudad es tener 3 sectores por cada estación base lo cual ayuda para dar cobertura a esos lugares.

En la Figura 4.23 se observa el resultado de sectorizar cada una de las estaciones base con un número de 3 sectores por estación base, lo cual permite visualizar que no existen lugares sin cobertura dentro del área urbana de la ciudad de Ambato.

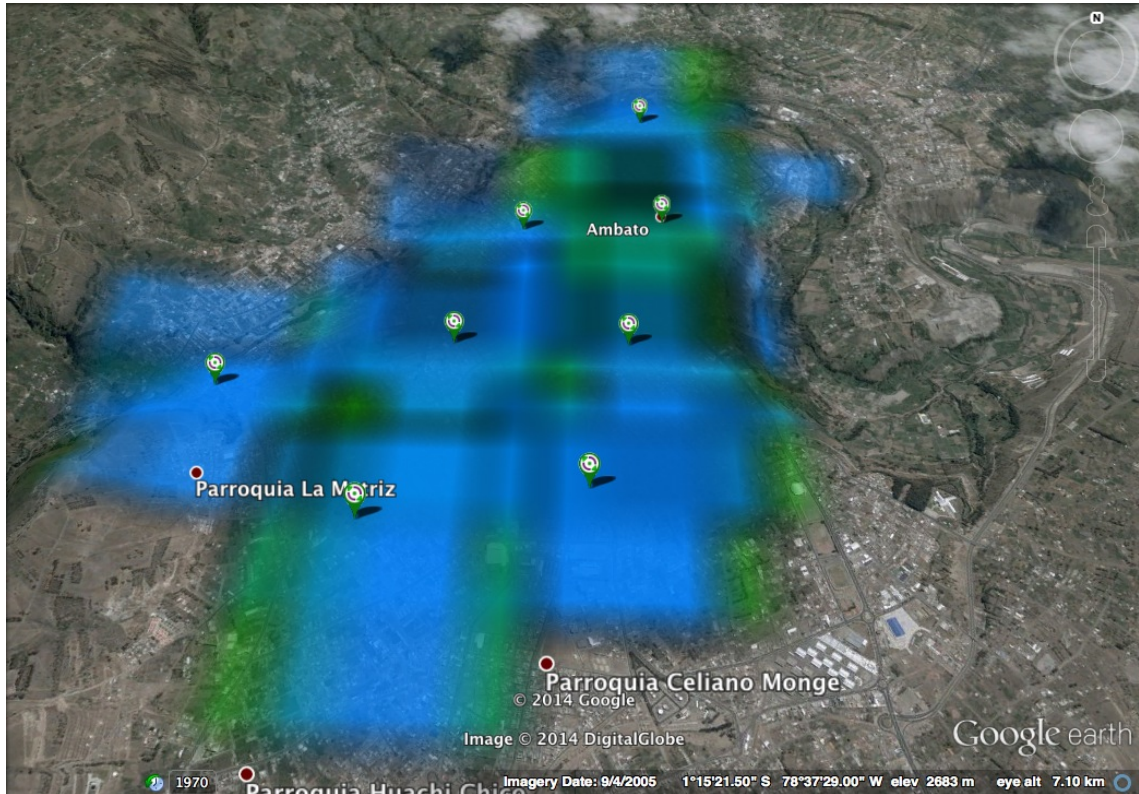


Figura 4.23: Sectorización
Elaborado por: Daniel Analuisa.

4.7.4. Cálculo del tráfico

En este punto se toma énfasis en el funcionamiento tanto para redes de tercera como cuarta generación para el dimensionamiento de la red.

- Redes de tercera generación basado en conmutación de circuitos en lo que se refiere a voz.
- Redes LTE o de cuarta generación, la comunicación de voz es mediante IP o conocido también como VoIP.

4.7.4.1. Cálculo del tráfico para redes LTE

Para el despliegue de la red, el aumento progresivo de la demanda, se puede cubrir añadiendo progresivamente estaciones base.

De manera simplificada, la ecuación 4.19 permite tener valores del área de cobertura de una célula.

$$\left(Bx \frac{E}{S} = (UxT) \right) \quad (4.22)$$

Donde:

- U = Densidad por usuarios [usuarios/Km²].
- T = Tráfico promedio por usuario [bps/usuario].
- B = Ancho de banda [Hz].
- E = Eficiencia espectral [bps/Hz].
- S = Estación base cubre una superficie [Km²].

La eficiencia espectral hace referencia a la capacidad de un sistema de modulación para acomodar datos en un ancho de banda limitado, que para el servicio de telefonía celular de 3G es 5 MHz, pero para el servicio de LTE del presente proyecto es de 15 MHz, a continuación en la Tabla 4.15, se muestra la eficiencia espectral de LTE [41] considerando únicamente 10 usuarios por celda valor teórico para simulación de una red LTE.

La eficiencia espectral es un factor muy importante para el diseño de la red, este parámetro indica la cantidad de bits correctamente recibidos por el usuario que utiliza el sistema de telefonía móvil.

Tabla 4.15: Eficiencia espectral

E-UTRAN (Red de Acceso Inalámbrico) / LTE		
Pico	<i>Downlink</i>	15 bps/Hz
	<i>Uplink</i>	3,75 bps/Hz
Promedio	<i>Downlink</i>	1,87 bps/Hz
	<i>Uplink</i>	—
Borde de la cobertura	<i>Downlink</i>	0,06 bps/Hz
	<i>Uplink</i>	0,03 bps/Hz

Elaborado por: Daniel Analuisa

A continuación se realiza los respectivos reemplazos utilizando los diferentes valores de eficiencia espectral en la ecuación 4.23, obteniendo el siguiente resultado:

Para la ciudad de Ambato

Con una valor pico $E=15$ bps/Hz

$(Bx\frac{E}{S})$	(UxT)
$S = 6,0375$	
$15 MHz * \frac{15 \frac{bps}{Hz}}{6,0375 Km^2}$	$\frac{10 usuarios}{48,3 Km^2} * 1000 \frac{Mbps}{usuario}$
$15 Mbps * 2,4845$	$1000 Mbps * 0,207$
$37,27 Mbps$	$0,207 Gbps$
$S = 3$	
$75 Mbps$	$0,207 Gbps$
$S = 2$	
$112,5 Mbps$	$0,207 Gbps$
$S = 1$	
$0,225 Gbps$	$0,207 Gbps$

Con una valor promedio $E=1,87$ bps/Hz

$(Bx\frac{E}{S})$	(UxT)
$S = 6,0375$	
$15 MHz * \frac{1,87 \frac{bps}{Hz}}{6,0375 Km^2}$	$\frac{10 usuarios}{48,3 Km^2} * 1000 \frac{Mbps}{usuario}$
$15 Mbps * 0,3097$	$1000 Mbps * 0,207$
$4,646 Mbps$	$0,207 Gbps$
$S = 3$	
$9,35 Mbps$	$0,207 Gbps$
$S = 2$	
$14,025 Mbps$	$0,207 Gbps$
$S = 1$	
$28,05 Mbps$	$0,207 Gbps$

Analizando los resultados obtenidos, se determina que para tener un equilibrio dentro de la red se lo pude lograr mejorando sea: el ancho de banda, la eficiencia espectral o reducir la cobertura de las estaciones bases factor muy importante, debido a que en telefonía móvil entre más estaciones bases estén en un sector existe mayor y mejor cobertura; con la mejora de tan solo una de estas tres variables como en este caso la distancia de cobertura de una célula, se obtiene un equilibrio en la ecuación para el dimensionamiento del tráfico que va a soportar la red.

4.7.5. Cálculos de cobertura

Para la realización de los cálculos de cobertura, se analiza valores de atenuación entre el terminal móvil y la estación base (*link budget*). La ITU en su recomendación ITU-R M.1035 da a conocer que el radio de cobertura para una celda en el área urbana tiene un valor típico de 1 Km.

Para los cálculos de cobertura se utilizan dos métodos de propagación COST 231 y OKUMURA HATA, los mismos permiten analizar la red en un amplio rango de frecuencias así como en el entorno en el cual se desarrolla en este caso entorno urbano.

Se obtiene valores que permite definir una expresión que reúne la máxima pérdida permitida con la distancia, con el valor obtenido en el *link budget* (presupuesto del enlace) se obtiene el valor teórico para la distancia de cobertura.

A continuación se muestra los valores que son utilizados en el modelo de propagación, dentro de ellos la altura de la estación móvil y radios son valores tomados de la recomendación Rec. UIT-R P.1411 por parte de la ITU.

- $h_r = 30$ m (Altura edificio)
- $h_m = 1,5$ m (Altura estación móvil)
- $h_b = 40$ m (Altura radio base)
- $b = 30$ m
- $f = 700$ MHz
- $W = b/2$
- $K_f = -4,17$
- $L_{bsk} = -18,74$
- $L_{ori} = 3,25$ con ángulo de 45.

A continuación se utiliza el modelo COST-231, partiendo de la ecuación 4.7 se obtiene los valores de pérdidas en función de la distancia.

$$L_b = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd}$$

Donde:

$$L_{bf} = 32,5 + 20 \log(d \text{ Km}) + 20 \log(f \text{ Mhz})$$

$$L_{bf} = 32,5 + 20 \log (d \text{ Km}) + 20 \log (700)$$

$$L_{bf} = 89,4 + 20 \log (d \text{ Km})$$

$$L_{rts} = -8,2 - 10 \log (w) + 10 \log (f) + 20 \log (\Delta h_r) + L_{ori}$$

$$L_{rts} = -8,2 - 10 \log (15) + 10 \log (700) + 20 \log (28,5) + 3,25$$

$$L_{rts} = -8,2 - 11,7609 + 28,451 + 29,0969 + 3,25$$

$$L_{rts} = 40,837$$

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d * \log (d) + K_f * \log (f) - 9 * \log (b)$$

$$L_{bshk} = \begin{bmatrix} -18 \log_{10} (1 + \Delta h_{base}) & h_{base} > h_{techo} \\ 0 & h_{base} \leq h_{techo} \end{bmatrix}$$

$$K_a = \begin{bmatrix} 54 & h_{base} > h_{techo} \\ 54 - 0,8 \Delta h_{base} & R \geq 0,5 \text{ Km y } h_{base} \leq h_{techo} \\ 54 - 0,8 \Delta h_{base} \frac{R}{5} & R < 0,5 \text{ Km y } h_{base} \leq h_{techo} \end{bmatrix}$$

$$K_d = \begin{bmatrix} 18 & h_{base} > h_{techo} \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_{base}}{h_{techo}} & h_{base} \leq h_{techo} \end{bmatrix}$$

$$K_f = \begin{bmatrix} 0,7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) \\ 1,5 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) \end{bmatrix}$$

$$L_{bsh} = -18 \log (1 + 10) = -18,745$$

$$K_a = 54 - 0,8 (10) = 46$$

$$K_d = 18$$

$$K_f = -0,3649$$

$$L_{msd} = -18,745 + 46 + 18 * \log (d) - 0,3649 * \log (700) - 9 * \log (30)$$

$$L_{msd} = 27,255 + 18 \log (d) - 1,0382 - 13,29$$

$$L_{msd} = 12,9268 + 18 \log (d)$$

Dando como resultado:

$$L_b = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd}$$

$$L_b = 89,4 + 20 \log(d) + 40,837 + 12,9268 + 18 \log(d)$$

$$L_b = 89,4 + 40,837 + 12,9268 + 38 \log(0,6)$$

$$L_b = 142,755 - 8,4303$$

$$L_b = 134,3247$$

$$L_b = 89,4 + 40,837 + 12,9268 + 38 \log(1,4)$$

$$L_b = 142,755 + 5,5529$$

$$L_b = 148,3079$$

Utilizando los mismos parámetros iniciales, utilizamos el modelo de Okumura-Hata partiendo de la ecuación 4.2.

$$L_b = 69,55 + 26,16 * \log(f) - 13,82 * \log(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 * \log(h_b)) \log(d_m)$$

$$L_b = 69,55 + 26,16 * \log(700) - 13,82 * \log(40) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 * \log(40)) \log(d_m)$$

Como $a(h_m)$ es un factor de corrección que depende de la altura del móvil se va utilizar la ecuación 4.3, que permite calcular para ciudades pequeñas en áreas urbanas con los siguientes parámetros:

$$a(h_m) = (1,11 * \log f - 0,7) h_m - (1,56 * \log f - 0,8)$$

$$a(h_m) = (1,11 * \log(700) - 0,7) 1,5 - (1,56 * \log(700) - 0,8)$$

$$a(h_m) = (3,1581 - 0,7) 1,5 - (4,4384 - 0,8)$$

$$a(h_m) = 3,6871 - 3,6384$$

$$a(h_m) = 0,0487$$

Reemplazamos $a(h_m)$:

$$L_b = 69,55 + 26,16 * \log(700) - 13,82 * \log(40) - 0,0487 + (44,9 - 6,55 * \log(40)) \log(d_m)$$

$$L_b = 69,55 + 74,4278 - 22,1405 - 0,0487 + 34,4065 \log(d_m)$$

$$L_b = 121,7886 + 34,4065 \log(0,6)$$

$$L_b = 121,7886 - 7,633$$

$$L_b = 114,1556$$

$$L_b = 69,55 + 74,4278 - 22,1405 - 0,0487 + 34,4065 \log(d_m)$$

$$L_b = 121,7886 + 34,4065 \log(1,4)$$

$$L_b = 121,7886 + 5,0278$$

$$L_b = 126,8163$$

La Tabla 4.16 muestra los valores máximos, mínimos de pérdidas y cobertura dentro del área urbana utilizando los diferentes métodos de propagación.

Tabla 4.16: Pérdidas y cobertura

Modelo Propagación	Cobertura Mínima (Km)	Cobertura Máxima (Km)	Pérdida Mínima (dB)	Pérdida Máxima (dB)
Cost 231	0,6	1,4	134,3247	148,3079
Okumura Hata	0,6	1,4	114.1556	126,8163

Elaborado por: Daniel Analuisa

Analizando la Tabla 4.16 se determina que mientras mayor es la distancia de cobertura aumentan las pérdidas y como consecuencia de esto disminuye la velocidad de navegación como se observa en la Figura 4.24, además el método seleccionado de propagación para la red es el de OKUMURA el cual permite analizar la red con una frecuencia de 700MHz.

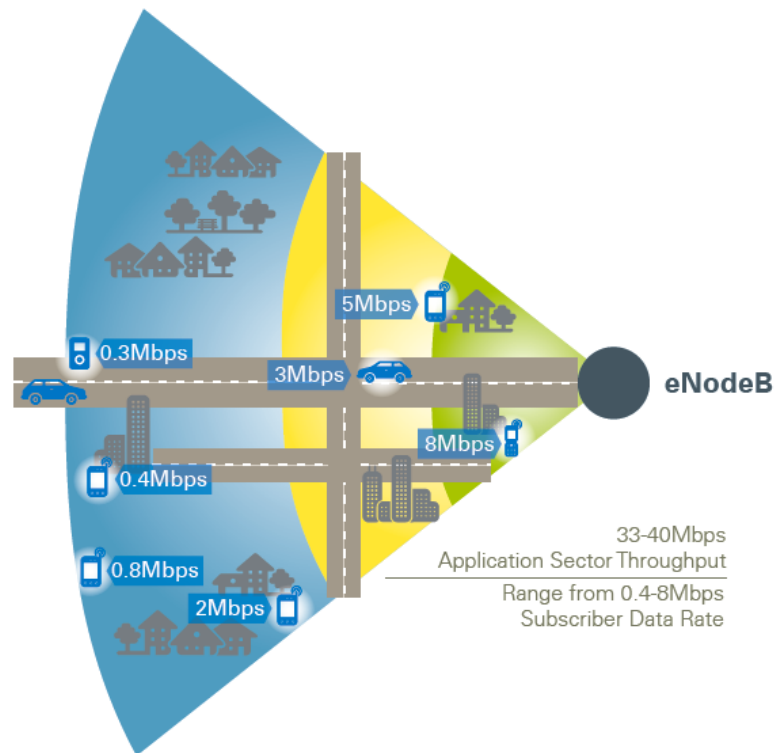


Figura 4.24: Capacidad total estación base.

Fuente: *Realistic LTE Performance From Peak Rate to Subscriber Experience* [42].

4.7.6. Cobertura teórica de un *eNodeB* (Estación Base)

Para el cálculo de cobertura del eNodeB (estación base) se va trabajar con un ancho de banda de 20MHz, siendo 18MHz el máximo ancho de banda utilizable como se observa en el apartado 4.6.24.

4.7.6.1. Cálculo de cobertura del *eNodeB*

Para determinar la cobertura del eNodeB, se tiene que calcular las pérdidas por propagación en el espacio Libre, analizando el *link budget* (presupuesto del enlace) tanto para *uplink* (enlace de subida) como *downlink* (enlace de bajada).

Para zonas urbanas la probabilidad de cobertura es del 90% de acuerdo a un estudio realizado en la Universidad de Sevilla (Métodos para el aumento de la capacidad UMTS en Atoll) . Tomando los parámetros que se muestran en la Tabla 4.17 se realiza el cálculo del Margen de Shadowing.

Tabla 4.17: *Shadowing* normalizado

<i>Shadowing</i> Normalizado	%Cobertura
1,2	88,49 %
1,25	89,49 %
1,3	90,32 %
1,35	91,15 %
1,4	91,92 %
1,45	92,65 %
1,5	93,32 %
1,55	93,94 %
1,6	94,52 %
1,65	95,05 %

Elaborado por: Daniel Analuisa basado en *Understanding LTE and its Performance*[43].

En la Tabla 4.17 se observa diferentes valores normalizados del margen de *Shadowing*.

Analizando la Tabla 4.17, el valor más aproximado para tener una probabilidad de cobertura aproximada de 90 % es 90,3 % dando los siguientes valores:

Margen de *Shadowing* normalizado: 1,3

Desviación estándar *Shadowing*: 8 dB

$$\text{Margen Shadowing (dB)} = (\text{Margen Shadowing normalizado})$$

$$* (\text{Desviación estándar Shadowing [dB]}) \quad (4.23)$$

$$\text{Margen Shadowing (dB)} = 1,3 * 8[\text{dB}]$$

Dando como resultado:

$$\text{Margen Shadowing (dB)} = 10,4 \text{ dB}$$

4.7.6.2. Cálculo (eNodeB) *Link Budget* (presupuesto del enlace) para el *Uplink* (enlace de subida)

$$S (\text{dBm}) = kTB + NF + SINR + IM - 3 \quad (4.24)$$

donde:

$$kTB = -174 (dBm/Hz) + 10\log(15KHz * 12 * RB)[44]$$

- **B:** Ancho de Banda en Hz.
- **SINR:** Relación señal a interferencia.
- **IM:** Margen de implementación.
- **NF:** Factor de ruido para el receptor.

$$S (dBm) = -174 + 10 \log (B) + NF + SINR + IM - 3$$

SINR (Relación señal a interferencia) y IM son factores ya establecidos como se muestra en la Tabla 4.18, que dependen del tipo de modulación y del *Code Rate* que se emplee.

Tabla 4.18: Tipos de modulación LTE

Modulación	<i>Code Rate</i>	SINR (dB)	IM (dB)
QPSK	1/8	-5,1	2,5
	1/5	-2,9	
	1/4	-1,7	
	1/3	-1	
	1/2	2	
	2/3	4,3	
	3/4	5,5	
	4/5	6,2	
16QAM	1/2	7,9	3
	2/3	11,3	
	3/4	12,2	
	4/5	12,8	
64QAM	2/3	15,3	4
	3/4	17,5	
	4/5	18,6	

Elaborado por: Daniel Analuisa basado en la Evaluación del Desempeño Tecnología LTE por parte de la ITU.

Tabla 4.19: Valores de SINR (Relación señal a interferencia)

Modulación	SINR (Mínimo) [dB]	SINR (Máximo) [dB]
QPSK	-5,1	7,9
16QAM	7,9	15,3
64QAM	15,3	-

Elaborado por: Daniel Analuisa.

Con estos datos, se calcula la sensibilidad según el tipo de modulación que se emplee.

Al utilizar un ancho de banda de 15 MHz, $B = 13,5$ MHz que es el máximo ancho de banda utilizable de acuerdo a la Tabla 4.13.

LTE al trabajar con modulación adaptativa hace posible el uso de tres modulaciones como: QPSK, 16 y 64QAM.

QPSK

$$S (dBm) = -174 + 10 \log (B) + NF + SINR + IM - 3$$

$$SINR_{min} = -5,1 \text{ dB}$$

$$S_{min} (dBm) = -174 + 10 \log (13,5 * 10^6) + 2 - 5,1 + 2,5 - 3$$

$$S_{min} (dBm) = -174 + 71,3034 - 3,6$$

$$S_{min} (dBm) = -106,2967$$

$$SINR_{m\acute{a}x} = 7,9 \text{ dB}$$

$$S_{m\acute{a}x} (dBm) = -174 + 10 \log (13,5 * 10^6) + 2 + 7,9 + 2,5 - 3$$

$$S_{m\acute{a}x} (dBm) = -174 + 71,3034 + 9,4$$

$$S_{m\acute{a}x} (dBm) = -93,2967$$

16QAM

$$S (dBm) = -174 + 10 \log (B) + NF + SINR + IM - 3$$

$$SINR_{min} = 7,9 \text{ dB}$$

$$S_{min} (dBm) = -174 + 10 \log (13,5 * 10^6) + 2 + 7,9 + 3 - 3$$

$$S_{min} (dBm) = -174 + 71,3034 + 9,9$$

$$S_{min} (dBm) = -92,7967$$

$$SINR_{m\acute{a}x} = 15,3 \text{ dB}$$

$$S_{m\acute{a}x} (dBm) = -174 + 10 \log (13,5 * 10^6) + 2 + 15,3 + 3 - 3$$

$$S_{m\acute{a}x} (dBm) = -174 + 71,3034 + 17,3$$

$$S_{m\acute{a}x} (dBm) = -85,3967$$

64QAM

$$S (dBm) = -174 + 10 \log (B) + NF + SINR + IM - 3$$

$$SINR_{min} = 15,3 \text{ dB}$$

$$S_{min} (dBm) = -174 + 10 \log (13,5 * 10^6) + 2 + 15,3 + 4 - 3$$

$$S_{min} (dBm) = -174 + 71,3034 + 18,3$$

$$S_{min} (dBm) = -84,3967$$

Con los datos obtenidos se calcula la pérdida en el espacio a partir de la siguiente ecuación:

$$L = P_{tx} - S_{rx} - P_{cc} + G_{tx} - M_{sha} - P_{inter} - P_{interiores} + MHA \quad (4.25)$$

donde:

- **L** : Pérdida en el espacio.
- **S_{rx}** : Sensibilidad en el receptor.
- **P_{tx}** : Potencia de transmisión.
- **G_{tx}** : Ganancia de la antena de transmisión.
- **P_{cc}** : Pérdidas por cable y conectores.
- **M_{sha}** : Margen de Shadowing.
- **P_{inter}** : Pérdida de Interferencia.
- **P_{interiores}** : Pérdida de Interiores (10,8 dB por el material a utilizar en este caso hormigón [45]).

- **MHA** : Ganancia debido al amplificador Mast Head (Amplificador de Bajo Ruido).

Datos conocidos del modem HUAWEI E589 4G LTE:

- **P_{tx}** : 23 dBm
- **G_{tx}** : 18 dBm
- **P_{cc}** : 0 dB (Ideal ya que siempre existen pérdidas)
- **M_{sha}** : 10,4 dB
- **P_{inter}** : 1 dB
- **P_{interiores}** : 10,8 dB
- **MHA** : 2

$$L = P_{tx} - S_{rx} - P_{cc} + G_{tx} - M_{sha} - P_{inter} - P_{interiores} + MHA$$

$$L = 23 \text{ dBm} - S_{rx} - 0 + 18 \text{ dBm} - 10,4 \text{ dB} - 1 \text{ dB} - 10,8 \text{ dB} + 2$$

$$L = 20,8 - S_{rx}$$

En la Tabla 4.20 se observan valores de pérdida en el espacio obtenidos con los valores de sensibilidad calculados anteriormente.

QPSK

$$L = 20,8 - S_{rx}$$

$$L = 20,8 - (-106,2967)$$

$$L = 127,0967 \text{ dB}$$

$$L = 20,8 - (-93,2967)$$

$$L = 114,0967 \text{ dB}$$

16QAM

$$L = 20,8 - S_{rx}$$

$$L = 20,8 - (-92,7967)$$

$$L = 113,5967 \text{ dB}$$

$$L = 20,8 - (-85,3967)$$

$$L = 106,1967 \text{ dB}$$

64QAM

$$L = 20,8 - S_{rx}$$

$$L = 20,8 - (-84,3967)$$

$$L = 105,1967 \text{ dB}$$

Tabla 4.20: Valores de pérdida en el espacio libre para *uplink* (enlace de subida)

Modulación	Sensibilidad (dBm)	Pérdidas en el espacio libre (dB)
QPSK	-106,2967	127,0967
	-93,2967	114,0967
16QAM	-92,7967	113,5967
	-85,3967	106,1967
64QAM	-84,3967	105,1967

Elaborado por: Daniel Analuisa.

4.7.6.3. Análisis *link budget* (presupuesto del enlace) para downlink (enlace de bajada)

Para analizar el *link budget* (presupuesto del enlace) en downlink (enlace de bajada), se realiza los mismos pasos que en *uplink* (enlace de subida), tomando los valores que proporciona la antena AxxceLTE™.

Cálculos sensibilidad:

- **B:** 13,5 MHz
- **SINR:** 4dB (Relación señal a interferencia)
- **IM:** Margen de implementación
- **NF:** Factor de ruido para el receptor

Con estos datos, se procede a calcular la sensibilidad según el tipo de modulación que se emplee como:

QPSK

$$S \text{ (dBm)} = -174 + 10 \log(B) + NF + SINR + IM - 3$$

$$SINR_{min} = -5,1 \text{ dB}$$

$$S_{min} \text{ (dBm)} = -174 + 10 \log(13,5 * 10^6) + 9 - 5,1 + 2,5 - 3$$

$$S_{min} \text{ (dBm)} = -174 + 71,3034 + 3,4$$

$$S_{min} \text{ (dBm)} = -99,2967$$

$$SINR_{max} = 7,9 \text{ dB}$$

$$S_{max} \text{ (dBm)} = -174 + 10 \log(13,5 * 10^6) + 9 + 7,9 + 2,5 - 3$$

$$S_{max} \text{ (dBm)} = -174 + 71,3034 + 16,4$$

$$S_{max} \text{ (dBm)} = -86,2967$$

16QAM

$$S \text{ (dBm)} = -174 + 10 \log(B) + NF + SINR + IM - 3$$

$$SINR_{min} = 7,9 \text{ dB}$$

$$S_{min} \text{ (dBm)} = -174 + 10 \log(13,5 * 10^6) + 9 + 7,9 + 3 - 3$$

$$S_{min} \text{ (dBm)} = -174 + 71,3034 + 16,9$$

$$S_{min} \text{ (dBm)} = -85,7967$$

$$SINR_{max} = 15,3 \text{ dB}$$

$$S_{max} \text{ (dBm)} = -174 + 10 \log(13,5 * 10^6) + 9 + 15,3 + 3 - 3$$

$$S_{max} \text{ (dBm)} = -174 + 71,3034 + 24,3$$

$$S_{max} \text{ (dBm)} = -78,3967$$

64QAM

$$S (dBm) = -174 + 10 \log (B) + NF + SINR + IM - 3$$

$$SINR_{min} = 15,3 \text{ dB}$$

$$S_{min} (dBm) = -174 + 10 \log (13,5 * 10^6) + 9 + 15,3 + 4 - 3$$

$$S_{min} (dBm) = -174 + 71,3034 + 25,3$$

$$S_{min} (dBm) = -77,3967$$

Cálculo de pérdidas en el espacio libre:

Datos proporcionados en el datasheet de la antena:

- P_{tx} : 43,01 dBm
- G_{tx} : 18 dBm
- P_{cc} : 0 dB (Ideal ya que siempre existen pérdidas)
- M_{sha} : 10,4 dB
- P_{inter} : 1 dB
- $P_{interiores}$: 10,8 dB
- MHA : 2

$$L = P_{tx} - S_{rx} - P_{cc} + G_{tx} - M_{sha} - P_{inter} - P_{interiores} + MHA$$

$$L = 43,01 \text{ dBm} - S_{rx} - 0 + 18 \text{ dBm} - 10,4 \text{ dB} - 1 \text{ dB} - 10,8 \text{ dB} + 2$$

$$L = 40,81 - S_{rx}$$

En la Tabla 4.21 se observa valores de pérdida en el espacio obtenidos con los valores de sensibilidad calculados anteriormente.

QPSK

$$L = 40,81 - S_{rx}$$

$$L = 40,81 - (-99,2967)$$

$$L = 140,1067 \text{ dB}$$

$$L = 40,81 - (-86,2967)$$

$$L = 127,1067 \text{ dB}$$

16QAM

$$L = 40,81 - S_{rx}$$

$$L = 40,81 - (-85,7967)$$

$$L = 126,6067 \text{ dB}$$

$$L = 40,81 - (-78,3967)$$

$$L = 119,2067 \text{ dB}$$

64QAM

$$L = 40,81 - S_{rx}$$

$$L = 40,81 - (-77,3967)$$

$$L = 118,2067 \text{ dB}$$

Tabla 4.21: Valores de pérdida en el espacio libre para *downlink* (enlace de bajada)

Modulación	Sensibilidad (dBm)	Pérdidas en el espacio libre (dB)
QPSK	-99,2967	140,1067
	-86,2967	127,1067
16QAM	-85,7967	126,6067
	-78,3967	119,2067
64QAM	-77,3967	118,2067

Elaborado por: Daniel Analuisa.

4.7.7. Cálculo del radio de la celda

Los cálculos de cobertura se realizan únicamente para *uplink* (enlace de subida) debido a una recomendación de 3GPP, ya que amplificar la señal que emite el equipo móvil en la estación base es una tarea más fácil de realizar que hacerlo en el UE (equipo de usuario), además para mejorar la señal únicamente se implementa MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida), para la cual lo conveniente es implementarlas en la estación base más no en el UE (equipo de usuario).

La ecuación 4.26 permite calcular la cobertura de una celda mediante la siguiente expresión:

$$L = 40 (1 - 0,004 * h_t) \log (R) - 18 \log (h_t) + 21 \log (f) + 80 \quad (4.26)$$

Donde:

- L : Pérdida en el espacio.
- h_t : Altura de la antena (m).
- R : Radio de cobertura (Km).
- f : Frecuencia de la portadora (MHz).

Para h_t hay que tomar en cuenta la altura de la antena más la altura promedio de las edificaciones, entonces se tendría una altura promedio de 40 metros y la frecuencia de la portadora que se tiene es 733 MHz (*Uplink*), 788 MHz (*Downlink*).

$$L = 40 (1 - 0,004 * 40) \log (R) - 18 \log (40) + 21 \log (733) + 80$$

$$L = 40 (0,84) \log (R) - 28,837 + 60,1672 + 80$$

$$L = 33,6 \log (R) + 111,3301$$

$$\frac{L-111,3301}{33,6} = \log (R)$$

Se obtiene que el radio de cobertura esta ligado netamente con la pérdida en el Espacio calculado anteriormente y mostrado en la Tabla 4.20.

En la Tabla 4.23 se muestra valores que toma el radio de cobertura para las distintas pérdida en el espacio dependiendo de la modulación que se emplee.

Tabla 4.22: Valores de pérdida en el espacio libre para *uplink* (enlace de subida)

Modulación	Sensibilidad (dBm)	Pérdidas en el espacio libre (dB)
QPSK	-106,2967	127,0967
	-93,2967	114,0967
16QAM	-92,7967	113,5967
	-85,3967	106,1967
64QAM	-84,3967	105,1967

Elaborado por: Daniel Analuisa.

QPSK - *Uplink* (Enlace de subida)

$$\frac{L-111,3301}{33,6} = \log (R)$$

$$\frac{127,0967-111,3301}{33,6} = \log (R)$$

$$\frac{15,7666}{33,6} = \log (R)$$

$$R = 2,9461$$

$$\frac{114,0967-111,3301}{33,6} = \log (R)$$

$$\frac{2,7666}{33,6} = \log (R)$$

$$R = 1,2088$$

16QAM - *Uplink* (Enlace de subida)

$$\frac{L-111,3301}{33,6} = \log (R)$$

$$\frac{113,5967-111,3301}{33,6} = \log (R)$$

$$\frac{2,266}{33,6} = \log (R)$$

$$R = 1,168$$

$$\frac{106,1967-111,3301}{33,6} = \log (R)$$

$$- \frac{5,1334}{33,6} = \log (R)$$

$$R = 0,7034$$

64QAM - *Uplink* (Enlace de subida)

$$\frac{L-111,3301}{33,6} = \log (R)$$

$$\frac{105,1967-111,3301}{33,6} = \log (R)$$

$$- \frac{6,1334}{33,6} = \log (R)$$

$$R = 0,6568$$

Tabla 4.23: Radios de cobertura *uplink* (enlace de subida) según el tipo de modulación

Modulación	Pérdidas	Radio (Km)
QPSK	-106,2967	2,9461
	-93,2967	1,2088
16QAM	-92,7967	1,168
	-85,3967	0,7034
64QPSK	-84,3967	0,6568

Elaborado por: Daniel Analuisa.

4.7.8. Cobertura LTE

Una red celular LTE para poder cubrir una determinada área esta se divide en celdas hexagonales, en la Figura 4.25 se observa como esta estructurado un hexágono regular y los parámetros necesarios para el diseño de la misma, se utiliza esta técnica debido a que es la única que permite cubrir un área al 100 %.

Esta estimación al ser un modelo teórico que permite únicamente hacer la planificación y estimaciones iniciales, debido que a la hora de estudiar el comportamiento de una celda en la vida real esta es totalmente irregular.

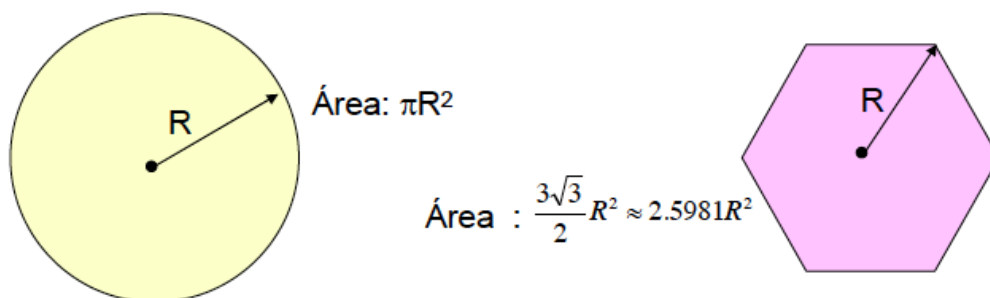


Figura 4.25: Área de una celda
Fuente: Generalidades de redes móviles [46].

$$A = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2}$$

Con los valores de radio obtenidos en el apartado anterior se calcula las áreas de cobertura de las células para los diferentes tipos de modulación.

QPSK

$$A = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2}$$

$$A = \frac{3\sqrt{3}[(2,9461)^2 - (1,2088)^2]}{2}$$

$$A = \frac{37,5074}{2}$$

$$A = 18,75 \text{ Km}^2$$

16QAM

$$A = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2}$$

$$A = \frac{3\sqrt{3}[(1,168)^2 - (0,7034)^2]}{2}$$

$$A = \frac{4,5178}{2}$$

$$A = 2,2589 \text{ Km}^2$$

64QAM

$$A = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2}$$

$$A = \frac{3\sqrt{3}(0,6568)^2}{2}$$

$$A = \frac{2,2415}{2}$$

$$A = 1,1208 \text{ Km}^2$$

Con los resultados obtenidos del área de cobertura se determina que de acuerdo al tipo de modulación utilizada varía el área de cobertura.

4.7.8.1. Distribución de frecuencias

LTE está diseñado para tener factor 1 en reutilización de frecuencias lo que permite maximizar la eficiencia del espectro, todas las células vecinas utilizan los mismos canales de frecuencia y por lo tanto no existe una célula de planificación para hacer frente a los problemas de interferencias.

De acuerdo a la Tabla 4.24 para el enlace de bajada y bajada se tiene 149 canales para cada uno respectivamente.

Tabla 4.24: Descripción Banda 28 de LTE

Banda LTE	Enlace Bajada (Downlink)			Enlace Subida (Uplink)		
	Low (MHz)	Middle (MHz)	High (MHz)	Low (MHz)	Middle (MHz)	High (MHz)
28	788	799,5	803	733	740,5	748
EARFCN (Canales)	9510	9625	9659	27510	27585	27659

Elaborado por: Daniel Analuisa.

Cada canal tiene una separación de 100KHz según la especificación 3GPP TS 36.101 V8.8.0 (2009-12), en la Tabla 4.25 se muestra el respectivo rango de frecuencias para el enlace de subida y bajada.

Tabla 4.25: Rango de frecuencias LTE Banda 28

Canales - Frecuencias LTE	
Enlace de bajada (MHz)	Enlace de subida (MHz)
788,1	733,1
788,2	733,2
788,3	733,3
788,4	733,4
788,5	733,5
788,6	733,6
788,7	733,7
788,8	733,8
788,9	733,9
789	734
789,1	734,1
789,2	734,2
.	.
.	.
.	.
.	.
802,1	747,1
802,2	747,2
802,3	747,3
802,4	747,4
802,5	747,5
802,6	747,6
802,7	747,7
802,8	747,8
802,9	747,9

Elaborado por: Daniel Analuisa.

Al utilizar todas las células los mismos canales de frecuencia existe una alta probabilidad de que un bloque de recursos programado a los teléfonos de usuario de borde, también está siendo transmitido por la célula vecina y hay una gran interferencia.

Dado que las células LTE están en el área urbana es necesario buscar una alternativa para asignación de frecuencias de las mismas, ya que el utilizar una sola frecuencias en todas las celdas implica tener gran interferencia esta técnica de una sola frecuencias trabajaría excelente en entorno rural donde los usuarios se encuentran dispersos.

Para mitigar el problema de interferencia entre celdas se trabaja con SFR (reutilización de frecuencia suave). El concepto SFR se basa en dividir todo el ancho de banda portadora LTE en 3 subsecciones, en este caso cada una de 5MHz.

Al dividir el ancho de banda total para 3 se tiene como resultado 25 RB's con 300 subportadoras para cada *enodeB*.

En la Figura 4.26 se observa la distribución de frecuencias en las diferentes celdas del diseño LTE.

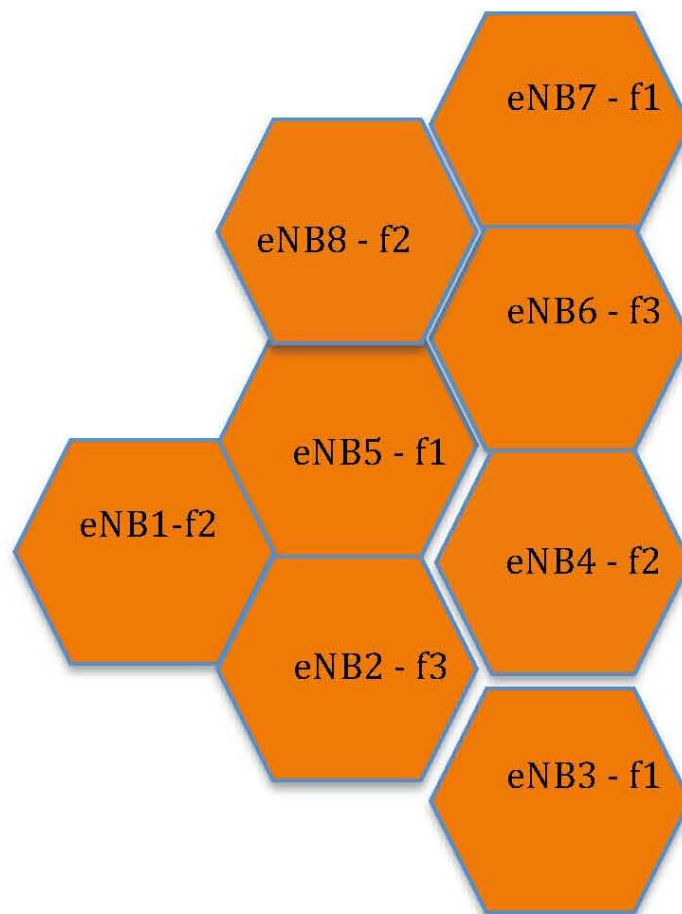


Figura 4.26: Distribución de frecuencias
Elaborado por: Daniel Analuisa.

La Tabla 4.26 muestra en detalle cada una de las frecuencias asignadas para cada estación base, con una separación de 15KHz para cada subportadora de acuerdo a la Tabla 2.4.

Tabla 4.26: Distribución de frecuencias

Número Estación Base	Enlace de bajada [733-748 MHz]	Enlace de subida [788-803 MHz]
1	733,015 - 737,995	788,015 - 792,995
2	738,015 - 742,995	793,015 - 797,995
3	743,015 - 747,995	798,015 - 802,995
4	733,015 - 737,995	788,015 - 792,995
5	743,015 - 747,995	798,015 - 802,995
6	738,015 - 742,995	793,015 - 797,995
7	743,015 - 747,995	798,015 - 802,995
8	733,015 - 737,995	788,015 - 792,995

Elaborado por: Daniel Analuisa.

4.7.9. Propuesta RED LTE

Para el diseño de la red se combino varias equipos de diferentes empresas para satisfacer los requerimientos para un correcto desempeño de la red.

4.7.9.1. Equipo para la red troncal (EPC)

Actualmente la operadora móvil CNT esta brindando telefonía móvil con tecnología 4G en ciudades grandes como Quito y Guayaquil, debido a que las operadoras no son las encargadas de desarrollar sus redes es muy difícil acceder a información de como están estructuradas las mismas, es por esto que para realizar el diseño de red esta se desarrollo con información de empresas especializadas en desarrollar soluciones para proyectos de telefonía móvil con LTE.

De las alternativas analizadas anteriormente se seleccionada la solución propuesta por ALCATEL-LUCENT, debido a que esta satisface los requerimientos impuestos por la red.

Descripción de equipos

A continuación un análisis de los equipos a utilizar para el sistema de gestión:

5620 Service Aware Manager (5620 SAM)

EL equipo de Alcatel-Lucent 5620 SAM ofrece gestión de servicio extremo a extremo, de todas las redes IP y los servicios que prestan. El 5620 SAM gestiona todos los dominios de red de extremo a extremo de Alcatel-Lucent.

Unifica la red con la gestión de servicio de la misma, brindando a los proveedores de telefonía la posibilidad de gestionar con mayor eficacia los servicios móviles, empresariales y residenciales.

Las características que este equipo tiene son las siguientes:

- La gestión de extremo a extremo sin hilos de RAN para packet core.
- Backhaul móvil con opciones sean estas IP / ópticos y enlaces de microondas flexibles.
- Gestión de red troncal convergente para la óptica DWDM.
- Gestión tanto de servicios empresariales VPN así como residenciales.
- Integración con sistemas de telefonía existentes.

En la se observa la solución propuesta por Alcatel-Lucent, esta integra toda la red troncal.

Figure 8. Common network management across EPC mobile and transport domains using the Alcatel-Lucent 5620 Service Aware Manager

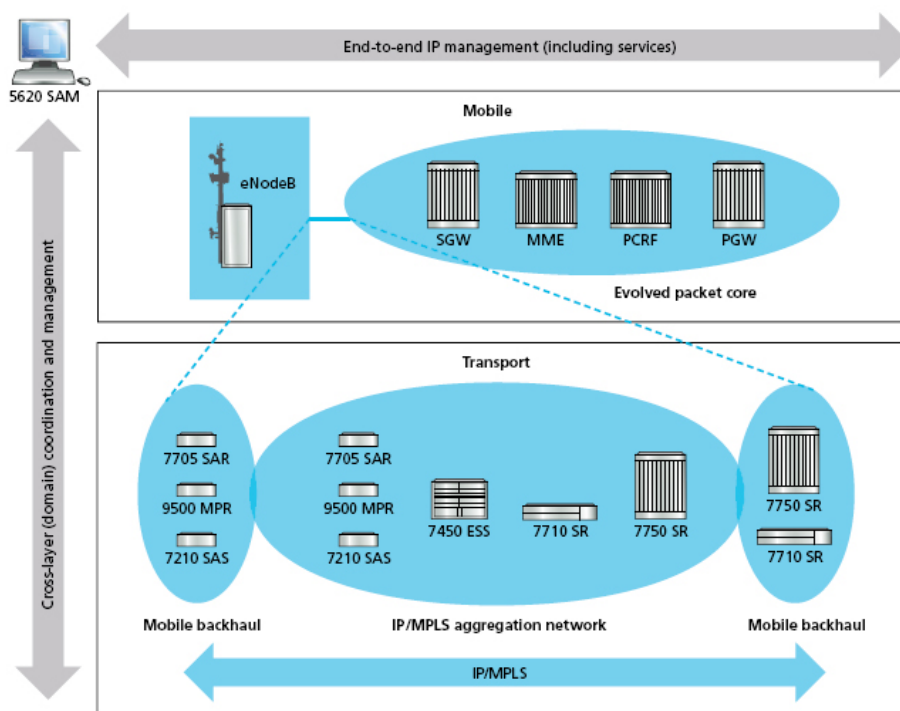


Figura 4.27: 5620 SAM
Fuente: Alcatel-Lucent.

4.7.9.2. Equipo para la red de acceso inalámbrica (E-UTRAN)

El *eNodeB* (estación base) se utiliza para el acceso de radio en el sistema de LTE, realiza principalmente gestión de recursos de radio (RRM), gestión de la interfaz de aire, control de acceso, control de la movilidad, y asignación de recursos a los equipos de usuario (UE). Múltiples *eNodeBs* constituyen el sistema E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network).

Para la red de acceso inalámbrico el equipo a utilizar es el BDS3900, tiene dos tipos de módulos básicos: unidad de banda base y la unidad remota de radio, estas se pueden configurar de forma flexible para satisfacer las necesidades de diferentes capacidades y escenarios.

En la Figura 4.28 se observa el equipo BDS3900, este cuenta con un tamaño pequeño, bajo consumo de energía, instalación flexible y fácil despliegue de acuerdo a la infamación proporcionada por el fabricante.

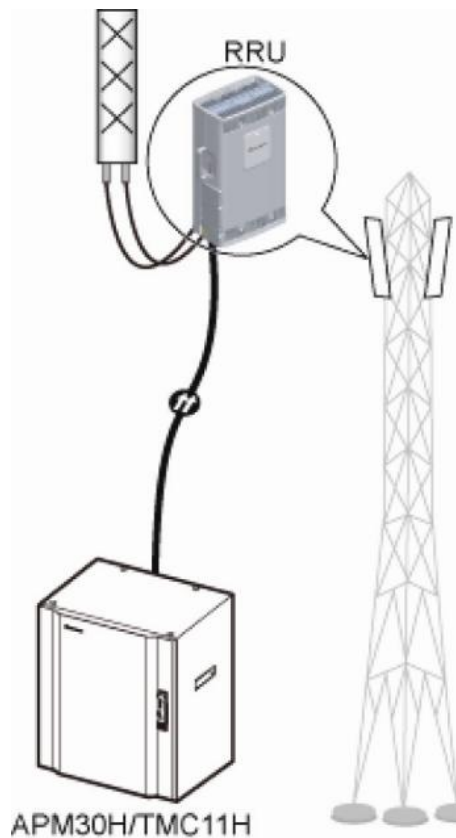


Figura 4.28: BDS3900
Fuente: Huawei [47].

El DBS3900 cuenta con una arquitectura distribuida, tiene dos tipos de módulos básicos: eBBU530 (unidad de control de banda base) y RRU (Unidad de Radio Remota).

El eBBU530 y RRU se conectan mediante cables de fibra óptica a través de interfaz común de la radio pública (CPRI).

eBBU530

La unidad de banda base realiza las siguientes funciones:

- Proporciona puertos para la conexión a la Entidad de Gestión de la Movilidad (MME) o puede servir como puerta de enlace (S-GW) y trabaja con procesos relacionados ha protocolos de transmisión.
- Proporciona puertos CPRI para la comunicación con RRU y procesa las señales de enlace ascendente y enlace descendente de banda base.
- Administra toda la estación base por medio de operación y mantenimiento (OM) y la señalización de procesamiento de mensajes.
- Proporciona un canal de OM hacia la terminal de mantenimiento local (LMT) o EEIP.
- Proporciona puertos de reloj para la sincronización del reloj, los puertos de monitoreo de alarmas para el control del medio ambiente, y un puerto USB (bus serie universal) para la puesta en uso de un dispositivo de almacenamiento USB.

En la Figura 4.29 se observa la estructura del equipo eBBU530, este tiene una estructura compacta.



Figura 4.29: eBBU530

Fuente: Huawei [47].

El eBBU530 está configurado con los siguientes módulos y componentes:

- Procesamiento principal LTE y unidad de transmisión (LMPT).
- Unidad de procesamiento de banda base LTE (LBBP): procesa las señales de banda base y las señales de CPRI.
- Unidad de ventilación (FAN): Controla el giro de los ventiladores, comprueba la temperatura del módulo de ventilador, y lleva a cabo la disipación de calor de la BBU.

RRU

RRU es una unidad de radio remota, una o más RRU constituyen la parte de radiofrecuencia (RF) de una estación base distribuida. La RRU puede ser instalado en un poste, pared o soporte, también se puede instalar cerca de las antenas para acortar la longitud de alimentación, reducir la pérdida de alimentación, y mejorar la cobertura del sistema. Proporciona funciones como: modular y demodular señales de banda base y señales de radio frecuencia, procesamiento de datos, y detección de ondas estacionarias.

La Figura 4.30 muestra el exterior del RRU3232.

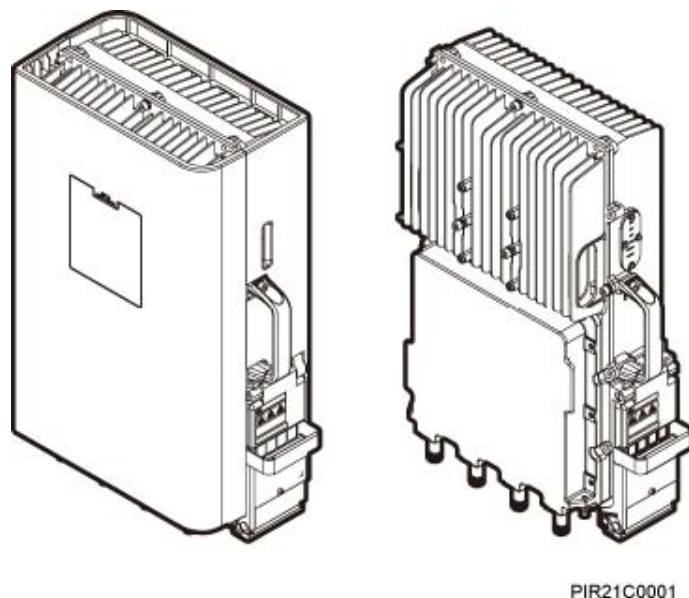


Figura 4.30: RRU3232

Fuente: Huawei [47].

El RRU323 cuenta con los siguientes características:

- 2 puertos ópticos infrarrojos, utilizados para transmitir datos, señal de reloj y la señal de sincronización.
- 4 puertos tipo N, que se utiliza para conectarse a la antena.
- Puerto N 1 tipo, que se utiliza para calibrar.
- 1 puerto de la fuente de alimentación, que se utiliza para conectarse a -48V DC.
- 1 puerto de monitoreo externo, que se utiliza para obtener las alarmas y señal de estado del dispositivo externo y administrar el dispositivo externo a través del puerto RS485.

Se pueden instalar dispositivos auxiliares del DBS3900 como: módulo de potencia avanzada con intercambiador de calor (APM30H), sistema de respaldo de batería integrada con enfriador directa (IBBS200D) o sistema de respaldo de batería integrado con unidad de refrigeración termoeléctrica (IBBS200T), gabinete de transmisión con intercambiador de calor (TMC11H), Mini Caja interior (IMB03) y Mini caja exterior (OMB).

Antena AxxceLTE™

En la se observa la antena AxxceLTE™, la cual fue seleccionada para diseñar la estación base, ya que entre las características más importantes que permiten un óptimo desempeño de la misma dentro del diseño de la estación base son:

- Multibanda de operación en el siguiente rango: 700MHz - 3.8GHz.
- Soporta dos modos de duplexación como son: TDD yFDD.
- Varios canales de ancho de banda: 1,4-3-5-10-15-20MHz.
- Capacidad de dos canales para el enlace de subida cada uno con 20MHz.
- Soporta terminales LTE en las categorías del 1 al 5.
- Cuenta con protección IP67 (Protección total contra polvo e inmersión al agua durante 30 minutos).



Figura 4.31: Antena AxxceLTE™
Fuente: Axxcelera Broadband Wireless [48].

Sitios para la instalación de las estaciones base

En la Tabla 4.27 se muestra los lugares para la instalación de las estaciones base.

Tabla 4.27: Coordenadas - Sitios de instalación de las estaciones base

# Estación base	Latitud	Longitud
1	1°13'51.20"S	78°37'14.66"W
2	1°14'30.12"S	78°37'10.95"W
3	1°14'31.98"S	78°37'41.23"W
4	1°15'7.50"S	78°37'18.99"W
5	1°15'7.19"S	78°37'52.98"W
6	1°15'41.48"S	78°37'26.40"W
7	1°15'48.59"S	78°38'5.64"W
8	1°15'17.08"S	78°38'37.78"W

Elaborado por: Daniel Analuisa.

Para la instalación de las estaciones base en estos lugares existen dos alternativas: alquilar un sitio para la instalación de la estación o compartir infraestructura con alguna empresa proveedora de servicio de telecomunicaciones que de acuerdo a la resolución 163-06-CONATEL-2009, dichas empresas tienen el derecho de compartir su infraestructura física, siendo la segunda alternativa la más viable ya que reduce costos de instalación.

Propuesta de red

La Figura 4.32 muestra la propuesta de solución utilizando los equipos anteriormente seleccionadas para la red.

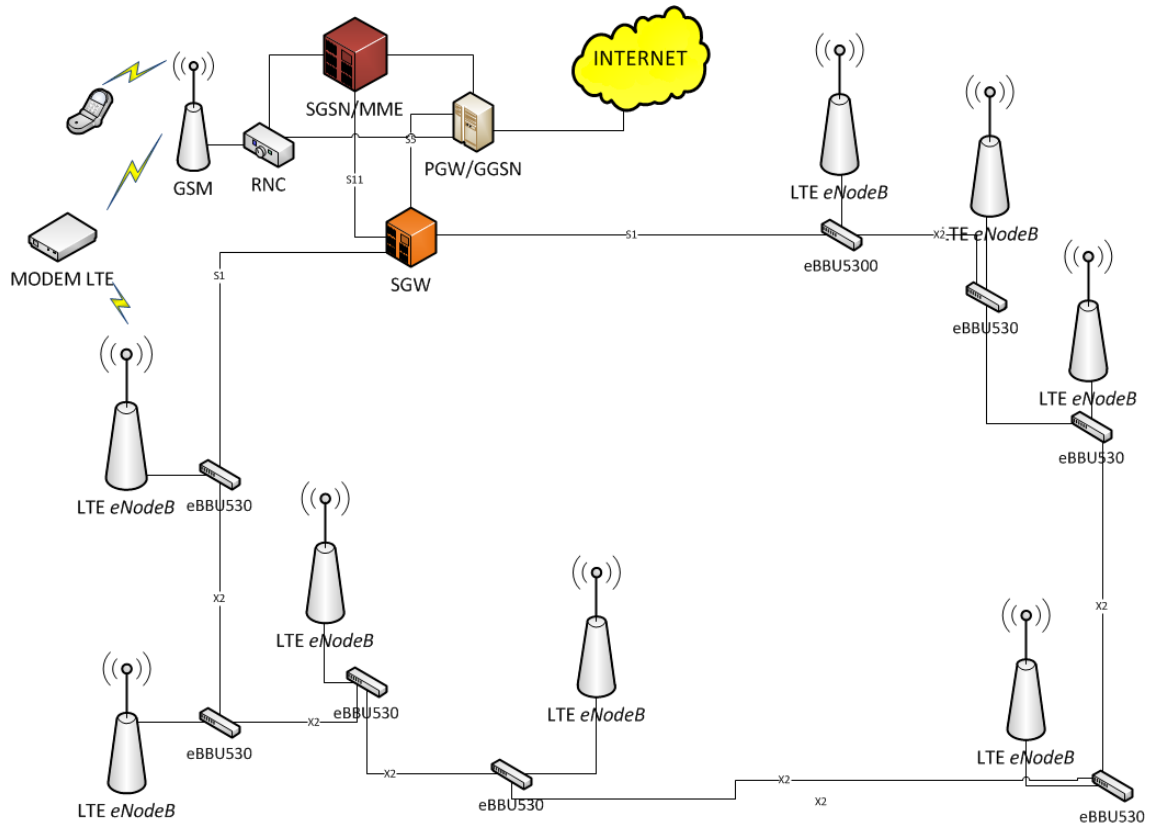


Figura 4.32: Propuesta de red LTE
 Elaborado por: Daniel Analuisa.

La red propuesta que se muestra en la Figura 4.32, es factible de implementar con los equipos descritos anteriormente, ya que los mismos son capaces de soportar las diferentes características requeridas por la red como son:

- Trabajar en conjunto con las redes de telefonía móvil actuales.
- Soportar diferentes tipos de modulación como: QPSK, 16 y 64QAM.
- Trabajar con duplexación FDD.
- Operar en la banda de frecuencia de 700 MHz.
- Trabajar con equipos móviles de diferentes categorías.
- Ancho de banda del canal de 30 MHz.

Dentro de la red propuesta se encuentra elementos como: SGW, PGW/GGSN, SGSN/MME y *eNodeB*, a continuación un detalle de la función que desempeña cada uno de estos elementos:

- *SGW (Serving Gateway)*

Elemento cuya función principal es la gestión de movilidad del plano de usuario, actuar como un punto de demarcación entre la RAN y las redes centrales además mantiene las rutas de datos entre *eNodeBs* y el PDN Gateway (PGW).

Es la punta de la interfaz de red de paquetes de datos hacia la E-UTRAN. Cuando los terminales se mueven a través de las diferentes áreas que cubren las estaciones base sirve como un ancla de la movilidad local, es decir los paquetes se enrutan a través de este punto de la movilidad E-UTRAN tanto dentro de la red LTE como hacia otras redes con otras tecnologías del 3GPP, como 2G/GSM y 3G/UMTS.

- *PGW/GGSN*

Es la combinación en un solo nodo del PGW (*Packet Data Network Gateway*) responsable de actuar como un ancla de la movilidad entre las tecnologías 3GPP y no 3GPP, que además proporciona conectividad desde el UE al PDN (Packet Data Network) externo por ser el punto de entrada o salida de tráfico para el equipo de usuario. El PGW gestiona la aplicación de políticas, la filtración de paquetes para los usuarios, soporte de carga y hace posible el uso de tecnologías no 3GPP como: WiMAX, CDMA 1X y EvDO.

GGSN responsable de la interconexión entre la red GPRS y las redes de paquetes conmutadas externas, como los de Internet y X.25 redes, sin duda es la una de las partes más importantes de la red ya que esta permite la interconexión sea hacia una red GPRS o LTE.

- *SGSN/MME (serving GPRS support node / Mobility Management Entity)*

MME es el nodo de control para la red de acceso LTE, es responsable para el seguimiento y el procedimiento de paginación incluyendo retransmisiones, y también para el modo de inactividad de los equipos de usuario (UE), también proporciona la función de plano de control para la movilidad entre redes LTE y 2G/3G por la interfaz S3 (de SGSN al MME).

SGSN es la red central GPRS, que permite a 2G, 3G y WCDMA transmitir IP paquetes a redes externas tales como la Internet. El sistema GPRS es una parte integrada del subsistema GSM de conmutación de red.

Además de utilizan interfaces como S1, X2, S11 y S5 cada una con sus respectivas características para tener un desempeño correcto dentro de la red.

NOTA: Para el enlace del núcleo de red con el backbone es necesario conocer como será la integración del mismo con el backbone que tenga disponible cualquiera

de las tres empresas de telefonía móvil del país.

4.7.10. Etapas para la migración hacia LTE

LTE al soportar varios servicios sobre una red convergente y al mismo tiempo garantizar un servicio confiable y flexible, por lo cual es necesario tomar en cuenta varios factores para que LTE satisfaga estos requerimientos como considerar la implementación de LTE en redes 3G existentes y que estas dos puedan trabajar simultáneamente, para lo cual es necesario utilizar equipos capaces de soportar y trabajar con ambas redes de telefonía móvil, para esto se tiene varias alternativas que comúnmente utilizan los operadores de telefonía móvil para migrar sus redes como son:

- Ofrecer sólo servicios de datos sobre LTE sin servicios de voz en equipos LTE.
- Brindar servicios de datos en LTE con voz 2G-3G en el mismo equipo LTE.
- O finalmente migrar toda su red a LTE y brindar servicios de voz y datos sobre LTE.

4.7.11. Servicio únicamente de datos

El objetivo de ofrecer solo servicio de datos es el de no arriesgarse en el despliegue de LTE y que este se pueda incorporar inicialmente a la red existente, de una forma lógica sólo ofreciendo servicio de datos con LTE.

Esta alternativa de implementación hace posible que el despliegue sea de manera rápida al no tener acceso de voz, sin embargo hay que tomar en cuenta que el servicio de ofrecer únicamente datos implica darle al usuario los equipos necesarios para acceder al servicio de banda ancha móvil como: netbooks, modems y/o dispositivos similares.

Ademas esta alternativa enfrenta algunos problemas como que el sistema móvil debe coexistir con la red de datos de 2G-3G, la cobertura de LTE sería aún limitada.

4.7.12. Servicio de datos con voz 2G y 3G

Al ser la mayor parte de suscriptores de telefonía móvil los que utilizan servicio de voz, las operadoras que desean desarrollar el despliegue de LTE podrían ofrecer servicios de voz y ofertas de datos a futuro, debido a la necesidad de equipos con soporte de 2G y 3G, para así aprovechar la capacidad que LTE tiene para usar el acceso de otras tecnologías.

Al ofrecer equipos LTE para usuarios que incluso no deseen acceder a banda ancha móvil LTE, los tiene preparados para una futura actualización de la red de datos, lo cual ayuda en la rápida migración de 3G a LTE.

4.7.13. Migración voz y datos a LTE

Al operador decidir optar por la tercera estrategia de migración, mientras ofrece voz y datos en LTE sin desplegar las primeras dos opciones en ningún momento, LTE al ser una tecnología de acceso inalámbrico todo basado en IP, LTE no especifica en la red el centro de servicios para voz sino confía en otras tecnologías de red entregar esta funcionalidad. Es así que en el *Release 8* de 3GPP se da a conocer normas y mecanismos como CS-Fallback, Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC), Handover, etc.

Este ultimo caso para la migración hacia LTE se espera tener luego de varios años ya que en la actualidad las operadoras de telefonía móvil lo que buscan es captar mas clientes para lo cual las dos alternativas anteriores serian las mas aptas para la migración dando al usuario la capacidad de mantenerse en redes 3G y la mismo tiempo utilizar LTE.

4.8. Guía de implementación de la red LTE

Para la implementación de una red móvil con tecnología LTE se debe seguir varios pasos como los que se detallan a continuación:

1. Solicitar una licitación para la frecuencia de operación del sistema, ante la entidad encarga de normar el espectro radioeléctrico en nuestro país el CONATEL.
2. Una vez otorgado el rango y la banda de frecuencia de operación del sistema planificar los requerimientos que la red debe cumplir para tener un desempeño optimo, sean estos parámetros como: calidad de servicio, ancho de banda del sistema, velocidades de transmisión, tipo de modulación, etc, estos parámetros se pueden encontrar en los diferentes *release* publicados por 3GPP entidad encargada de brindar especificaciones para las nuevas tecnologías de telecomunicaciones en este caso LTE.
3. Definir el área de trabajo de la nueva red.
4. Buscar y seleccionar equipos que soporten los requerimientos impuestos por la red.

5. Proveer el correcto funcionamiento de la red utilizando modelos de propagación que permitan obtener una estimación de pérdidas producidas por el sistema.
6. Instalar los diferentes equipos del sistema LTE: estaciones base, equipos para la red de acceso inalámbrico, núcleo de red.
7. Configurar los diferentes equipos satisfaciendo los requerimientos para lo cual fueron seleccionadas, para la configuración de los equipos se contratara los servicios de empresas especializadas en brindar soporte a este tipo de equipos, ya que al ser equipos nuevos existen escasez de guías que permitan a un usuario normal configurar de una manera correcta estos equipos.
8. Planificar el soporte para la red, lo que ayudara para evitar fallos del mismo.

4.9. Análisis de resultados

Analizando los resultados obtenidos del área de cobertura que proporciona la estación base, es notorio que mientras más estaciones base existan para cubrir el área de estudio, en este caso el sector urbano de la ciudad de Ambato, el servicio tanto de carga como descarga de datos es más eficiente sin embargo un punto muy importante a tomar en cuenta es el número reducido de usuarios que tendrá que soportar la red, por lo cual para etapas de prueba de la red se puede iniciar el despliegue de la red con pocas estaciones base.

Los dispositivos móviles LTE seas estos los equipos de usuario al ser clasificados en categorías es un problema para la red LTE, ya que la misma debe buscar adaptarse para poder soportar en lo posible la mayoría de categorías de estos dispositivos, es por esto que a la hora de adquirir un dispositivo móvil se lo debe analizar rigurosamente para verificar si cumple con los parámetros que establece la red en la cual se lo desea utilizar.

La migración hacia LTE conlleva tener una idea muy clara de los resultados que se requiere obtener implantando esta tecnología en las redes de telefonía celular, debido a que una migración completa hacia esta implicaría perder la aceptación de usuarios que utilizan la carga y descarga de datos en sus dispositivos móviles.

Uno de los problemas a la hora de implementar un proyecto de este tipo, es que un usuario normal no lo puede hacer debido a las restricciones de información tanto de equipos como configuraciones de los mismos por parte de empresas encargadas de desarrollar soluciones para la implementación de LTE

Existen varias empresas que pueden brindar soluciones para una red LTE siendo estas en la mayoría muy similares, únicamente es decisión de la empresa a implantar

LTE buscar la solución que más se adapte a sus necesidades y requerimientos.

4.10. Ventajas y Desventajas LTE

LTE tiene varias características analizadas en el desarrollo del presente proyecto, lo que permite dar a conocer las siguientes ventajas y desventajas:

4.10.1. Ventajas

- Permite proporcionara una conexión de banda ancha móvil con altas velocidades de transmisión para el enlace de bajada y subida, se puede obtener velocidades pico de 100 y 50 Mbps respectivamente.
- Posibilidad de utilizar servicio 4G en lugares en lugares donde antes no existía cobertura.
- Compatibilidad para trabajar en conjunto con otros sistemas de telefonía móvil.
- Capacidad del sistema para efectuar videoconferencias sin retardo en la conexión así como transferir imágenes y vídeos en alta resolución.
- LTE utiliza frecuencias bajas lo que hace posible un mejor uso del espectro radioeléctrico y mayor cobertura.

4.10.2. Desventajas

- Alto costo del servicio 4G.
- El servicio 4G se puede utilizar únicamente en modems usb, más no directamente en teléfonos celulares.
- Retardo en la migración de las redes actuales hacía 4G.
- Precio elevado de equipos móviles de ultima generación compatibles con tecnología 4G.
- La utilización de frecuencias bajas retrasa el despliegue de LTE en el país ya se tiene que esperar que estas frecuencias sean liberadas por las estaciones de radiodifusión sonora y televisión.

4.11. LTE Y WiMAX

Actualmente nos encontramos en la era de cuarta generación de comunicaciones móviles, la misma que brinda dos alternativas que son: WiMAX y LTE, por supuesto que cada una de estas ofrece sus ventajas y desventajas como se observa en la Tabla 4.28, incluso pueden llegar a trabajar juntas.

Tabla 4.28: Comparativa WiMAX y LTE

Característica	WiMAX	LTE
Núcleo de red	Totalmente IP	UTRAN migrando hacia red todo IP (E-UTRA)
Tecnología de acceso		
Downlink	OFDMA	OFDMA
Uplink	OFDMA	SC-FDMA
Modo duplex	FDD y TDD	FDD y TDD
Banda de frecuencia	2,3-2,4GHz - 2,4-2,67GHz - 3,3-3,8GHz y 5,8 GHz	Varias bandas de frecuencia - Tabla 2.3
Tasa de bits		
Downlink	75 Mbps	100 Mbps
Uplink	25 Mbps	50 Mbps
Ancho de banda del canal	5-8,75-10 MHz	1,25-20 MHz
Radio cobertura de célula	2-7 Km	5 Km
Capacidad de célula	100-200 Usuarios	>200 usuarios a 5 MHz >400 usuarios para un ancho de banda mayor
Eficiencia espectral	3,75 (bits/seg/Hz)	5 (bits/seg/Hz)
Movilidad		
Velocidad	Hasta 120 Km/h	Hasta 350 Km/h
Handover	Hard Handover	Handover inter célula
Standar	IEEE 802.16a hasta 16d	GSM/GPRS/UMTS/HSPA
MIMO		
Downlink	2Tx*2Rx y 4Tx*4Rx	2Tx*2Rx
Uplink	1Tx*NRx	2Tx*NRx
Roaming	-	A través de la red GSM/UMTS
Estándar completo	2005	2007
Inicio de despliegue	2007-2008	2010
Producción en masa	2009	2012

Elaborado por: Daniel Analuisa

El rendimiento de LTE y WiMAX es similar en varios aspectos como: tasas de bits, latencia y movilidad para el usuario, sin embargo LTE y WiMAX usan OFDMA en *downlink* (enlace de bajada), pero no en *uplink* (enlace de subida), una diferencia en este caso.

WiMAX utiliza OFDMA y LTE usa SC-FDMA que permite tener un PARP reducido en el *uplink* (enlace de subida).

Una diferencia que se marca para el desarrollo de LTE y no de WIMAX es que LTE se encuentra actualmente creciendo en gran medida gracias al apoyo de la industria, tanto a nivel de operadoras de comunicaciones como de infraestructura y terminales móviles, ya que WIMAX se esta enfocando más para redes industriales y aplicaciones netamente IP.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se identifico elementos de una red LTE que hacen posible que esta nueva tecnología pueda coexistir con redes de telefonía móvil existentes permitiendo así a los usuarios utilizar redes GSM y LTE utilizando un solo dispositivo móvil.
- Se concluye que el utilizar un modelo de propagación acorde a la frecuencia y entorno de desarrollo del sistema permite obtener una estimación del funcionamiento de la red de acceso inalámbrico (E-UTRAN).
- Se determina que una correcta selección de equipos ha utilizar para la red de acceso inalámbrico (E-UTRAN) y núcleo de red (EPC) permiten obtener un desempeño optimo de la red diseñada satisfaciendo los requerimientos para los que fueron destinados.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que para determinar parámetros técnicos y características de una red LTE se realice en base a estándares proporcionadas por la 3GPP (entidad encarga desarrollar especificaciones técnicas de LTE) en sus diferentes reléase (estándares).
- Se recomienda que para comprobar las predicciones obtenidas acerca de las pérdidas que el sistema genera es necesario realizar pruebas de campo, las mismas que permitirán evaluar el funcionamiento real de la red, permitiendo optimizar la red para que tenga un desempeño óptimo.
- Se recomienda utilizar fibra óptica para la red de transporte incrementando así la capacidad de transmisión del sistema, debido a que el uso de microondas para la red de transporte no soporta grandes capacidades de transmisión del sistema LTE.

Bibliografía

[1] Citizen, M. (2013). *“Competitividad, Tecnología e Innovación”*, primera edición, Mobile Citizen.

Disponible en:

<http://www.iadb.org/topics/scitech/innovation/index.cfm?artid=6322&lang=es>

[2] Supertel. (2014, enero). *“Estadísticas de Servicios de Telecomunicaciones”*, edición enero 2014.

Disponible en:

http://www.supertel.gob.ec/index.php?option=com_k2&view=item&id=21:servicios-de-telecomunicaciones&Itemid=90

[3] Hurtado Ati, C. G., *“Estudio de factibilidad para la implementación de LTE (Long Term Evolution) en el Ecuador”*, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Ecuador, 2011.

Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3738>

[4] Román. L. Muñoz V, Katherine. A. *“Análisis de la Tecnología Long Term Evolution (LTE) para su posible implementación en el Ecuador”*, Escuela Politécnica del Ejercito, (ESPE), Ecuador, 2011.

Disponible en: repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8102

[5] Bergamini, T. & de Bernardo González, C. 2007, *“Marketing móvil: Una nueva herramienta de comunicación, análisis y nuevas perspectivas para el mercado español”*, primera edición, marketing móvil, *Netbiblo*, 2007, 1-6 pp.

Disponible en:

<http://books.google.com.ec/books?id=4nz1NoSYiaUC&pg=PA126&lpg=PA126&dq=Marketing+m%C3%B3vil:+Una+nueva+herramienta+de+comunicaci%C3%B3n,+an%C3%A1lisis+y+nuevas+perspectivas+para+el+mercado+espa%C3%B1ol&source=bl&ots=oP8dQPYuwv&sig=g3e8piLedexO1zbyXvk1lramBYE&hl=es&sa=X&ei=3oWDU7ykIczlsASDg4GgCA&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q=Marketing%20m%C3%B3vil%3A%20Una%20nueva%20herramienta%20de%20comunicaci%C3%B3n%20an%C3%A1lisis%20y%20nuevas%20perspectivas%20para%20el%20mercado%20espa%C3%B1ol&f=false>

[6] Romero, C. *“LTE, la solución para afrontar el reto 4G”*, Universidad de España, 2013.

Disponible

en:

<http://www.contactforum.com.mx/articulos/movilidad/5658.html>

[7] GSA, 2014, Febrero, *“GSA the Global mobile Suppliers Association GSA confirms new milestone for LTE”*.

Disponible en: http://www.gsacom.com/news/gsa_399.php

[8] NEGRETE, J. 2013 Agosto. *“LTE: dinámico crecimiento en América Latina”*, *MediaTelecom*, 12 -16 pp.

Disponible en:

http://issuu.com/mediatelecom/docs/lte_dinamico_crecimiento_en_al?e=5644639/4323401

[9] RAMIREZ, J. 2013, Diciembre, *“Global LTE Connections”*.

Disponible en:

<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&pageid=2055>

[10] Doniez. A , Febrero 2012. *“Lo que debes saber acerca de 4G”*.

Disponible en: <http://www.wayerless.com/2012/02/de-la-a-a-la-z-telefoniamovil-4g/>

[11] Mullineaux, T. 2012 *“Characterizing Products against Modern Wireless Communication Threats”*, primera edición, 62-64 pp.

Disponible en:

http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/characterizing_wireless_communication_threats.pdf

[12] Nieto. A. Schwarz, R. 2010,Abril, *“Generación y Análisis de Señales LTE-Advanced”*., Schwarz España, S.A, 2-4 pp.

Disponible en: http://www.redeweb.com/_txt/665/38.pdf

[13] FEMP - Federación Española de Municipios y Provincias, F. F. E. CEM. *“CEM asociados a la Telefonía móvil”*., Federación Española, 2012.

Disponible en:

<http://aavvmadrid.org/convencion/documentos/contaminacion/pajella.ppt>

[14] Muhammad.I. Rahman, Suvra Sekhar Das, Frank H.P. Fitzek. Febrero 2005, Technical Report *“OFDM Based WLAN Systems”*., Aalborg University.

Disponible en: <http://kom.aau.dk/%7Eff/documents/TR041002.pdf>

[15] CABREJAS.J. OLMOS B, M. G. L. A. F. A. 2011, *“3GPP LTE: Hacia la 4G móvil”*., primera edición, *Marcombo. S.A*, 32-46 pp.

Disponible en:

<http://books.google.com.ec/books?id=XuQVmNNzXckC&printsec=frontcover&dq=3GPP+LTE:+Hacia+la+4G+m%C3%B3vil%E2%80%9D&hl=es&sa=X&ei=ToaDU6jkAu7NsQTisoLoBA&ved=0CEMQ6AEwAQ#v=onepage&q=3GPP%20LTE%3A%20Hacia%20la%204G%20m%C3%B3vil%E2%80%9D&f=false>

[16] 3GPP.ORG, Enero, 2014, *“User Equipment (UE) radio transmission and reception - Technical Specification Group”*., Radio Access Network (2009-09), novena edición, 14 -143 pp.

Disponible en:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/08.09.00_60/ts_136101v080900p.pdf

[17] Lescuyer, P. & Lucidarme, T. John Wiley & Sons, 2008. *"Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS"*, primera edición, 126, 189 pp.

Disponible en:

http://books.google.com.ec/books?id=gXAuo6c72nkC&printsec=frontcover&dq=Evolved+Packet+System+%28EPS%29:+The+LTE+and+SAE+Evolution+of+3G+UMT&hl=es&sa=X&ei=p4aDU96PCKTgsASw_YHYCQ&ved=0CEMQ6AEwAA#v=onepage&q=Evolved%20Packet%20System%20%28EPS%29%3A%20The%20LTE%20and%20SAE%20Evolution%20of%203G%20UMT&f=false

[18] MATOS, C. W., *"Análisis y diseño de una red 3gpp LTE en el departamento de cusco pontificia universidad católica del Perú"*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Peru 2011.

Disponible en:

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/937?show=full>

[19] Perrino, G. P.2013., *"Análisis del impacto del uso de técnicas de múltiples antenas en una red móvil lte con la herramienta de simulación Atoll"*, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona de la Universidad Politécnica de Catalunya, 33 pp.

Disponible

en:

http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/18251/4/PFC_-_Gian_Piero_Perrino.pdf

[20] RAMOS.S.2009., *"3GPP LTE Channels and MAC Layer"*, Communication Threats, primera edición, España, 5-17 pp.

Disponible en: <http://www.eventhelix.com/lte/presentations/3gpp-lte-mac.pdf>

[21] TORRE G . BERZAL, H. 2013., *"Estudio y desarrollo sobre sistemas de simulación para comunicaciones móviles LTE"*, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid- España, 13-14 pp.

Disponible en: http://oa.upm.es/21272/1/PFC_HUGO_GARCIA_TORRE.pdf

[22] Salesiana, U. P.2012, "*PROPAGACIÓN Y TÉCNICAS DE MODULACION PARA WIMAX*", 14-16 pp.

Disponible en:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/214/3/Capitulo%202.pdf>

[23] Pilco, V. "*Introduccion a Los Sistemas de Comunicaciones Moviles*", 2011,11pp.

Disponible en: <http://www.tsc.uc3m.es/~dani/rcm-4.ppt>

[24] UIT, 2013. "*RECOMENDACIÓN UIT-R P.525-2*".

Disponible en: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-I!!PDF-S.pdf

[25] M. Lazhar BELHOUCHE. Junio 2010, "*UIT TU/BDT Arab Regional Workshop on 4G Wireless Systems*", España,15-19 pp.

Disponible en: http://www.itu.int/ITU-D/arb/COE/2010/4G/Documents/Doc6-LTE%20Workshop_TUN_Session5_Performance%20Evaluation.pdf

[26] J.Walfisch and H. L. Bertoni, diciembre, "A theoretical model of UHF propagation in urban environments" IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 36, pp. 1788–1796, December. 1988.

Disponible en: <http://iie.fing.edu.uy/~flarroca/papers/walfisch.pdf>

[27] E. Damosso, 1998, "Digital Mobile Radio: Towards Future Generation Systems". European Commission, Final Report of the COST 231 Project. Chapter 4.

Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/17124892/COST-231-Digital-Mobile-Radio-Towards-Future-Generation-Systems>

[28] Zamora, I. M. 2010. "*Sistemas de Telefonía Móvil Celular*", Universidad nacional de ingeniería, Madrid-España, 4-6 pp.

Disponible en: <http://www.slideshare.net/jhon999/sistemas-de-telefonacelular-1>

[29] Gordón, H. C. 2007, Octubre, "*Regulación e Inversión en Telecomunicaciones Estudio de Caso para Ecuador*", 11-24 pp.

Disponible en: http://www.dirsi.net/files/tre/TRE_Ecuador_final.pdf

[30] CONATEL, “Resolución Conatel LTE”, The Global Mobile Suppliers Association, Ecuador,1-6 pp.

Disponible en:

http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf

[31] LUCIAHT, C. D. C. M. B. H. V. S. N. A. “Estudio, diseño y simulación de una red LTE (*Long Term Evolution*) para telefonía móvil en los valles de Tumbaco y los Chillos utilizando software predictivo” (*ESPE*), Ecuador 2012.

Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5547/4/T-ESPE-033669.pdf>

[32] Fabián Montealegre Alfaro Marcelo Salas Cascante, P. A. Q. J. P. S. J. “Propuesta de requerimientos técnicos para la implementación de redes móviles con la tecnología *Long Term Evolution (LTE)* en Costa Rica” *universidad de costa rica, Costa Rica,2009.*

Disponible en: <http://dc212.4shared.com/img/MpaLKzeu/preview.html>

[33] Nieto. A. Schwarz. T. Sequeira, L. 2012 “*LTE: Características Técnicas*”, Cuarta Edición, Tribu Global.

Disponible en:

<http://www.tribuglobal.com/index.php/tecnologia/telecomunicaciones/374-lte-caracteristicas-tecnicas-iv-parte.html>

[34] Ramón. A. Bernardont, F. C. R. F. J. Pé.-R. O. S. “*LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles*”, *Fundación Vodafone Española, España, 45-100 pp.*

Disponible en:

<http://proyectolte.files.wordpress.com/2012/09/lte-nuevas-tendencias.pdf>

[35] EECS, “*MIMO IV: Multiuser Communication*”, MIMO, 18-25 pp.

Disponible en:

http://www.eecs.berkeley.edu/~dtse/Chapters_PDF/Fundamentals_Wireless_Communication_chapter10.pdf

[36] CONATEL, 2012, *“Qué es LTE”*, ¿Qué se debe tomar en cuenta al comprar un equipo LTE?.

Disponible en:

<http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/que-se-debe-tomar-en-cuenta-al-comprar-equipos-si-se-quiere-disfrutar-de-la-tecnologia-lte/>

[37] ANRITSU COMPANY, *“LTE Resource Guide”*, Frame Structures, 6-7 pp

Disponible en: http://web.cecs.pdx.edu/~fli/class/LTE_Resource_Guide.pdf

[38] JARICH, P. 2010, Marzo, *“Mobile Packet Core Engine of Mobile Broadband Success”*, Current Analysis Inc, 2-6pp.

Disponible en:

http://www3.alcatel-lucent.com/wps/DocumentStreamerServlet?LMSG_CABINET=Docs_and_Resource_Ctr&LMSG_CONTENT_FILE=White_Papers/CurrentAnalysis-MobilePacketCore_WP.pdf

[39] INEC, 2010, *“Resultados Censo Población”*, Ecuador

Disponible en:

http://www.inec.gob.ec/estadisticas/?option=com_content&view=article&id=109&Itemid=88

[40] INEC, “Densidad poblacional nacional por cantones y provincias”.

Disponible en:

http://www.inec.gob.ec/tabulados_CPV/1_POBL_PROV_CANT_PARR_AREA.xls

[41] FLORENCIO LÓPEZ CRUZ , “MAPEO DE QoS ENTRE LAS CAPAS DE ACCESO AL MEDIO Y TRANSPORTE EN SISTEMAS CELULARES 4G” (CITEDI), Mexico 2011.

Disponible en:

<http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15597/L%C3%B3pez%20Cruz%20Florencio.pdf?sequence=1>

[42] MOTOROLA, 2012, *“Realistic LTE Performance From Peak Rate to Subscriber Experience”*, Motorola, 4-6 pp.

Disponible en:

http://www.motorolasolutions.com/web/Business/_Documents/static%20files/Realistic_LTE_Experience_White_Paper_FINAL.pdf

[43] Ali-Yahija Tara, "*Understanding LTE and its Performance*", 1ra Edición 254 p., New York, USA 2011.

[44] ATDI-Software Solution, "GUIDELINES FOR A LTE NETWORK DESIGN AND OPTIMISATION WITH ICS designer"., LTE Features, 38-45 pp

Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/193616815/LTE-Guidelines-in-ICS-Designer-v2>

[45] Universidad Politécnica de Madrid, 2007, "*Modelos de propagación para interiores*", 25-30 pp.

Disponible en: http://oa.upm.es/947/1/PFC_LUIS_DIAZ_AMBRONA.pdf

[46] Diógenes Marcano, 2011, "*Generalidades de redes celulares*", Parámetros Geográficos, 2-5 pp.

Disponible en:
http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion_telecomunicaciones/Capitulo%20%20Generalidades%20de%20Redes%20Celulares.pdf

[47] BRATIANTH. L, 2012 "Product Description "Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 12- 18pp

Disponible en:
http://enterprise.huawei.com/ilink/enenterprise/download/HW_203790

[48] CEREHTE, T, 2013 "NEXT GENERATION PERFORMANCE "AxxceLTE™ eNodeB 2-3pp

Disponible en:
http://www.axxcelera.com/uploads/library/AxxceLTE_eNodeB_v1_web.pdf

Glosario de Términos

- **3GPP (*3rd Generation Partnership Project*)**
Organización de desarrollo de estándares.
- **AMPS (*Advanced Mobile Phone System*)**
Sistema telefónico móvil avanzado de telefonía móvil de primera generación que evita interferencias entre llamadas.
- **AS (*Access Stratum*)**
información específica de la red de acceso.
- **AWS (*Advanced Wireless Services*)**
Banda de espectro de telecomunicaciones inalámbrica que se utiliza para móviles de voz, datos, video y mensajería.
- **BACKBONE**
Enlace principal de una red, cableado que comunica todos los cuartos de telecomunicaciones con el cuarto de equipos.
- **Beamforming**
Técnica de procesamiento de señal utilizada para controlar la direccionalidad de la transmisión y recepción de señales de radio.
- **Block Header (BH - Mac and RLC header)**
El bloque RLC / MAC es la unidad básica de transporte en la interfaz de aire que se utiliza entre el móvil y la red. Se utiliza para transportar datos y la señalización RLC / MAC.
- **BS (*Base Station*)**
Instalación fija de radio para la comunicación, se utiliza para comunicar con una o más radios móviles o teléfonos celulares.
- **Clúster**
Cantidad total de canales que la banda de frecuencias requiere y se distribuye entre varias celdas.
- **Célula**
Área geográfica a la que proporciona cobertura una estación base.

- **CS (Circuit Switched Domain - Conmutación de circuito)**
 El dominio CS alberga a todas las entidades de la red troncal que participan en la provisión de servicios de telecomunicaciones basados en conmutación de circuitos, como por ejemplo, los servicios de voz y videoconferencia en redes UMTS.
- **Downlink**
 Enlace o conexión de bajada.
- **eNodeB (Evolved Node B)**
 Elemento en E-UTRAN de LTE que es la evolución del elemento de nodo b en UTRA de UMTS.
- **EARFCN (E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number)**
 Canal asignado al equipo de usuario para comunicarse con la estación base.
- **EPC (Evolved Packet Core)**
 Red central del sistema LTE.
- **EPS (Evolved Packet System)**
 Red troncal EPC que constituye la nueva red UMTS evolucionada.
- **ESFB (Circuit Switched Fallback)**
 Tecnología mediante el cual los servicios de voz y sms se entregan a los dispositivos LTE a través del uso de GSM o de otra red de conmutación de circuitos.
- **E-UTRAN (Evolved Utran)**
 Red de acceso hace mención a aquella parte de la red de comunicaciones que conecta a los usuarios finales con algún proveedor de servicios, complementaria al núcleo de red.
- **FDD (Frequency Division Duplexing)**
 El transmisor y el receptor operan a diferentes frecuencias portadoras.
- **FEC**
 Mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original.
- **GPRS**
 Sistema que permite mandar y recibir paquetes de datos usando la red de telefonía por satélite.

- **GSA (*The Global Mobile Suppliers Association*)**
 Representa a los proveedores móviles en todo el mundo, dedicada a la infraestructura, los semiconductores, dispositivos, servicios y desarrollo de aplicaciones.
- **GTP-U (Protocolo túnel de GPRS)**
 - Se utiliza para portar datos de usuario dentro de la red GPRS y la Red de Acceso de Radio (RAN) y la red GSM. Los datos de usuario transportados pueden estar los formatos de paquetes IPv4, IPv6 y PPP.
- **Handover**
 Es un sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad es insuficiente.
- **HARQ (*Fast Hybrid Arq*)**
 Combinación de alta velocidad: codificación, corrección de errores y control de errores ARQ.
- **HSPA (*High Speed Packet Access*)**
 Combinación de tecnologías posteriores y complementarias a la 3ª generación de telefonía móvil.
- **HSS (Home Subscriber Server)**
 Central de base de datos que contiene información relacionada con una suscripción y relacionada con el usuario. Las funciones de la HSS incluyen funcionalidades como la gestión de la movilidad, la llamada y el apoyo de establecimiento de sesión, autenticación de usuario y autorización de acceso.
- **IDFT**
 Transformada discreta de fourier inversa
- **IMS (IP Multimedia Subsystem)**
 Conjunto de especificaciones que describen la arquitectura de las redes de siguiente generación.
- **IP**
 Una dirección IP es una etiqueta numérica que identifica, de manera lógica y jerárquica, a una interfaz (elemento de comunicación/conexión) de un dispositivo (habitualmente una computadora) dentro de una red que utilice el

protocolo IP (Internet Protocol), que corresponde al nivel de red del Modelo OSI.

- **ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones)**
Organismo especializado de las naciones unidas para las tecnologías de la información y la comunicación TIC.
- **Latencia**
Suma de retardos temporales dentro de una red.
- ***Link budget (Presupuesto del enlace)***
Análisis de todas las ganancias y pérdidas de la emisora, a través del medio para el receptor en un sistema de telecomunicaciones.
- **LOS (*Line of Sight*)**
Enlace de radio con visibilidad directa entre antenas.
- **LTE**
Evolución a largo plazo.
- **MIMO (Múltiple entrada - múltiple salida)**
Se refiere específicamente a la forma como son manejadas las ondas de transmisión y recepción en antenas para dispositivos inalámbricos.
- **MMME (*Mobility Management Entity*)**
Nodo de control clave para la red de acceso LTE.
- **NAS (*Non Access Stratum*)**
Información específica de la red troncal.
- **NLOS (*Non Line of Sight*)**
Describe un trayecto parcialmente obstruido entre la ubicación del transmisor de la señal y la ubicación del receptor de la misma.
- **OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)**
Multiplexación por división de frecuencias ortogonales, consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK.
- **Paging**
Utilizado por la red para solicitar el establecimiento de una conexión de señalización NAS para el UE (equipo de usuario).

- **PAPR (Peak to Average Power Ratio)**
Relación pico de potencia media.
- **PCRF**
Ofrece gestión de servicios y control del servicio 4G.
- **PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*)**
Control de la interfaz aire LTE y planos de usuario.
- **PDN (Packet Data Network)**
Asigna la dirección IP al UE (equipo de usuario), quien la utiliza para comunicarse con otros Host IP en redes externas.
- **PDN-GW (PDN Gateway)**
Proporciona conectividad del equipo de usuario a las redes de paquetes de datos externas al ser el punto de entrada y salida del tráfico del equipo de usuario.
- **PGW (PDN Gateway)**
El PGW tiene un importante rol en el control de la movilidad, asigna la dirección IP al equipo de usuario.
- **QPSK**
Técnica para variar la fase de una onda portadora a una onda de amplitud y frecuencia fija.
- ***Releases***
Comunicados que contienen información sobre varios aspectos sobre LTE.
- ***Resource Element (RE)***
Estructura de modulación más pequeña de LTE.
- **RNC**
Elemento de red de alta jerarquía de la red de acceso de la tecnología UMTS, responsable del control de los nodos B que se conectan a ella.
- **RNL (*Radio network layer*)**
Gestiona la movilidad en la capa de red de radio (RNL).
- **RRC (Radio resource control)**
El protocolo de control de recursos de radio (RRC) pertenece a la UMTS WCDMA pila de protocolos y maneja el plano de control de señalización de la Capa 3 entre los UEs (equipos de usuario) y la UTRAN.

- **SAE (*System Architecture Evolution*)**
 Arquitectura de red central de estándar de comunicación inalámbrica LTE del 3GPP.
- ***Scrambling***
 Cifrar o codificar.
- **SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*)**
 Protocolo de comunicación de capa de transporte que fue definido por el grupo SIGTRAN de IETF en el año 2000.
- **Shadowing**
 Fenómeno que se produce cuando la línea de vista se obstruye debido a obstáculos que pueden estar en el trayecto de propagación sean estas: montañas, árboles, construcciones hechas por el hombre, etc.
- **SINR**
 Relación señal a interferencia.
- **SMS (*Short Message Service*)**
 Servicio de mensajes cortos, sistema de mensajes de texto para teléfonos móviles.
- **Sub-portadora**
 Señal ya modulada, que es modulada a continuación, en otra señal de frecuencia más alta y ancho de banda.
- **S-GW (*Serving Gateway*)**
 Parte de la infraestructura de red que se mantiene en los centros de operación.
- **SC-FDMA**
 Esquema de acceso múltiple que utiliza modulación de portadora única, multiplexación frecuencial ortogonal y ecualización en el dominio frecuencial.
- **TDD (*Time Division Duplex*)**
 Técnica para convertir un canal simplex en un canal dúplex separando las señales enviadas y recibidas en intervalos de tiempos diferentes sobre el mismo canal usando acceso múltiple por división de tiempo.
- ***Throughput***
 Tasa promedio de éxito en la entrega de un mensaje sobre un canal de comunicación.

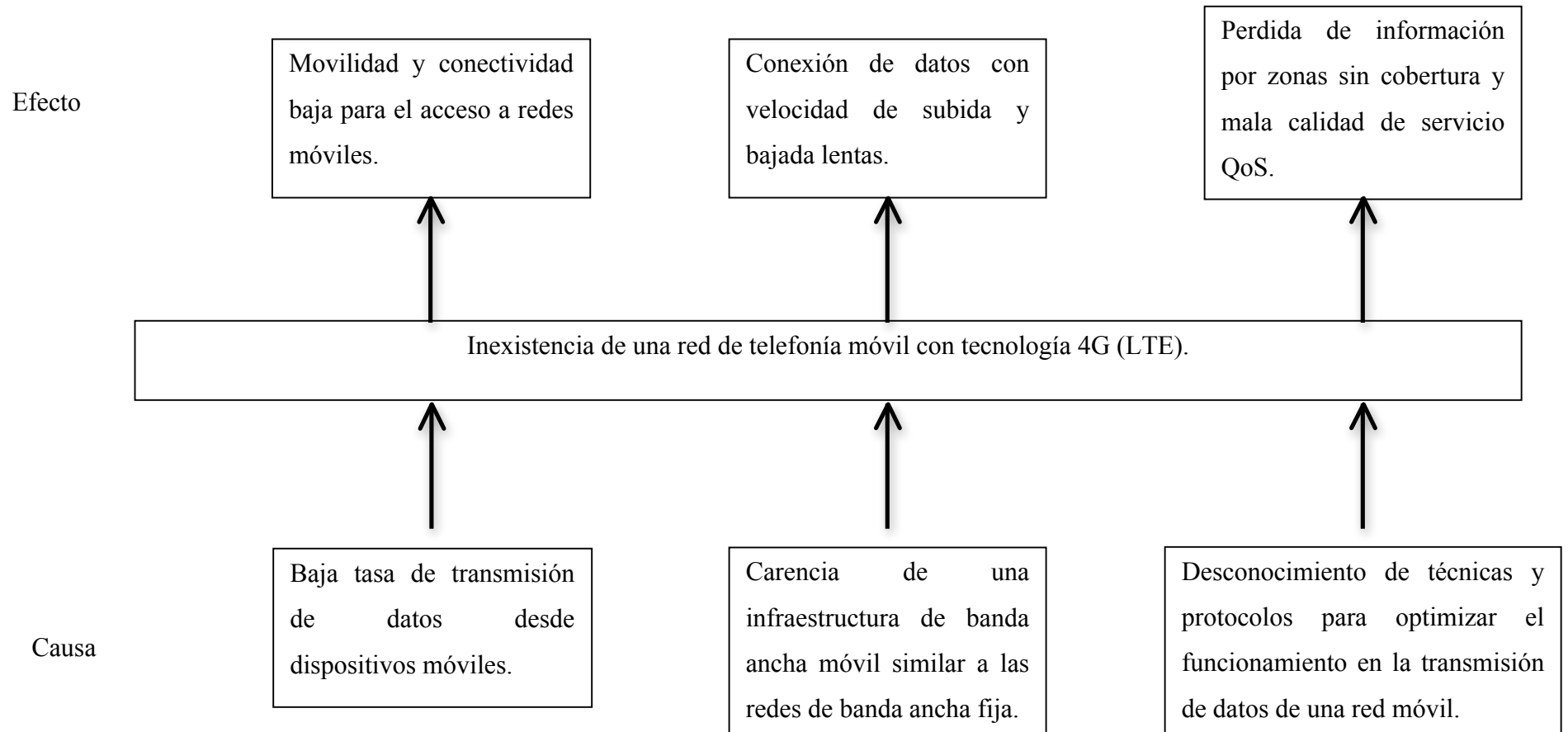
- **Tnl (*Transport Network Layer*)**
Capa de transporte.
- **UGW (Unified gateway)**
Diseñado para ser utilizado en la arquitectura del sistema (LTE / EPC).
- **UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)**
Estándar que se emplea en la llamada tercera generación de telefonía móvil, que permite disponer de banda ancha en telefonía móvil y transmitir un volumen de datos importante por la red.
- **USN (Unified service node)**
Nodo de servicio unificado propietaria. Se puede utilizar en el sistema de 2.5G General Packet Radio Service (GPRS), 3G Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), y núcleo de paquetes evolucionado sistema (EPC).
- **UDP (User Datagram Protocol)**
Permite el envío de datagramas a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión, ya que el propio datagrama incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera.
- ***Uplink***
Enlace o conexión de subida.
- **VoIP (Voice over IP)**
Voz sobre Protocolo de Internet, también llamado Voz sobre IP, grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP (Protocolo de Internet). Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital, en paquetes de datos, en lugar de enviarla en forma analógica a través de circuitos utilizables sólo por telefonía convencional como las redes PSTN (sigla de Public Switched Telephone Network, Red Telefónica Pública Conmutada).

Anexos

Anexo A

Anexo A - Arbol del Problema

ÁRBOL DEL PROBLEMA



Árbol del Problema

Elaborado por: Daniel Analuis

Anexo B

Anexo B - Resolución Conatel

RESOLUCIÓN TEL-803-29-CONATEL -2012**EL CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES****CONATEL****CONSIDERANDO:**

Que, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones es el ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el país.

Que, de conformidad con el Capítulo VI, Título I, artículos innumerados, agregados por la Ley No. 94 reformativa a la Ley Especial de Telecomunicaciones, publicada en el Registro Oficial No. 770 de 30 de agosto de 1995, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones tendrá la representación del Estado para ejercer, a su nombre, las funciones de administración y regulación de los servicios de telecomunicaciones, así como realizar todo acto que sea necesario para el mejor cumplimiento de sus funciones y de los fines de dicha Ley y su Reglamentación.

Que, el artículo 7 de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, establece que es atribución del Estado dirigir, regular y controlar todas las actividades de telecomunicaciones.

Que, el artículo 38 de la Ley Especial de Telecomunicaciones y sus reformas, establece que todos los servicios de telecomunicaciones se brindarán promoviendo la eficiencia, universalidad, accesibilidad, continuidad y calidad del servicio.

Que, el artículo 18 del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada establece que el CONATEL, para preservar la libre competencia, intervendrá para evitar la competencia desleal, estimular el acceso de nuevos prestadores de servicios, prevenir o corregir tratos discriminatorios, y, evitar actos y prácticas restrictivas a la libre competencia.

Que, el artículo 88, literales b), d) y m) del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada faculta al CONATEL regular la prestación de los servicios de telecomunicaciones, dictar normas para la protección de los derechos de los prestadores de servicios de telecomunicaciones y usuarios; y, dictar políticas y normas que promuevan, protejan y regulen la competencia leal entre prestadores de servicios de telecomunicaciones.

Que, mediante Resolución 163-06-CONATEL-2009, publicada en el Registro Oficial No. 589 de 13 de mayo de 2009, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones emitió el REGLAMENTO SOBRE EL ACCESO Y USO COMPARTIDO DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA NECESARIA PARA FOMENTAR LA SANA Y LEAL COMPETENCIA EN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES, el cual establece en el artículo 1, respecto del Derecho de acceso y uso compartido, que todo operador de red con título habilitante para prestar un servicio de telecomunicaciones tiene derecho al acceso y uso compartido de Infraestructura Física, el cual será obligatorio cuando por motivos establecidos en dicho Reglamento no se puedan realizar las construcciones o instalación de Infraestructura Física, siempre que sea debidamente demostrada o dicha instalación haya sido declarada como Infraestructura Física de Compartición Obligatoria, de conformidad con lo establecido en la resolución en mención.

Que, mediante Resolución 382-14-CONATEL-2009 de 20 de noviembre de 2009, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones declaró como Infraestructura Física de Compartición Obligatoria a las torres o soporte de antenas de cualquier tipo, sistemas de puesta a tierra y espacio físico para equipos asociados a esta infraestructura, para la prestación del SMA, de las operadoras OTECEL S.A., CONECEL S.A., y TELECSA S.A., de conformidad con lo dispuesto en el número 1 del artículo del Reglamento Sobre el Acceso y Uso Compartido de Infraestructura Física Necesaria.

Que, en el artículo 3 del Reglamento de acceso y uso compartido en mención, se dispone que las infraestructuras físicas necesarias para la prestación de servicios de telecomunicaciones

RESOLUCIÓN TEL-803-29-CONATEL -2012

deberán ser compartidas, permitiéndose el acceso a las mismas de conformidad con el Reglamento; que el acceso y uso compartido no será obligatorio cuando existan circunstancias técnicas debidamente demostradas, que impidan dicho acceso y uso, o, cuando suponga un riesgo real objetivo para la Infraestructura Física; así como que el acceso y uso compartido de la infraestructura física de las Fuerzas Armadas y la Policía Nacional, serán de responsabilidad de los Ministerios de Defensa Nacional y de Gobierno, según corresponda.

Que, el artículo 5 del Reglamento ibídem, dispone que el acceso y uso compartido se realizará por acuerdo suscrito entre un operador y el propietario de una Infraestructura Física, o en su defecto, por disposición emitida por la SENATEL, cuando no hubiese acuerdo entre las partes dentro del plazo establecido en el artículo 23 del Reglamento en mención.

Que, el artículo 6 del mismo reglamento, dispone que todos los acuerdos y disposiciones para el acceso y uso compartido se regirán por los principios de equidad, igualdad, transparencia, no discriminación, eficiencia, continuidad del servicio, retribución por el uso compartido, disponibilidad de infraestructura física y calidad del servicio, de conformidad con la normativa vigente; y que los costos derivados de la implementación del acceso y uso compartido deberán ser asumidos por el operador solicitante.

Que, en el artículo 8 se establece que el propietario de la infraestructura física tiene derecho a recibir una retribución por el acceso y uso compartido, por parte del beneficiario de dicha infraestructura física, para lo cual establecerá una tabla de tarifas con los rubros correspondientes, así como que las tarifas deberán sujetarse a fórmulas que permitan la obtención de un monto razonable que incluya conceptos de inversión, costos de mantenimiento, tasa de descuento, depreciación, topes, etc. Así mismo, se dispone que en el caso de no llegar a un acuerdo en las tarifas establecidas por el acceso y uso compartido de infraestructuras físicas, estas serán establecidas en las respectivas disposiciones, emitidas por la SENATEL, bajo principios de eficiencia, no discriminación, transparencia y considerando los parámetros indicados. La facturación correspondiente al acceso y uso compartido de la infraestructura física debe ser independiente de la generada por cualquier otra actividad o acuerdo entre las partes.

Que, en el artículo 20 se establece que los Acuerdos de acceso y uso compartido deberán ser remitidos a la SENATEL para su inscripción en el Registro Público de Telecomunicaciones, una vez que se verifique que estos Acuerdos cumplen con el contenido mínimo establecido en el artículo 19, caso contrario se solicitará a los involucrados completar la información de los acuerdos para su correspondiente inscripción.

Que, en caso de que las partes no hayan logrado suscribir un acuerdo de acceso y uso compartido de conformidad con lo indicado en el artículo 23 del Reglamento sobre el acceso y uso compartido de infraestructura física necesaria para fomentar la sana y leal competencia en la prestación de servicios de telecomunicaciones, la parte interesada podrá solicitar a la SENATEL la emisión de una disposición de acceso y uso compartido, para lo cual, se aplicará lo establecido en el Capítulo IV del reglamento en mención (artículos del 25 al 34), donde se establece el procedimiento para la emisión de las Disposiciones para el acceso y uso compartido.

Que, en el artículo 28 del Reglamento en consideración, se establece que en ningún caso, para la emisión de disposiciones de acceso y uso compartido, la SENATEL podrá establecer condiciones discriminatorias o más gravosas a nuevos operadores de servicios de telecomunicaciones que las establecidas en acuerdos o disposiciones vigentes. Conforme el artículo 29, la SENATEL partirá de los términos acordados entre las partes; entendiéndose como "términos acordados" los que consten en actas suscritas u otros documentos que demuestren expresamente la voluntad de las partes.

Que, en el artículo 32 del Reglamento de acceso y uso compartido en mención, se establece que la disposición de acceso y uso compartido contendrá como mínimo, los siguientes aspectos: 1. Detalle y especificaciones de la infraestructura física que será compartida; 2. Descripción del o de los servicios de telecomunicaciones que prestará el operador solicitante con el acceso y uso compartido y su proyecto de implementación; 3. Condiciones del acceso y uso compartido; 4.



RESOLUCIÓN TEL-803-29-CONATEL -2012

Causales y procedimiento de terminación de la disposición de acceso y uso compartido; y, 5. Los mecanismos de solución de controversias.

Que, en el mismo artículo en mención del Reglamento ibídem, respecto de las Condiciones de acceso y uso compartido, se indica que las mismas deben incluir por lo menos las especificaciones de la infraestructura física existente; especificaciones de la infraestructura física a instalarse a través del acceso y uso compartido; modificaciones de la infraestructura física por parte del propietario, de ser el caso; cronograma para la ejecución del acceso y uso compartido; período de duración del acceso y uso compartido; procedimientos para acceder a la infraestructura física compartida; descripción de procesos de mantenimiento de equipos; mecanismos técnicos y operativos previstos para la terminación del acceso y uso compartido; **la contraprestación por el acceso y uso de la infraestructura física compartida**; y, las garantías y seguros a que se refiere el artículo 9, si las hubiere.

Que, conforme lo indicado en el considerando anterior, es potestad de la SENATEL, determinar la contraprestación por el acceso y uso de la infraestructura física compartida, es decir, fijar el valor correspondiente, dentro del proceso para la emisión de Disposiciones de acceso y uso compartido, para un adecuado cumplimiento de lo establecido en el artículo 8, respecto de asegurar que el propietario de la infraestructura física tiene derecho a recibir una retribución por el acceso y uso compartido, por parte del beneficiario de dicha infraestructura física, para lo cual establecerá una tabla de tarifas con los rubros correspondientes, así como que las tarifas deberán sujetarse a fórmulas que permitan la obtención de un monto razonable, de modo que se eviten condiciones discriminatorias o más gravosas a nuevos operadores de servicios de telecomunicaciones que las establecidas en acuerdos o disposiciones vigentes.

Que, mediante oficio SNT-2012-1535 de 7 de diciembre de 2012, la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones remitió al Consejo Nacional de Telecomunicaciones el Informe final de asesoría para el establecimiento de un modelo y determinación del valor por la contraprestación económica correspondiente al acceso y uso compartido de infraestructura física necesaria para la prestación del Servicio Móvil Avanzado en Ecuador.

En uso de sus atribuciones:

RESUELVE:

ARTÍCULO UNO.- Avocar conocimiento del Informe de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones presentado mediante oficio SNT-2012-1535, sobre la consultoría sobre el ESTABLECIMIENTO DE UN MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR POR LA CONTRAPRESTACIÓN ECONÓMICA CORRESPONDIENTE AL ACCESO Y USO COMPARTIDO DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA NECESARIA PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN ECUADOR.

ARTÍCULO DOS.- Aprobar el MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR POR LA CONTRAPRESTACIÓN ECONÓMICA CORRESPONDIENTE AL ACCESO Y USO COMPARTIDO DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA NECESARIA PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN ECUADOR presentado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones mediante oficio SNT-2012-1535.

ARTÍCULO TRES.- La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, en las Disposiciones de acceso y uso compartido de infraestructura física necesaria para la prestación del Servicio Móvil Avanzado que emita, establecerá el valor por la contraprestación económica correspondiente, con base en el modelo aprobado en el artículo 2 de la presente resolución.

Para la aplicación del modelo, la SENATEL podrá utilizar los valores de parámetros provistos en la Consultoría referida en el informe adjunto al oficio singularizado en el artículo 1 de esta Resolución, sin perjuicio de que, a criterio de la SENATEL, se requiera a futuro información a las prestadoras del Servicio Móvil Avanzado, en función de la aplicación, adaptación y actualización al modelo que se consideren pertinentes.

RESOLUCIÓN TEL-804-29-CONATEL-2012

CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CONATEL

CONSIDERANDO:

Que, el Art. 16 de la Constitución de la República del Ecuador, establece: "*Todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a: ...2. El acceso universal a las tecnologías de información y comunicación.*".

Que, el Art. 17 de la Constitución de la República del Ecuador, señala: "*El Estado fomentará la pluralidad y la diversidad en la comunicación, y al efecto: ...2. Facilitará la creación y el fortalecimiento de medios de comunicación públicos, privados y comunitarios, así como el acceso universal a las tecnologías de información y comunicación, en especial para las personas y colectividades que carezcan de dicho acceso o lo tengan de forma limitada.*".

Que, el Art. 226 de la Constitución de la República del Ecuador, manda que: "*Las instituciones del Estado, sus organismos, dependencias, las servidoras o servidores públicos y las personas que actúen en virtud de una potestad estatal ejercerán solamente las competencias y facultades que les sean atribuidas en la Constitución y la ley. Tendrán el deber de coordinar acciones para el cumplimiento de sus fines y hacer efectivo el goce y ejercicio de los derechos reconocidos en la Constitución.*".

Que, el Art. 261, numeral 10, ordena que: "*El Estado central tendrá competencias exclusivas sobre: ... 10. El espectro radioeléctrico y el régimen general de comunicaciones y telecomunicaciones...*".

Que, la Constitución de la República en el artículo 313, establece: "*El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.- Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social.- Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley.*".

Que, la Constitución de la República en el artículo 314, establece: "*El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley.-El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. El Estado dispondrá que los precios y tarifas de los servicios públicos sean equitativos, y establecerá su control y regulación.*".

Que, la Constitución de la República en el artículo 315, señala: "*El Estado constituirá empresas públicas para la gestión de sectores estratégicos, la prestación de servicios públicos, el aprovechamiento sustentable de recursos naturales o de bienes públicos y el desarrollo de otras actividades económicas.*".

Que, el Art. 347 de la Constitución de la República del Ecuador, establece: "*Será responsabilidad del Estado: ...8. Incorporar las tecnologías de la información y comunicación en el proceso educativo y propiciar el enlace de la enseñanza con las actividades productivas o sociales.*".

Que, el Art. 2 de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, define: "*Espectro radioeléctrico.- El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado.*".

Que, el artículo 13 de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, establece que: *"Es facultad privativa del Estado el aprovechamiento pleno de los recursos naturales como el espectro de frecuencias radioeléctricas, y le corresponde administrar, regular y controlar la utilización del espectro radioeléctrico en sistemas de telecomunicaciones en todo el territorio ecuatoriano, de acuerdo con los intereses nacionales."*

Que, de acuerdo al literal e) del artículo innumerado 5 que se encuentra a continuación del artículo 33 de la Ley Especial de Telecomunicaciones, es competencia de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones elaborar el Plan Nacional de Frecuencias y de uso del espectro Radioeléctrico y ponerlo a consideración y aprobación del CONATEL.

Que, el Art. 47 del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, señala: *"El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado perteneciente al dominio público del Estado; en consecuencia es inalienable e imprescriptible. La planificación, administración y control de su uso corresponde al Estado a través del CONATEL, la Secretaría y la Superintendencia en los términos de la Ley Especial de Telecomunicaciones, sus reformas y este reglamento y observando las normas y recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones."*

Que, el Art 48, del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada establece: *"El uso del espectro deberá observar los siguientes principios: a) El Estado debe fomentar el uso y explotación del espectro radioeléctrico y de los servicios de radiocomunicación, de una manera racional y eficiente a fin de obtener el máximo provecho;- ...c) Las decisiones sobre las concesiones de uso del espectro deben hacerse en función del interés público, con total transparencia y buscando la mayor eficiencia en su asignación, evitando la especulación y garantizando que no existan interferencias perjudiciales en las asignaciones que corresponda;"*

Que, el Art. 49 del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, entre otras cosas se señala que: *"La administración del Espectro Radioeléctrico perseguirá, entre otros, los siguientes objetivos: a) Optimizar el uso del espectro radioeléctrico; b) Permitir el desarrollo tecnológico de las telecomunicaciones del Ecuador; ... e) Asegurar el acceso igualitario y transparente al recurso;"*

Que en el Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada dispone en el artículo 88 que, además de las atribuciones previstas en la Ley compete al CONATEL: *"...b) Regular la prestación de los servicios de telecomunicaciones y el uso del espectro radioeléctrico;"*

Que, las *"Condiciones Generales para la Prestación de los Servicios de Telecomunicaciones"* de la autorización otorgada a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, en relación a la asignación de espectro radioeléctrico determina:

"(...) La asignación de frecuencias para la Empresa Pública se realizará en forma directa y preferente, esto es, sin procedimiento público competitivo, en base a principios de disponibilidad, eficiencia y celeridad, de conformidad con el Anexo B y el Ordenamiento Jurídico Vigente, coordinando acciones en cumplimiento de lo dispuesto en el Art. 226 de la Constitución de la República."

Que, el Plan Nacional del Buen Vivir establece:

"(..) La acción estatal en los próximos años deberá concentrarse en tres aspectos fundamentales: conectividad, dotación de hardware y el uso de TIC para la Revolución Educativa. Sin embargo, el énfasis del Estado en tales aspectos implicará el apareamiento de externalidades positivas relacionadas con el mejoramiento de servicios gubernamentales y la dinamización del aparato productivo."

El Estado debe asegurar que la infraestructura para conectividad y telecomunicaciones cubra todo el territorio nacional de modo que las TIC estén al alcance de toda la sociedad de manera equitativa. Aunque las alternativas de conectividad son varias (wireless, satélite, fibra óptica), la garantía de la tecnología más adecuada debe propiciarse desde la identificación de los requerimientos de los beneficiarios. Por ejemplo, la conectividad rural debe concebirse como una conectividad local, intracomunitaria, que responda a la manera

Handwritten signature or initials in blue ink.

Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la petición de asignación de banda de 700 MHz, especificando que se requiere la adjudicación de 20+20 MHz de forma directa.

Que, mediante Oficio SNT-2012-1452 de 27 de junio de 2012, la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones solicita a CNT EP la información detallada del requerimiento de ancho de banda en la banda de 700 MHz, con las justificaciones técnicas correspondientes; nombre exacto de la tecnología que desea implementar en la banda en cuestión (Release 3GPP); detalle de los servicios y velocidades de transmisión reales que consideraría proveer a sus usuarios; cronograma y detalle del plan de instalación de la nueva tecnología usando el espectro solicitado; y, las acciones puntuales que realizará la empresa, teniendo en cuenta las metas establecidas en el Plan Nacional de Banda Ancha.

Que, mediante Oficio GNRI-02-2012-000492 de 30 de julio de 2012, CNT EP remite la información solicitada del requerimiento de espectro radioeléctrico en la banda de 700 MHz, con las justificaciones técnicas correspondientes.

Que, mediante Oficio 20121228 de 29 de octubre de 2012, CNT EP insiste en la solicitud de autorización de nuevo espectro dentro de la banda de 700 MHz para la prestación del SMA a través de redes LTE en frecuencias dentro del espacio central de la banda.

Que, mediante Oficio 20121265 de 7 de noviembre de 2012, CNT EP ingresa un nuevo requerimiento de espectro y solicita la adjudicación de forma directa de 20+20 MHz en la banda de AWS, para la prestación del Servicio Móvil Avanzado.

Que, mediante Oficio DJYR-1638-2011 del 31 de octubre de 2011, la operadora CONECEL S.A. solicitó espectro para introducir la tecnología LTE-FDD (3GPP Long Term Evolution). El requerimiento fue de acuerdo al siguiente orden de alternativas.

Alternativa	Banda de frecuencia	Número de portadoras	Ancho de banda solicitado x portadora	Separación Duplex	Sub-banda (acorde 3GPP)
1	1700 MHz (AWS)	1	40 MHz	400 MHz	4
2	2600 MHz	1	40 MHz	120 MHz	7
3	700 MHz	1	30 MHz	30 MHz	12

Que, mediante oficio VPR-2285-2011 del 11 de febrero de 2011, ingresado con trámite No. 47445 el 24 de febrero de 2011, la operadora OTECEL S.A., solicita la asignación de dos bloques de 15 MHz cada uno (15+15 MHz) para el despliegue de servicios de datos móviles de 4G con tecnología LTE, en una de las bandas de 700 MHz, 1700 MHz, 1900 MHz o 2100 MHz dependiendo de la situación de cada banda y las necesidades, sin perjuicio de considerar otros segmentos del Plan Nacional de Telecomunicaciones

Que, mediante oficio SNT-2012-1537 de 07 de diciembre de 2012, el señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones remitió para conocimiento y resolución de los señores miembros del CONATEL el Informe Técnico - Jurídico elaborado por las Direcciones Generales de Gestión del Espectro Radioeléctrico y Jurídica de la SENATEL, sobre las solicitudes de espectro en las bandas para sistemas IMT (introducción de nuevas tecnologías).

En ejercicio de sus atribuciones:

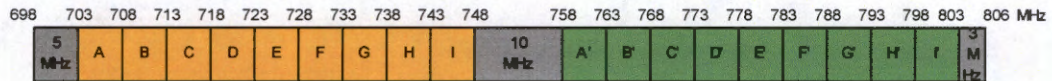
RESUELVE:

ARTÍCULO UNO.- Avocar conocimiento y acoger en todas sus partes el informe remitido por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones mediante oficio SNT-2012-1537.

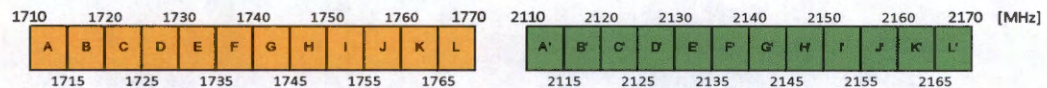
ARTÍCULO DOS.- Adoptar el esquema de segmentación o arreglo B5 para la banda de AWS 1700/2100 MHz y el esquema de segmentación C1 para la banda de 2.5 GHz, recomendados por la UIT.

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

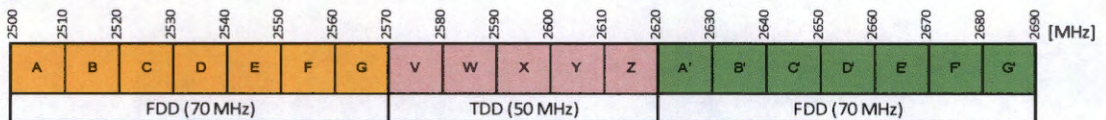
700 MHz



AWS 1700/2100 MHz



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' correspondientes a los rangos 733 – 748 MHz (UP LINK) y 788 – 803 MHz (DOWN LINK) a nivel nacional, sin embargo, en las ciudades donde actualmente operan servicios de Televisión Codificada Terrestre en dichos bloques, la CNT E.P. podrá operar una vez que se finalice 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.- Asignar y autorizar a la empresa pública CNT E.P. en la banda de 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 MHz (DOWN LINK) a nivel nacional, sin embargo, en las ciudades donde actualmente operan enlaces de radiodifusión sonora y de televisión en dichos bloques, la CNT E.P. podrá operar una vez que éstos 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, según lo dispuesto en el siguiente artículo.

ARTÍCULO SEIS.- Conformar una Comisión Interinstitucional integrada por el MINTEL, SENATEL y SENPLADES para que dentro del plazo preclusivo de 90 días presente para conocimiento del CONATEL las condiciones y exigencias que el operador público debería cumplir para el uso de los bloques de frecuencias autorizados en las bandas de 700 MHz y AWS 1700/2100 MHz considerando los objetivos y metas del Plan Nacional de Banda Ancha y del Buen Vivir y que se incorporarán a su título habilitante, conforme a la propuesta que para el efecto se formule.

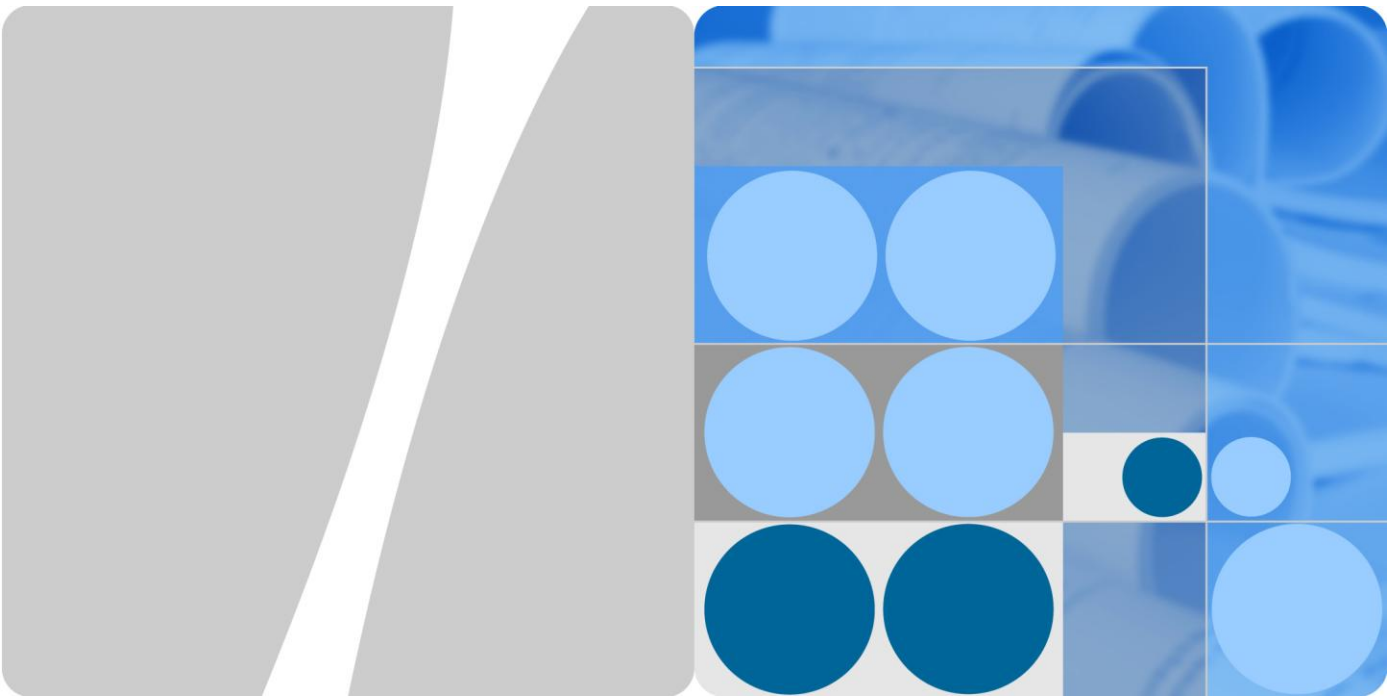
ARTÍCULO SIETE.- Encargar a la Comisión conformada en el artículo anterior presente una propuesta de alternativas de asignación de espectro radioeléctrico para operadoras privadas (establecidas o entrantes) en las bandas atribuidas para los sistemas de IMT, en la cual se consideren por lo menos los siguientes aspectos:

- ✓ Diseño de agrupación de bloques para cada una de las bandas: 700 MHz, AWS (1700/2100 MHz) y 2.5 GHz.
- ✓ Condiciones de asignación de espectro a operadores (establecidos/entrantes), de ser el caso.
- ✓ Definición de obligaciones de cobertura y tiempo de despliegue.

Handwritten signature and mark.

Anexo C

Anexo C - Equipos eNodeB



eWBB TDD 3.0 DBS3900

Product Description

Issue **01**
Date **2012-09-30**

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.



1 Positioning and benefits

Long Term Evolution (LTE) is an evolved telecom standard. It provides various technical benefits, such as, reduced service delay,

higher user data rates, increased spectral efficiency, optimized support for packet services, improved system capacity and coverage. LTE has flexible bandwidths, enhanced modulation schemes, and effective scheduling, which can fulfil the wireless Broad-Band communication requirements from different Enterprises.

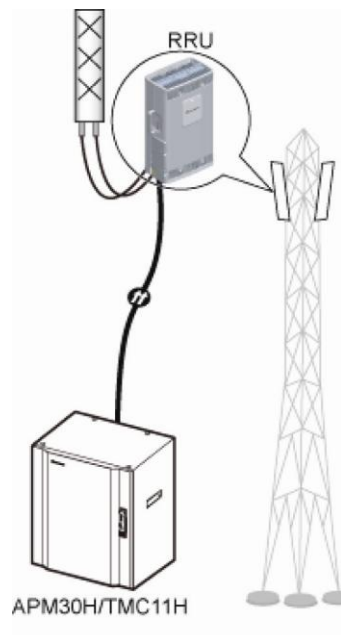
1.1 Positioning

Focusing on customer-oriented innovation, Huawei launches this eNodeB solution-DBS3900. The DBS3900 fully utilizes Huawei platform resources and uses a variety of technologies to meet the challenges of mobile network development.

The eNodeB is used for radio access in the LTE system. The eNodeB mainly performs Radio Resource Management (RRM) functions such as air interface management, access control, mobility control, and User Equipment (UE) resource allocation. Multiple eNodeBs constitute an E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) system.

The DBS3900 has only two types of basic modules: baseband unit and remote radio unit, which can be flexibly configured to meet requirements in different capability and different usage scenarios. The DBS3900 has the features such as small size, low power consumption, flexible installation and easy site deployment. Figure 1-1 shows a usage scenario of the DBS3900.

Figure 1-1 a usage scenario of the DBS3900



1.2 Benefits

Diverse Usage Scenarios and RRU Types for Different Enterprise Network Deployment Requirements

The DBS3900 supports main LTE TDD frequency bands and special industry TDD frequency (the frequency of 1.8G and 1.4G). Remote radio unit (RRU) are characterized by their support for various bandwidths, great transmit (TX) power, and high power amplification efficiency.

Flexible Installation for Fast Network Deployment with a Low TCO

- Flexible installation of the DBS3900 simplifies site acquisition and achieves fast network deployment with a low total cost of ownership (TCO). The eBBU530 can be installed on an indoor wall or in a standard cabinet. This reduces the installation investment. The RRU can be mounted onto a pole, tower, or concrete wall. Flexible installation locations and low space requirements reduce site lease costs. The RRU can also be installed close to the antenna system to reduce the cost of feeders and power consumption.
- DBS3900 provided Various transmission ports to support Internet Protocol (IP) transport. Multiple Quality of Service (QoS) mechanisms are applied to guarantee the goal of QoS, which provide high capacity, implement differentiated services, and meet the QoS requirements of services.

2 Architecture

2.1 Overview

The DBS3900 features a distributed architecture. The DBS3900 has two types of basic modules: eBBU530(BaseBand control Unit) and RRU(Remote Radio Unit). The eBBU530 and RRU are connected using fiber optic cables through common public radio interface (CPRI) ports to transmit CPRI signals. This kind of architecture satisfy the requirements of setting up Enterprise wireless communication network.

Auxiliary devices of the DBS3900 are the advanced power module with heat-exchanger (APM30H), Integrated Battery Backup System with direct cooler (IBBS200D) or Integrated Battery Backup System with thermoelectric cooling unit (IBBS200T), transmission cabinet with heat-exchanger (TMC11H), Indoor Mini Box (IMB03), and Outdoor Mini Box (OMB). Flexible combinations of the basic modules and auxiliary devices can provide diverse site solutions.

2.2 Basic Module

2.2.1 eBBU530

The eBBU530, a baseband unit, performs the following functions:

- Provides ports for connection to the Mobility Management Entity (MME) or Serving Gateway (S-GW) and processes related transmission protocols.
- Provides CPRI ports for communication with RRUs and processes uplink and downlink baseband signals.
- Manages the entire base station by means of operation and maintenance (OM) and signaling message processing.
- Provides an OM channel towards the local maintenance terminal (LMT) or eOSS
- Provides clock ports for clock synchronization, alarm monitoring ports for environment monitoring, and a Universal Serial Bus (USB) port for commissioning using a USB storage device

1. Exterior of the eBBU530

The eBBU530 has a compact case structure measuring 19 inch wide and 2 U high. Figure 2-1 shows the exterior of the eBBU530.

Figure 2-1 Exterior of the eBBU530



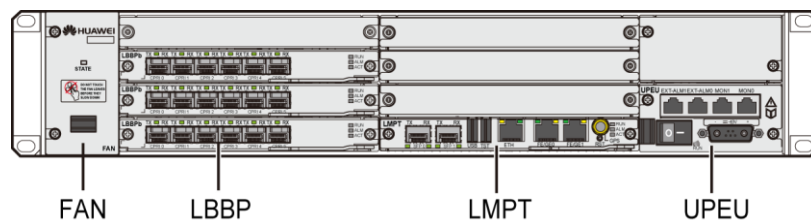
2. Boards of the eBBU530

The eBBU530 is configured with the following mandatory boards and modules:

- LTE main processing and transmission unit (LMPT): Manages the entire E-UTRANNodeB (eNodeB) in terms of OM, processes signaling, and provides clock signals for the eBBU530.
- LTE baseband processing unit (LBBP): Processes baseband signals and CPRI signals.
- Fan unit (FAN): Controls the rotation of fans, checks the temperature of the fan module, and performs heat dissipation for the BBU.
- Universal power and environment interface unit (UPEU): Converts -48 V DC power into +12 V DC, and provides ports for transmission of two RS485 signal inputs and eight Boolean signal inputs.

Figure 2-2 shows the panel of a eBBU530

Figure 2-2 The panel of a eBBU530



Note:

- If an E1/T1 port is required, the eBBU530 must be configured with a universal transmission processing unit (UTRP). Otherwise, the UTRP is unnecessary.
- To obtain timing signals from 1 pulse per second (PPS) and time of day (TOD) clocks, the eBBU530 must be configured with a universal satellite clock unit (USCU). Otherwise, the USCU is unnecessary.

3. Ports on the eBBU530

Table 2-1 describes the primary ports on the boards of the eBBU530.

Table 2-1 the ports on eBBU530

Board or module	Port	Quantity	Connector	Function
LMPT	FE/GE optical port	2	SFP	Transmitting data on the S1 and X2 interfaces
	FE/GE electrical port	2	RJ45	Transmitting data on the S1 and X2 interfaces
	USB port	1	USB	Loading software
	TST port	1	USB	Testing
	Commissioning Ethernet port	1	RJ45	Local maintenance
	GPS antenna port	1	SMA	Connect to GPS antenna
LBBP	CPRI port	6	SFP	Interface between the eBBU530 and RRU
UPEU	Power port	1	3V3	Input for -48V DC
	MON0	1	RJ45	Transmitting RS485 monitoring signals and connecting to external monitoring devices
	MON1	1	RJ45	
	E×T-ALM0	1	RJ45	Transmitting dry contact signals and connecting to external alarm devices.
	E×T-ALM1	1	RJ45	
UTRP	E1 or T1 port	2	DB26	transmitting 8 E1s/T1s;configured only when E1/T1 ports are required
USCU	TOD port	2	RJ45	Receiving or transmitting 1PPS and TOD signals
	M-1 PPS port	1	SMA	Receiving 1PPS signals from the M1000

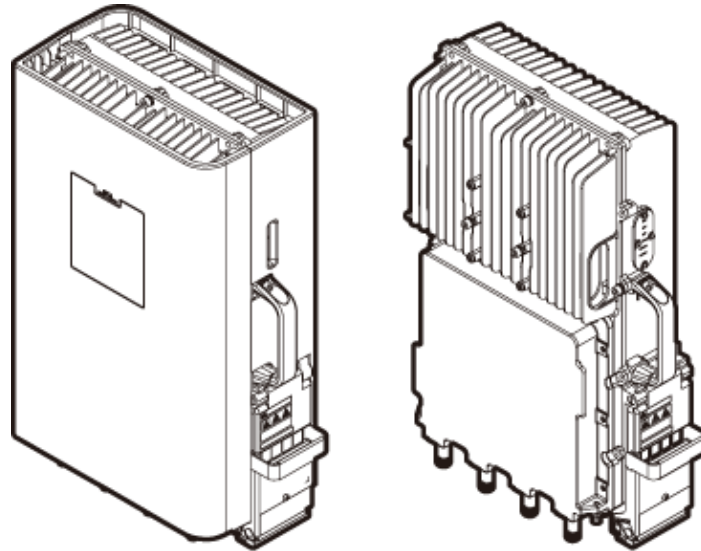
2.2.2 RRU

RRU is a remote radio unit. One or more RRU constitute the radio frequency (RF) part of a distributed base station. RRU can be installed on a pole, wall, or stand. It can also be installed close to antennas to shorten the feeder length, reduce feeder loss, and improve system coverage. RRU provide the functions such as modulate and demodulate baseband signals and RF signals, process data, amplify power and detect standing waves

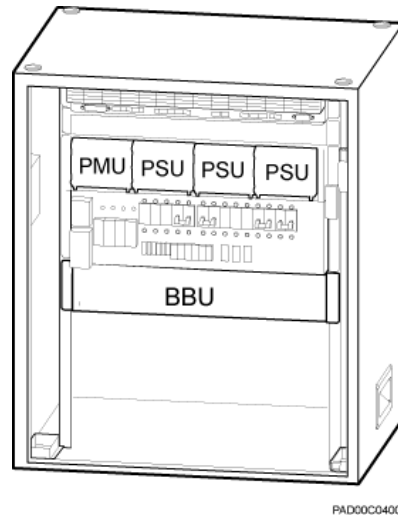
1. RRU Exterior of RRU

Figure 2-3 shows the exterior of RRU3232. Figure 2-4 shows the exterior of RRU3253.

Figure 2-3 Exterior of RRU3232



PIR21C0001

Figure 2-5 Interior of the APM30H**Note:**

- The power supply unit (PSU) converts +24 V DC, 110 V AC, or 220 V AC power into -48 V DC power.
- The power monitoring unit (PMU) manages the power system, monitors the power distribution, and reports alarms (if any) for the eNodeB

2.3.2 Transmission Cabinet(TMC11H)

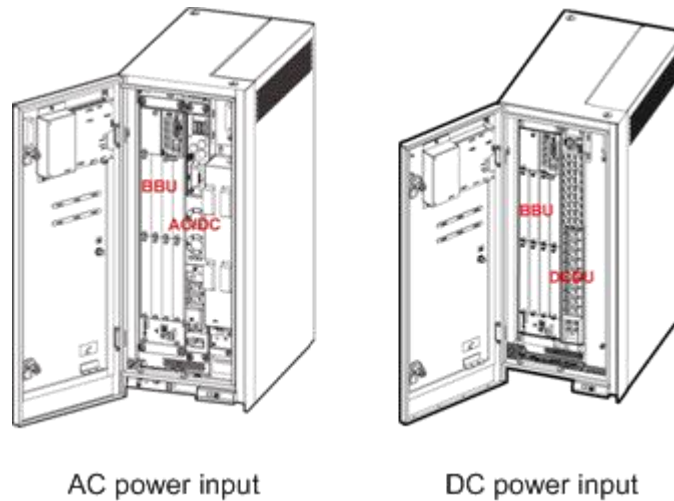
TMC11H has two version, Ver.B and Ver.C. The TMC11H Ver.B and Ver.C have the same exterior, but the TMC11H Ver.C is improved in terms of heat dissipation and power supply capability.

When more space is required for transmission equipment, the TMC11H can be added. The TMC11H provides installation space for the eBBU530 and customer equipment in outdoor scenarios.

The TMC11H is compact, lightweight, and easy to transport. The TMC11H supports heat dissipation using fans. Figure 2-6 shows the interior of the TMC11H.

The OMB can be supplied with DC or AC power. Figure 2-9 shows the interior of the OMB.

Figure 2-9 Interior of the OMB.



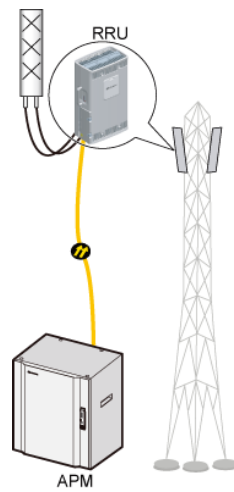
2.4 Typical Installation Scenarios for the DBS3900

The DBS3900 fully addresses operators' concern over site acquisition and shortens network deployment time. It enables operators to efficiently deploy a LTE network with a low Total Cost of Ownership (TCO) by minimizing the investment in electricity, space, and manpower.

The DBS3900 consists of the eBBU530 and RRUs. The eBBU530 is characterized by its small footprint, easy installation, and low power consumption. Therefore, the eBBU530 can be easily installed in a spare space at an existing site. Each RRU is also compact and light. It can be installed close to an antenna to reduce feeder loss and to improve system coverage.

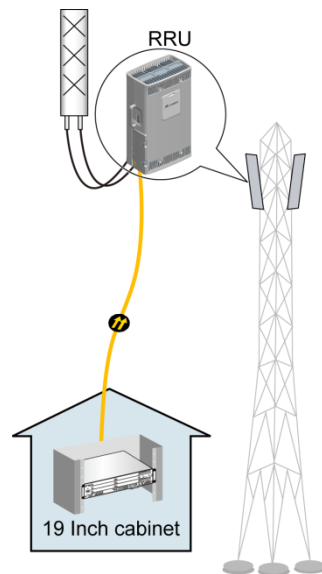
Typical installation scenarios for the DBS3900 are classified into outdoor and indoor installation scenarios, as shown in Figure 2-10 and Figure 2-11.

Figure 2-10 Typical outdoor installation scenario for the DBS3900



If the DBS3900 is deployed outdoors, the eBBU530 can be installed in an APM30H, TMC11H, or OMB. The APM30H, TMC11H, or OMB provides installation space and outdoor protection for the eBBU530, and supplies -48 V DC power to the eBBU530 and RRUs.

Figure 2-11 Typical indoor installation scenario for the DBS3900



If the DBS3900 is deployed indoors, the BBU can be installed in a 19-inch cabinet or rack, in an Indoor Centralized Rack (ICR), in an Indoor Mini Box (IMB03), or on the wall. The BBU can share the power supply system and transport system in the existing network.

The ICR provides a baseband rack for installing the eBBU530 and an RF rack for installing a maximum of six RRUs in a centralized manner.

3 Typical Configurations

Table 3-1 describes the typical configurations of the DBS3900,

Table 3-1 Typical configurations of the DBS3900

Configuration	MIMO	Quantity of LBBP	Quantity of RRU
3 × 10MHz	2 × 2 MIMO	1 LBBP	3 RRU
3 × 10MHz	4 × 2 MIMO	1 LBBP	3 RRU
3 × 20MHz	2 × 2 MIMO	1 LBBP	3 RRU
3 × 20MHz	4 × 2 MIMO	3 LBBP	3 RRU
3 × 10MHz	4T4R Beamforming	1 LBBP	3 RRU
3 × 20MHz	4T4R Beamforming	3 LBBP	3 RRU

4 Technical Specifications

4.1 Capacity Specifications

Table 4-1 Capacity Specifications

Item	Specification
Maximum cell number	3 Cells(4T4R 20MHz/2T2R 20MHz/4T4R 10MHz) 6 Cells (4T4R 5MHz/2T2R 5MHz/2T2R 10MHz)
Maximum throughput per cell(20MHz)	Downlink rate at the Media Access Control (MAC) layer :131 Mbit/s
Maximum throughput per eNodeB	Downlink: 450 Mbit/s Uplink: 300Mbit/s
Maximum number of UEs in RRC-connected mode per eNodeB	2000
Maximum number of data radio bearer(DRB) per UE	8

4.2 Device Specifications

Table 4-2 Device Specifications of the eBBU530

Item	Specification
Dimensions (H × W × D)	86 mm ×442 mm ×310 mm
Weight	≤ 12 kg (In full configuration)
Input power	-48 V DC (-38.4 V DC ~ -57 V DC)
Temperature	20 °C ~ +55 °C

Item	Specification
Relative humidity	5% RH ~ 95% RH
Atmospheric pressure	70 kPa ~ 106 kPa
Ingress protection rating	IP20
CPRI port	6 CPRI ports per LBBP Standard CPRI4.1 port, compatible with CPRI3.0
Transmission port	<ul style="list-style-type: none"> • 2 FE/GE electrical port • Or 2 FE/GE optical port • Or 1 FE/GE electrical port and 1 FE/GE optical port

Table 4-3 Device specifications of the RRU3232(4T4R)

Item	Specification	
Frequency band and bandwidth	Frequency band	Bandwidth
	1.8GHz: 1785 MHz ~1805 MHz 1755 MHz ~1920 MHz(Support by changing filter)	5MHz、10MHz or 20MHz
Dimensions(H×W×D)	480mm×270mm×140mm	
Weight	18.5kg	
Input power	-48V DC, voltage range: -36V DC ~ -57V DC	
Maximum output power	4 × 20W	
Temperature	-40℃ ~+55℃	
Relative humidity	5% RH ~ 100% RH	
Atmospheric pressure	70 kPa ~ 106 kPa	
Ingress protection rating	IP65	

Table 4-4 Device specifications of RRU3252(8T8R)

Item	Specification	
Frequency band and bandwidth	Frequency band	Bandwidth
	1.4GHz: 1447MHz~1467MHz	5MHz、10MHz or 20MHz
Dimensions(H×W×D)	545mm×300mm×130mm	
Weight	24kg	

Anexo D

Anexo E - Antena AxxceLTE™

AxxceLTE™ eNodeB

NEXT GENERATION PERFORMANCE. UNPARALLELED VALUE.

Benefits:

- Easy to install and operate
- Scalable architecture allowing for growth in the network
- Robust design suitable for the most demanding markets
- Can be combined with Axxcelera's AxxceLTE™ μEPC to create a complete broadband access network solution



AxxceLTE™ eNodeB Overview:

The AxxceLTE™ eNodeB product family provides LTE wireless access over a wide range of frequency bands in a compact outdoor design. The family supports all-in-one and distributed architectures facilitating easy expansion while protecting prior capital investment. The best-in-class system can be configured to provide optimal performance in the carrier, wireless ISP, industrial, public safety and private markets.

Key Features:

- Multi-sector support in a compact all-outdoor installation footprint
- Flexible deployment options
- Optimum operational simplicity and efficiency
- Configurable high performance MIMO radio of either 2 x 5W (low-power mode), 4 x 5W or 2 X 10W
- Multi-band operation: 700MHz to 3.8GHz
- Integrated Metro-Ethernet switch
- Provides Remote Electrical Tilt and 1GbE Power-Over-Ethernet interfaces

Axxcelera Broadband Wireless

Axxcelera Broadband Wireless is a wireless infrastructure company that develops technology for the deployment of broadband wireless communications. Formed in 2001 the company has a strong track record of providing wireless broadband platforms that bridge the last mile, currently replacing the local loop for corporate, small business and residential subscribers.

AxxceLTE™ eNodeB Specifications:

3GPP compliance	Release 9 with software upgrade to Release 10
Duplexing mode	TDD and FDD support
Channel Bandwidth	1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz
Channel Capacity	Up to two 20MHz channels
Multi-band support	Broadband 650-1450MHz or 1750-3800MHz
Transmitter power output	10W model: 2*5W or 4*2.5W, 2.5% EVM max 20W model: 2*10W or 4*5W, 2.5% EVM max
Receiver Noise figure	Less than 4dB
MIMO support	2x2 or 4x4 (SU-MIMO and MU-MIMO support)
Peak data rates.....	2x2 MIMO: DL @ 150Mbps, UL @ 75Mbps 4x4 MIMO: DL @ 300Mbps, UL @ 150Mbps
One-way latency	< 5msec (user data)
Number of UE's	250 active UEs per 2x2 MIMO sector
UE support.....	Category 1-5
Number of bearers per UE	8
Self-organizing network (SON).....	As per 3GPP Release 9 specifications
Connectors	4 x RF Type N; 3 x CPRI V4.1; 2 x GbE (SFP); GbE / PoE PSE; 1PPS-SynchIn; 1PPS-SynchOut; GPS Antenna; RET / AISG V2; Power Input
Synchronization	Integral GPS, IEEE1588/Synch Ethernet, or external 1PPS
Remote Electrical Tilt.....	AISG v2.0, 8-pin DIN per IEC 60130-9
Remote radio head interface	Three ports per CPRI V4.1, field serviceable SFP modules
Backhaul interface	Two GbE ports via field-serviceable SFP modules, supports stacking multiple baseband units into a single backhaul pipe
Power over Ethernet.....	Gigabit Ethernet power sourcing port per IEEE802.3at, RJ45
Management support.....	Operation, Administration, Maintenance, and Provisioning interface to Axxcelera NMS
External antenna.....	Dual feed architecture, slant pole beam width 120°, 90° and 60°
Physical size.....	32 cm (W) x 52 cm (L) x 24 cm (D)
Weight	<20Kg
Temperature	-40°C to 55°C
Humidity.....	Up to 100% condensing
Ingress protection rating.....	IP67
Regulatory compliance	FCC, CE
Environmental robustness.....	NEMA 4, IEEE1613 compliant
Physical security	Per FIPS-140-3 Level
Power Input	36 to 60 VDC
Power consumption	Up to 200W (not including PoE and RET consumption)
Mounting.....	Pole or Wall