



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES

**“ESTUDIO TÉCNICO DE LA TECNOLOGÍA LTE Y LAS CONDICIONES TÉCNICO-
REGULATORIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CUARTA GENERACIÓN DE
SMA EN EL ECUADOR”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES

Presentado por:

MARTÍNEZ ZAMBRANO LIBIA YESENEA

TIXI VALDEZ MIRIAM ELIZABETH

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

AGRADECIMIENTO

Nuestro eterno agradecimiento Dios, por ayudarnos a terminar la tesis, por iluminar nuestra mente y darnos fuerza para alcanzar esta meta, por estar con nosotras en cada momento de nuestra vida y ser siempre fiel en Sus promesas.

A nuestros padres por su apoyo incondicional, confianza y comprensión durante los años de estudio.

Un agradecimiento muy especial y sincero al Ing. William Calvopiña por aceptar dirigir nuestra tesis y guiar nuestras ideas siendo de gran ayuda.

Libia y Miriam

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a principalmente a DIOS Todopoderoso por haberme dado la sabiduría suficiente para alcanzar esta meta y las fuerzas necesarias para no rendirme en las dificultades, fortaleciendo mi corazón y guiando mis pasos , cumpliendo cada día Su propósito en mi vida, todo lo que he logrado es gracias a Ti mi Dios.

A mis padres Rosendo y Geoconda quienes han depositado su confianza en mí y me han brindado todo su apoyo durante estos años de estudio, animándome y enseñándome a perseverar en todo momento, siendo un gran ejemplo que me inspira a seguir adelante.

A mis hermanos Danny, Elvis y a mi hermana Verito quienes han compartido momentos buenos y malos conmigo brindándome su ayuda cuando la he necesitado y en especial a Emelyn mi sobrina que es una Bendición de Dios y una alegría en mi vida.

A mis familiares, amigos y amigas con quienes he pasado tiempo y de una u otra manera me han alentado a continuar.

LibiaYesenea

DEDICATORIA

Esta Tesis va dedicada a mi amado Dios, porque en medio de las pruebas y las aflicciones me ha dado paz y esperanza. Ha llenado mi vida de bendiciones inmerecidas y nunca a apartado su mirada de mí.

A mis padres, Marco y Flor por darme una familia que siempre ha estado a mi lado en los buenos y malos momentos, por ser un ejemplo de lucha, por brindarme los recursos necesarios para culminar mi carrera y por todos sus consejos, enseñanzas, oraciones y amor que me han permitido crecer como persona.

A mis hermanos, Marco, Silvia, Dennis y Mafer por cuidarme y brindarme palabras de aliento y alegrarme en los momentos tristes.

Miriam Elizabeth

FIRMAS RESPONSABLES Y NOTAS

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Iván Menes DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Wilson Baldeón DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. William Calvopiña DIRECTOR DE TESIS	_____	_____
Ing. Jorge Yuquilema MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____
Lcdo. Carlos Rodríguez DIRECTOR DPTO. DOCUMENTACIÓN	_____	_____
NOTA DE LA TESIS	_____	

DERECHOS DE AUTOR

“Nosotras, **LIBIA YESENEA MARTÍNEZ ZAMBRANO** y **MIRIAM ELIZABETH TIXI VALDEZ**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en esta tesis, y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”

.....

Libia Yesenea Martínez

.....

Miriam Elizabeth Tixi

AUTORAS

INDICE DE ABREVIATURAS

ADC	Conversión de Analógico a Digital
AIT	Asociación de Industrias de Telecomunicaciones
AMPS	Sistema Telefónico Móvil Avanzado
ARIB	Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones
APT	Telecomunidad Asia Pacifico
AS	Estrato de Acceso
ATIS	Alianza para Soluciones de la Industria de Telecomunicaciones
AuC	Authentication Center
AWS	Servicios Inalámbricos Avanzados
BAM	Banda Ancha Móvil
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
CA	Agregación de Portadora
CCSA	Asociación de Estándares de Comunicaciones de China
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código

CoMP	Optimizaciones Coordinadas Multi-Punto
CONARTEL	Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones
CONECEL	Consortio Ecuatoriano de Telecomunicaciones
CRS	Señal de Referencia de la Célula-Específica
CT	Red de Núcleo y Terminales
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DL-SCH	Downlink Shared Channel
DM- RSs	Demodulación de Señales de Referencia
DSL	Línea de Abonado Digital
DTCH	Dedicated Traffic Channel
EDGE	Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM
EMETEL	Empresa Nacional de Telecomunicaciones
eNB	Universal Terrestrial Radio Access Network Base Stations
EPS	Evolved Packet System
ETACS	Sistema de Comunicaciones de Acceso Total Extendido

ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
E-UTRAN	Red De Acceso Evolucionada
FDD	Duplexación por División de Frecuencia
FSPTMT	Futuros Sistemas Públicos de Telecomunicaciones Móviles Terrestres
GERAN	Red de Radio-Acceso GSM/EDGE
GGSN	Nodo de Pasarela de Soporte de Servicio GPRS
GTP	Protocolo de Tunnel GPRS
GSM	Sistema Global para las Telecomunicaciones Móviles
GPRS	Servicio General de Paquetes Vía Radio
GT	Grupos de trabajo
GTE	Grupos Técnicos de Especificación
JP	Procesado Conjunto
HD	High Definition
HeNB GW	Home eNB Gateway
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access

HSPA	High-Speed Packet Access
HSPA+	High-Speed Packet Access Evolution
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
ICIC	Optimizaciones de Agregación de Portadoras
IMS	Subsistema Multimedia IP
IMT-Advanced	Telecomunicaciones Móviles Internacionales Avanzadas
IMT-2000	Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000
IP	Protocolos de Internet
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution- Advanced
MAC	Control De Acceso Al Medio
MCH	Multicast Channel
ME	Terminal Móvil
MINTEL	Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información

MIMO	Múltiple-Entrada Múltiple-Salida
MME	Entidad de Gestión de la Movilidad
MMS	Mensajes Multimedia
MTCH	Multicast Traffic Channel
MU-MIMO	Múltiple User - Múltiple-entrada Múltiple-Salida
NGN	Red de la Próxima Generación
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal
PCH	Paging Channel
PDCP	Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos
PCRF	Función de Políticas y Reglas de Carga
P-GW	Packet Data Network Gateway
PTT	Push to Talk
QAM	Modulación de Amplitud en Cuadratura
QoS	Calidad de Servicio
RAN	Red de Radio-Acceso

RACH	Random Access Channel
RDSI	Red de Servicios Integrados
RNC	Controlador de la Red Radio
RTPC	Redes Telefónicas Públicas Conmutadas
RR	Reglamento de Radiocomunicaciones
RRC	Radio Resource Control
SA	Servicio y Aspectos del Sistema
SAE	Evolución de la Arquitectura del Sistema
SC-FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal de Portadora Simple
SENATEL	Secretaria Nacional de Telecomunicaciones
SMA	Servicio Móvil Avanzado
SIM	Módulo de Identificación de Abonado
SGSN	Serving GPRS Support Node
SMS	Mensajes de Texto
S-GW	Serving Gateway
SU-MIMO	Single User - Múltiple-Entrada Múltiple-Salida

TACS	Sistema de Comunicaciones de Acceso Total
TDD	Duplexación por División de Tiempo
TDMA	Acceso Múltiple por División De Tiempo
TTA	Asociación de Tecnología de Telecomunicaciones
TTC	Comité de Tecnología de Telecomunicaciones
TTI s	Intervalos de Tiempo de Transmisión
TTUP	Terminales de Uso Público
UE	Equipo de Usuario
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRA	Acceso de Radio Terrestre
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voz Sobre Protocolo Internet
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WIMAX	Interoperabilidad mundial para acceso por microondas

WLAN

Redes de Área Local Inalámbricas

3GPP

Proyecto de Asociación de Tercera Generación

3GPP2

Proyecto Asociación de Tercera Generación 2

ÍNDICE GENERAL

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

FIRMAS DE RESPONSABLES

TEXTO DE RESPONSABILIDAD

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ÍNDICE GENERAL ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS ÍNDICE DE ANEXOS

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL	- 27 -
1.1 ANTECEDENTES	- 27 -
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS	- 30 -
1.3 OBJETIVOS	- 32 -
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	- 32 -
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	- 33 -

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO	- 34 -
2.1 DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES	- 34 -
2.2 BANDA ANCHA MÓVIL	- 35 -
2.3 TECNOLOGÍA MÓVIL	- 38 -
2.3.1 EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÓVIL	- 38 -
2.3.1.1 PRIMERA GENERACIÓN (1G)	- 39 -

2.3.1.2 SEGUNDA GENERACIÓN (2G).....	- 39 -
2.3.1.3 TERCERA GENERACIÓN (3G).....	- 41 -
2.3.1.4 GENERACION 3.5 (3.5G).....	- 43 -
2.3.1.5 GENERACION 3.75 (3.75G).....	- 44 -
2.3.1.6 CUARTA GENERACION (4G)	- 46 -
2.3.2 ARQUITECTURA GENÉRICA DE LOS SISTEMAS CELULARES.....	- 48 -
2.4 ESTANDARIZACIÓN	- 49 -
2.4.1 PROCESO DE ESTANDARIZACIÓN DE 3G-4G	- 49 -
2.4.2 TELECOMUNICACIONES MÓVILES INTERNACIONALES 2000 (IMT-2000).....	- 51 -
2.4.2.1 PROYECTO ASOCIACIÓN DE TERCERGENERACIÓN (3GPP)	- 53 -
2.4.2.2 PROYECTO ASOCIACIÓN DE TERCERA GENERACIÓN 2 (3GPP2)	- 59 -
2.4.2.3 IMT AVANZADAS	- 60 -

CAPÍTULO III

3. TECNOLOGIA LONG TERM EVOLUTION (LTE)	- 62 -
3.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE	- 63 -
3.1.1 RED DE ACCESO EVOLUCIONADA: E-UTRAN.....	- 64 -
3.1.2 RED TRONCAL EPC.....	- 68 -
3.1.3 SISTEMA MULTIMEDIA IP (IMS)	- 73 -
3.1.4 EQUIPO DE USUARIO (UE)	- 75 -
3.2 TÉCNOLOGÍAS DEL NIVEL FÍSICO	- 76 -
3.2.1 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL (OFDMA)	- 77 -
3.2.2 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL DE PORTADORA SIMPLE (SC-FDMA)	- 80 -
3.2.3 MIMO	- 82 -
3.3 PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ RADIO DE LTE	- 85 -
3.3.1 RADIO RESOURCE CONTROL (RRC)	- 87 -
3.3.2 PROTOCOLO DE CONVERGENCIA DE PAQUETES DE DATOS (PDCP)	- 89 -
3.3.3 CONTROL DE ENLACE RADIO (RLC)	- 90 -
3.3.4 CANALES DE LA INTERFAZ RADIO DE LTE	- 91 -
3.3.5 CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC)	- 94 -
3.4 DUPLEXADO	- 97 -
3.4.1 DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FDD)	- 97 -
3.4.2 DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDD)	- 98 -
3.4.3 ESTRUCTURA DE TRAMA TIPO UNO	- 99 -
3.4.4 ESTRUCTURA DE TRAMA TIPO DOS.....	- 100 -
3.5 LTE ADVANCED.....	- 101 -
3.5.1 ARQUITECTURA E-UTRAN DE LTE-A	- 101 -
3.5.1.1NODO DE RETRANSMISIÓN (RN).....	- 102 -
3.5.1.2 AGREGACIÓN DE PORTADORAS (CA)	- 103 -
3.5.1.3 MEJORAS EN EL SOPORTE DE ESQUEMAS MULTIAN TENA (MIMO, MÚLTIPLE ENTRADA MÚLTIPLE SALIDA)	- 107 -

3.6 TECNOLOGÍA LTE –A FRENTE A WiMAX.....	- 114 -
3.6.1 ARQUITECTURA WiMAX	- 114 -
3.6.2 COMPARACIÓN DE LTE-ADVANCED Y WiMAX.....	- 116 -

CAPÍTULO IV

4. CONDICIONES TÉCNICO-REGULATORIOS DE LTE-A.....	- 120 -
4.1 ESTRUCTURA DE LOS ORGANISMOS DE REGULACIÓN.....	- 120 -
4.1.1 EL MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN (MINTEL).....	- 122 -
4.1.2 EL CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL)	- 123 -
4.1.3 SECRETARÍA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (SENATEL)	- 125 -
4.1.4 SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES (SUPERTEL).....	- 125 -
4.2 CONCESIONES	- 126 -
4.2.1 CONCESIÓN CONECEL S.A.....	- 126 -
4.2.2 CONCESIÓN OTECEL S.A.	- 127 -
4.2.3 CONCESIÓN CNT- E.P.....	- 127 -
4.3 OPERADORAS DE TELEFONÍA MÓVIL EN EL ECUADOR Y BANDAS DE FRECUENCIAS EN EL ECUADOR.....	- 128 -
4.3.1 CONECEL S.A CLARO	- 128 -
4.3.2 OTECEL S.A. MOVISTAR	- 130 -
4.3.3 CNT-EP	- 131 -
4.4 MERCADO DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN EL ECUADOR.....	- 133 -
4.5 BANDAS IDENTIFICADAS PARA LAS IMT SEGÚN EL REGLAMENTO DE RADIOCOMUNICACIONES DE LA UIT	- 140 -
4.5.1 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 450-470 MHZ.....	- 141 -
4.5.2 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 698 -960 MHZ.....	- 143 -
4.5.3 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 1710-2200 MHZ.....	- 143 -
4.5.4 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 2300-2400 MHZ.....	- 145 -
4.5.5 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 2500-2690 MHZ.....	- 145 -
4.5.6 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 3400-3600 MHz	- 146 -
4.6 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS A NIVEL MUNDIAL	- 147 -
4.7 BANDAS DE FRECUENCIA PARA LOS SISTEMAS IMT EN EL ECUADOR	- 148 -
4.7.1 BANDA DE 700MHZ	- 148 -
4.7.2 BANDAS 1700 MHZ /2100MHz	- 151 -
4.7.3 BANDA 2.5 GHz	- 152 -

CAPÍTULO V

5. ESTUDIO TÉCNICO DE LA TECNOLOGÍA LTE-A PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL ECUADOR . -	154 -
5.1 MIGRACIÓN DE LAS OPERADORAS HACIA LTE-A	- 154 -

5.1.1 TECNOLOGÍA HSPA +	- 154 -
5.1.2 ARQUITECTURA HSPA +	- 160 -
5.1.3 MIGRACIÓN DE HSPA+ HACIA LTE-A	- 162 -
5.2 PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS	- 167 -
5.2.1 ESPECTRO OTORGADO A LA CNT-E.P. PARA OFRECER SERVICIOS 4G.....	- 168 -
5.2.2 SOLUCIONES PARA LAS OPERADORAS CONECEL S. A Y OTECEL S.A.	- 170 -
5.3 EQUIPOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LTE.....	- 176 -
5.3.1 EQUIPOS DE RED PARA LTE-A	- 177 -
5.3.2 EQUIPOS PARA EL USUARIO EN LA RED LTE-A.....	- 190 -
5.4 SERVICIOS QUE OFRECE LTE-A.....	- 195 -
5.5 TARIFAS CONSIDERADAS PARA LOS SERVICIOS DE LTE.....	- 196 -
5.6 REFERENCIAL ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LTE-A.....	- 201 -
5.7 RESULTADOS	- 208 -

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

SUMMARY

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II- 1: Arquitectura Genérica De Un Sistema Celular	- 49 -
Figura II- 2: Releases del 3GPP	- 58 -
Figura III- 1: Arquitectura LTE	- 64 -
Figura III- 2: Arquitectura de la Interfaz S1	- 66 -
Figura III- 3: Arquitectura E-UTRAN	- 67 -
Figura III- 4: Red Troncal EPC.....	- 69 -
Figura III- 5: Modelo de provisión de servicios en base al subsistema IMS	- 74 -
Figura III- 6: Arquitectura funcional de un equipo de usuario LTE.....	- 76 -
Figura III- 7: Asignación de Subportadoras OFDM y OFDMA	- 78 -
Figura III- 8: Asignación de sub-canales a diferentes usuarios.....	- 79 -
Figura III- 9: SC- FDMA transmisor y receptor.....	- 82 -
Figura III- 10: Múltiples Arreglos de Antenas.	- 83 -
Figura III- 11: Protocolos de la Interfaz de la Red LTE	- 86 -
Figura III- 12: Capas de la Pila de Protocolos de LTE.....	- 87 -
Figura III- 13: Duplexado FDD.....	- 98 -
Figura III- 14: Duplexado TDD.....	- 99 -
Figura III- 15: Estructura de trama tipo 1.....	- 100 -
Figura III- 16: Arquitectura E-UTRAN de LTE- Advanced	- 103 -
Figura III- 17: Agregación de Portadora de Ancho de Banda Contiguo	- 105 -
Figura III- 18: Agregación de Portadora no contiguo. Única Banda.....	- 105 -
Figura III- 19: Agregación de Portadora no contiguo. Múltiple Banda.....	- 106 -
Figura III- 20: Portadoras Carrier Aggregation para CCs.....	- 106 -
Figura III- 21: MIMO en LTE y LTE-Advanced	- 107 -
Figura III- 22: Escenario para el uso de MIMO dependiendo de la relación S/N.....	- 108 -
Figura III- 23: MIMO Cooperativo o Virtual MIMO	- 111 -
Figura III- 24: CoMP en una arquitectura de red.....	- 113 -
Figura III- 25: Arquitectura WiMAX.....	- 115 -

Figura IV- 1: Estructura del Sector de las Telecomunicaciones en el Ecuador.....	- 122 -
Figura IV- 2: Líneas Activas de SMA en el Ecuador.....	- 135 -
Figura IV- 3: Líneas Activas Modalidades: Prepago, Pospago y TTUP.....	- 136 -
Figura IV- 3 (a): Líneas Activas ModalidadTTUP.....	- 137 -
Figura IV- 3 (b): Líneas Activas ModalidadPospago.....	- 137 -
Figura IV- 3 (c): Líneas Activas Modalidad Prepago.....	- 138 -
Figura IV-4 : Número de Estaciones Base COTECEL S.A.....	- 139-
Figura IV-5: Número de Estaciones Base OTECEL S.A.....	- 140 -
Figura IV-6: Número de Estaciones Base CNT E.P.....	- 140 -
Figura IV-7: Distribución de frecuencias por Regiones.....	- 147 -
Figura IV-8: Segmentación A5 para la Banda de 700MHz.....	- 151 -
Figura IV-9: Segmentación B5 para la Banda AWS.....	- 151 -
Figura IV-10: Segmentación C1 para la Banda de 2.5 GHz.....	- 153 -
Figura V- 1: HSPA+ Enlace Descendente, Tasas máximas teóricas en Mbps.....	- 156 -
Figura V- 2: MIMO 2x2.....	- 157 -
Figura V- 3: Dual Carrier HSPA+.....	- 158 -
Figura V- 4: Comparación HSPA+ vs. DC-HSPA+.....	- 159 -
Figura V- 5: Esquema WCDMA.....	- 160 -
Figura V- 6: Arquitectura HSPA+.....	- 162 -
Figura V- 7: Arquitectura HSPA+ vs. LTE-Advanced.....	- 164 -
Figura V- 8: Integración de las Arquitecturas HSPA+ y LTE-Advanced.....	- 167 -
Figura V- 9 : Canalización de la banda de 700 MHz para las operadora privadas.....	- 173 -
Figura V- 10: Canalización de la Banda AWS para las Operadora Privadas.....	- 173 -
Figura V- 11: Canalización de la Banda de 2.5 GHz para las 3 Operadoras del Ecuador.....	- 175 -
Figura V- 12: Canalización de la Banda de 1900 MHz para las Operadora Privadas.....	- 175 -
Figura V- 13: eWBB2.0 USN9810.....	- 178 -
Figura V- 14: Entorno de Red en la ASolución de Huawei LTE / EPC.....	- 178 -
Figura V- 15: EquipoUSN9810.....	- 179 -
Figura V- 16: Escenario de Aplicación de USN9810.....	- 180 -
Figura V- 17: iManager M2000 NMS.....	- 180 -
Figura V- 18: eSCN230.....	- 181 -

Figura V- 19: Escenario de eSCN230	- 181 -
Figura V- 20: DBS3900.....	- 182 -
Figura V- 21: Escenario de instalación del DBS3900.....	- 183 -
Figura V- 22: Equipo Alcatel Lucent 7750 Service Router	- 184 -
Figura V- 23: Equipo Alcatel Lucent 9471 WMM	- 185 -
Figura V- 24: Equipo 9412 eNodeB Compact	- 186 -
Figura V- 25: Equipo 7500 Serving GPRS Support Node (SGSN).....	- 187 -
Figura V- 26: Equipo 5780 Dynamic ServicesController (DSC)	- 187 -
Figura V- 27: Red con el Equipo 5780 Dynamic ServicesController (DSC).....	- 188 -
Figura V- 28: Equipo CISCO ASR 5000	- 189 -
Figura V- 29: Red LTE con Equipos Cisco	- 190 -
Figura V- 30: ModemEA100.....	- 191 -
Figura V- 31: Escenario de aplicación de EA100.....	- 191 -
Figura V- 32: Samsung GT-B3710.....	- 192 -
Figura V- 33: LG M13 LTE Modem.....	- 192 -
Figura V- 34 : USBE392.....	- 193 -
Figura V- 35: Equipos para la red LTE-Advanced	- 202 -
Figura V- 36: Equipos de la tecnología LTE-Advanced.....	- 211 -

Índice de Tablas

Tabla II- I: Velocidad Teórica vs. Velocidad Real de HSPA+	- 45 -
Tabla II- II: Evolución de las Tecnologías Móviles.....	- 47 -
Tabla II- III: Fases del Proceso de Estandarización de LTE.....	- 50 -
Tabla III- I: Canalización en el Sistema LTE.....	- 96 -
Tabla III- II: Tipo de Trama Estructura 2, TDD.....	- 101 -
Tabla III- III: Bandas de Operación en el Enlace Ascendente	- 110 -
Tabla III- IV: Diferencias y Similitudes de LTE-Advanced y WIMAX.....	- 119 -
Tabla IV- I: Concesionarios del Servicio Móvil Avanzado.....	- 128 -
Tabla IV- II: Bandas Asignadas para CONECEL S.A. (Claro).....	- 129 -
Tabla IV- III: Bandas asignadas para OTECEL S.A. (Movistar)	- 130 -
Tabla IV- IV: Bandas asignadas para CNT-EP	- 132 -
Tabla IV- V (a): Tarifas Prepago del Servicio Móvil Avanzado.....	- 132 -
Tabla IV- VI (b): Tarifas Pospago del Servicio Móvil Avanzado.....	- 133 -
Tabla IV- VII: Crecimiento del SMA en el Ecuador, a través de Terminales de uso Público (TTUP).....	- 134 -
Tabla IV- VIII: Bandas identificadas para las IMT	- 141 -
Tabla IV- IX: Disposiciones de Frecuencias Apareadas en las Bandas 698-960 MHz.....	- 142 -
Tabla IV- X: Disposiciones de Frecuencias Apareadas en las Bandas 698-960 MHz.....	- 143 -
Tabla IV- XI: Disposiciones de Frecuencias en las Bandas 1 710-2 200 MHz.....	- 144 -
Tabla IV- XII: Disposiciones de Frecuencias en las Bandas 2300-2 400 MHz.....	- 145 -
Tabla IV- XIII: Disposiciones de Frecuencias en las Bandas 2500-2 690 MHz.....	- 146 -
Tabla IV- XIV: Disposiciones de Frecuencias en las Bandas 3 400-3 600 MHz.....	- 146 -
Tabla IV- XV: Frecuencias para el despliegue del sistema IMT	- 148 -
Tabla V- I: Requerimiento de CONECEL S.A. para las bandas de LTE	- 170 -
Tabla V- II: Terminales que soportan tecnología LTE-Advanced.....	- 194 -
Tabla V- III: Tarifas para celulares de la CNT E.P.....	- 197 -
Tabla V- IV: Tarifas de Banda Ancha Móvil de CNT E.P.....	- 197 -
Tabla V- V: Tarifas para celulares de MOVISTAR.....	- 198 -
Tabla V- VI: Tarifas para Tablets de MOVISTAR.....	- 198 -

Tabla V- VII: Tarifas para Modems de CNT E.P.	- 199 -
Tabla V- VIII: Tarifas de Banda Ancha Móvil de CONECEL S.A.....	- 199 -
Tabla V- IX: Tarifas de CONECELS.A, para Tablets.....	- 200 -
Tabla V- X: Tarifas de CONECELS.A. para Módems.....	- 200 -
Tabla V- XI: Tarifas de CONECEL S.A. para Netbooks.....	- 200 -
Tabla V- XII: Inversión para implementar un eNB.....	- 203 -
Tabla V- XIII: Costo de Implementar 228 eNBs para la CNT E.P.....	- 204 -
Tabla V- XIV: Costo de Implementar 4.020 eNBs para la CLARO.....	- 205 -
Tabla V- XV: Costo de Implementar 2.702 eNBs para la MOVISTAR.....	- 205 -
Tabla V- XVI: Costo para que el usuario tenga LTE-Advanced.....	- 207 -

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1

FRECUENCIAS ASIGNADAS PARA LTE

ANEXO 2

ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO MÓVIL EN AMÉRICA LATINA

ANEXO 3

DATASHEET DE EQUIPOS PARA UNA RED LTE-ADVANCED

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, trata sobre la factibilidad de implementar la Tecnología Long Term Evolution Advanced (LTE-A) en el Ecuador con el propósito de mejorar el servicio de telefonía móvil celular al proveer de mayor velocidad de transmisión de datos, movilidad, cobertura y flexibilidad en la asignación del espectro.

Es un estudio en el cual partimos de un análisis de cómo fueron evolucionando las tecnologías móviles, a esta evolución se las denomina generaciones (G), así tenemos 1G, 2G, 3G hasta llegar a 4G, donde centraremos nuestra investigación.

La cuarta generación (4G) basada completamente en el protocolo IP, en la actualidad hay dos tecnologías contendientes para la cuarta generación de telefonía móvil por un lado se encuentra Long Term Evolution Advanced (LTE-A) y por otro Interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX).

LTE-A ha sido diseñada para ofrecer gran capacidad y velocidad para la red móvil. Se analiza su arquitectura, características, protocolos y beneficios que LTE-A presenta frente a tecnologías anteriores y frente a su tecnología competidora WiMAX.

Se da a conocer las bandas de frecuencia en las que operan las tres operadoras del Servicio Móvil Avanzado principales de nuestro país (Claro, Movistar y CNT E.P.), se analiza las bandas de frecuencias asignadas para el despliegue de la tecnología LTE-A en el Ecuador y la segmentación de estas bandas de modo que se aprovechen de mejor manera el espectro radioeléctrico.

Se realiza un estudio técnico para determinar la factibilidad del despliegue de la tecnología LTE-A analizando varios aspectos. Para la migración hacia LTE-A se analiza la tecnología HSPA+, la cual está implementada actualmente por las operadoras de nuestro país, razón por la cual partimos de este análisis para proponer una arquitectura que integra estas dos tecnologías.

Finalmente determinamos la factibilidad en cuanto a varios aspectos como; aspectos técnicos, describiendo diferentes equipos de red y de usuarios para la oferta de esta nueva tecnología en el mercado nacional. Aspectos regulatorios y económicos.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES

La telefonía móvil ha tenido distintas etapas de evolución las cuales se les ha denominado generaciones; así, desde el comienzo de la era de la telefonía celular en la década de los 70 donde se introdujo el primer radioteléfono. Las comunicaciones móviles sin duda alguna han experimentado un enorme crecimiento desarrollándose diversas tecnologías y sistemas para dar servicios de comunicación inalámbrica.

En el Ecuador el servicio móvil celular inicia a finales de 1993 con la entrada en el mercado de CONECEL S.A. (Porta Celular, luego CLARO) y OTECEL S.A. (la que al inicio se denominaba Celular Power, luego Bellsouth y actualmente denominada

Movistar), manteniéndose un duopolio hasta el año 2003 cuando entró en operación una tercera operadora TELECSA (al inicio Alegro y actualmente CNT E.P.). El progreso de la tecnología ha permitido que el sistema celular en el Ecuador evolucione. Así tenemos:

La primera generación (1G) en donde los sistemas móviles se caracterizan por realizar transmisiones de tipo analógico de servicios de voz con niveles de baja calidad, utilizando para su funcionamiento la técnica FDMA o Acceso Múltiple por División de frecuencia, lo que hacía a estos sistemas limitados en relación al número de usuarios a los que podía dar servicio. La seguridad no existía en estos sistemas. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile PhoneSystem) desarrollada por los laboratorios Bell.

La segunda generación (2G) se caracteriza especialmente por ser digital, lo que trajo consigo la reducción de tamaño, costo y consumo de potencia en los dispositivos móviles, además de transmitir voz y datos digitales de volúmenes bajos, por ejemplo, mensajes de texto (SMS siglas en inglés de Servicio de mensajes cortos) o mensajes multimedia (MMS siglas en inglés de Servicio de mensajes multimedia), identificador de llamadas, conferencia tripartita, entre otros. Con los sistemas de telefonía celular de segunda generación se logró incrementar las velocidades de transmisión de información. Adicionalmente, con los sistemas 2G se logró avances significativos en cuanto a seguridad, calidad de voz y de roaming. Dentro de la segunda generación de celulares puede destacar los sistemas TDMA, GSM y CDMA.

La generación 2.5G corresponde a mejoras tecnológicas en las redes 2G, las cuales son HSCSD mejora el mecanismo de transmisión de datos. GPRS transmisión por paquetes se puede utilizar servicios WAP y EDGE que es una evolución de GPRS. Todas estas modificaciones con tendencia a entregar capacidades 3G con una velocidad que puede llegar hasta los 384 Kbps, y adecuadas para muchas aplicaciones en la transferencia de datos.

La tercera generación (3G) Está basada en la familia de estándares de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) establecido en la IMT-2000. UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) constituye uno de los miembros de esta familia de estándares IMT-2000. Entre los atributos de UMTS se puede destacar: conectividad virtual a la red todo el tiempo, diferentes formas de tarificación, ancho de banda asimétrico en el enlace ascendente y descendente, configuración de la calidad de servicio (QoS), integración de la tecnología y estándares de redes fijas y móviles, entorno de servicios personalizado, y muchos otros.

La cuarta generación (4G) son las siglas de la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. La 4G estará basada totalmente en IP siendo un sistema de sistemas y una red de redes, alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en computadores, dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información, tales como con otras convergencias para proveer velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo. En nuestro país hasta el día de hoy no existen redes 4G implementadas por los concesionarios de Servicio Móvil Avanzado.

Actualmente en el Ecuador el Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL resolvió adoptar la Segmentación propuesta por la Telecomunidad Asia Pacífico (APT) para la Banda de 700 MHz lo que significa que el Gobierno del Ecuador continúa dando pasos firmes conducentes a promover e incentivar el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones para la implementación de servicios y aplicaciones que permitan mejorar la calidad de vida de los ecuatorianos. Ya en el plano técnico el CONATEL adoptó el modelo de segmentación A5 conocido como APT para la banda 700MHz, propuesta por la APT, la que ofrece el mejor desempeño para el despliegue de sistemas IMT (International Mobile Telecommunication), obteniendo la mayor eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico. Asimismo permite flexibilidad en la definición del tamaño de los bloques de espectro para un mejor ajuste con las características de las tecnologías disponibles y las necesidades del país, evita la utilización de bandas de guarda para la coexistencia entre sistemas FDD y TDD en la misma banda, y ofrece una mayor cantidad de espectro para ser aprovechado por las tecnologías 4G y por lo tanto, nos permite tener acceso a una banda ancha con expectativas de rendimiento fantásticas. Asimismo hay mayor posibilidad del ingreso de nuevos actores al mercado de las telecomunicaciones en el Ecuador.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

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, actualmente el número de teléfonos móviles excede el número de teléfonos fijos y la penetración de la telefonía móvil se acerca 100% en varios

mercados. Este crecimiento explosivo en el número de usuarios de telefonía móvil, unido al crecimiento tecnológico actual hace pensar en una fuerte demanda de aplicaciones móviles de banda ancha, tales como; la navegación por Internet de alta velocidad, mayor ancho de banda, envío y recepción de e-mail, televisión en el móvil, descarga rápida de contenidos multimedia o los juegos interactivos.

Satisfacer dicha demanda, consiguiendo que los servicios resulten atractivos para el usuario al mismo tiempo que los operadores puedan reducir principalmente los gastos de operación, requiere continuar avanzando en el desarrollo de las redes móviles actuales. LTE es el último estándar en tecnología de redes móviles y asegurará la competitividad del 3GPP en el futuro, pudiendo ser considerada una tecnología puente entre las redes 3G/3.5G actuales y las futuras redes 4G, de las que se espera alcanzar velocidades de hasta 1 Gbps, proporcionando a los operadores una arquitectura simplificada pero robusta a la vez, soportando servicios de tecnología IP, ya que este tipo de aplicaciones son las que dominarán el mercado de las telecomunicaciones inalámbricas.

Actualmente la cantidad de empresas de telecomunicaciones que están ofreciendo un servicio de tecnología de LTE 4G cada vez son más, lo cual las ubica en un entorno más competitivo y las obliga a contar con un software que les permita gestionar este tipo de servicios y otros complementarios, al ser un sistema completamente convergente y multiservicios logra soportar la operación de una empresa de telecomunicaciones que cuenta con una red LTE 4G y permite incorporar en la oferta comercial de un cliente no solo el internet LTE 4G, sino toda una gama de nuevos servicios de valor agregado que se pueden ofrecer a partir de

esta revolucionaria tecnología de transmisión de datos móviles, Latinoamérica cuenta con cinco redes comerciales LTE en la región incluyendo UNE (Colombia), Antel (Uruguay), SKY (Brasil), Claro (Puerto Rico) y Open Mobile (Puerto Rico), y ya hay algunas otras importantes empresas que se perfilan para lanzar LTE próximamente incluyendo Entel (Chile), Telecom (Argentina), Movilmax (Venezuela), Digicel (Caribe). Maravés, Se espera que dicha tecnología pueda llegar a tener 90 millones de usuarios que utilizan el estándar 4G a finales de este año y mil millones para el año 2017, esto hará que la red 4G LTE sea la tecnología inalámbrica más rápida adoptada hasta el momento dando lugar a un nuevo paradigma para la comunicaciones inalámbricas, es por eso la importancia de tomar en cuenta el despliegue de estas redes LTE y la inmersión de las mismas en otras regiones del mundo, haciendo accesible esta tecnología al usuario final; por este motivo consideramos necesario realizar el estudio técnico de la tecnología LTE tomando en cuenta las condiciones que necesita el Ecuador para poder implementarlo considerando que el CONATEL ya asignó bandas de frecuencia para LTE.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio técnico de la Tecnología Long Term Evolution (LTE) y las condiciones técnico-regulatorias para su implementación y migración a 4G de SMA en el Ecuador.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar el desarrollo que las redes de datos han asumido y la convergencia que se está alcanzando.
- Estudiar la tecnología LTE y definir las características, arquitectura y protocolos.
- Analizar la tecnología LTE frente a otras nuevas tecnologías de Banda Ancha Móvil.
- Analizar las condiciones técnicas y económicas para la implementación de esta tecnología dentro del mercado nacional.
- Presentar un estudio técnico específico que contemple los requerimientos técnicos y regulatorios que permitan la implementación a 4G a través de LTE en el Ecuador.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES

Las telecomunicaciones están evolucionando con cambios espectaculares y decisivos en los últimos tiempos y se proponen nuevas tecnologías para afrontar este cambio. La evolución tecnológica que está en marcha cambiará definitivamente el destino y la estructura del sector de las telecomunicaciones en todo el mundo y como consecuencia, cambiará el rumbo y la estructura de todas las empresas relacionadas.

A esta evolución se la conoce genéricamente como la de las *Redes de la próxima generación* (NGN). La disminución paulatina del servicio celular que ofrecía la red analógica llamada *Sistema Telefónico Móvil Avanzado* (AMPS) y su reemplazo por la red del *sistema global para las telecomunicaciones móviles* (GSM) ha permitido ampliar un sin número de servicios hacia el cliente a través de los diferentes canales que conviven dentro de la red. Esto redundará en un cambio general de las

comunicaciones, haciéndolas más confiables ya que no dependen de la línea telefónica fija como único medio de envío.

La Voz Sobre Protocolo Internet *Voiceover IP* (VoIP), los protocolos de internet (IP) y los servicios de banda ancha se volverán dominantes y determinantes. Esto dará lugar a la denominada convergencia de una red única de telecomunicaciones. Las empresas de telecomunicaciones competirán por servicios de mayor valor agregado, cada vez más complejos y personalizados para sus clientes.

Las Telecomunicaciones han evolucionado hacia lo que se denomina era digital o sociedad de la información y avanzan al ritmo de la sociedad, los motores de este cambio son, por un lado, las inquietudes y necesidades de comunicación de las personas pero además, están apareciendo nuevos retos, como los derivados por una mayor conciencia con el medio ambiental y la necesidad de preservar y mejorar el entorno, racionalizando el uso de los recursos energéticos. Razón por la cual, se ha dado lugar a la integración de las redes mediante la convergencia entre las redes de cable e inalámbricas, las cuales están basados totalmente en IP.

2.2 BANDA ANCHA MÓVIL

En la Recomendación I.113 del Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), se define la banda ancha como la transmisión capaz de soportar velocidades superiores a la velocidad primaria de la Red de Servicios Integrados (RDSI), a 1,5 ó 2,0 Mbps.

Puesto que las tecnologías de banda ancha cambian continuamente su definición va evolucionando de acuerdo a las necesidades de los usuarios y con las posibilidades que ofrece la tecnología en cada momento dado. Dentro del mundo del acceso a internet y las tecnologías asociadas al mismo, el concepto de banda ancha ha pasado de estar relacionado única y exclusivamente al ámbito de las comunicaciones fijas a formar parte también del mundo de las comunicaciones móviles como un servicio que está avanzando a pasos agigantados, gracias al desarrollo de las tecnologías inalámbricas.

Según la UIT las tecnologías de las telecomunicaciones de Banda Ancha se pueden clasificar en alámbricas e inalámbricas. Las tecnologías alámbricas comprenden: las líneas telefónicas tradicionales, líneas de antena colectivas y línea de fibra óptica. Las inalámbricas pueden dividirse en celular, fija, las de corta distancia a alta velocidad, las ópticas en el espacio libre y las satelitales.

La banda ancha puede utilizar una sola tecnología o una combinación de tecnologías para ofrecer al usuario acceso a internet a alta velocidad.

La Banda Ancha abre todo un universo de oportunidades basadas en las redes móviles y los servicios que se pueden ofrecer sobre ellas tanto para operadoras, como para proveedores de contenidos, desarrolladores de aplicaciones, fabricantes de terminales.

Entre los beneficios de banda ancha tenemos:

- Las velocidades de la banda ancha son apreciablemente más rápidas que las de tecnologías anteriores.

- En función del tipo de tecnología utilizada, la banda ancha puede aportar beneficios económicos, en la tecnología DSL, los usuarios pueden utilizar una sola línea telefónica normalizada para servicios de voz y datos. Esto les permite navegar por Internet y efectuar una llamada simultáneamente utilizando la misma línea telefónica.
- La banda ancha permite perfeccionar las actuales aplicaciones de Internet, dando lugar a nuevas soluciones que antes resultaban demasiado ineficaces o lentas.

Entre las condiciones de operación de banda ancha tenemos;

Velocidad de transmisión de datos: es la cantidad de información que puede ser transmitida en la unidad de tiempo a través de un canal de comunicación, expresada en bits por segundo o en sus múltiplos.

- Velocidad de Descarga: es la velocidad de transferencia de datos (Kbps) que van desde el servidor, al cual se encuentra conectado, hacia el equipo del usuario.
- Velocidad de Carga: es la velocidad de transferencia de datos (Kbps) que van desde el equipo del usuario hacia el servidor al cual se está conectando, también se la conoce como velocidad de subida de información

Compartición del canal: es el número de usuarios asignados a un determinado canal, que puede ser:

- Canal Compartido: Canal de comunicación en el que se divide el ancho de banda disponible para el número de usuarios que lo ocupan simultáneamente.
- Canal No Compartido: Canal de comunicación en el que el ancho de banda disponible se asigna a un usuario único.

En el Ecuador hay diferentes niveles de compartición como 2 a 1, 4 a 1, 8 a 1, siendo éste último el más utilizado y el máximo nivel de compartición admitido.

2.3 TECNOLOGÍA MÓVIL

Las tecnologías móviles han simplificado nuestras actividades diarias, cubriendo la mayoría de las áreas de comunicaciones y entretenimiento enfocando sus aplicaciones a generar un mercado dependiente de estas, a los miles de usuarios que día a día adoptan el uso de servicios, tal como: telefonía móvil, envío de mensajes de texto y multimedia y en la actualización de la información de las redes sociales. Lo que impulsa la investigación constante para la actualización y mejora de la tecnología móvil.

Actualmente la tecnología móvil es un servicio global al alcance de todos y avanza a un mundo inalámbrico mucho más eficiente, con mejoras en las velocidades de transmisión, gran cantidad de aplicaciones, juegos, entretenimiento más extenso, incluyendo la navegación por Internet a altas velocidades sin pérdida de datos y conexión.

2.3.1 EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÓVIL

Existen diferentes tecnologías de comunicación móvil que han evolucionado a lo largo del tiempo. La telefonía móvil ha tenido distintas etapas de evolución las cuales se les ha denominado generaciones. *“Una generación está formada por un conjunto de estándares de características semejantes y que suponen una revolución en comparación con los estándares predecesores”*.

Desde el comienzo de la era de la telefonía celular en la década de los 70 donde se introdujo el primer radioteléfono. Las comunicaciones móviles sin duda alguna han experimentado un enorme crecimiento desarrollándose diversas tecnologías y sistemas para dar servicios de comunicación inalámbrica.

La evolución de la tecnología móvil ha permitido que el sistema celular evolucione de la siguiente manera:

2.3.1.1 PRIMERA GENERACIÓN (1G)

La primera generación de telefonía móvil funcionaba por medio de comunicaciones analógicas dispositivos portátiles que eran relativamente grandes, esta tecnología era únicamente para voz, las tecnologías predominantes de esta generación fueron: el Sistema Avanzado de Telefonía Móvil (AMPS), Sistema de Comunicaciones de Acceso Total (TACS) que trabajaba en una banda de frecuencia de 900 MHz, y los Sistema de Comunicaciones de Acceso Total Extendido (ETACS) que es una versión mejorada de los ETACS.

2.3.1.2 SEGUNDA GENERACIÓN (2G)

La segunda generación se caracteriza especialmente por ser digital, lo que trajo consigo la reducción de tamaño, costo y consumo de potencia en los dispositivos

móviles, además de transmitir voz y datos digitales de volúmenes bajos como: mensajes de texto (SMS) o mensajes multimedia (MMS), identificador de llamadas, entre otros.

Con los sistemas de telefonía celular de segunda generación se logró incrementar las velocidades de transmisión de información. Adicionalmente, con los sistemas 2G se logró avances significativos en cuanto a seguridad, calidad de voz y de roaming.

Dentro de la segunda generación de celulares puede destacar los sistemas TDMA, GSM y CDMA.

- **ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDMA):** La multiplexación por división de tiempo es una técnica que permite la transmisión de señales digitales y cuya idea consiste en ocupar un canal de transmisión a partir de distintas fuentes, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento del medio de transmisión.
- **ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO (CDMA):** CDMA emplea conversión de analógico a digital (ADC) en combinación con la tecnología de espectro ensanchado. La entrada de audio se digitaliza primero en elementos binarios. La frecuencia de la señal transmitida se hace a continuación, para variar de acuerdo con un patrón definido (código), por lo que sólo puede ser interceptada por un receptor cuya respuesta de frecuencia se programa con el mismo código, por lo que sigue exactamente junto con la frecuencia del transmisor.

- **SISTEMA GLOBAL PARA LAS TELECOMUNICACIONES MÓVILES (GSM):**

Es un sistema digital de telefonía móvil que provee un estándar común para los usuarios, permitiendo el roaming internacional y la capacidad de ofrecer a alta velocidad servicios avanzados de transmisión de voz, datos y video, y otros servicios de valor agregado.

La generación 2.5G corresponde a las mejoras tecnológicas en las redes 2G. A diferencia de que 2G y 3G fueron definidas oficialmente como estándares inalámbricos por la *Unión Internacional de Telecomunicaciones* (UIT), 2.5G no fue definida y se creó únicamente con un objetivo comercial.

Como paso intermedio desde la 2G, la 2.5G ha visto algunos de los avances inherentes a las redes de 3G incluidos los sistemas conmutados por paquetes. La evolución de 2G a 3G dio paso a transmisión de datos más veloz y de mayor capacidad. Para poder estos nuevos servicios se hizo necesaria una mayor velocidad de transferencia de datos, que se hizo realidad con las tecnologías: Servicio General de Paquetes Vía Radio (GPRS) y Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM (EDGE).

2.3.1.3 TERCERA GENERACIÓN (3G)

3G es una familia de estándares para comunicación inalámbrica como está definida mediante el proyecto de la UIT sobre Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000).

Las tecnologías de 3G habilitaron mayores velocidades de transmisión de datos, mayor capacidad de las redes y más servicios de red avanzados.

Las tecnologías 3G ofrecen acceso a Internet, servicios de banda ancha, roaming internacional e interoperabilidad. Pero fundamentalmente, estos sistemas facilitan el desarrollo de entornos multimedia para la transmisión de video e imágenes en tiempo real, fomentando la aparición de nuevas aplicaciones y servicios tales como videoconferencia, monitoreo de video o comercio electrónico. El estándar 3G más importante se llama *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) y básicamente cambia la tecnología TDMA por *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA). En WCDMA, existen dos modos de operación:

- **DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDD):** En este método bidireccional, las transmisiones del enlace ascendente y del descendente son transportadas en la misma banda de frecuencia usando intervalos de tiempo (slots de trama) de forma síncrona. Así las ranuras de tiempo en un canal físico se asignan para los flujos de datos de transmisión y de recepción.
- **DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FDD):** Los enlaces de las transmisiones de subida (uplink) y de bajada (downlink) emplean dos bandas de frecuencia separadas. Un par de bandas de frecuencia con una separación especificada se asigna para cada enlace.

La tecnología 3G, además, permite a las prestadoras tarifar ancho de banda de subida y bajada en forma independiente y configurar la calidad de servicio (QoS) en cuatro categorías:

- **Conversacional:** Mínimo retraso en la comunicación, para llamadas de voz y videoconferencias.

- **Streaming:** Baja fluctuación del retardo, pensada para descarga de videos de Internet.
- **Interactiva:** No debe haber grandes retardos pero sí hay que asegurar la integridad de los datos, útil para la navegación web.
- **Background:** No importan los retardos pero es fundamental la integridad de los datos, para aplicaciones de correo electrónico.

2.3.1.4 GENERACION 3.5 (3.5G)

De manera similar a lo que ocurre con la sigla 2.5G, la 3.5G no es un estándar reconocido oficialmente por la UIT. Se trata de un paso intermedio o evolutivo a la próxima generación de tecnología celular que será conocido como IMT-Advanced según las definiciones de la UIT.

En esta Generación tenemos la tecnología *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) que es una optimización de la tecnología espectral UMTS/WCDMA y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar tasas de 14 Mbps. Soporta tasas de throughput promedio cercanas a 1 Mbps. De modo que se logre alcanzar tasas de transmisión superiores a 50 Mbps gracias a la combinación de una serie de tecnologías: HSDPA, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) y *Multiple-input Multiple-output* (MIMO).

Se espera poder conseguir velocidades de hasta 100 Mbps en el enlace de bajada y hasta 50 Mbps en el enlace de subida gracias al uso de la tecnología MIMO. Los sistemas MIMO emplean múltiples antenas en transmisión y recepción.

2.3.1.5 GENERACION 3.75 (3.75G)

Generación 3.75 con la tecnología *High-Speed Uplink Packet Access (HSUPA)*, con acceso ascendente de paquetes a alta velocidad, es un protocolo de acceso de datos para redes de telefonía móvil con alta tasa de transferencia de subida (de hasta 5.76 Mbps), es una evolución de HSDPA. La solución *High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA)* potenciará inicialmente la conexión de subida UMTS/WCDMA (3G). HSUPA está definido en el Sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS) en el Release 6 es publicado por Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP), como la tecnología que ofrece una mejora sustancial en la velocidad para el tramo de subida, desde el terminal hacia la red permitiendo brindar nuevos servicios para las comunicaciones de banda ancha y agregar aún más en cuanto a la velocidad de subida desde el terminal hacia la red.

De la combinación de las dos tecnologías anteriores, HSDPA y HSUPA aparece la tecnología *High-Speed Packet Access (HSPA)* con velocidades de hasta 14,4 Mbps en bajada y hasta 2 Mbps en subida, dependiendo del estado o la saturación la red y de su implantación.

Los términos 3.5G, 3.75 y 2.5 no son empleadas respecto a las definiciones oficiales provistas por la UIT, las tecnologías que están dentro de la familia GSM y se consideran posteriores a las 3G incluyen también a *High-Speed Packet Access Evolution (HSPA+)* y Long Term Evolution (LTE). Estas tecnologías de 3.75G a menudo también se denominan pre-4G.

La tecnología HSPA+ es una modalidad avanzada del HSPA simple, la cual es conocida también como la red 3.5G evolucionada. Se trata de una tecnología en la

cual se pueden conseguir de forma real picos de descarga de hasta 16Mbps o de 21 Mbps en caso de ser HSPA+ MIMO. La subida de datos será hasta de 2Mbps y en zonas concretas incluso de 5.7Mbps. La velocidad real obtenida por el usuario es sensiblemente inferior a la anunciada por los operadores, la velocidad teórica es un valor bruto de pico que solo se alcanza en las mejores condiciones, con excelente señal de radio y sin otros usuarios en la celda. La velocidad real se ve influida por el ancho de banda consumido por los protocolos, por las condiciones radioeléctricas, la cantidad de usuarios simultáneos y la saturación del enlace de la estación base con la red troncal de la operadora.

En la tabla II-I se puede observar las velocidades reales:

Tabla II- I: Velocidad Teórica vs. Velocidad Real de HSPA+

Velocidad teórica	Velocidad real
3,6 Mbps	2,5 Mbps
7,2 Mbps	5,2 Mbps
21,6 Mbps	16, 2 Mbps

FUENTE: Redes Celulares su Evolución (2011)

ELABORADO POR: Las Autoras

Long Term Evolution (LTE) es un estándar europeo de telefonía móvil celular. Los primeros trabajos para definir LTE comenzaron en 2005. La razón oficial de la existencia de LTE es el intento de unificar los distintos estándares 3G existentes y superar las limitaciones que ofrece UMTS para crecer en velocidad.

TE cambia completamente la tecnología radio respecto a UMTS y logra velocidades mucho más altas a costa de usar mayor espectro, pero también con mayor eficiencia espectral. La primera red comercial LTE se lanzó a finales de 2009, pero

LTE no cumplía los requisitos necesarios para ser 4G según la definición del UIT, por las eficiencias espectrales que se pedían en las definiciones más técnicas de lo debía ser una tecnología de 4G.

2.3.1.6 CUARTA GENERACION (4G)

La cuarta generación (4G) está basada completamente en el protocolo IP, en la actualidad hay dos tecnologías contendientes para la cuarta generación de telefonía móvil por un lado se encuentra Long Term Evolution-Advanced (LTE-A) y por otro Interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX).

- **Long Term Evolution -Advanced (LTE-A)**

La cuarta generación, liderada por el estándar Long Term Evolution Advanced (LTE-A) completamente definida en el Release 10 del 3GPP con el objetivo de cumplir los requisitos del IMT-Advanced para que pueda ser categorizada como una tecnología móvil de cuarta generación. Está basada en el empleo por completo de tecnología de conmutación de paquetes sobre redes IPv6, alcanzando velocidades de 100 Mbps o superiores en caso de no estar en movimiento. Además, en este tipo de redes es posible el handover entre redes móviles y redes inalámbricas de área local, manteniendo una calidad de servicio de punta a punta de alta seguridad para permitir ofrecer servicios de cualquier clase, en cualquier momento, en cualquier lugar y con el mínimo coste posible.

- **Interoperability for Microwave Access (WiMAX)**

WiMAX es un sistema de comunicaciones digital inalámbrico definido en el estándar del IEEE 802.16 para redes de área metropolitana (MAN, Metropolitan

Área Network). Utiliza señales inalámbricas similares a tener una gran torre Wifi emitiendo una señal de hasta 48.28 Km, provee comunicaciones de banda ancha con cobertura de hasta 50 km para estaciones fijas o de 5 a 15 km para estaciones móviles. El estándar 802.16m, conocido como WiMAX móvil, es el que se empleará por las compañías celulares para servicios de 4G.

Tanto LTE, como WiMAX, utilizan MIMO, es decir, la información es enviada en dos o más antenas por celda para mejorar la recepción. Ambos sistemas también utilizan Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (OFDMA), una tecnología que soporta transmisiones de video y multimedia.

OFDMA es una tecnología madura y altamente probada y que funciona separando las señales en múltiples frecuencias angostas, con bits de datos enviados a la vez en forma paralela.

Tabla II- II: Evolución de las Tecnologías Móviles

GENERACIÓN	TECNOLOGÍA	FAMILIA
1 G	AMPS, TACS, ETACS	AMPS
2 G	GSM	3GPP
2.5 G y 2.75 G	GPRS, EDGE CDMA 2000 (IS-2000)	3GPP 3GPP2
3 G (IMT - 2000)	UMTS (UTRAN), W - CDMA CDMA 2000 (IS-856)	3GPP 3GPP2
3.5 G y 3.75	HSDPA, HSUPA, LTE (E-UTRA)	3GPP
4 G (IMT - ADVANCED)	LTE-ADVANCED WIMAX	3GPP IEEE 802.16m

FUENTE: Artículo de Kioskea "Telefonía Móvil" (2013)

ELABORADO POR: Las Autoras

2.3.2 ARQUITECTURA GENÉRICA DE LOS SISTEMAS CELULARES

La arquitectura de un sistema de comunicaciones móviles celular simplificada comprende tres elementos que se pueden apreciar en la figura II-1 que son el Equipo de Usuario, Red de acceso y Red Troncal.

- **EQUIPO DE USUARIO:** Dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios que nos ofrece la red, denominado también como móvil, el equipo de usuario se conecta a la red de acceso a través de una interfaz radio. El dispositivo del usuario tiene una tarjeta inteligente, que comúnmente denominamos tarjeta SIM (Módulo de Identificación de Abonado), que es la tarjeta que identifica al usuario y contendrá la información necesaria para poder conectarse a la red.
- **RED DE ACCESO:** Constituida por el subsistema de estaciones base, permite la movilidad del usuario dentro del área de cobertura de la red, es la parte del sistema que realiza la comunicación, transmisión radio con los equipos de usuario para proporcionar la conectividad con la red troncal. La red de acceso es la responsable de gestionar el uso de los recursos radio disponibles para la provisión de servicios portadores de forma eficiente.
- **RED TRONCAL:** Compuesta por centrales de conmutación y bases de datos que gestionan el acceso a la red celular, encaminan las llamadas hacia dentro y fuera de la red, gestión de la movilidad de los usuarios, gestión de las sesiones de datos o circuitos que transportan la información de los usuarios, mecanismos de interconexión con otras redes, etc.

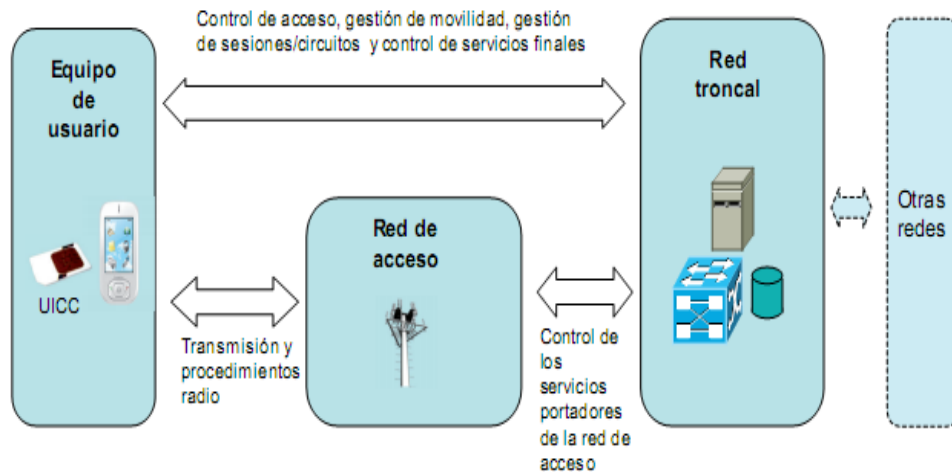


Figura II- 1: Arquitectura Genérica De Un Sistema Celular

FUENTE: Fundación Vodafone “LTE: nuevas tendencias en comunicaciones móviles” (2010)

Esta arquitectura de red contemplada ha sido adoptada en las diferentes familias de sistemas celulares 2G y 3G, y también se mantiene en el sistema LTE, tal como se muestra en la figura II-1, los sistemas 3GPP abarcan la especificación del equipo de usuario y de una infraestructura de red que se separa de forma lógica en una infraestructura de red troncal y una de red de acceso. Esta separación entre la red de acceso y red troncal confiere un importante grado de flexibilidad al sistema debido a que permite soportar un proceso evolutivo en el que se puedan ir mejorando, agregando o sustituyendo las diferentes partes de la red con la mínima afectación posible al resto de la misma.

2.4 ESTANDARIZACIÓN

2.4.1 PROCESO DE ESTANDARIZACIÓN DE 3G-4G

La Estandarización es la redacción y aprobación de normas que se establecen para garantizar el acoplamiento de los elementos de un sistema, garantizando la calidad

de los productos y servicios generados, así como la seguridad de funcionamiento y el trabajo con responsabilidad social.

Los estándares persiguen tres objetivos que son la Simplificación; reducir los modelos tecnológicos existentes quedándose con los más necesarios, la Unificación; Crear normas y modelos únicos que permiten la intercambiabilidad de información a nivel internacional, y la Especificación; promover un lenguaje claro y preciso para evitar errores de comunicación.

Para establecer un estándar para comunicaciones móviles, se debe seguir un continuo proceso, en el caso de LTE este proceso se ha hecho en tres periodos que son: periodo de estudio, fase de trabajo y Etapa de pruebas y comercialización. En la tabla II-III podemos ver el proceso de estandarización que ha tenido LTE.

Tabla II- III: Fases del Proceso de Estandarización de LTE

FASES	AÑOS	ACONTECIMIENTOS
Periodo de estudio	Diciembre 2004	Se inicia el estudio de LTE
	Noviembre 2005	Se determina a OFDM y SC-FDMA como esquema de acceso al medio.
	Marzo 2006	Se aprueba la especificación técnica de LTE.
Fase de trabajo	Septiembre 2006	Termina el periodo de estudio y se pasa a la fase de trabajo
	Mayo 2007	Se constituye el consorcio LSTI o Iniciativa de Prueba LTE / SAE (Evolución de la Arquitectura del Sistema) es un grupo abierto de vendedores y operadores que trabajan juntos para acelerar el desarrollo de un ecosistema mundial de LTE / SAE.
	Septiembre 2007	Se completa la fase 2 de la especificación del Núcleo (SAE)
Etapa de pruebas y comercialización	Enero 2008	Se da por terminada la fase de estandarización y se inicia la etapa de pruebas
	2009 - 2013	Comercialización

FUENTE: Alfonso Miñarro López, "LTE/SAE" (2009)

ELABORADO POR: Las Autoras

Como se puede ver es un proceso que usualmente, tarda entre uno a dos años a partir del momento en que el estándar es completado en su totalidad hasta que los productos comerciales están en el mercado. Sin embargo, si el estándar comienza a partir de cero, es posible que tarde más tiempo por el hecho que no hay componentes ya establecidos de donde se pueda comenzar.

2.4.2 TELECOMUNICACIONES MÓVILES INTERNACIONALES 2000 (IMT-2000)

Las IMT-2000 es una norma de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para sistemas móviles de la tercera generación. Originalmente se le llamó Futuros Sistemas Públicos de Telecomunicaciones Móviles Terrestres (FSPTMT), posteriormente cambió al nombre de Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000).

Las IMT-2000 proporcionan acceso, por medio de uno o más radioenlaces, a una amplia gama de servicios de telecomunicación sustentados por redes de telecomunicaciones fijas, tales como las redes telefónicas públicas conmutadas (RTPC) y las redes digitales de servicios integrados (RDSI), así como a otros servicios específicos de los usuarios móviles. Se dispone de varios tipos de terminales móviles, que enlazan con redes terrenales o de satélite, y estas terminales pueden ser diseñadas para uso móvil o fijo. Las IMT-2000 comprende también un componente satelital que facilita los aspectos de roaming internacional, así como la obtención de comunicaciones en lugares donde no haya disponibilidad de sistemas terrestres, complementando las celdas Macro, micro y

pico, proporcionando un marco para el acceso inalámbrico mundial ligando los sistemas diversos de redes terrestres y satelitales.

Las características de las IMT-2000 son:

- Alto grado de uniformidad de diseño a escala mundial.
- Compatibilidad de servicios dentro de las IMT-2000 y con las redes fijas.
- Alto nivel de calidad, comparable con la de una red fija.
- Utilización de una terminal de bolsillo a escala mundial.
- La incorporación de toda una variedad de sistemas.
- Capacidad de itinerancia mundial.
- La eficacia operacional, particularmente para los datos y servicios de multimedia.
- La prestación de servicios por más de una red en cualquier zona de cobertura.
- La eficacia operacional, particularmente para los datos y servicios de multimedia.

Los sistemas IMT-2000 funcionan en las bandas de frecuencias identificadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) en el que se identifican las bandas 806-960 MHz, 1 710-2 025 MHz, 2 110-2 200 MHz y 2 500-2 690 MHz para ser utilizadas en todo el mundo por administraciones que deseen implementar sistemas IMT-2000.

La Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (CAMR-92) en el año 1992 identificó las siguientes bandas:

- 1885-2025 MHz
- 2110-2200 MHz

La CAMR-2000 identificó las bandas:

- 806-960 MHz
- 1710-1885 MHz
- 2500-2690 MHz (para el componente terrenal y partes de la misma para el componente de satélite de las IMT-2000)

2.4.2.1 PROYECTO ASOCIACIÓN DE TERCERGENERACIÓN (3GPP)

El proyecto de Asociación de tercera generación (3GPP) es un acuerdo de colaboración el cual une un número de organizaciones de estándares de telecomunicaciones, con el objetivo de desarrollar un estándar común, para unificar las propuestas europeas y asiáticas a través de un proyecto al que se le denominó 3GPP. Este proyecto fue constituido en 1998 y lo conforman 6 organizaciones:

- Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones (ARIB, Japón).
- Alianza para Soluciones de la Industria de Telecomunicaciones (ATIS, Estados Unidos).

- Asociación de Estándares de Comunicaciones de China (CCSA, China).
- Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI, Europa)
- Asociación de Tecnología de Telecomunicaciones (TTA, Corea del Sur).
- Comité de Tecnología de Telecomunicaciones (TTC, Japón).

Este grupo nace ante una serie de propuestas con características similares sobre la base de la tecnología WCDMA durante el proceso de selección de los estándares IMT-2000 llevada a cabo por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Estas propuestas convergieron en el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) y su correspondiente interfaz radio, Acceso de Radio Terrestre (UTRA).

El proyecto 3GPP tienen diferentes especificaciones que están a cargo de diferentes Grupos Técnicos de Especificación (GTE) formados por uno o más Grupos de trabajo (GT) entre estos tenemos:

- **GERAN (Red de radio-acceso GSM/EDGE):** Es el responsable de la especificación la parte de acceso de radio de GSM, incluyendo GPRS y EDGE.
- **RAN (Red de radio-acceso):** Es el responsable de la especificación UTRAN y E-UTRAN evolucionada, incluyendo sus estructuras y funciones internas.
- **SA (Servicio y aspectos del sistema):** Es el responsable de la estructura general y la capacidad del servicio de los sistemas basados en las especificaciones.
- **CT (Red de núcleo y terminales):** Es el encargado de la especificación de la red de núcleo y las partes terminal del 3GPP.

Los Grupos Técnicos de Especificación con sus respectivos grupos de trabajo se reúnen regularmente cuatro a seis veces al año, para la coordinación general del trabajo y para el seguimiento de su progreso. Las tecnologías 3GPP de estos grupos están en constante evolución a través de las generaciones de los sistemas celulares.

El 3GPP maneja el concepto de versión o Releases, para proporcionar plataformas estables de desarrollo, mientras que paralelamente se proponen modificaciones o mejoras. La figura II.2 se muestra un resumen general de las tecnologías que se mencionan y la relación cronológica entre las distintas versiones 3GPP.

- **3GPP Versión 99 (Release 99)**

Esta especificación establece principalmente, un nuevo sistema de acceso basado en la tecnología WCDMA. Es decir la aparición de la primera red de tercera generación UMTS, incorporando una interfaz de aire CDMA.

- **3GPP Versión 4 (Release 4)**

La especificación 3GPP UMTS Release 4 concluyó en Marzo del 2001 y las primeras implementaciones comerciales se dieron en el 2003. Proporciona soporte para mensajería multimedia interconexión eficiente de la infraestructura del núcleo de red sobre el *backbone* de la red IP. Es decir añadía características como una Red de Núcleo all-IP.

- **3GPP Versión 5 (Release 5)**

La especificación 3GPP Release 5 concluyó entre Marzo y Junio del 2002. En esta versión se introducen dos conceptos muy importantes:

En la interfaz de radio se presenta HSDPA que es la evolución de UMTS para proporcionar transmisiones de datos de bit y en el Coreo núcleo de red se presenta la versión preliminar de *Subsistema Multimedia IP* (IMS) ofreciendo flexibilidad a los operadores en la entrega de servicios.

- **3GPP Versión 6 (Release 6)**

La especificación 3GPP Release 6 concluyó entre Junio y Diciembre del 2003. Esta especificación completa la familia HSPA con la introducción de *Acceso ascendente de paquetes a alta velocidad* (HSUPA) y concreta el concepto de IMS, preliminarmente introducido en el Release 5. Adicionalmente, se introducen nuevas funcionalidades como el acceso a servicios 3GPP por medio de redes de área local inalámbricas (WLAN).

- **3GPP Versión 7 (Release 7)**

En esta fase ya se tienen teóricamente establecidos todos los elementos de Core para el soporte de una red "ALL-IP", por lo cual se presentan propuestas para la migración paulatina de los servicios de la red de conmutación de circuitos hacia la red de paquetes. Dentro de las propuestas más relevantes se encuentran: la utilización de VoIP sobre HSPA en lugar de voz por conmutación de circuitos y el envío de mensajes de texto (SMS) sobre IP. A nivel de IMS, se introduce el servicio de telefonía multimedia (MMTel) y el soporte de llamadas de emergencia y conferencias. A nivel de radio, el cambio más relevante es la introducción *de HSPA*

evolucionado (HSPA+). En la de Core , se presenta la simplificación de la arquitectura de acceso a la red de paquetes y se presenta al IMS como un elemento de red que controla todos los tipos de accesos IP, en esta etapa se consolidan los accesos WLAN y una mejora en el ancho de banda de los sistemas GSM EDGE llamada EDGE Evolution.

- **3GPP Versión 8 (Release 8)**

En esta versión está orientada a mejorar considerablemente la arquitectura para el soporte de datos móviles de banda ancha. Proporciona mejoras a la tecnología HSPA+. Ofrece mayores velocidades de datos y baja latencia para el usuario, mediante *acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal* (OFDMA). Además una red totalmente IP para el mejoramiento de la eficiencia espectral, y se define una nueva tecnología llamada *Long Term Evolution*(LTE) así como la red All-IP (SAE) aparecen también las nuevas interfaces de radio OFDMA.

- **3GPP Versión 9 (Release 9)**

Esta versión presenta mejoras en la funcionalidad de características y rendimiento HSPA y LTE. Para HSPA, son añadidas las opciones de multicarrier y MIMO. Para LTE, se mejora los servicios de localización y de radiodifusión. Además se centra en la evolución de la arquitectura de IMS. Mejoras de la red SAE, aparición de Interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX).

- **3GPP Versión 10 (Release 10)**

Presenta a LTE-Advanced como tecnología 4G, que está orientado a cumplir con los requerimientos de IMT-Advanced (ITU-R M.2134 e ITU M.1645), tales como el

roaming mundial, el roaming entre distintas tecnologías de acceso y tasas de bit en el enlace descendente de 100Mbps en ambientes de alta movilidad y 1 Gbps en ambientes de baja movilidad. Esta nueva especificación será compatible con el LTE desarrollado en la versión 8.

- **3GPP Versión 11 (Release 11)**

Esta versión se centrará en continuar las optimizaciones para HSPA+ y LTE/LTE-Advanced, para LTE-Advanced incluye optimizaciones coordinadas Multi-punto (CoMP), optimizaciones de Agregación de Portadoras y optimizaciones ICIC.

Las mejoras propuestas para HSPA+ en el Release 11 incluyen formación de haz por antena dual HSDPA de 8 portadoras en el enlace ascendente y MIMO, y transmisión multipunto en el enlace descendente. Se prevé que el Release 11 brindará optimizaciones muy significativas sobre LTE/LTE-Advanced y HSPA+.

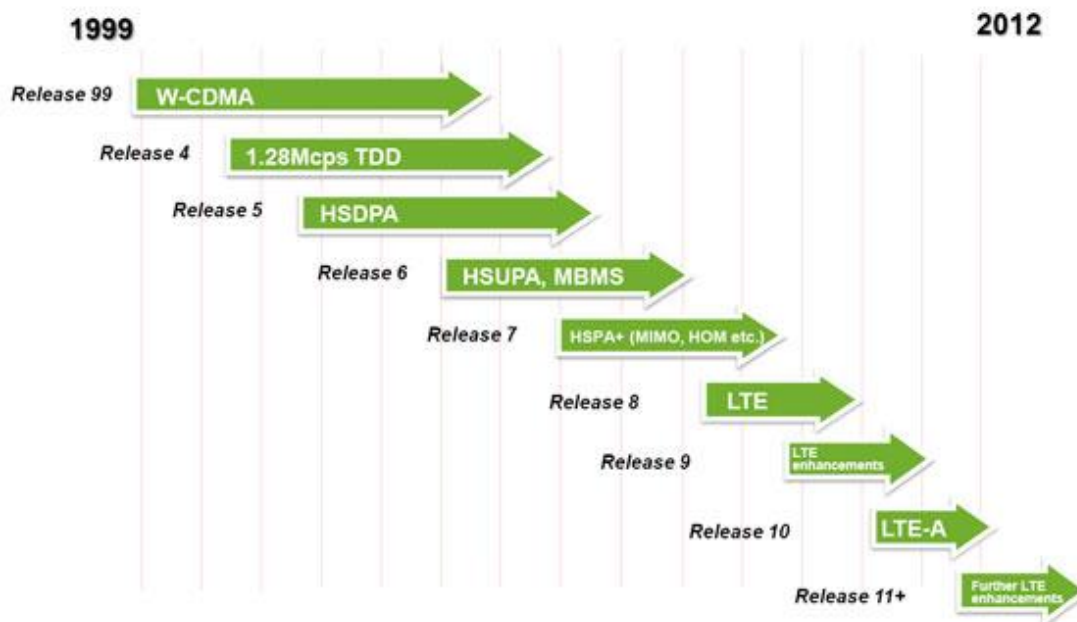


Figura II- 2: Releases del 3GPP
FUENTE: 3gpp "Radio Access Milestones" (2013)

El Proyecto de Asociación 3GPP está trabajando con sus miembros y en coordinación con el Grupo de Trabajo 5Ddel UIT para poder orientar el futuro de cómo LTE-A va a progresar en futuras versiones.

2.4.2.2 PROYECTO ASOCIACIÓN DE TERCERA GENERACIÓN 2 (3GPP2)

El proyecto asociación de tercera generación 2, o más conocido como Third Generation Partnership Proyecto 2 (3GPP2) es una colaboración para el desarrollo de especificaciones globalmente aceptables para la tercera generación (3G) de sistemas móviles. El 3GPP2 se centra en las regiones de Asia y América del Norte. 3GPP2 se centra en la estandarización de CDMA2000 y busca ofrecer telecomunicaciones multimedia móviles de alta calidad para el mercado de masas en todo el mundo, aumentar la velocidad y la facilidad de las comunicaciones inalámbricas, en respuesta a los problemas que enfrenta el aumento de la demanda para pasar los datos a través de las telecomunicaciones, y la disponibilidad en cualquier momento y en cualquier lugar.

3GPP y 3GPP2 forman parte de la familia de estándares de "IMT-2000" característica que tienen en común sin embargo son técnicamente incompatibles, como se mencionó anteriormente 3GPP2 se centra en la estandarización de CDMA2000.

3GPP2 es un esfuerzo de colaboración entre los cinco organismos de normalización reconocidos oficialmente que son la Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones (ARIB, Japón), la Asociación de Estándares de Comunicaciones de China (CCSA, China), la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (AIT, América del Norte), la Asociación de Tecnología de

Telecomunicaciones (TTA, Corea) y el Comité de Tecnología de Telecomunicaciones (TTC, Japón).

2.4.2.3 IMT AVANZADAS

Las Telecomunicaciones Móviles Internacionales-Avanzadas (IMT-Avanzadas) son sistemas móviles dotados de nuevas capacidades que superan las ofrecidas en las IMT-2000. Estos sistemas dan acceso a una amplia gama de servicios de telecomunicación, en especial los servicios móviles avanzados, basados en redes móviles y fijas, que son cada vez más basados en paquetes.

Los sistemas de IMT-Avanzadas admiten aplicaciones de baja y alta movilidad y una amplia gama de velocidades de datos, de conformidad con las demandas de los usuarios y de servicios en numerosos entornos de usuario. Las IMT-Avanzadas también tienen capacidades destinadas a aplicaciones multimedia de elevada calidad en una amplia gama de servicios y plataformas, lo que les permite lograr mejoras considerables de funcionamiento y calidad de servicio.

IMT-Avanzadas proporciona una plataforma mundial en la que se basa la próxima generación de servicios móviles, acceso de datos rápido, multimedia de mensajería y de banda ancha unificados, en forma de nuevos servicios interactivos muy estimulantes.

Características de las IMT Avanzadas

- Un alto grado de uniformidad de funciones en todo el mundo manteniendo al mismo tiempo la flexibilidad de admitir una amplia gama de servicios y aplicaciones rentables.

- Compatibilidad de servicios con las IMT y las redes fijas; capacidad de interfuncionamiento con otros sistemas de acceso radioeléctrico.
- Servicios móviles de elevada calidad.
- Equipo de usuario de utilización en todo el mundo.
- Aplicaciones, servicios y equipos de fácil utilización.
- Capacidad de itinerancia mundial.
- Mejora las tasas de datos máximas de apoyo a los servicios avanzados y aplicaciones (100 Mbps de alto y 1 Gbps para baja movilidad se establecieron como objetivos de investigación).

Gracias a estas características, las IMT-Avanzadas pueden responder a la continua evolución de las necesidades de los usuarios, y continuamente se introducen mejoras en las capacidades de los sistemas de IMT-Avanzadas en armonía con las tendencias de los usuarios y la evolución de la tecnología.

CAPÍTULO III

3. TECNOLOGIA LONG TERM EVOLUTION (LTE)

Los avances de la tecnología y la constante demanda de usuarios de telefonía móvil que existe día a día, ha originado el desarrollo de nuevas tecnologías en las redes móviles que brindan a los usuarios mejoras en la prestación de servicios como el acceso de banda ancha. Así tenemos la tecnología de redes móviles denominada Long Term Evolution (LTE) que es un estándar de comunicación desarrollada por la 3GPP cuyo objeto de estudio era la evolución de la red de acceso UMTS denominada UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network).

La combinación de la red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC es lo que constituye la nueva red UMTS evolucionada y recibe el nombre formal de EPS (Evolved Packet System).

3.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE

En la figura III-1 podemos observar la arquitectura de una red LTE que ha seguido la misma arquitectura de red de los sistemas anteriores especificados por el 3GPP, como se mencionó en el capítulo 2 la arquitectura genérica de un sistema de comunicaciones móviles celular consta tres elementos, de igual manera la arquitectura LTE se divide en tres elementos; un equipo de usuario denominado UE, una red de acceso denominada E-UTRAN y la red troncal denominada EPC, la unión de estos dos últimos es denominado por la 3GPP como Sistema de Paquetes Evolucionado o su acrónimo en inglés Evolved Packet System(EPS). Esta arquitectura tiene ventajas superiores a las tecnologías desarrolladas anteriormente como por ejemplo mejora la latencia, el throughput y la capacidad de la red, además, el núcleo de la red presenta simplicidad en la arquitectura esto quiere decir que las radio bases se conectan directamente con el sistema central (core) de la red; esto resulta benéfico para los operadores porque la inversión en infraestructura es menor y le permite ofrecer al usuario servicios más baratos, optimiza el tráfico de los servicios.

La arquitectura EPS consiste en unificar los servicios de voz y datos de tal manera que el transporte de todo tipo de tráfico sea mediante una arquitectura basada en IP, eliminando así el dominio de circuitos, ya que en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes.

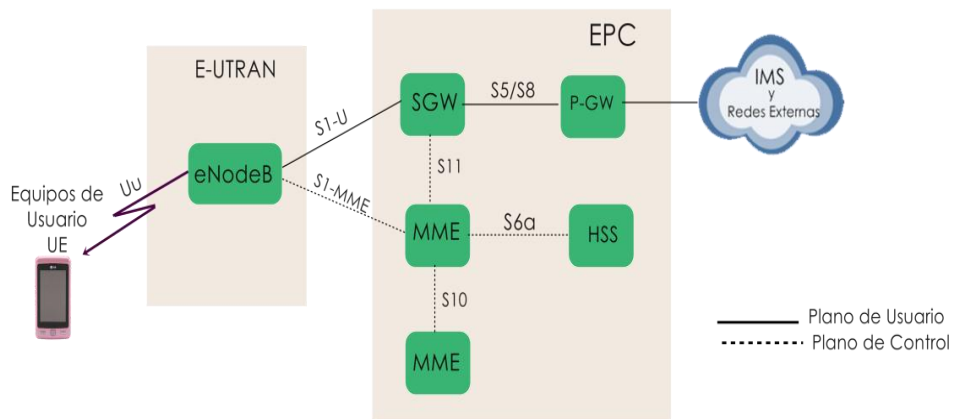


Figura III- 1: Arquitectura LTE
FUENTE: Diógenes Marcano "Arquitectura de LTE EPC" (2012)
ELABORADO POR: Las Autoras

La infraestructura de una red LTE, además de los equipos propios que implementan las funciones del estándar 3GPP, también integra otros elementos de red propios de las redes IP tales como routers, servidores DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) para la configuración automática de las direcciones IP de los equipos de la red LTE y servidores DNS (Domain Name Server) para asociar los nombres de los equipos con sus direcciones IP.

En resumen podemos decir que la arquitectura LTE está más optimizada debido a la reducción del número de elementos empleados en la red y debido a que en LTE la red IP se extiende desde el eNB hasta el núcleo de Paquetes evolucionado, por lo que se basa en un entorno IP.

3.1.1 RED DE ACCESO EVOLUCIONADA: E-UTRAN

- **Arquitectura E-UTRAN**

E-UTRAN está compuesto de un elemento que es Universal Terrestrial Radio Access Network Base Stations también conocido como eNodeB o eNB que actúa

como interfaz con el terminal del usuario, en esta estación base se integran todas las funcionalidades de la red de acceso.

Los eNBs permiten que los protocolos, tanto del plano de los usuarios como del de control, puedan comunicarse desde el UE hacia la red troncal (EPC) y viceversa, soportan el traspaso de los UE en el modo activo. A continuación citamos algunas de las funciones del eNB:

- Funciones de gestión de recursos de radio como conexión, control de admisión de radio, control de movilidad en el plano de usuario.
- Selección de MME
- Compresión de encabezados IP y encriptación e integración de datos
- Enrutamiento en el plano de usuario.
- Transmisión de información broadcast.
- Reportes de configuración para movilidad.

Los eNBs se comunican con el UE y con la red troncal EPC a través de ciertas interfaces que se detallan a continuación:

- **La interfaz E-UTRAN Uu:** También denominada LTE Uu o simplemente interfaz radio LTE, representa la interfaz aire y se encarga de toda la señalización entre UE y el eNB. La interfaz Uu utiliza el protocolo RRC (Radio Resource Control) para comunicar el UE con el eNB.
- **La interfaz S1:** Es la frontera entre el EPC y el E-UTRAN, esta es la interfaz que permite la comunicación del eNB con la Entidad de Gestión de la Movilidad (MME) y el Serving Gateway(S-GW) para ello se divide en dos

grandes planos que son plano de usuario (S1-U) y plano de control (S1-MME). Donde la interface S1-U se usa para enviar datos de las aplicaciones entre el eNB y el S-GW mientras que la interface S1-MME lleva mensajes de señalización entre el eNodeB y el MME, como se muestra en la figura III.2.

- **La interface X2:** Es una interface lógica integrada por el plano del control y el plano de usuario que soporta el intercambio de datos a nivel de aplicación entre dos eNBs.

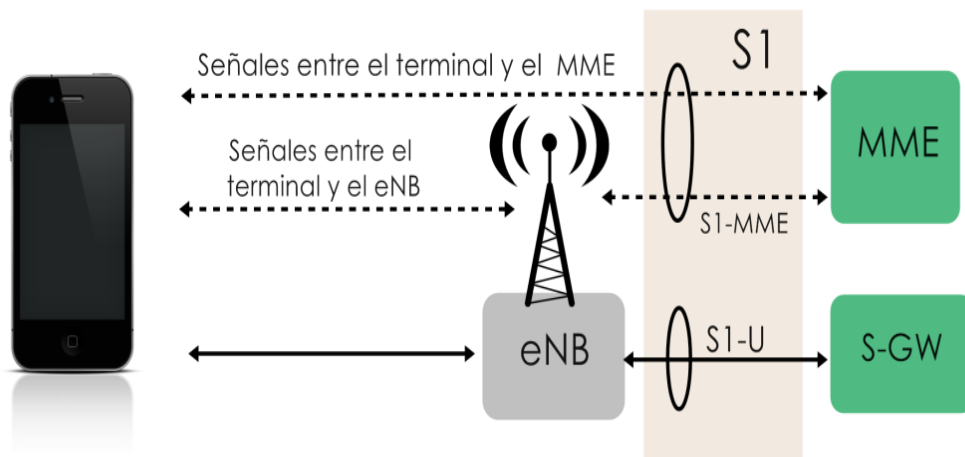


Figura III- 2: Arquitectura de la Interfaz S1
FUENTE: Diógenes Marcano "Arquitectura de LTE EPC" (2012)
ELABORADO POR: Las Autoras

En la figura III-3 se puede observar la red de acceso E-UTRAN formada por eNBs, donde el Equipo del Usuario a través de la interface Uu se conecta con el eNB y estos a su vez se comunican entre sí por medio de la interfaz X2 y se comunican al MME y al S-WG a través de las interfaces S1-MME y S1-U respectivamente.

El eNB se encarga también de las comunicaciones de radio entre el móvil y el núcleo de paquetes evolucionado sin embargo en el caso donde el eNB esté conectado a varios MME, la selección de cada uno de ellos es determinada por la

función de selección de nodo del NAS. Si el eNB está conectado a varios SGW, la selección de éste último se hace dentro del EPC y se le indica al eNB a través del MME.

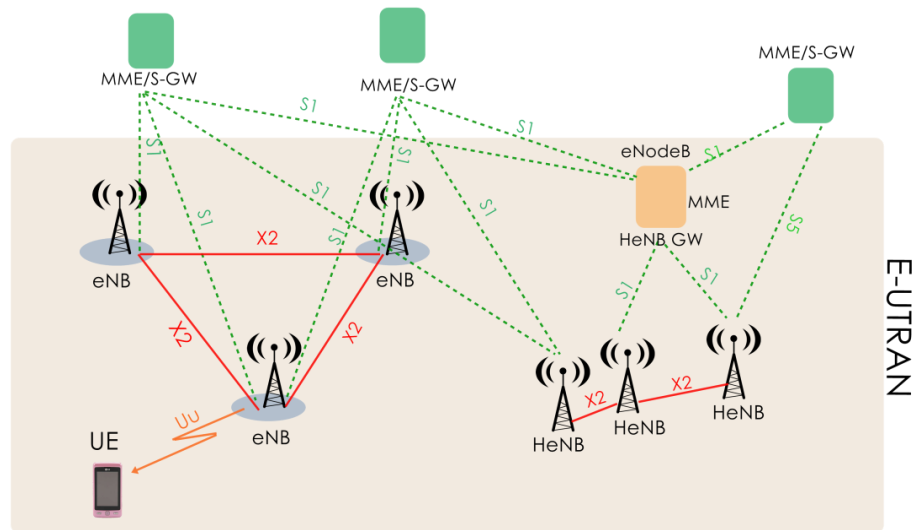


Figura III- 3: Arquitectura E-UTRAN

FUENTE: Diógenes Marcano “Evolución de las Tecnologías 3GPP de GSM a LTE-A” (2012)

ELABORADO POR: Las Autoras

La arquitectura de E-UTRAN usa un elemento adicional llamado Home eNB Gateway (HeNB GW), el cual ayuda a resolver los problemas que hay al tener gran número de interfaces S1. Es por lo tanto un elemento adicional que se puede utilizar para el equilibrio de las interfaces.

El HeNB GW sirve como un concentrador para el plano de control, específicamente para la interface S1-MME. La conexión de los HeNB puede ser a través del HeNB GW o directamente al plano del usuario entre HeNB y S-GW.

Las funciones soportadas por el HeNB son las mismas del eNB. Esta arquitectura es válida para LTE Release 8 y LTE-Advanced Release 10.

3.1.2 RED TRONCAL EPC

En la figura III-4 podemos ver la red troncal EPC de LTE que ha sido desarrollada con la finalidad de proporcionar un servicio de conectividad IP a través una arquitectura de red optimizada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso E-UTRAN, además ha sido diseñada para ofrecer la posibilidad de acceder a sus servicios a través de otras redes como: UTRAN, GERAN, cdma2000, WiMAX, 802.11, también se gestionan aspectos relacionados a la seguridad, calidad de servicio, gestión de recursos y movilidad.

La red Troncal EPC está formada por tres entidades que son: Mobility Management Entity (MME), Serving Gateway (S-GW) y Packet Data Network Gateway (P-GW). Estas tres entidades, junto con la base de datos principal del sistema 3GPP denominada Home Subscriber Server (HSS), constituyen los elementos básicos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC.

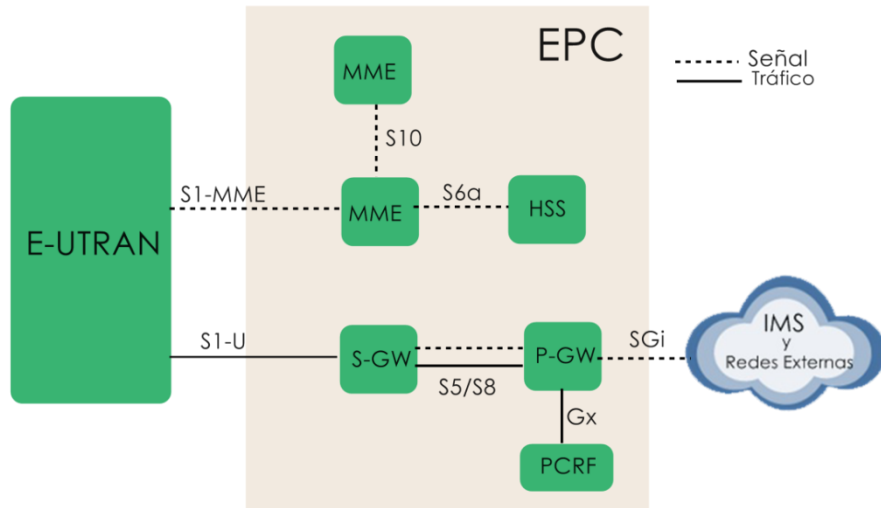


Figura III- 4: Red Troncal EPC
FUENTE: Tutorialspoint “LTE Network Architecture” (2013)
ELABORADO POR: Las Autoras

Entidad de Gestión de la Movilidad (MME)

MME es la entidad de control que tiene la función concerniente a la señalización y por ella no hay tráfico de paquetes de datos de los usuarios, gracias a un elemento de la red dedicado a la señalización y separado funcionalmente de los gateways, los operadores tienen la ventaja de poder crecer la capacidad de señalización de forma independiente del tráfico del usuario. El plano de control MME es fundamental para cumplir con los objetivos de la arquitectura LTE que se generan a partir de la demanda y capacidad de los servicios como el de internet móvil. MME es el nodo principal de acceso a la red LTE, administrando las interfaces de la red de acceso y el núcleo de la red, MME utiliza la información del HSS al cual se conecta mediante la interfaz S6a para la autenticación y autorización de los UEs, la interfaz S10 sirve para intercambiar información entre entidades MME, la interfaz S1-MME une la red de acceso E-UTRAN a la EPC, la entidad MME termina el plano de control de los equipos de usuario conectados a la red LTE mediante los protocolos NAS y

controla las funciones de transferencia del plano de usuario de red LTE a través de la interfaz S11 con la pasarela S-GW.

Sus principales funciones son:

- Administración de movilidad.
- Seguridad y señalización en el NAS.
- Selección de los Gateways necesarios.
- Roaming.
- Autenticación.
- Administración de portadores, incluyendo establecimiento de portadores permanentes.
- Intercepción de tráfico para motivos legales.
- Comunicación con elementos fuera de redes 3GPP.

Packet Data Network Gateway (P-GW)

Proporciona conectividad entre la red LTE y las redes externas a través de la entidad PG-W por medio de la interfaz SGi. La pasarela P-GW actúa como soporte de movilidad entre redes 3GPP y no 3GPP, también cumple con la función de asignación de la dirección IP a los equipos de usuario (UE). Internamente, la pasarela P-GW se conecta a la pasarela S-GW mediante la interfaz S5, cuando ambas pasarelas pertenecen al mismo operador, y mediante S8, cuando éstas se encuentran en redes de operadores diferentes y se proporciona un servicio de roaming. La entidad de red PCRF (Función de Políticas y reglas de carga) constituye un elemento clave de todos los sistemas 3GPP, y en particular, del

sistema LTE, ya que se utiliza para controlar los servicios portadores que ofrece la red y se une a P-GW a través de la interfaz Gx.

Sus funciones principales son:

- Filtrado de paquetes.
- Localización de la IP del usuario.
- Marcaje de paquetes a nivel de transporte.
- Intercepción de tráfico para motivos legales.
- Tarificación.
- Control de tráfico.
- Funciones de DHCP.
- Funciones relacionadas con la movilidad entre redes

Serving Gateway (S-GW)

Es el elemento del plano de usuario que une la red de acceso con el núcleo. El S-GW es controlado por el MME, es un punto donde se monitorizan las políticas de conexión y servicio establecidas en el PCRF para poder administrar calidad de servicio (QoS), además es el responsable de la organización del tráfico y los buffers para almacenamiento de paquetes. El P-GW gestiona la asignación de direcciones IP a los UE, tiene que ver con todo lo relacionado a la inspección de paquete IP, además tiene la función de control de la movilidad.

S1-U es la interfaz encargada de llevar los datos del EPC a la E-UTRAN, es la interfaz que conectan los eNBs con la S-GW, se caracteriza por usar el protocolo GTP-U9 como transporte de los datos del usuario. S11 es la interfaz que conecta el

MME con el S-GW, esta interfaz tiene la característica de llevar la información para comenzar la sesión inicial con el S-GW.

Sus principales funciones son:

- Enrutamiento y reenvío de paquetes.
- Marcaje de paquetes a nivel de transporte.
- Tarificación.
- Vínculo de portadores.
- Intercepción de tráfico para motivos legales.
- Identificaciones para handover entre estaciones base (e-Nodos B).
- Control de tráfico ascendente.

Servidor de suscripción local (HSS)

Almacena y administra todo lo relativo a los datos de suscripciones de los usuarios así como la información necesaria para el funcionamiento de la red, esta es la base de datos principal del sistema 3GPP.

Entre la información que contiene sobre los usuarios se encuentran; información de identificación, seguridad que incluye autenticación, localización y perfil del usuario.

La base de datos HSS es consultada, y modificada, desde las diferentes entidades de red encargadas de proporcionar los servicios de conectividad o servicios finales, HSS integra dos entidades definidas inicialmente en redes GSM denominadas HLR (Home Location Register) y AuC (Authentication Center), a las que se añadieron

funciones adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE.

3.1.3 SISTEMA MULTIMEDIA IP (IMS)

IMS o IP Multimedia Subsystem es una arquitectura de referencia que está constituida por una serie de elementos como: servidores, base de datos, pasarelas que se comunican entre sí con un conjunto de métodos, protocolos y tecnologías con el fin de ofrecer servicios multimedia sobre infraestructura IP para los usuarios de la red LTE, surge como una nueva estrategia de evolución de las redes UMTS cuya finalidad principal es potenciar el mercado móvil de datos.

La arquitectura de IMS ha ido transformándose y haciéndose más universal para cubrir los requerimientos ante la demanda de servicios multimedia integrados mediante la introducción de las capacidades que permitan mejorar la experiencia de los usuarios sacando el máximo provecho a las características inherentes a estas redes como son el ancho de banda y la calidad de servicio.

El protocolo empleado por IMS es el SIP que permite la señalización y la gestión de sesiones. La transmisión de datos, en el interfaz de núcleo central, utiliza TCP/IP. Básicamente la arquitectura IMS se basa en tres capas como se muestra en la figura III-5:

- **Capa de transporte:** Representa una red IP, es la capa encargada de permitir el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red.

- **Capa de control:** Es la capa responsable de la comunicación entre los dispositivos y los servicios, dado que esta capa está todo basado en IP, es capaz de combinar datos, voz y video en una sola sesión. Aquí se encuentran los elementos especializados en la gestión de sesiones, como los servidores o proxys SIP que constituyen uno de los elementos centrales de la capa de control, son los encargados del registro SIP de los dispositivos conectados y de procesar las señales SIP enviadas por el servidor de aplicaciones.
- **Capa de aplicación:** Las dos primeras capas tienen la función de proporcionar una plataforma de red estandarizada que permita a los proveedores de servicios ofrecer servicios multimedia en esta capa. En la capa de aplicación se encuentran los servidores de aplicación que son los responsables de almacenar y ejecutar dichos servicios, así como de proporcionar su interfaz sobre las capas de control.

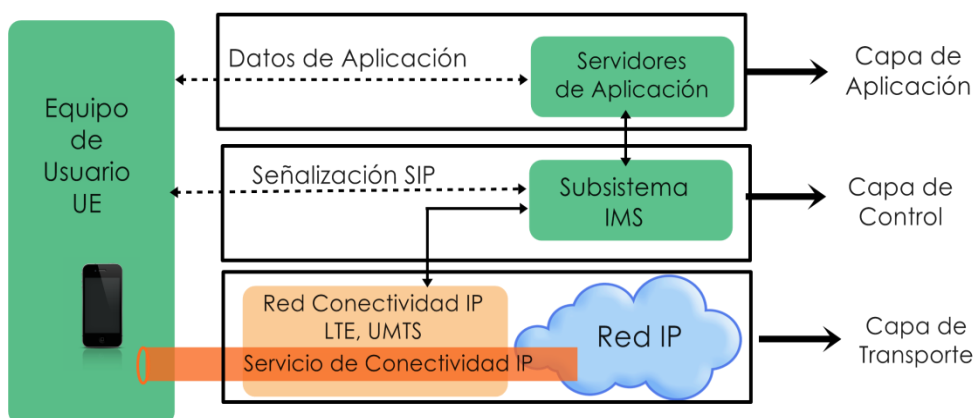


Figura III- 5: Modelo de provisión de servicios en base al subsistema IMS
FUENTE: Fundación Vodafone “Nuevas Tendencias a las comunicaciones móviles” (2010)
ELABORADO POR: Las Autoras

IMS fue diseñada para dar soporte amplio y complejo a los servicios multimedia IP para un alto número de usuarios, provee una arquitectura escalable independiente del nivel de tráfico y sirve para todo tipo de servicios tanto actuales como futuros que se puedan prestar por internet.

3.1.4 EQUIPO DE USUARIO (UE)

El equipo de usuario o UE, también llamado móvil, es el dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios que nos ofrece la red. Este puede variar en su tamaño y forma, sin embargo debe estar preparado para soportar el estándar y los protocolos para que pueda conectarse a la red LTE y disfrutar de los servicios que nos proporciona a través de la interfaz radio.

La arquitectura funcional de UE es la misma que se definió para GSM y UMTS, contiene dos elementos básicos: una tarjeta inteligente, que comúnmente denominamos tarjeta SIM (Subscribe Identity Module), que contendrá la información necesaria para poder conectarse a la red y poder disfrutar de los servicios que nos ofrece nuestro proveedor de servicio. Se conectará a la red a través de la interfaz radio y el terminal móvil propiamente dicho (Mobile Equipment ME) el cual considera dos entidades funcionales: la terminación móvil (MT) y el equipo terminal (TE) que lo podemos observar en la figura III-6. A continuación definimos todos estos elementos.

- **Tarjeta inteligente (SIM):** Tarjeta que identifica al usuario dentro de la red independientemente del equipo móvil utilizado. La separación entre SIM y el terminal móvil (ME) facilita que un usuario pueda cambiar de terminal sin necesidad de cambiar de identidad, de SIM.

- **El equipo móvil (ME):** En él se integran las funciones propias de comunicación con la red celular, así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios que ofrece la red. El ME considera dos entidades que son:
 - Terminación móvil (MT): alberga las funciones propias de la comunicación.
 - Equipo terminal (TE): equipo que se ocupa de la interacción con el usuario.

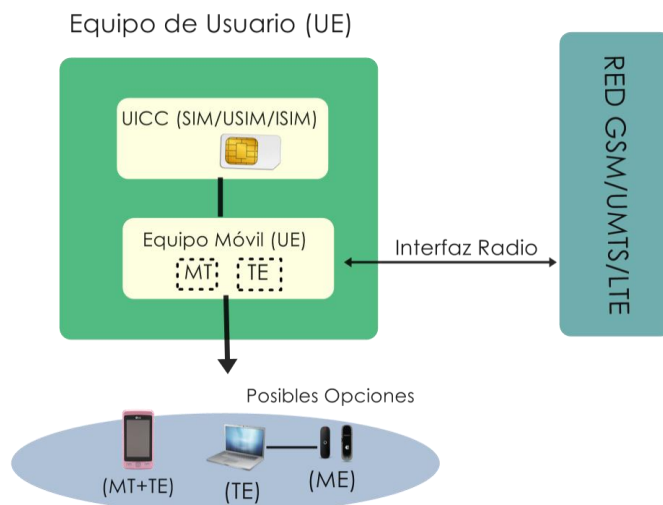


Figura III- 6: Arquitectura funcional de un equipo de usuario LTE
FUENTE: Fundación Vodafone "Nuevas Tendencias de las comunicaciones Móviles" (2010)
ELABORADO POR: Las Autoras

3.2 TÉCNOLOGÍAS DEL NIVEL FÍSICO

En el sistema LTE se implementan técnicas de modulación y multiacceso, en el enlace descendente se usa la técnica de acceso múltiple denominada OFDMA (*Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal*) y para el enlace ascendente, la técnica denominada división de portadora simple de acceso múltiple (**SC-FDMA**), se emplea también la tecnología MIMO para aprovechar la propagación multitrayecto, estos fundamentos del nivel físico son importantes ya que permiten

alcanzar mayores niveles de capacidad y eficiencia en el uso de los recursos radio que los sistemas anteriores. A continuación se describe cada una de estas técnicas.

3.2.1 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL (OFDMA)

En la descarga con LTE se emplea una modulación OFDMA que surge a partir de la modulación OFDM con la finalidad de que los diferentes símbolos modulados sobre las subportadoras pertenezcan a usuarios distintos como se puede ver en la figura III-7, de forma más clara, permite que los subconjuntos de subportadoras se asignen dinámicamente entre los diferentes usuarios de un canal, permitiendo establecer una velocidad de conexión y una probabilidad de error individualmente para cada usuario obteniéndose un sistema mejorado y robusto. De esta forma, es posible acomodar varias transmisiones simultáneas correspondientes a diferentes flujos de información al viajar en subportadoras diferentes.

En los sistemas OFDM, un único usuario puede transmitir sobre todas las subportadoras en cualquier momento y se utilizan técnicas de acceso múltiple por división en frecuencia o en tiempo para soportar múltiples usuarios. El problema de estas técnicas de acceso estáticas es que los usuarios ven el canal de una manera diferente cuando no es utilizado. OFDMA, en cambio, permite a múltiples usuarios transmitir en diferentes subportadoras por cada símbolo OFDM. Así, se asegura de que las subportadoras se asignan a los usuarios que ven en ellas buenas ganancias de canal.

El acceso múltiple se refiere a que durante el tiempo de duración de un símbolo las subportadoras se asignan a conexiones diferentes, estas subportadoras se agrupan

para formar lo que se denomina un subcanal. Por lo tanto se necesita una representación tiempo-frecuencia para ubicar los recursos que se asignan a cada conexión. Por lo que el acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. El sistema se realimenta con las condiciones del canal, adaptando continuamente el número de subportadoras asignadas al usuario en función de la velocidad que éste necesita y de las condiciones del canal. Si la asignación se hace rápidamente, se consigue cancelar de forma eficiente las interferencias co-canal y los desvanecimientos rápidos.

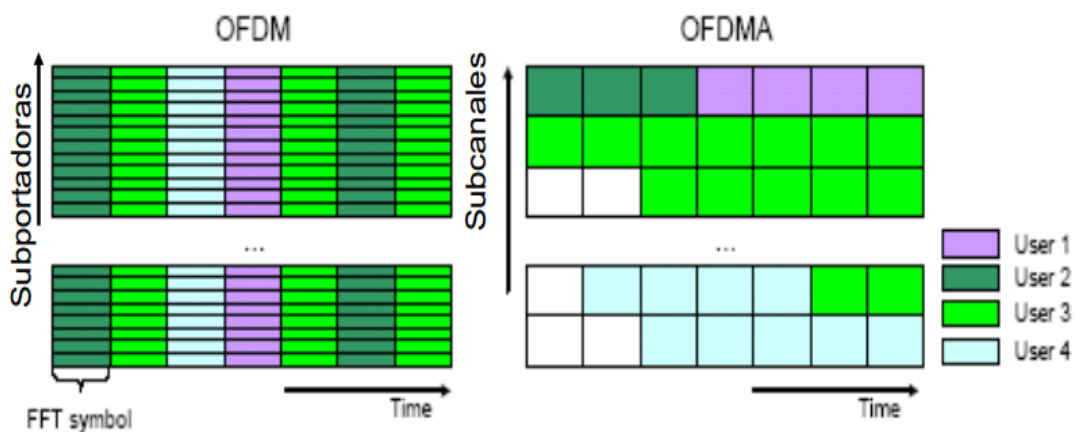


Figura III- 7: Asignación de Subportadoras OFDM y OFDMA
FUENTE: Restrepo Piedrahita José Fernando "OFDMA" (2011)

En la figura III-8 podemos ver que durante el tiempo de símbolos, el recurso frecuencia, o sea los subcanales, se asigna a conexiones o usuarios distintos. Un usuario puede ocupar uno o más subcanales. OFDMA presenta un mecanismo de asignación flexible que hace posible asignar subportadoras dinámicamente dependiendo del tráfico, mientras distintos modos de modulación y potencias de transmisión son aplicados en diferentes subportadoras lo que resulta en niveles más altos de utilización de espectro.

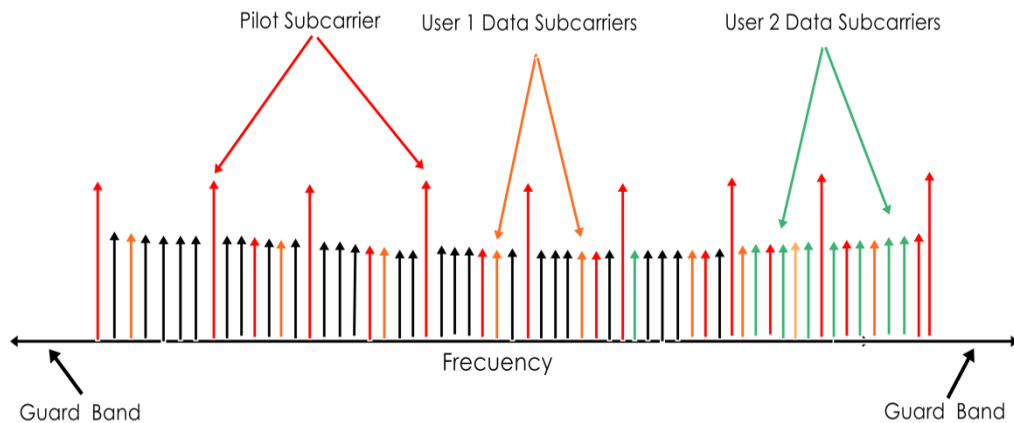


Figura III- 8: Asignación de sub-canales a diferentes usuarios.
FUENTE: <http://es.wikipedia.org/wiki/OFDMA>
ELABORADO POR: Las Autoras

Resumiendo OFDMA se utiliza para conseguir que un conjunto de usuarios de un sistema de telecomunicaciones puedan compartir el espectro de un cierto canal para aplicaciones de baja velocidad.

Ventajas de OFDMA:

- Flexibilidad de despliegue a través de varias bandas de frecuencias con poca modificación necesaria para la interfaz de aire.
- Diversidad multiusuario, como el canal radio presentará desvanecimientos aleatorios en las diferentes subportadoras, y que serán independientes de cada usuario, se puede intentar seleccionar para cada subportadora el usuario que presente un mejor estado del canal, es decir, el que perciba una mejor relación señal a ruido. Con esto conseguiríamos una mayor velocidad de transmisión y una mayor eficiencia espectral. A esta manera de actuar se le denomina scheduling.
- Ofrece una diversidad de frecuencias mediante la difusión de los portadores por todo el espectro utilizado.

- Flexibilidad en la banda asignada, esta técnica de acceso múltiple nos proporciona una forma sencilla de acomodar diferentes velocidades de transmisión a los diferentes usuarios en función de las necesidades de servicio requeridas por cada usuario, simplemente asignando más o menos subportadoras a cada usuario.
- Sencillez de implementación en dominio digital esto se da gracias al uso de la Transformada Rápida de Fourier.
- Hace un promedio de las interferencias de las celdas vecinas, mediante el uso de diferentes combinaciones del portador entre los usuarios de otras celdas
- Permite asociar la cobertura de una frecuencia a la red, dando una buena cobertura donde antes existía problemas.

Desventajas de OFDMA:

- Elevada relación entre la potencia instantánea y la potencia media (PAPR).
- Sensibilidad mayor a desplazamientos de frecuencia y ruido de fase.

3.2.2 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL DE PORTADORA SIMPLE (SC-FDMA)

LTE usa división de portadora simple de acceso múltiple (SC-FDMA) para la subida de archivos, SC-FDMA tiene un transmisor sencillo pero un receptor complejo, por eso es ideal para el Uplink, donde la unidad móvil debe ser sencilla y económica mientras que la complejidad del receptor y los altos costos que se pudiesen generar se dejan a la Estación Base.

SC-FDMA se basa en unos principios de transmisión muy similares a los de OFDM, pero en este caso se efectúa una pre codificación de los símbolos que se van a transmitir previa al proceso de transmisión OFDM, lo que nos permitirá reducir las variaciones en la potencia instantánea.

El transmisor de un sistema SC- FDMA convierte una señal de entrada binaria a una secuencia de subportadoras moduladas efectuando las operaciones de procesamiento de señales que se muestran en la figura III-9. El procesamiento de señales es repetitivo en algunos intervalos de tiempo diferentes. La asignación de recursos se realiza en intervalos de tiempo de transmisión (TTI s). En 3GPP LTE, un típico TTI es de 0,5 ms. El TTI se divide en intervalos de tiempo que se refiere a bloques. Un bloque es el tiempo utilizado para transmitir todas las subportadoras de una vez.

En la entrada al transmisor un modulador de banda base transforma la entrada binaria a una secuencia de niveles múltiples de los números complejos X_n en uno de varios formatos de modulación posibles incluyendo modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK), cuaternario PSK (QPSK), 16 a nivel de modulación de amplitud en cuadratura (16 - QAM) y 64 - QAM . El sistema se adapta el formato de modulación, y por lo tanto la velocidad binaria de transmisión, para que coincida con las condiciones de canal actuales de cada terminal.

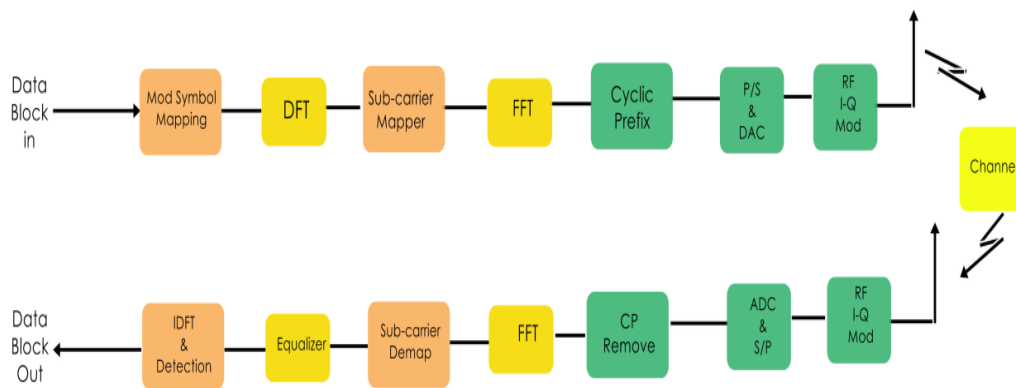


Figura III- 9: SC- FDMA transmisor y receptor
FUENTE: EEweb “SC-FDMA is implemented in LTE Uplink” (2011)
ELABORADO POR: Las Autoras

VENTAJAS DE SC-FDMA

- Reducción de la Interferencia Intersimbólica
- Robustez ante los multitrayecto
- Alta eficiencia espectral
- Implementación fácil a través del uso de FFT e IFFT
- Peak to Average Power Ratio (PAPR) reducido
- Amplificador de potencia en transmisión más sencillo que OFDMA
- Reduce el consumo de potencia

3.2.3 MIMO

MIMO (Multiple Input Multiple Output) es un conjunto de técnicas relacionadas con el uso de múltiples antenas en comunicaciones inalámbricas de las cuales LTE hace uso, MIMO permite que el equipo del usuario utilice varias antenas a la vez, con la intención de aumentar la cantidad de datos que se pueden enviar y recibir.

En la figura III-10 podemos ver múltiples arreglos de antenas, tanto en el equipo del usuario como en la radio base, se utilizan para transmitir datos en paralelo.

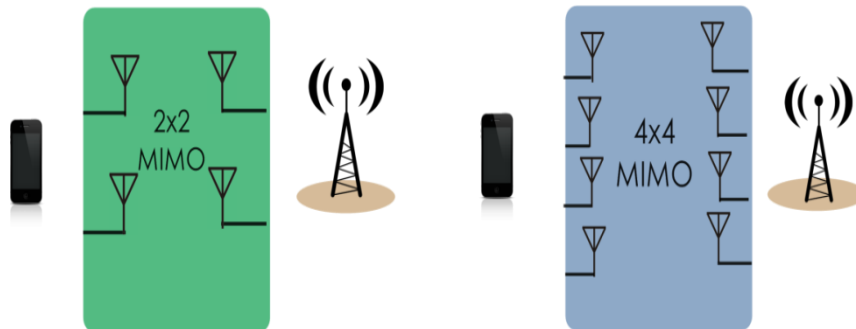


Figura III- 10: Múltiples Arreglos de Antenas.

FUENTE: g3ekarmy "LTE" (2011)

ELABORADO POR: Las Autoras

MIMO requiere la existencia de un número de antenas idéntico a ambos lados de la transmisión, por lo que en caso de que no sea así, la mejora será proporcional al número de antenas del extremo que menos antenas tenga.

Sin embargo, la estabilidad e integridad en la transmisión se mantienen en situaciones de desplazamiento a 15-120 Km/h y en algunos casos la movilidad se mantiene hasta 350 Km/h. Una transmisión de datos a tasa elevada se divide en múltiples tramas más reducidas las cuales se modula y transmite a través de una antena diferente en un momento determinado, utilizando la misma frecuencia de canal que el resto de las antenas. Debido a las reflexiones por multitrayecto, en recepción la señal a la salida de cada antena es una combinación lineal de múltiples tramas de datos transmitidas por cada una de las antenas en que se transmitió.

El hecho de tener más antenas permite que se multiplique la tasa de transmisión, de igual manera el rango de alcance se incrementa al aprovechar la ventaja de disponer de antenas con diversidad. Teniendo información previa sobre el canal, un transmisor con múltiples antenas realiza una pre codificación de los datos a transmitir ajustando las ganancias y desfases de las señales transmitidas por cada

antena. Se puede conseguir así que llegue la máxima potencia posible al receptor con la mínima interferencia sobre otros receptores.

Tipos de Sistemas MIMO

- **Beamforming:** Modificación el diagrama de radiación del arreglo, se usa cuando las condiciones del canal son adversas.
- **Diversidad:** Envía varias copias de la información por caminos distintos.
- **Multiplexaje:** Envía información distinta de manera simultánea, su uso se recomienda cuando las condiciones del canal son favorables.

Clasificación en Función de la cantidad de usuarios involucrados.

- **SU-MIMO (Single User MIMO):** La información simultánea durante un cierto intervalo que se envía por las M antenas va dirigida a un solo usuario, por lo que el canal y el usuario pueden ver el aumento del throughput.
- **MU-MIMO (Multiple User MIMO):** En este caso la información simultánea, durante un cierto intervalo que se envía por las M antenas va dirigida a usuarios distintos, el canal ve aumentado el throughput, pero cada usuario en particular no ve ningún aumento.

Ventajas de los Sistemas MIMO:

- **Ganancia por Diversidad Espacial:** Mitigación de los efectos de los multitrayectos al transmitir o recibir por varias antenas.
- **Ganancia del Arreglo:** Se da debido al hecho de tener varios elementos radiantes.

- **Ganancia por multiplexaje Espacial:** Se pueden enviar símbolos distintos en paralelo y separados espacialmente. Aquí la ganancia se puede expresar e un aumento en el throughput.

3.3 PROTOCOLOS DE LA INTERFAZ RADIO DE LTE

Para el envío de paquetes IP entre los Equipos de Usuario (UE) y los eNBs se lo hace mediante una pila de protocolos del interfaz aire del sistema LTE tanto para el plano de usuario como para el plano de control.

- **Plano de usuario:** Es el que está destinado al envío de la información de usuario como paquetes IP desde o hacia el terminal móvil. Los paquetes en la red central (EPC) están encapsulados en un protocolo específico EPC y realizan un túnel entre el P-GW y el eNB. Los diferentes protocolos de túnel se utilizan dependiendo de la interfaz. El protocolo de túnel de GPRS (GTP) se utiliza en la interfaz S1 entre el eNB y S-GW y en la interfaz S5/S8 entre la S-GW y P-GW como se puede observar en la figura III-11. Los protocolos utilizados en el plano de usuario de la interfaz aire son: Protocolo de Convergencia de paquetes de datos (PDCP), control de enlace radio (RLC), control de Acceso al medio (MAC) y Capa física.
- **Plano de control o señalización:** Destinado a transportar los mensajes de control intercambiados entre la red y el terminal móvil, y que permiten un correcto funcionamiento del sistema. El plano de control, comparte con el plano de usuario los protocolos: PDCP, RLC, MAC y capa física, e incorpora un nuevo protocolo denominado Radio Resource Control (RRC) que es quien se encarga de la gestión de la conexión a nivel radio entre el terminal

móvil y la red (eNB), de la configuración de los servicios portadores, y del envío de mensajes relacionados con la movilidad desde o hacia el terminal móvil. La pila de protocolos para el plano de control entre la UE y el MME se muestra en la figura III-11. Tenemos los protocolos de Access-Stratum (AS). Las capas inferiores realizan las mismas funciones que para el plano de usuario con la excepción de que no hay ninguna función de compresión de cabecera para el plano de control.

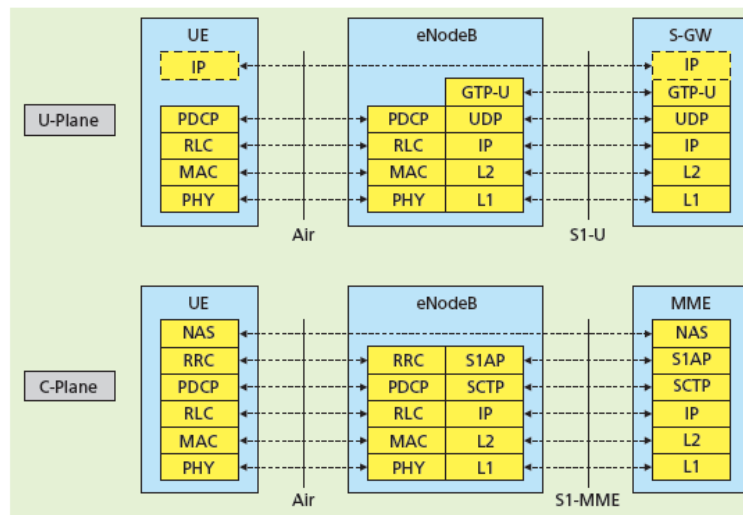


Figura III- 11: Protocolos de la Interfaz de la Red LTE

FUENTE: Technology reports, "Overview of LTE Radio Interface and Radio Network Architecture for High Speed, High Capacity and Low Latency" (2010)

La pila de protocolos de la interfaz radio de la arquitectura LTE está formada por una capa física correspondiente a la Capa1, protocolos PDCP, RLC y MAC que constituyen la Capa 2 y el protocolo RRC perteneciente a la capa 3, como se puede observar en la figura III-12:

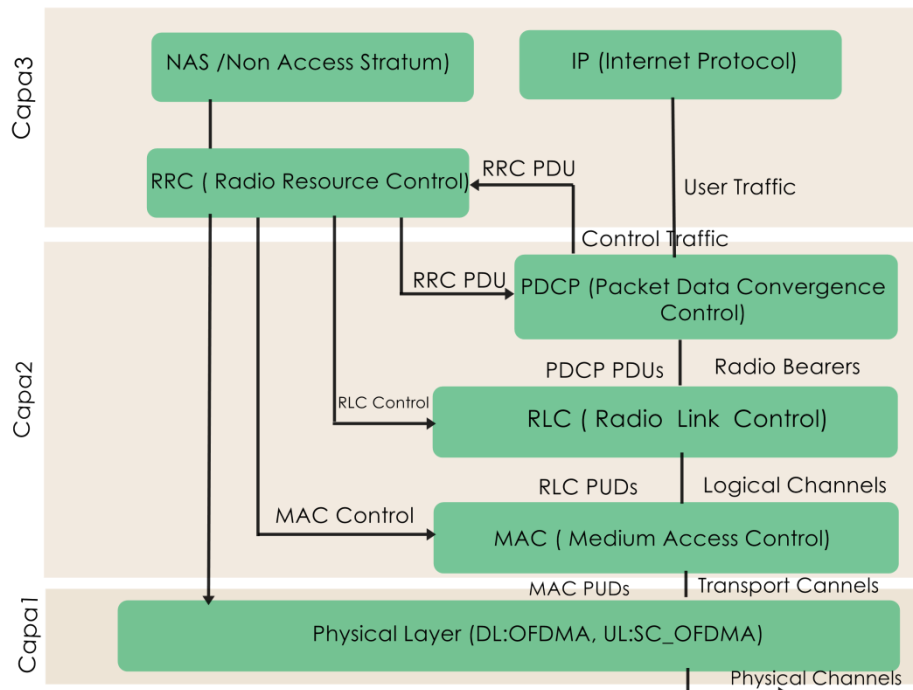


Figura III- 12: Capas de la Pila de Protocolos de LTE
FUENTE: Tutorialspoint "LTE Protocol Stack Layers" (2013)
ELABORADO POR: Las Autoras

CAPA 3

3.3.1 RADIO RESOURCE CONTROL (RRC)

El protocolo RRC, conocido como capa 3, tiene como función principal controlar el Access Stratum (AS) y es responsable del establecimiento de los radio bearer y configurar todas las capas inferiores que usan señalización RRC entre el eNB y el UE. El RRC permite el transporte de información común NAS, es decir información dirigida a todos los UE; soporta el transporte de información dedicada a un UE específico, y también tiene la función de controlar el comportamiento del móvil en el modo de operación o cuando está en el estado conectado, mientras que especifica la señalización de aviso (paging) y del Sistema de Información cuando el sistema todavía no tiene establecidos los servicios portadores radio (terminal en modo Idle).

Radio Resource Control (RRC) es una subcapa de la interface de radio a nivel de capa 3 que existe sólo en el plano de control y suministra información al NAS.

Radio Resource Control (RRC) es una subcapa de la interface de radio a nivel de capa 3 que existe sólo en el plano de control y suministra información al NAS.

Tiene como responsabilidad controlar la configuración de las interfaces de radio de capa 1 y capa 2. Adicionalmente, cuando un UE está en modo Idle o inactivo, el RRC soporta los mecanismos para notificar las llamadas entrantes.

Las principales funciones del protocolo RRC son:

- Radiodifusión de la información generada en el denominado Sistema de información.
- Control de conexión RRC, que implica a todos los procedimientos relacionados con el establecimiento, mantenimiento y cierre de una conexión RRC.
- Gestión de movilidad entre tecnologías de acceso controladas por la red.
- Gestión de los mecanismos de configuración de medidas y de transferencia de información en el caso de movilidad tanto entre tecnologías radio, como inter e intra frecuencia.

CAPA 2

En el lado emisor, los paquetes que entre de una capa superior a otra inferior se llama PDU de la capa superior. Una vez en la capa inferior pasan a llamarse SDU de la capa inferior.

En el lado receptor el proceso es justamente todo lo contrario. El flujo de paquetes es desde las capas inferiores a las superiores. A las capas superiores entran los SDUs de las capas inferiores, los cuales adquieren el nombre de PDU de la capa superior. De esta forma se establece una comunicación peer-to-peer entre capas iguales de los dispositivos que se están comunicando.

Los datos a ser transmitidos entran a nivel de la capa 2 como un paquete IP según el formato de una de las diferentes versiones de EPS Bearer y antes de ser enviados a la interfaz de radio, esos paquetes deben pasar por una serie de protocolos que los adecuan para enfrentar todos los inconvenientes que pudieran sufrir en el canal móvil.

3.3.2 PROTOCOLO DE CONVERGENCIA DE PAQUETES DE DATOS (PDCP)

Este protocolo ubicado sobre la sub-capa RLC procesa los paquetes IP en el plano de Usuario y mensajes RCC en el plano de control, sus principales funciones son:

- Compresión/descompresión de las cabeceras de los paquetes IP que llegan al eNB.
- Cifrado de los datos y la señalización, utilizando para ello una clave de 128 bits.
- Implementa mecanismos de protección de la integridad de los mensajes de señalizados generados tanto por la capa RRC como por los protocolos de la parte de Non-Access Stratum (NAS) ubicados en la entidad de gestión de la movilidad (MME).

- Funcionalidades adicionales de capa 2 tales como reordenación y/o detección de duplicidad desde paquetes RLC cuando se implementan mecanismos de movilidad entre eNBs.

3.3.3 CONTROL DE ENLACE RADIO (RLC)

La capa RLC es la encargada de proveer a las capas más altas la transferencia de paquetes fiable para evitar que se produzcan; entregas fuera de orden, retransmisiones ambiguas o paquetes duplicados entre otras asegurando así una transmisión fiable de la información a través de la interfaz aire. Entre sus funciones principales tenemos:

- Implementa procedimientos de segmentación/concatenación de los paquetes IP recibidos de capas superiores para adaptar su tamaño a las capacidades de transmisión de la interfaz aire.
- Implementa mecanismos de retransmisión de los RLC-PDU recibidos erróneamente, así como evitar duplicidades y gestiona que los paquetes SDU_RLC recibidos se entreguen ordenados a las capas superiores.

Existen tres modos de operación de la sub-capa RLC:

- **Modo Transparente (TM):** Este es el modo de operación más simple ya que la sub-capa RLC entrega directamente a la sub-capa MAC los RLC_SDU recibidos de las capas superiores. Es decir, no se introduce ninguna cabecera a nivel de capa RLC, ni existen mecanismos de segmentación/concatenación, ni de retransmisión. Este modo de operación es típico de los canales lógicos de radiodifusión (BCCH) o de aviso (PCCH).

- **Modo de No-reconocimiento (UM):** Este modo de operación detecta si los paquetes SDU_RLC recibidos contienen errores, pero no implementa mecanismos de retransmisión. También realiza funciones de segmentación y re ensamblado así como gestiona la reordenación, si es necesario, de los SDU_RLC recibidos. Para ello utiliza un campo de la cabecera RLC denominado número de secuencia (Sequence Number). Este modo de operación fundamentalmente aplica a los canales de tráfico (TCH) y a canales multicast (MTCH), dependiendo del tipo de aplicación y de la calidad de servicio requerida (QoS).
- **Modo de Reconocimiento (AM):** Es el modo de operación más robusto. Además de las funciones de segmentación, re ensamblado y de ordenación de los RLC-SDU también proporciona mecanismos de retransmisión tipo ARQ para eliminar posibles errores introducidos por el canal radio. Este modo de operación típicamente aplica a los canales dedicados tanto de tráfico (DTCH), dependiendo de la calidad de servicio requerida (QoS), como de control (DCCH). Existe un mapeo directo entre los flujos de información y/o control recibidos por la subcapa

3.3.4 CANALES DE LA INTERFAZ RADIO DE LTE

Canales Lógicos

Los canales lógicos se utilizan para describir el tipo de información que se transmite a través de la interfaz aire. Los canales lógicos se clasifican en canales lógicos de tráfico y canales lógicos de control.

- **Canales Lógicos de Tráfico**

Dedicated Traffic Channel (DTCH): Es un canal punto a punto destinado a transferir información entre la red (eNB) y un terminal móvil determinado. Puede ser utilizado para transferir información de usuario así como señalización a nivel de aplicación asociada a un flujo de datos de usuario. Este canal lógico existe tanto en el enlace descendente como ascendente.

Multicast Traffic Channel (MTCH): Es un canal punto-multipunto utilizado para transmitir desde la red (eNB) información a un grupo de usuarios. Típicamente este canal se utiliza para implementar el servicio MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service). Este canal lógico sólo existe en el enlace descendente.

- **Canales Lógicos de Control**

Broadcast Control Channel (BCCH): Es un canal DL (Downlink) es decir que solo existe en el enlace descendente y es usado para difundir información del sistema.

Paging Control Channel (PCCH): Es un canal DL se usa para notificar a los UE que hay una llamada entrante o una actualización en el sistema.

Common Control Channel (CCCH): Es un canal lógico que existe tanto en el enlace descendente (DL) como ascendente (UL). Este canal permite la comunicación entre el eNB y el terminal móvil cuando todavía no se ha establecido una conexión a nivel de RRC. Se utiliza para enviar información de control fundamentalmente en las fases iniciales del establecimiento de la conexión.

Dedicated Control Channel (DCCH): Es un canal que existe tanto en el enlace DL como en el enlace UL, es un canal punto a punto destinado a transferir información de control entre la red (eNB) y un terminal móvil determinado, una vez que se dispone de una conexión a nivel de RRC.

Multicast Control Channel (MCCH): Es un canal DL punto-multipunto utilizado para transmitir información de control desde la red (eNB) a un grupo de usuarios que reciben servicios MBMS (Servicios Multicast y Broadcast).

Canales de Transporte

Los canales de transporte se utilizan para describir cómo y con qué características se transmite la información a través de la interfaz aire. Los canales de transporte se clasifican en función de que se utilicen en el enlace descendente o ascendente:

- **Enlace descendente:**

Broadcast Channel (BCH): Este canal de transporte está unívocamente asociado con el canal lógico BCCH. Tiene un formato fijo, y se transmite en toda el área de cobertura del eNB.

Downlink Shared Channel (DL-SCH): Transporta tanto información de usuario como señalización. Soporta técnicas de retransmisión basadas en HARQ, y adaptación dinámica de enlace radio variando modulación y códigos. Permite que le sean asignados recursos radio tanto de forma dinámica como semi-estática, así como la posibilidad de implementar mecanismos de recepción discontinua en el terminal móvil (DRX) para aumentar la eficiencia en potencia. En el caso del

servicio MBMS, éste canal se puede configurar para difusión en toda la celda o bien en parte de ella utilizando técnicas de conformación de haz (beamforming).

Paging Channel (PCH): Este canal se transmite en toda el área de cobertura de la celda. Permite llamar a los terminales móviles así como informarlos de actualizaciones realizadas en el denominado "Sistema de Información". Permite una asignación dinámica de recursos.

Multicast Channel (MCH): Transmitido en toda el área de cobertura de la celda.

- **Enlace ascendente**

Uplink Shared Channel (UL-SCH): Transporta tanto información de usuario como señalización. Soporta técnicas de adaptación dinámica del enlace (modulación, codificación, potencia de transmisión.) así como mecanismos de retransmisión basados en HARQ. Permite la asignación de recursos radio tanto de forma dinámica como semi-estática. Está preparado para permitir el uso de técnicas de conformación de haz

Random Access Channel (RACH): Se utiliza para enviar peticiones de acceso al sistema, así como para transmitir mensajes cortos de información de control. Al ser un canal compartido por los diferentes usuarios del sistema existe riesgo de colisiones.

3.3.5 CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC)

La sub-capas MAC, proporciona el enlace entre los servicios proporcionados por la subcapa RLC y la capa física. Controla las siguientes canales:

- Broadcast Channel (BCH)
- Downlink-Shared Channel (DL-SCH)
- Paging Channel (PCH)
- Uplink Shared Channel (UL-SCH)
- Random Access Channel (RACH)

La sub-capa MAC tiene las siguientes funcionalidades:

- Mecanismos de corrección de errores mediante procedimientos de retransmisión (Hybrid ARQ o HARQ). El procedimiento HARQ utiliza técnicas de retransmisión basadas en el incremento de redundancia.
- Gestión de prioridades entre canales lógicos de un mismo terminal móvil así como entre terminales móviles, utilizando técnicas de gestión dinámica de recursos (Dynamic Scheduling).
- Selección del formato de transmisión a utilizar por parte de la capa física.
- Multiplexado/de multiplexado de paquetes MAC (MAC_SDUs).
- Informar sobre la gestión de los recursos radio. De forma general, el sistema LTE gestiona los recursos de dos formas: gestión dinámica y gestión semi-estática o persistente. En el caso de gestión dinámica de recursos, utiliza el enlace descendente para enviar mensajes de asignación de recursos y el enlace ascendente para confirmar dicha asignación, subtrama a subtrama. En el caso de asignación semi-estática el procedimiento es similar, sólo que los recursos asignados en el enlace ascendente lo son por un periodo de tiempo mayor que una subtrama.

3.3.6 Capa Física

La capa física de la interfaz radio del sistema LTE tiene como objetivo prestar servicios de transporte, por medio de canales físicos, a las subcapas superiores RLC y MAC, se basa en la utilización de técnicas de acceso múltiple OFDMA en el enlace descendente y SC-FDMA en el enlace ascendente. En los dos casos, la separación entre subportadoras es fija e igual a 15 KHz. En la Tabla III-I se muestra el número de subportadoras en la canalización del sistema LTE:

Tabla III- I: Canalización en el Sistema LTE

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Tamaño FFT	128	256	512	1024	1536	2048
Número de subportadoras disponibles	73	181	301	601	901	1201

FUENTE: Tutorialspoint "LTE Protocol Stack Layers" (2013)

La capa física del sistema LTE está diseñada para que opere en las bandas altas de UHF, es decir, por encima de los 450 MHz y hasta los 3,5 GHz. El estándar define hasta 40 posibles bandas de operación para trabajar en modo duplexado por división de frecuencia (FDD) o en modo duplexado por división de tiempo (TDD).

Los posibles esquemas de modulación para el enlace descendente son: QPSK, 16-QAM y 64-QAM, y para el up link: QPSK y 16-QAM, y la 64-QAM dependiendo de la capacidad del terminal móvil.

Si se utilizan técnicas MIMO (2x2, esto es, 2 antenas en el transmisor y 2 antenas en el receptor) y una canalización de 20 MHz se podría alcanzar una velocidad de

transmisión de pico a nivel de capa física de 150 Mbps en el enlace descendente y de 75 Mbps en el ascendente.

3.4 DUPLEXADO

LTE está definida para soportar anchos de banda de portadora flexibles desde 1.4 MHz hasta 20 MHz en varias bandas del espectro y soporta dos tipos de transmisiones dúplex, FDD y TDD para bandas emparejadas y sin emparejar respectivamente. Esto quiere decir que un operador puede introducir LTE en bandas nuevas o en bandas ya existentes haciendo que su despliegue implique todas las bandas celulares. A diferencia de anteriores sistemas celulares, LTE abarca rápidamente múltiples bandas.

Ambos tipos de duplexación, FDD y TDD, son soportadas en la capa física de LTE y ambas comparten la misma estructura de trama, trama con duración de 10 ms y de 20 ranuras de tiempo. Pero cada canal de bajada y de subida es identificado con diferentes frecuencias y tiempos. Para FDD los canales son identificados en dos bandas de frecuencia distintas, mientras que para TDD los canales se identifican en distintas ranuras de tiempo que lo detallaremos a continuación.

3.4.1 DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FDD)

FDD es un esquema de transmisión y recepción de señales que permite una comunicación full dúplex utilizando dos frecuencias diferentes una para el enlace descendente y otra para el ascendente manteniendo una banda de separación entre dichas frecuencias por lo que transmiten datos simultáneamente operando en diferentes frecuencias como se muestra en la figura III-13.

En el FDD la transmisión es continua. Una de las ventajas de este esquema de multiplexación es que no introduce retardos ni latencia adicional por lo que es más eficiente y representa mayor volumen de dispositivos e infraestructura.

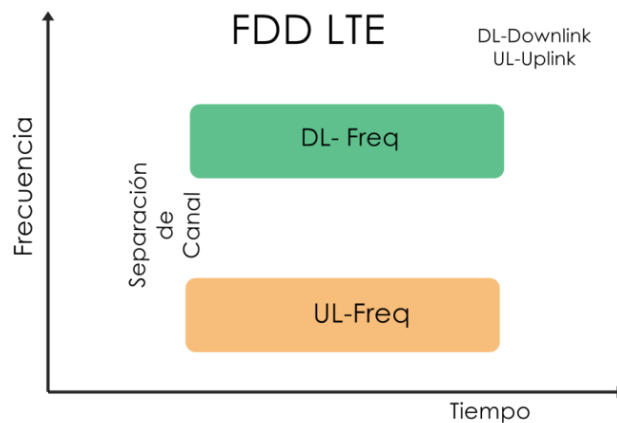


Figura III- 13: Duplexado FDD

FUENTE: Electronic Design "The Difference Between FDD And TDD" (2012)

ELABORADO POR: Las Autoras

Para que el esquema FDD pueda operar satisfactoriamente, es necesario que la separación entre el canal de frecuencias de transmisión y de recepción sea suficiente para permitir que el receptor no se vea afectado indebidamente por la señal del transmisor. Esto se conoce como la banda de seguridad.

3.4.2 DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDD)

En la duplexación por división de tiempo (TDD) se utiliza una misma frecuencia tanto para el enlace descendente como para el ascendente quiere decir que comparte el canal entre la transmisión y la recepción por la que se transmiten por turnos, lo que hace que la transmisión sea discontinua como se puede ver en la figura III-14.

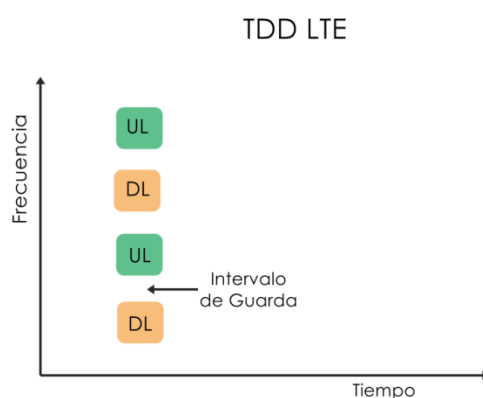


Figura III- 14: Duplexado TDD

FUENTE: Electronic Design "The Difference Between FDD And TDD" (2012)

ELABORADO POR: Las Autoras

El TDD es preferido por la mayoría de implementaciones debido a su flexibilidad para escoger las tasas de transferencia de datos de los enlaces según convenga, capacidad de explotar la reciprocidad del canal, capacidad de implementación en una banda no dividida y el diseño del transceptor es menos complejo sin embargo TDD no es normalmente adecuado para su uso a través de largas distancias por los aumentos de tiempo de guarda ya que la eficiencia del canal decae. Un aspecto adicional para ser observado en transmisiones TDD es el aspecto de la latencia. Dado que los datos no son capaces de ser enviados inmediatamente en una transmisión se tiene como resultado que la multiplexación de tiempo entre transmisor y receptor, tiene pequeños retrasos entre los datos que se generan y los que se transmiten realmente.

3.4.3 ESTRUCTURA DE TRAMA TIPO UNO

En la figura III-15 podemos ver la estructura de trama tipo 1 la cual es válida para sistemas que utilizan duplexado por división de frecuencia (FDD) y se aplica tanto al enlace ascendente como al enlace descendente.

La transmisión se organiza en tramas de duración 10 ms, divididas en 10 subtramas de duración de 1 ms, cada una de las cuales consta de dos slots (0,5 ms), los cuales a su vez contienen 6 o 7 símbolos OFDM según el prefijo cíclico utilizado sea largo o corto, respectivamente, normalmente en celdas muy grandes se utilizan una estructura de 6 símbolos por ranura temporal ya que los retardos de propagación pueden llegar a ser de algunos micro segundos lo que requiere un mayor prefijo cíclico para compensar la propagación multicamino, esta estructura está optimizada para coexistir con el sistema UMTS.

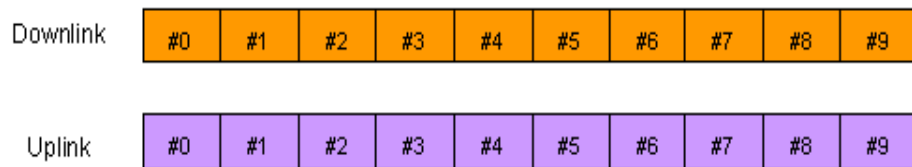


Figura III- 15: Estructura de trama tipo 1
FUENTE: Mathworks "FDD and TDD Duplexing" (2013)

En FDD, todas las sub-tramas se usan tanto para transmisiones de subida como de bajada.

3.4.4 ESTRUCTURA DE TRAMA TIPO DOS

La estructura de trama tipo 2 opera en modo TDD donde un único ancho de banda es compartida entre el enlace ascendente y el enlace descendente, igual que en el caso anterior con la diferencia que esta estructura de trama es mucho más flexible por lo que contiene subtramas de transmisión tanto para el enlace ascendente como para el descendente así como subtramas especiales que contienen los símbolos piloto de los enlaces ascendentes y descendentes y periodos de guarda en transmisión y recepción. Esta subtrama especial aparece para facilitar la

transmisión entre los enlaces ascendentes y descendentes por razones de sincronización.

En LTE, hay 7 combinaciones diferentes de ubicación de las distintas tramas que van desde el 0 hasta el 6 tal como se muestra en la tabla III-II.

Tabla III- II: Tipo de Trama Estructura 2, TDD

Configuración	Periodicidad de la subtrama específica	Número de Subtrama									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

FUENTE: Fundación Vodafone "LTE: nuevas tendencias en comunicaciones móviles" (2010)

En TDD, las sub-tramas 1 y 6 se usan para transmisiones de DL y las demás son usadas para DL y UL. Las subtramas 1 y 6 contienen señales de sincronización para el DL.

3.5 LTE ADVANCED

3.5.1 ARQUITECTURA E-UTRAN DE LTE-A

En la figura III.16 se puede ver la arquitectura de LTE Avanzada (LTE-A), la cual está orientada a conseguir una compatibilidad con redes de versiones anteriores, mejora en varios aspectos a la de red LTE, los cambios más notables son que en LTE-A se incorpora el Nodo de retransmisión (Relay Node o RN), aumentando de esta manera la posibilidad de una planificación eficiente de una red heterogénea, la Agregación de Portadoras (Carrier Aggregation o CA) permitiendo combinar en

una misma transmisión, portadoras de diferente procedencia, LTE-A también incorpora mejoras en el soporte de esquemas multiantena.

A continuación se detallan estas mejoras:

3.5.1.1 NODO DE RETRANSMISIÓN (RN)

Son estaciones base de baja potencia que proporcionan una mayor cobertura y capacidad en los bordes de células y también se pueden utilizar para conectar zonas remotas sin conexión de fibra. Hacia el UE, el RN se comporta como un eNB convencional usando el enlace de acceso de radio para comunicarse y el terminal no distingue entre la comunicación con un RN o con un eNB convencional. Por lo tanto los RN son transparentes para los UEs. Hacia el DeNB, el RN inicialmente se comporta como un UE usando la interfaz radio LTE para conectarse al DeNB. Una vez que la conexión está establecida y el RN está configurado, el RN usa una serie de funcionalidades para conectarse en el backhaul link.

El RN se conecta al DeNB a través de la interfaz Un que es una versión modificada de la interfaz E-UTRAN, y transporta a S1-U y X2-U. La interfaz entre el DeNB y el MME/S-GW es S11, mientras que entre el eNB y el MME/S-GW es la interfaz S1. El DeNB aparece como un MME frente al RN, debido a que soporta S1-MME (S1-C). Por otro lado, dado que usa la interface S1-U, se presenta como un S-GW, lo podemos ver en la figura III-16.

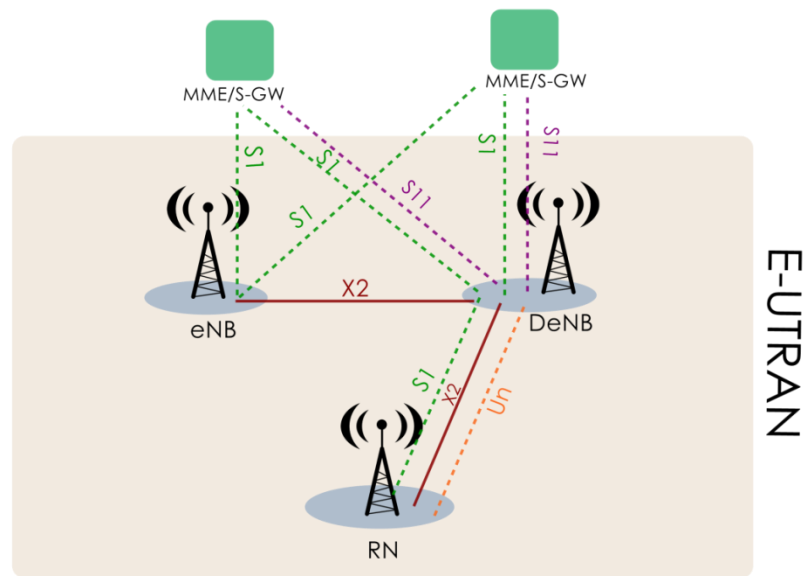


Figura III- 16: Arquitectura E-UTRAN de LTE- Advanced
FUENTE: Diógenes Marcano “Evolución de las Tecnologías 3GPP de GSM a LTE-A” (2012)
ELABORADO POR: Las Autoras

3.5.1.2 AGREGACIÓN DE PORTADORAS (CA)

La manera más sencilla de aumentar la capacidad es agregar más ancho de banda y esto se logra con la agregación de portadora (Carrier Agregación o CA) que es una de las estrategias principales para alcanzar las altas tasas de transmisión establecidas por la ITU a través de los requerimientos de IMT-Advanced las mismas que mantiene compatibilidad con las versiones anteriores de los Releases 8 y 9.

Para lograr alcanzar altas tasas de transmisión del orden de 1 Gbps se requiere de anchos de banda mucho mayor de los que se usan en LTE Release 8. El Component Carrier (CC) puede tener un ancho de banda de 1,4, 3, 5, 10, 15 o 20 MHz y un máximo de cinco portadores de componentes por esta razón IMT Advanced coloca un límite superior de 100 MHz con 40 MHz como mínimo. En el caso de CCs contiguas la separación entre las frecuencias de las portadoras debe ser un múltiplo de 300 KHz.

CA puede ser utilizado tanto para FDD y TDD, aunque para un UE todos los CCs asignados deben usar el mismo Dúplex. Es decir, si en el DL se asignan 2 CCs, ambos deben ser o FDD o TDD, no se permite que unos sean FDD y otros TDD.

Los CCs pueden ser de igual ancho de banda o diferentes. CA permite tener FDD asimétrico, basta con tener más CCs en el DL que en el UL.

En Carrier Aggregation, los Component Carrier (CC) no necesitan ser continuos (de esta forma un operador con espectro fragmentado puede suministrar servicios de alta velocidad usando porciones de las distintas bandas del espectro que posee), pertenecer a la misma banda, o tener el mismo ancho de banda.

Las diferentes combinaciones producen diferentes modos de operación del CA.

Entre estas tenemos:

- Agregación de Portadora de Ancho de Banda Contiguo.
- Agregación de Portadora de Ancho de Banda no contiguo. Única Banda.
- Agregación de Portadora de Ancho de Banda no contiguo. Múltiples Bandas.

En la figura III-17 se puede observar Agregación de Portadora de Ancho de Banda Contiguo Pero no siempre va a ser posible para un operador para obtener 100 MHz de espectro contiguo. Por esta razón, se acude al uso de agregación de portadoras no contiguo.

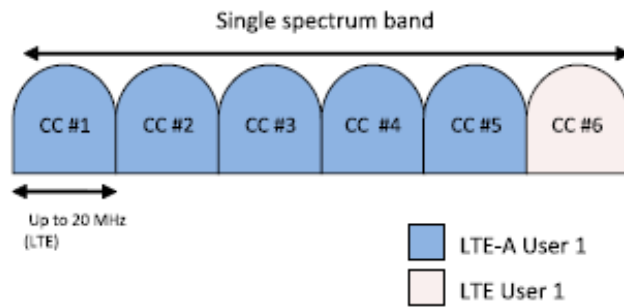


Figura III- 17: Agregación de Portadora de Ancho de Banda Contiguo
FUENTE: Ian F. Akyildiz, David M., Elias Chavarria "The Evolution To 4G cellular Systems" (2010)

La figura III-18 ilustra la agregación de portadora de Ancho de Banda no contiguo en una única banda. Se muestra dos dispositivos LTE con anchos de banda de hasta 20 MHz, coexistiendo con un dispositivo LTE-Advanced que está utilizando Agregación de Portadora de Ancho de Banda no contiguos de hasta 100 MHz

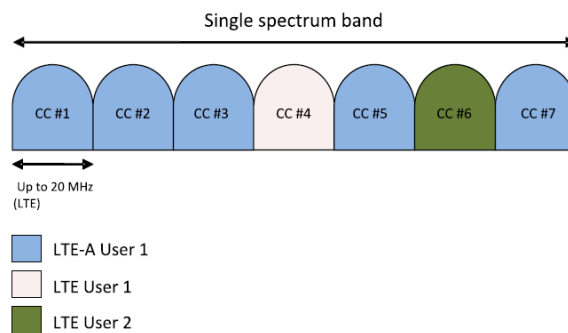


Figura III- 18: Agregación de Portadora no contiguo. Única Banda
FUENTE: Ian F. Akyildiz, David M., Elias Chavarria "The Evolution To 4G cellular Systems" (2010)

La figura III-19 ilustra el caso de la agregación de portadora de Ancho de Banda no contiguo con Múltiples Bandas, donde muestra dos dispositivos LTE utilizando anchos de banda de hasta 20 MHz, cada uno en una banda del espectro diferente, coexistiendo con un dispositivo LTE-Advanced que está utilizando agregación de portadora de Ancho de Banda no contiguo de diferentes bandas del espectro, las bandas que se utilizan pueden ser dedicadas o bandas compartidas.

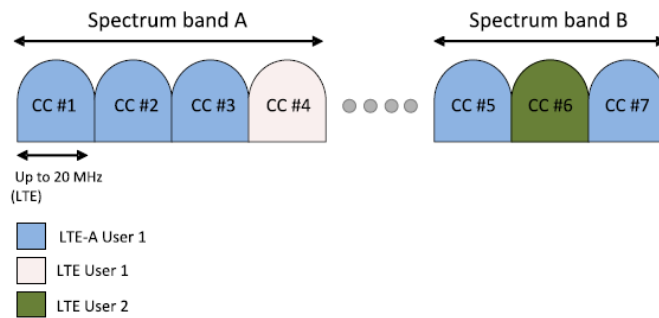


Figura III- 19: Agregación de Portadora no contiguo. Múltiple Banda
FUENTE: Ian F. Akyildiz, David M., Elias Chavarria "The Evolution To 4G cellular Systems" (2010)

▪ **Ubicación de las Portadoras en LTE-A Carrier Aggregation para CCs Continuos**

En CA varios CCs deben recibirse o retransmitirse desde un mismo terminal y para mantener la compatibilidad hacia atrás, las portadoras deben estar separadas por un múltiplo entero de 100 KHz, por otro lado existe la limitante que la separación entre las frecuencias centrales de los CCS debe ser un múltiplo de 15KHz de manera que todas las subportadoras sigan siendo ortogonales como podemos ver en la figura III-20.

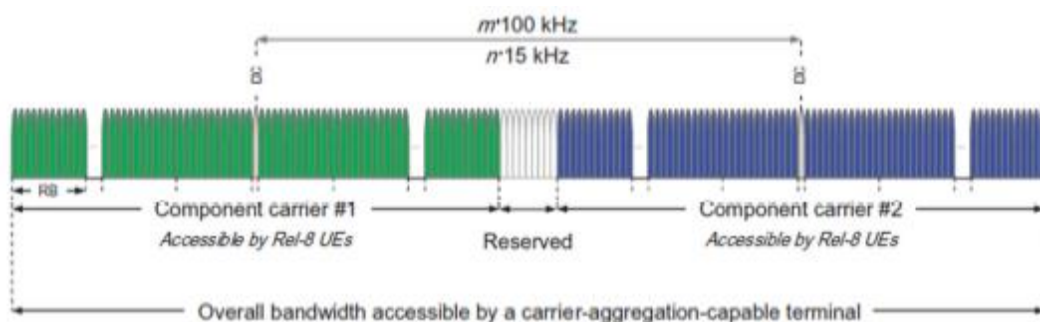


Figura III- 20: Portadoras Carrier Aggregation para CCs.
FUENTE: Diógenes Marcano "4G LTE-Advanced Carrier Aggregation" (2012)

3.5.1.3 MEJORAS EN EL SOPORTE DE ESQUEMAS MULTIAN TENA (MIMO, MÚLTIPLE ENTRADA MÚLTIPLE SALIDA)

Con el fin de mejorar la tasa pico por usuario y para dar cumplimiento a los requerimientos de IMT-Advanced, en LTE-Advanced se definen 8 capas espaciales para el DL y hasta 8 receptores en el UE, lo que permite un MIMO de 8x8 para multiplexaje espacial. Con relación al UL, el UE posee hasta 4 transmisores y el eNB hasta 4 receptores para disponer así de un sistema MIMO 4x4, como se puede observar en la figura III-21.

En LTE-Advanced, en el UL la transmisión, vista por un UE, es Punto a Punto, es decir todos los UEs transmiten hacia el eNB. Dado que el UE puede tener hasta 4 antenas transmitiendo, puede configurarse SU-MIMO en el UL.

Este modo no es posible en LTE Release 8, dado que el UE sólo tiene una antena para transmitir.

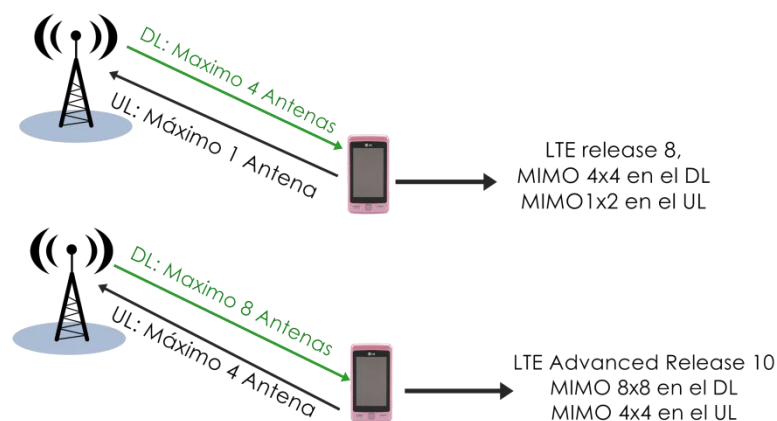


Figura III- 21: MIMO en LTE y LTE-Advanced
FUENTE: Diógenes Marcano "4G LTE-Advanced Sistemas MIMO" (2012)
ELABORADO POR: Las Autoras

MIMO se utilizará cuando la relación S / N (señal a ruido), es alta. En cambio para situaciones que tienen una relación S / N baja, es mejor utilizar otros tipos de técnicas de múltiples antenas para mejorar la relación S / N, como TX-diversity, como se puede ver en la figura III-22:

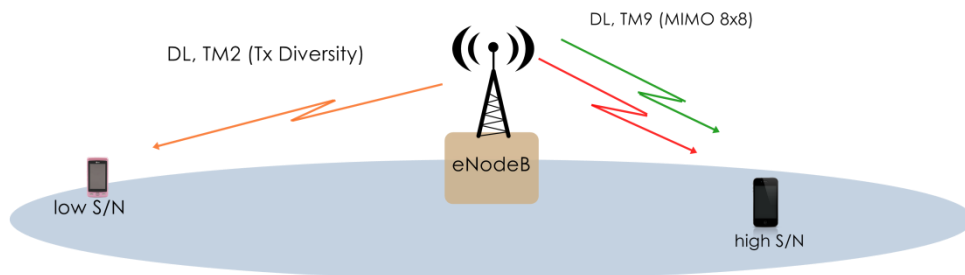


Figura III- 22: Escenario para el uso de MIMO dependiendo de la relación S/N
FUENTE: Jeanette Wannstrom, for 3GPP "LTE-ADVANCED" (2012)
ELABORADO POR: Las Autoras

Para usar la técnica de múltiples antenas se han establecido diferentes modos de transmisión (TM). El UE será informado a través de la señalización RRC acerca del uso de los TM.

En el DL hay nueve modos de transmisión diferentes, desde el TM1-7 los cuales se introdujeron en el Release 8, TM8 se introdujo en la versión 9 y TM9 se introdujo en la versión 10.

En el UL hay TM1 y TM2, donde TM1 es el predeterminado, y se introdujo en la Versión 8 y TM2 se introdujo en la versión 10. Los diferentes modos de transmisión (TM) difieren en:

- Número de capas.
- Puertos de antena utilizada.

- Tipo de señal de referencia, la señal de referencia específica (CRS) o demodulación de señal de referencia introducido en la versión 10.
- Tipo de pre codificación.

Mediante la incorporación del TM9, en el enlace descendente (DL) se puede utilizar MIMO 8x8 y gracias a la introducción del TM2 en el enlace ascendente (UL) se puede utilizar el MIMO 4x4.

En las técnicas de múltiples antenas de pre codificación se utiliza para mapear los símbolos de modulación en las diferentes antenas. El tipo de pre codificación depende de la técnica de múltiples antenas utilizado, así como en el número de capas, el número de puertos de antena.

El objetivo de la pre codificación es lograr una mejor recepción posible de datos en el receptor. Se debe tener en cuenta que la señal estará influenciada por el desvanecimiento de varios tipos, que también se pueden ver como algún tipo de codificación causado por el radio canal.

En el Release 8 la señal de referencia se añade a la señal después de la pre codificación, un CRS (Señal de referencia de la célula-específica) por antena. De los CRS recibido el UE estimará cómo el canal de radio influyó en la señal, el UE demodulará la señal recibida y regenerará la información enviada.

En el Release 10 el DM-RSs (demodulación de señales de referencia) se añaden a los diferentes flujos de datos antes de la pre codificación. La información sobre la señal de referencia proporcionará información acerca de la influencia combinada del radio canal y de la pre codificación.

Bandas de operación en el enlace ascendente de MIMO

De acuerdo al Release 10 sólo algunas de la bandas soportan CA y MIMO en el UL como podemos ver en la tabla III-III, la banda 1, de 1920-1980, es la única que soporta simultáneamente CA y MIMO y usa FDD.

Tabla III- III: Bandas de Operación en el Enlace Ascendente

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive/ UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit / UE receive	Duplex Mode
Band	$F_{UL, low} - F_{UL, high}$	$F_{DL, low} - F_{DL, high}$	
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD

FUENTE: Marcano Diógenes Capítulo 5 V2- 4G LTE-Advanced Sistemas MIMO.pdf

- La banda 1 soporta agregación inter- banda e intra-banda.
- La banda 40 soporta agregación intrabanda.
- Las banda 3 y 7 que soportan MIMO en el UL no soportan agregación de portadoras.

MIMO Cooperativo

MIMO por definición, requiere múltiples antenas, pero también es posible utilizar una sola antena con Diversidad Cooperativa para crear Cooperativa MIMO o virtual MIMO, se utiliza para el enlace ascendente en las redes LTE-A.

Mientras que MIMO en el enlace descendente genera principalmente mayores velocidades de datos máximas para el usuario final, en MIMO Cooperativo el enlace ascendente hace que sea posible para un operador aumentar la capacidad de la red y utilizar mejor el espectro disponible, esta técnica es un requisitos fundamentales de LTE, reduce el consumo de energía de los dispositivos basados en LTE-A.

MIMO Cooperativo permite mejorar el rendimiento en el borde de las celdas mediante la cooperación de varios eNBs hacia un mismo UE, lo podemos ver en la figura III-23.

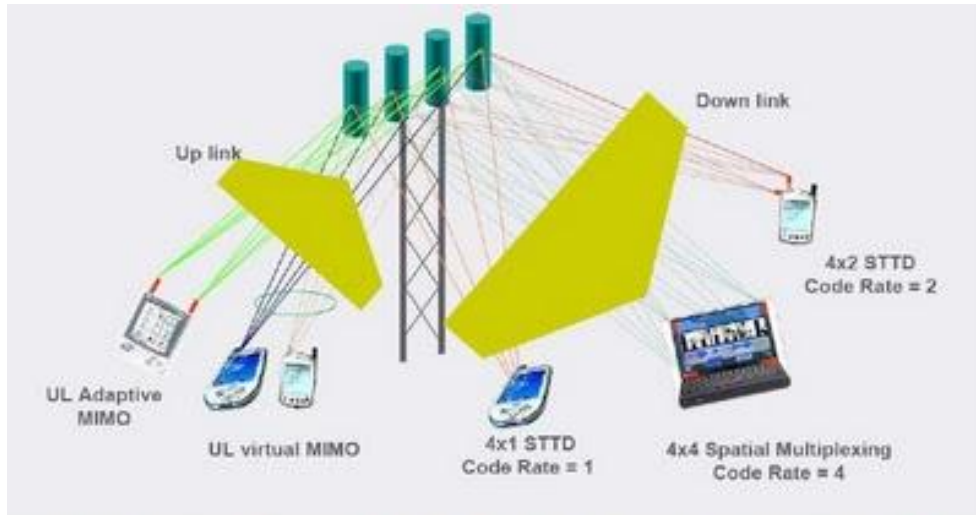


Figura III- 23: MIMO Cooperativo o Virtual MIMO
FUENTE: Lenin Gopal "Cooperative Wireless Communications" (2010)

El rendimiento de las diversas técnicas MIMO tiene ventajas como:

- **Diversidad Espacial:** Sitúa varias antenas en el receptor y en el transmisor, las señales que viajan entre las antenas deben encontrarse suficientemente separadas para garantizar que la propagación sea independiente. La información se envía en una sola frecuencia pero se recibe por dos o más trayectos distintos.
- **Conformación de haz (Beamforming):** El uso de haces dirigidos mejora la capacidad de las ganancias de los enlaces, logrando la máxima potencia posible en el receptor con mínima interferencia sobre otros receptores.

- **Reducción de la interferencia:** Se logra un aumento sustancial en el rendimiento del sistema y se minimizar la interferencia facilitando la transmisión de información con mayores velocidades.

Múltiples puntos de transmisión y recepción coordinados (CoMP)

LTE-Advanced ha identificado un método para mejorar la eficiencia espectral en el borde de la célula denominado CoMP (múltiples puntos de transmisión y recepción coordinados). CoMP mejora la cobertura a altas velocidades binarias, throughput en el borde de la célula y el throughput del sistema.

La idea general detrás de CoMP es reducir la interferencia específicamente en el borde de la célula. La complejidad de implementar CoMP está en el lado de la red. Usando una técnica que se podría describir como “estaciones base cooperativas”, la programación y la transmisión se coordinan dinámicamente. Esto incluye procesar conjuntamente la señal recibida. CoMP requiere una gran cantidad de información intercambiada el cual es posible gracias al interfaz X2 basado en fibra óptica.

En un despliegue celular y específicamente si las frecuencias se rehusan en cada célula, la interferencia de otras células tradicionalmente degrada la capacidad del sistema. El objetivo en CoMP es convertir la interferencia de otras células en señal útil específicamente en el borde de las células. Esto requiere una coordinación dinámica en transmisión, incluyendo transmisión conjunta de múltiples puntos separados geográficamente y también la capacidad de soportar recepción de señales en múltiples puntos separados geográficamente como se puede ver en la figura III-24:

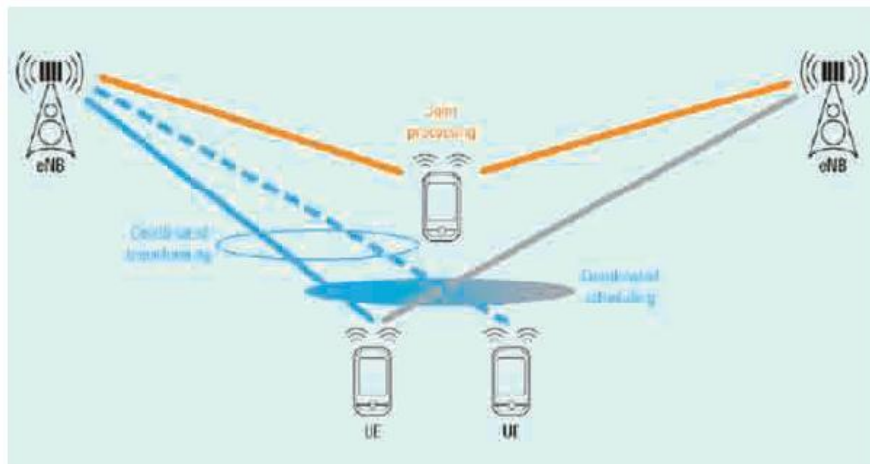


Figura III- 24: CoMP en una arquitectura de red
FUENTE: Rohde&Schwarz, "LTE/LTE-Advanced" (2013)

Existen diferentes categorías CoMP que describen diferentes formas de cooperación. En el enlace descendente hay que distinguir entre procesado conjunto (Joint Processing o JP) y planificación coordinada (Coordinated Scheduling) / beamforming coordinado (Coordinated Beamforming).

En Joint Processing (JP), la transmisión de datos a UEs únicos está disponible en cada nodo de transmisión, esto es, múltiples eNBs. Los datos de usuario disponibles permiten dos variantes de operación. JP se caracteriza por transmisión simultánea de los datos de usuario a un único UE desde múltiples eNBs, donde la selección dinámica de célula es transmitida desde un eNB único.

Para Coordinated Scheduling/ Coordinated Beamforming los datos se transmiten desde un único eNB, pero las decisiones de planificación o beamforming se toman con coordinación entre las células.

3.6 TECNOLOGÍA LTE –A FRENTE A WiMAX

Antes de hacer una comparación entre estas dos tecnologías de cuarta generación, se describirá la arquitectura WiMAX 802.16m para WiMAX 2 que es la versión competidora de LTE-A.

3.6.1 ARQUITECTURA WiMAX

En la figura III-25 podemos ver la arquitectura de la tecnología WiMAX, WiMAX soporta dos tipos de transmisiones dúplex, TDD (Time Division Duplex) y FDD (Frequency Division Duplex) sin embargo en las implementaciones predomina TDD. En ambos modelos de transmisión las conexiones son programadas usando técnicas de acceso multiplexeo DL-MAP (Downlink Mapping) y UL-MAP (Up Link Mapping). Debido a que las Estaciones de transmisión base (BTS) envían periódicamente un mapeo de Broadcast sobre su área de cobertura, la unidad móvil hace espera del mensaje en el downlink adecuado, WiMAX utiliza la tecnología avanzada de radio con OFDM / OFDMA y antenas inteligentes MIMO, permitiendo que la información sea enviada en dos o más antenas por celda para mejorar la recepción con eso logra ofrecer servicios multi-play, es decir, voz, video y datos a través de redes inalámbricas y móviles.

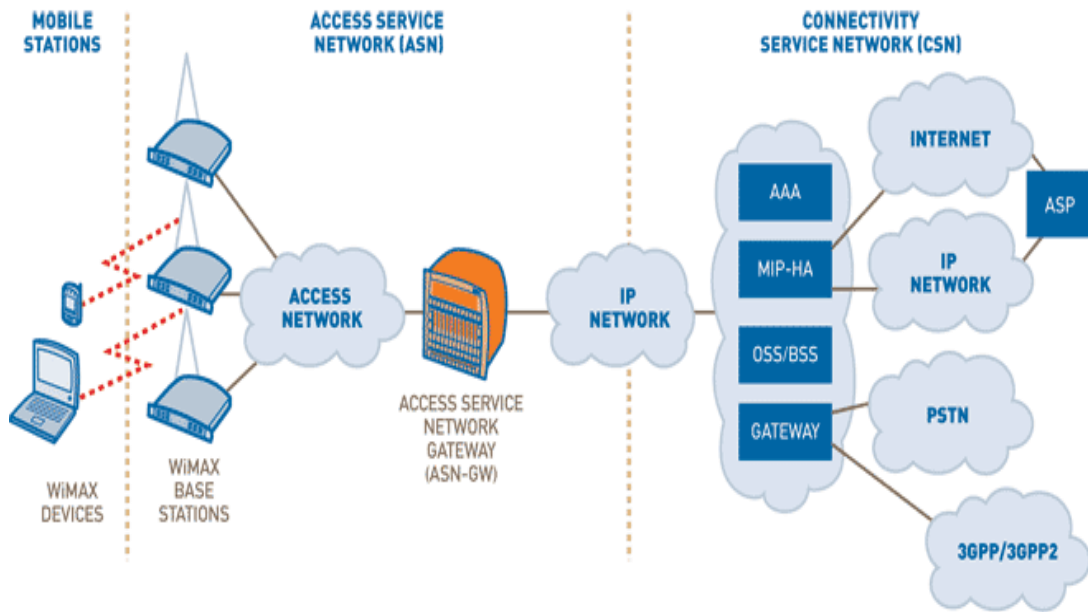


Figura III- 25: Arquitectura WiMAX
FUENTE: Tutorialspoint "WiMAX - Reference Model" (2013)

El modelo de referencia de red WiMAX se compone de tres partes lógicas:

- **Estaciones móviles (MS):** Comprende todos los dispositivos móviles de los usuarios, como teléfonos móviles, PDAs, y ordenadores portátiles inalámbricos, y el software necesario para la comunicación con una red de servicio celular.
- **El Access Service Network (ASN):** Se compone de una o más estaciones base y uno o más ASN-GW que constituyen el acceso radio a la red.
- **El Connectivity Service Network (CSN):** Proporciona la conectividad IP y todo el funcionamiento de IP al núcleo de la red.

Las características principales de WiMAX son:

- **Tecnología OFDMA:** Los subcanales en OFDMA mantienen su ortogonalidad en trayectorias multicamino por lo que se reducen las interferencias.

- **Subcanalización:** Se asigna a los suscriptores diferentes subcanales dependiendo de sus necesidades de datos.
- **Modulación adaptativa:** El sistema puede ajustar el esquema de modulación en función de la exigencia.
- **Codificación:** combinaciones de codificaciones para reducir el efecto de los errores.

Entre las ventajas de WiMAX tenemos: Alta Capacidad, Arquitectura flexible, Movilidad, Conectividad de usuario mejorada, Escalabilidad, Conectividad sin línea de visión directa.

3.6.2 COMPARACIÓN DE LTE-ADVANCED Y WiMAX

Estas dos tecnologías de cuarta generación (4G) que son la unión de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento de una red inalámbrica que ofrecen grandes velocidades y funcionan con tecnología IP, podemos decir que estas dos tecnologías tienen un desempeño similar ya que comparten muchas de las características de comunicaciones en las capas inferiores, como son la utilización de OFDMA, y su gran tolerancia al multitrayecto, por lo que la selección de alguna de estas por parte de los operadores dependerá de diversos factores, entre ellos la disponibilidad del espectro y la alineación con sus propios objetivos de negocio, a continuación haremos una breve comparación de estas dos tecnologías.

Ambas son tecnologías 4G, diseñadas para mover los datos en lugar de voz. LTE y WiMAX son redes IP basadas en la tecnología OFDM (multiplexación por división ortogonal de frecuencia).

Aunque WiMAX IEEE 802.13e y la evolución de LTE soporta el estándar dúplex por división de frecuencia (FDD) y división de tiempo dúplex (TDD), en implementaciones WiMAX predomina TDD. En cambio LTE utiliza FDD es decir que los canales adyacentes se utilizan para el enlace ascendente y descendente. Por lo tanto LTE brinda una mejor especificación de los datos de bajada.

WiMAX se basa en un estándar IEEE (802.16), dependiendo del espectro adjudicado para despliegues WiMAX y cómo se configura la red, esto puede significar que una red WiMAX es más barato de construir, debido también a que es un estándar abierto. WiMAX ofrece máximas velocidades de datos inalámbricos de hasta 60 Mbps en la bajada y 25 Mbps para el envío de datos en sentido ascendente.

Long Term Evolution (LTE) fue desarrollado por el 3GPP, puede transportar datos a velocidades de descarga de 100 Mbps y para el envío de datos a velocidades de 50 Mbps. Eso significa que podemos descargar con velocidades increíbles. Sin embargo teóricamente WIMAX está muy lejos de la escala teórica de LTE. Además, LTE todavía se puede utilizar a una velocidad superior a 200 km/h, mientras que WiMAX apenas puede mantener la estabilidad de la conexión a más de 100 km/h. LTE se puede decir que es mejor que WiMAX en todos los aspectos. Esta es la razón por la mayoría de los operadores móviles y los fabricantes han adoptado como el estándar LTE 4G.

LTE ofrece menores tiempos de latencia, por lo que tiene una ventaja a la hora de retransmitir contenido multimedia.

Tanto LTE y WiMAX usan MIMO (Multiple Input Multiple Output) para mejorar el rendimiento de las comunicaciones inalámbricas utilizando múltiples antenas, no son compatibles con la conmutación de circuitos. La similitud más notable es la utilización de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) en la transmisión. El concepto básico de trabajo es el transmisor y el receptor están operando a diferentes frecuencias de manera que el dispositivo puede transmitir y recibir datos al mismo tiempo, sin perder ancho de banda para cambiar desde la recepción a la transmisión.

En la tabla III-IV, podemos ver algunas de las diferencias y similitudes entre LTE y WIMAX hablando de sus versiones pre-4G (802.16e para WiMAX móvil y 3GPP Release 8 para LTE) y de sus versiones 4G (802.16m para WiMAX 2 y LTE-Advanced).

Tabla III- IV: Diferencias y Similitudes de LTE-Advanced y WIMAX

	LTE (3 GPP R8)	LTE-A (3GPP R10)	WIMAX 802.16e (R1.0)	WIMAX 802.16m (R2.0)
Physical layer	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: OFDMA	DL: OFDMA UL: OFDMA
Duplex mode	FDD Y TDD	FDD Y TDD	TDD	FDD Y TDD
User mobility	217 MPH (350Km/h)	217 MPH (350Km/h)	37 a 74 mph (60 a 120 Km/h)	217 mhp (350Km/h)
Channel bandwidth	1.4, 3.5, 10, 15, 20 MHz	Aggregate components R8	3.5, 5.7, 8.75, 10 MHz	5, 10, 20, 40 MHz
Peak data rates	DL:302Mbps (antena 4x4) UL: 75 Mbps (2x4) at 20 Mhz FDD	DL: 1 Gbps UL: 300Mbps	DL: 46 Mbps (2x2) UL: 4 Mbps (1x2) at 10 Mhz TDD	DL>350Mbps (4x4) UL: 200 Mbps (2x4) at 20 Mhz FDD
Spectral efficiency	DL: 1.91 bps/Hz (2x2) UP: 0.72 bps/Hz (1x2)	DL: 30 bps/Hz UP: 15bps/Hz	DL: 1.91 bps/Hz (2x2) UP: 0.84 bps/Hz (1x2)	DL: 2.6 bps/Hz (4x2) UP: 1.3 bps/Hz (2x4)
Latency	Link Layer< 5 ms Handoff< 50 ms	Link Layer< 5 ms Handoff< 50 ms	Link Layer - 20 ms Handoff -35 a 50ms	Link Layer< 10 ms Handoff< 30 ms
VoIP capacity	80 user per sector/MHz (FDD)	80 user per sector/MHz (FDD)	20 user per sector/MHz (TDD)	30 user per sector/MHz (TDD)

FUENTE: Damiano Scanferla "3GPP LTE - Long Term Evolution" (2010)

CAPÍTULO IV

4. CONDICIONES TÉCNICO-REGULATORIOS DE LTE-A

4.1 ESTRUCTURA DE LOS ORGANISMOS DE REGULACIÓN

En el año 1975, se expidió la Ley de Radiodifusión y Televisión dando origen a un ordenamiento legal independiente para la prestación de estos servicios de telecomunicaciones. Esta norma legal, que no ha sido derogada, creó el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión (CONARTEL) como organismo de regulación.

En el año 1992, se promulgó la Ley Especial de Telecomunicaciones. Esta Ley separó las funciones de regulación y control de las funciones de operador de servicios, creándose como autoridad nacional de telecomunicaciones y ente de

regulación a la Superintendencia de Telecomunicaciones y a la Empresa Nacional de Telecomunicaciones (EMETEL), como operador de las redes y los servicios y en 1995 se promulgó la vigente Ley Reformativa a la Ley Especial de Telecomunicaciones, que es conocida con el nombre de Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada.

El 24 de Agosto del 2009, por Decreto Ejecutivo N° 8 publicado en el Registro oficial No 10 se fusionó el Consejo Nacional de Radio y Televisión (CONARTEL) al Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). Las competencias, atribuciones, funciones, representaciones y delegaciones constantes en leyes, reglamentos y demás instrumentos normativos y atribuidas al CONARTEL serán desarrolladas, cumplidas y ejercidas por el CONATEL, en los mismos términos constantes en la Ley de Radiodifusión y Televisión y demás normas secundarias. Y se creó el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), y reestructuró el esquema institucional del sector de las telecomunicaciones en el Ecuador.

En el 2010 se promulgó el nuevo Reglamento para la Administración del Fondo para el Desarrollo de Telecomunicaciones en Áreas Rurales y Urbano Marginales (FODETEL) y en el año 2011 se modificó este reglamento introduciéndole algunas reformas.

En la actualidad las entidades regulatorias del Ecuador se encuentran organizadas de acuerdo a la figura IV-1 con cada ente encargado de varias funciones en el ámbito de las telecomunicaciones.

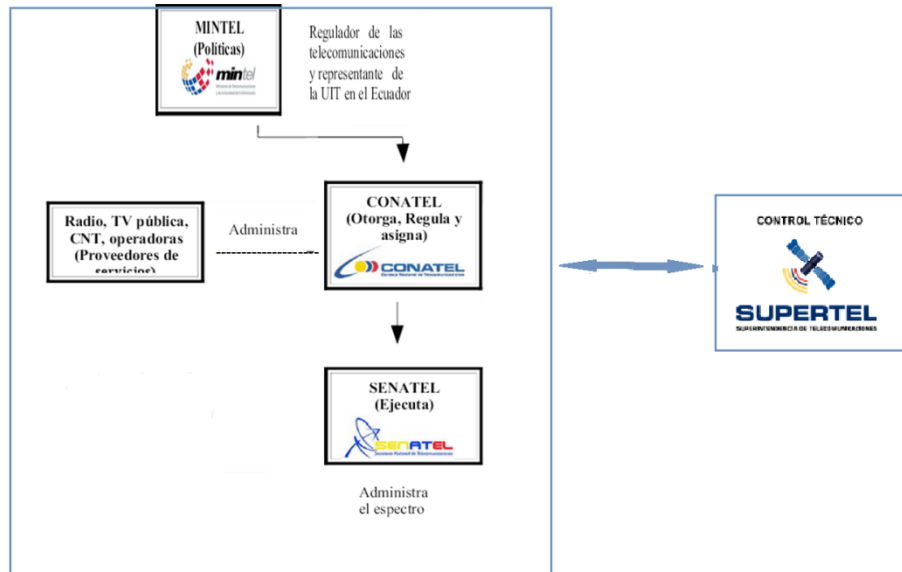


Figura IV- 1: Estructura del Sector de las Telecomunicaciones en el Ecuador

FUENTE: Morales Byron "Estructura-Del-Sector-de-Las-Telecomunicaciones-en-El-Ecuador-2012-"

4.1.1 EL MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN (MINTEL)

Órgano estatal ecuatoriano encargado del desarrollo de las tecnologías de información y comunicación en el país, el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL) tiene la misión de coordinar las acciones de apoyo y asesoría para garantizar la conectividad y el acceso igualitario a los servicios de telecomunicaciones/TIC con el objetivo de avanzar a la consolidación de la Sociedad de la Información y el Buen Vivir de la población ecuatoriana.

Esta cartera de Estado, se encarga de apoyar el proceso de mejoramiento de los servicios que prestan los diferentes actores del sector de telecomunicaciones, coordina las acciones a través de políticas y proyectos del Estado tendientes a promocionar la Sociedad de la Información y del Conocimiento y las TIC. Ejerce la representación del Estado ante los Organismos Internacionales de Telecomunicaciones.

4.1.2 EL CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL)

Es el ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el país, dentro de sus competencias se encuentra:

- Dictar las políticas del Estado con relación a las Telecomunicaciones.
- Aprobar el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones.
- Aprobar el Plan de Frecuencias y de uso del espectro radioeléctrico.
- Aprobar las normas de homologación, regulación y control de equipos y servicios de telecomunicaciones.
- Aprobar los pliegos tarifarios de los servicios de telecomunicaciones abiertos a la correspondencia pública, así como los cargos de interconexión que deban pagar obligatoriamente los concesionarios de servicios portadores, incluyendo los alquileres de circuitos.
- Establecer términos, condiciones y plazos para otorgar las concesiones y autorizaciones del uso de frecuencias así como la autorización de la explotación de los servicios finales y portadores de telecomunicaciones.
- Designar al Secretario del CONATEL.
- Autorizar a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la suscripción de contratos de concesión para la explotación de servicios de telecomunicaciones.

- Autorizar a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la suscripción de contratos de concesión para el uso del espectro radioeléctrico.
- Expedir los reglamentos necesarios para la interconexión de las redes.
- Aprobar el plan de trabajo de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.
- Aprobar los presupuestos de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y de la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- Conocer y aprobar el informe de labores de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones así como de sus estados financieros auditados.
- Promover la investigación científica y tecnológica en el área de las telecomunicaciones.
- Aprobar los porcentajes provenientes de la aplicación de las tarifas por el uso de frecuencias radioeléctricas que se destinarán a los presupuestos del CONATEL, de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y de la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- Expedir los reglamentos operativos necesarios para el cumplimiento de sus funciones.
- Declarar de utilidad pública con fines de expropiación, los bienes indispensables para el normal funcionamiento del sector de las telecomunicaciones.

En general, realizar todo acto que sea necesario para el mejor cumplimiento de sus funciones y de los fines de esta Ley y su Reglamentación.

4.1.3 SECRETARÍA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (SENATEL)

La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) es el organismo encargado de la ejecución de la política de telecomunicaciones en el país. Entre sus principales funciones están:

Cumplir y hacer cumplir las Resoluciones del CONATEL; ejercer la gestión y administración del espectro radioeléctrico; elaborar el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones; elaborar el Plan de Frecuencias y de uso del espectro radioeléctrico; elaborar las normas de regulación y control de equipos y servicios de telecomunicaciones; elaborar los Planes Técnicos Fundamentales para la operación de los servicios; conocer los pliegos tarifarios de los servicios de telecomunicaciones abiertos a la correspondencia pública propuestos por los operadores; suscribir los contratos de concesión para la explotación de servicios de telecomunicaciones; suscribir los contratos de autorización y/o concesión para el uso del espectro radioeléctrico.

4.1.4 SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES (SUPERTEL)

La Superintendencia Nacional de Telecomunicaciones (SUPERTEL) es el organismo de control. Entre sus funciones están: el control y monitoreo del espectro radioeléctrico; el control de los operadores que exploten servicios de telecomunicaciones; supervisar el cumplimiento de los contratos de concesión

para la explotación de los servicios de telecomunicaciones; supervisar el cumplimiento de las normas de homologación y regulación; controlar la aplicación de los pliegos tarifarios aprobados; controlar que el mercado de las telecomunicaciones se desarrolle en un marco de libre competencia, con las excepciones señaladas en esta Ley y juzgar a las empresas que incurran en las infracciones señaladas en la Ley y aplicar las sanciones en los casos que correspondan.

4.2 CONCESIONES

En el Ecuador para que las operadoras realicen la prestación del Servicio Móvil Avanzado (SMA) necesariamente deben tener una concesión la cual es otorgada por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL), bajo autorización del CONATEL. En el Ecuador tienen concesión para brindar este servicio tres operadoras: CNT-EP, CONECEL S.A-CLARO Y OTECEL S.A-MOVISTAR.

4.2.1 CONCESIÓN CONECEL S.A.

El Estado Ecuatoriano a través de la Secretaría de Secretaria Nacional de Telecomunicaciones, celebró el 26 de Agosto del 2008, con la compañía CONSORCIO ECUATORIANO DE TELECOMUNICACIONES S.A CONECEL, el Contrato renovatorio de Concesión para la prestación del servicio Móvil Avanzado que estará vigente hasta el año 2023.

La concesión corresponde al servicio móvil avanzado, servicio de telefonía de larga distancia internacional y la concesión de frecuencias esenciales 25MHz en la banda de 850 y de 10MHz en la banda de 1900. La duración de la concesión es de

15 años, con un área de aplicación en todo el territorio ecuatoriano, además se define un régimen de tarifas inicial que podrá ser modificado por las partes en la evolución del contrato.

4.2.2 CONCESIÓN OTECEL S.A.

El 20 de noviembre del 2008 renovó el Contrato de Concesión para la Prestación del Servicio Móvil Avanzado por 15 años adicionales del Servicio Telefónico de Larga Distancia Internacional, entre la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y la compañía OTECEL S.A.

4.2.3 CONCESIÓN CNT- E.P.

El Estado Ecuatoriano a través de la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones otorgó, el 03 de abril del 2003 a la compañía TELECOMUNICACIONES MÓVILES DEL ECUADOR TELECSA S.A, la Concesión para la prestación de Servicio Móvil Avanzado.

Los Directorios de las Empresas Públicas CNT E.P. Y TELECSA E.P. Mediante resoluciones N° DIR-CNT-010-2010-027 de 30 de julio de 2010: y, DIR-TELECSA-001-2010-002 de 30 de julio de 2010, en uso de las facultades concedidas por la ley orgánica de Empresas Públicas, resolvieron aprobar la fusión por absorción de la Empresa Telecomunicaciones Móviles del Ecuador, -TELECSA E.P. a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT-EP.

En Octubre del 2010 CNT EP suscribió la concesión de la banda 11.45–12.2 GHz (down link), para la operación del sistema de audio y video por suscripción, bajo la modalidad de televisión codificada por satélite.

Tabla IV- I: Concesionarios del Servicio Móvil Avanzado

CONCESIONES DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO			
OPERADORA	CONECEL S.A. (CLARO)	OTECELS.A. (MOVISTAR)	CNT E.P.
Suscripción del contrato	26/08/2008	20/11/2008	01/06/2011
Duración de la concesión	15 años	15 años	15 años
Caducidad	2023	2023	2026
Servicio	Concesión del Servicio Móvil Avanzado. Concesión del Servicio Telefónico de Larga distancia Internacional Concesión de Bandas de Frecuencias esenciales.	Concesión del Servicio Móvil Avanzado. Concesión del Servicio Telefónico de Larga distancia Internacional Concesión de Bandas de Frecuencias esenciales.	Concesión del Servicio Móvil Avanzado.
Área de concesión	Nacional	Nacional	Nacional
Tecnologías que Utiliza	2G GSM 3G WCDMA 3G HSDPA 3G HSPA PLUS	2G GSM 3G CDMA 3G WCDMA 3G HSPA 3G HSPA PLUS	2G CDMA 1xRTT 3G CDMA EVDO 3G HSPA PLUS

FUENTE: Revista SUPERTEL N° 16 2012

ELABORADO POR: Las Autoras

4.3 OPERADORAS DE TELEFONÍA MÓVIL EN EL ECUADOR Y BANDAS DE FRECUENCIAS EN EL ECUADOR

4.3.1 CONECEL S.A CLARO

CONECEL S.A. es más conocida con su nombre comercial Claro, fue creada en 1993 operando con tecnología AMPS; en 1997 migra a la tecnología D-AMPS de 2G y desde mayo del 2003 migró a la tecnología mundial GSM, operando en la banda de 850 MHz. Más tarde, ese mismo año, concluye con la instalación y configuración del portador de datos GPRS. En el 2006 logra la concesión de espectro de 10 MHz en la

Banda de 1900 MHz. Entre el 2008 y 2009 se renovó la concesión por otros 15 años, para brindar Servicio Móvil Avanzado (SMA). Esta operadora ya se encuentra brindando los servicios 3.5G tales como video llamada y acceso inalámbrico a Internet a alta velocidad desde finales del 2008 e inicios del año 2009 con las tecnologías 3G (UMTS) y 3.5G (HSDPA).

Esta empresa de telefonía celular cuenta con más con más de 11.5 millones de usuarios, con el 96 % de la población cubierta del territorio nacional, llega a más de 1.300 ciudades y poblaciones, 8.000 kilómetros de carreteras y caminos vecinales en las 4 regiones del país.

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

Claro tiene concesiones en las bandas de los 800 MHz y 1900 MHz que se asignan en la tabla IV-II:

Tabla IV- II: Bandas Asignadas para CONECEL S.A. (Claro)

Bandas	800 MHz	1900 MHz
A	824-835 845-846,5	
A'	869-880 890-891,5	
E		1885-1890
E'		1965-1970

FUENTE: CONATEL
ELABORADO POR: Las Autoras

4.3.2 OTECEL S.A. MOVISTAR

Fue creada noviembre de 1993 bajo el nombre comercial de Cellular Power, en donde obtuvo la concesión para brindar el Servicio de Telefonía Móvil Celular STMC; esta empresa operaba con redes de tecnología analógica AMPS de 1G. Luego entre 1996 y 1997 lanza su primera red digital TDMA (D-APMS) en la frecuencia de 800 MHz, ya con el nombre de Bellsouth. Dicha empresa ha seguido por dos caminos en 2G y 3G, primero con la adopción de la tecnología CDMA a partir del diciembre del 2002, y en el año 2003 actualizando a CDMA1x para transmisión de datos e Internet. En Octubre del 2004 pasó a manos de Telefónica de España, y a partir del 2005 adoptó tecnologías de 3GPP como son GSM, GPRS y EDGE, operando en la banda de 850 MHz. El 17 de abril del 2008 Otecel renovó el contrato de concesión con el estado ecuatoriano. En el 2009 esta operadora, empezó a brindar servicios de banda ancha inalámbrica 3.5G con tecnología UMTS/HSDPA en la banda de los 1900 MHz.

Movistar tiene concesiones asignadas en las bandas de 800 y 1900 y lo podemos ver en la tabla IV-III:

Tabla IV- III: Bandas asignadas para OTECEL S.A. (Movistar)

Bandas	800 MHz	1900 MHz
B	835-845 846,5-849	
B'	880- 890 891,5- 894	
D		1865-1870
D'		1945-1950

FUENTE: CONATEL
ELABORADO POR: Las Autoras

4.3.3 CNT-EP

En diciembre de 2003 Alegro PCS comercializó un servicio que en Ecuador se denomina Servicio Móvil Avanzado (SMA), que se entiende es superior a un servicio celular, operando en la banda de frecuencia de los 1900MHz la cual se denomina PCS (Personal Communication System). En el año 2005 lanza la tecnología CDMA 1X (EV-DO) en la banda de 1900 MHz, para ofrecer transmisión de datos y acceso a Internet. Al inicio adoptó tecnologías norteamericanas muy costosas (CDMA), pero luego en el año 2007 tuvo que rentar redes de Otecel, para brindar el servicio de telefonía móvil con tecnología GSM, debido a que estaba perdiendo competitividad en el mercado, a la tendencia que sigue América Latina con la adopción de tecnologías 3GPP, y debido a que los terminales y equipos de conectividad son más baratos.

En enero de 2010, mediante Decreto Ejecutivo Nro. 218, se creó la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, como Empresa Pública (CNT), conformada por la fusión de las empresas de telecomunicaciones ANDINATEL S.A. y PACIFICTEL S.A. y la operadora móvil TELECSA (ALEGRO) de propiedad del Estado. La CNT presta todos los servicios de telecomunicaciones con cobertura nacional, en régimen de competencia con empresas operadoras privadas.

CNT-EP tiene concesiones en la banda de los 1900MHz y se los asigna como se muestra en la tabla IV-IV:

Tabla IV- IV: Bandas asignadas para CNT-EP

Bandas	1900 MHz
F	1890-1895
F'	1970-1975
C	1895-1910
C'	1975-1990

FUENTE: CONATEL
ELABORADO POR: Las Autoras

▪ **TARIFAS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO**

En la tabla IV-V (a) y IV-V (b) se presenta información relacionada con los planes tarifarios dentro de la Telefonía Móvil, tanto prepago como pospago los mismos que son los valores que el concesionario de Telefonía Móvil cobra a sus abonados por los servicios prestados, no incluye impuestos aplicables a la ley.

Tabla IV- V (a): Tarifas Prepago del Servicio Móvil Avanzado.

TARIFAS PREPAGO (USD)				
EMPRESA	ONNET	OFFNET	OFFNET-OTRO Móvil	Promedio Simple
	Prepago en la misma red	Prepago-Fijo	Prepago-otro móvil	
CONECEL S.A	\$ 0.0500	\$ 0.1600	\$ 0.1800	\$ 0.13
OTECL S.A	\$ 0.0800	\$ 0.1800	\$ 0.1800	\$ 0.15
CNT E.P.	\$ 0.0500	\$ 0.1200	\$ 0.1600	\$ 0.11

FUENTE: SENATEL-DGP Publicación Enero 2013
ELABORADO POR: Las Autoras

Tabla IV- VI (b): Tarifas Pospago del Servicio Móvil Avanzado

TARIFAS PREPAGO Y POSPAGO (MÀXIMAS Y MÌNIMAS) (USD)				
EMPRESA	TARIFAS MÀXIMAS		TARIFAS MÌNIMAS	
	Màximo Prepago	Màxima Pospago Off Net	Mínima Prepago	Mínima Pospago On Net
CONECEL S.A	\$ 0.2200	\$ 0.2200	\$ 0.0500	\$ 0.0200
OTECL S.A	\$ 0.1800	\$ 0.1900	\$ 0.0800	\$ 0.0400
CNT E.P.	\$ 0.2200	\$ 0.1500	\$ 0.0500	\$ 0.0400

FUENTE: SENATEL-DGP Publicación Enero 2013

ELABORADO POR: Las Autoras

4.4 MERCADO DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN EL ECUADOR

Actualmente, las tres empresas que prestan el Servicio Móvil Avanzado en Ecuador, (OTECEL S.A. - MOVISTAR), (CONECEL S.A. - CLARO) y (CNT EP. - ALEGRO) han experimentado un crecimiento en el número de líneas activas prestado a través de terminales de uso público instalados hasta el presente año como se indica a continuación en la tabla IV-VI:

Tabla IV- VII: Crecimiento del SMA en el Ecuador, a través de Terminales de uso Público (TTUP)

Fecha	CONECEL S.A.	CNT EP.	OTECEL S.A.
Ene-09	32.362	24.921	86.835
Feb-09	32.362	28.397	87.189
Mar-09	30.862	28.397	80.998
Abr-09	30.862	32.675	82.000
May-09	30.862	34.065	83.354
Jun-09	30.862	35.371	76.334
Jul-09	30.862	36.062	77.812
Ago-09	29.354	37.181	79.032
Sep-09	22.654	37.181	80.640
Oct-09	22.654	37.557	82.431
Nov-09	22.654	35.343	83.926
Dic-09	22.454	31.292	84.671
Ene-10	22.374	31.624	85.827
Feb-10	21.573	31.624	86.610
Mar-10	24.079	31.624	87.488
Abr-10	24.229	36.547	88.288
May-10	24.141	37.608	88.892
Jun-10	24.616	38.720	89.025
Jul-10	25.081	29.429	90.910
Ago-10	25.685	30.278	92.388
Sep-10	26.668	32.055	94.045
Oct-10	28.140	30.353	95.196
Nov-10	28.659	30.824	97.045
Dic-10	29.041	32.154	94.782
Ene-11	29.478	37.795	91.004
Feb-11	29.829	37.901	85.503
Mar-11	29.843	36.767	76.534
Abr-11	33.396	36.884	59.167
May-11	33.205	37.205	60.602
Jun-11	33.109	37.324	59.769
Jul-11	32.820	37.829	51.151
Ago-11	34.038	38.119	51.601
Sep-11	35.593	39.397	42.126
Oct-11	35.469	40.198	44.379
Nov-11	35.265	40.163	41.963
Dic-11	36.129	40.203	36.401
Ene-12	34.276	40.160	37.704
Feb-12	31.729	39.801	39.804
Mar-12	34.512	39.523	40.836
Abr-12	34.527	33.141	41.965
May-12	34.872	30.942	41.275
Jun-12	35.003	21.433	40.111
Jul-12	35.052	21.175	40.581
Ago-12	34.831	21.045	47.440
Sep-12	34.788	21.026	45.475
Oct-12	35.213	20.956	47.956
Nov-12	35.024	20.771	50.188
Dic-12	35.002	20.703	46.860
Ene-13	34.964	20.575	48.745
Feb-13	34.926	20.358	50.884
Mar-13	34.893	20.234	44.951
Abr-13	34.741	15.714	48.340
May-13	34.741	15.588	51.073
Jun-13	34.603	9.167	52.696
Jul-13	34.599	9.081	54.632
Ago-13	34.519	9.031	48.714

FUENTE: www.supertel.gob.ec, "Estadísticas de telefonía móvil 2013"

Densidad del Servicio de SMA

- **Líneas Activas de Servicio Móvil Avanzado**

Según la figura IV-2 podemos ver que hay 17.069.159 líneas activas de las cuales 11.647.402 corresponden a CLARO que representa un porcentaje del 68%, 5.059.197 corresponde a Movistar representando un 30% y 362.560 que corresponde a CNT E.P que equivale a un 2% del total de líneas activas.

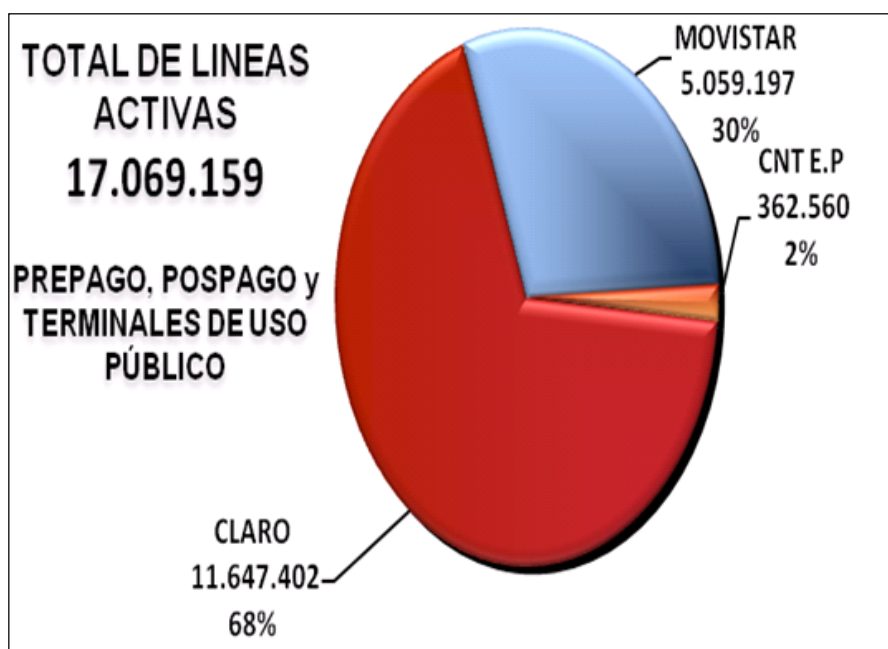


Figura IV- 2: Líneas Activas de SMA en el Ecuador
FUENTE: SENATEL (Julio, 2013)

- **Composición de Líneas Activas Modalidades: Prepago, Pospago y Terminales de Uso Público (TTUP).**

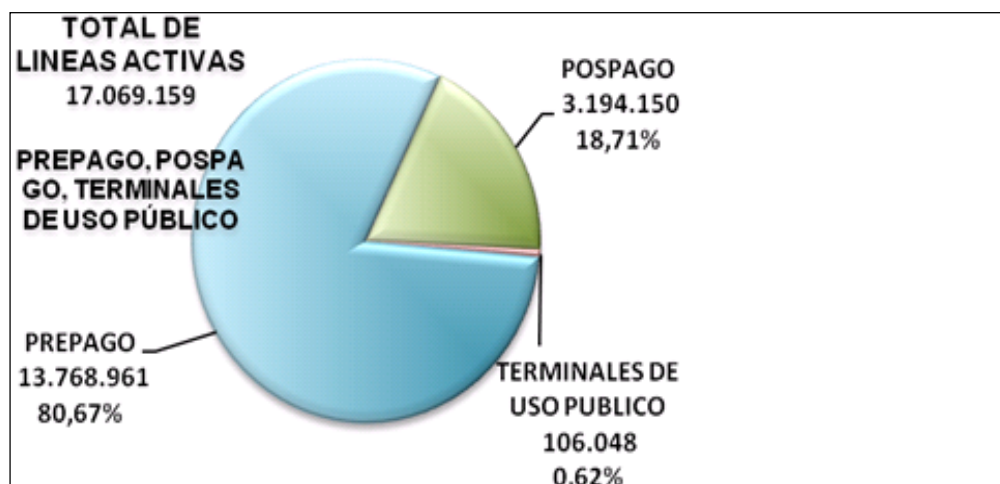


Figura IV- 3: Líneas Activas Modalidades: Prepago, Pospago y TTUP
FUENTE: SENATEL

Como podemos ver en las figuras IV-3 existen tarifas prepago, pospago y terminales de uso público. El 80.67% corresponde a la modalidad prepago, el 18.71% corresponde a la modalidad pospago y un 0.62% corresponden a terminales de uso público.

A continuación se ilustra el porcentaje que tiene cada operadora con respecto a las modalidades mencionadas anteriormente.

En la figura IV-3 (a) se muestra que Movistar representa 48.16%, CNT E.P el 19.08% y claro el 32.76% esto en la modalidad de uso público.

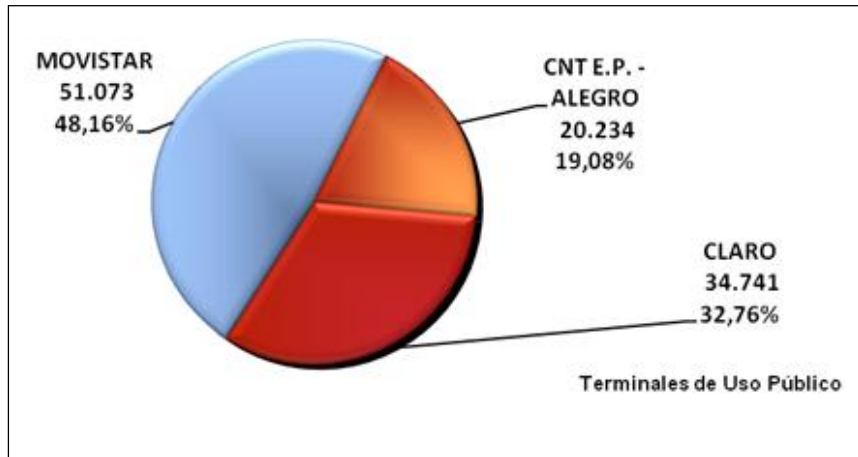


Figura IV- 3(a): Líneas Activas Modalidad TTUP
FUENTE: SENATEL (2013)

En la figura IV-3 (b) se muestra que Movistar representa 27.28%, CNT E.P el 5.42% y claro el 67.29% esto en la modalidad postpago.

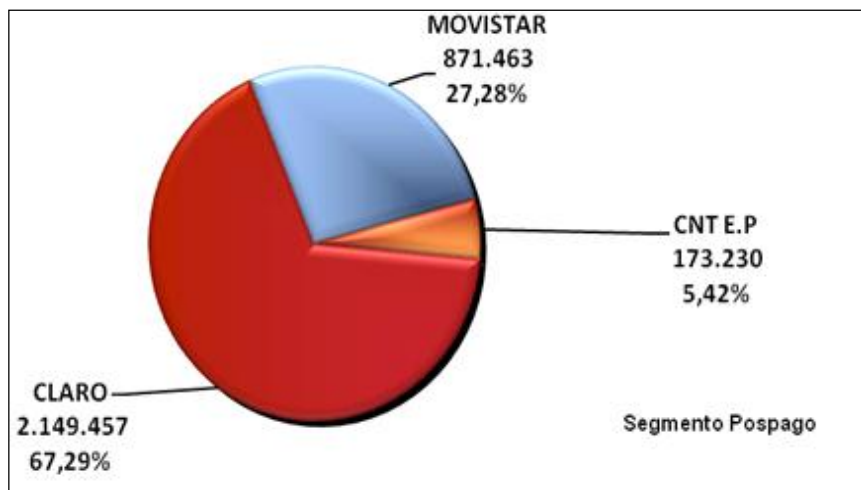


Figura IV- 3 (b): Líneas Activas Modalidad Pospago
FUENTE: SENATEL

En la figura IV-3 (c) se muestra que Movistar representa 30.04%, CNT E.P el 1.23% y claro el 68.73% esto en la modalidad prepago.

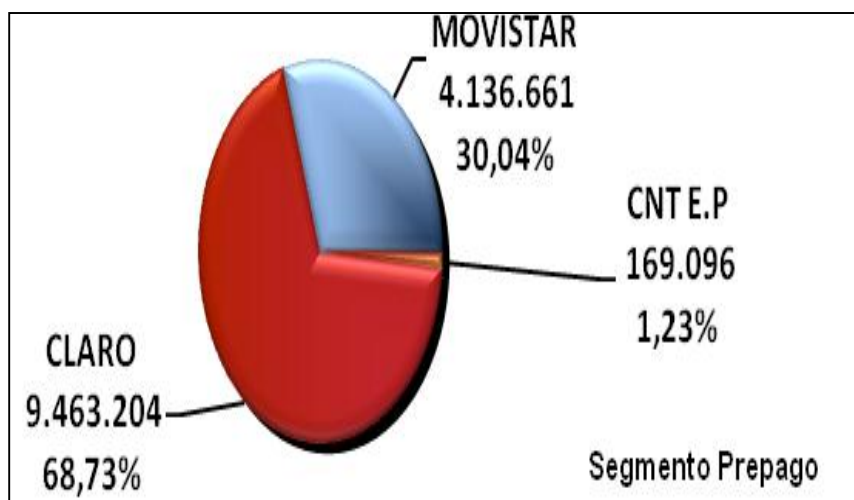


Figura IV- 3 (c): Líneas Activas Modalidad Prepago
FUENTE: SENATEL

▪ **Internet Móvil**

En la tabla IV-VII podemos ver el incremento de usuarios que el servicio de internet móvil ha tenido desde el año 2009 hasta el 2013 en cada una de las operadoras, donde se ve un aumento considerable.

Tabla IV-VII: Incremento de Usuarios de Internet Móvil en el Ecuador

AÑO	CLARO	MOVISTAR	CNT	TOTAL LÍNEAS ACTIVAS DE INTERNET MÓVIL	DENSIDAD INTERNET MÓVIL
2009	90.019	112.303	10.520	212.842	1.52%
2010	1.086.567	193.357	42.930	1.322.854	9.31%
2011	1.104.845	329.576	78.686	1.513.107	10.25%
2012	1.731.966	1.420.528	147.986	3.300.480	21.26%
may-2013	2.087.674	1.417.890	164.375	3.669.939	23.49%

FUENTE: SUPERTEL
ELABORADO POR: Las Autoras

El aumento de líneas en los operadores del servicio móvil avanzado, ha llevado a que se incremente el número de estaciones-base instaladas con la finalidad de

poder manejar el tráfico producido por los usuarios. En la figura IV-4 se detalla el número de estaciones base de la operadora CONECEL S.A.

OPERADORA	TECNOLOGÍA	NÚMERO DE RADIOBASES 2007	NÚMERO DE RADIOBASES 2012
CONECEL S.A.	AMPS/TDMA	197	0
	CDMA	0	0
	GSM 850	1.189	1.856
	GSM 1900	311	1.127
	UMTS	0	1.037
TOTAL		1.697	4.020

Figura IV-4: Número de Estaciones Base CONECEL S.A.
FUENTE: Supertel, 2012

En la figura IV-5 se detalla el número de estaciones base de la operadora OTECEL.

OPERADORA	TECNOLOGÍA	NÚMERO DE RADIOBASES 2007	NÚMERO DE RADIOBASES 2012
OTECCEL S.A.	AMPS/TDMA	215	0
	CDMA	222	0
	GSM 850	711	1.254
	GSM 1900	104	645
	UMTS	0	803
TOTAL		1.252	2.702

Figura IV-5: Número de Estaciones Base OTECEL S.A.
FUENTE: Supertel, 2012

En la figura IV-6 se detalla el número de estaciones base de la operadora CNT E.P.

OPERADORA	TECNOLOGÍA	NÚMERO DE RADIOBASES 2007	NÚMERO DE RADIOBASES 2012
CNT E.P.(EX TELECSA).	AMPS/TDMA	0	0
	CDMA	222	228
	GSM	0	0
TOTAL		222	228

Figura IV-6: Número de Estaciones Base CNT E.P.
FUENTE: Supertel, 2012

4.5 BANDAS IDENTIFICADAS PARA LAS IMT SEGÚN EL REGLAMENTO DE RADIOCOMUNICACIONES DE LA UIT

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT identifica bandas previstas para implementar las IMT, incluidas las IMT-2000 y las IMT-Avanzadas.

Entre las características técnicas fundamentales de las tecnologías IMT-Avanzadas, cabe destacar el uso de las bandas de frecuencias de las IMT para su funcionamiento al igual que la interoperabilidad con las IMT-2000 para permitir la itinerancia mundial. La UIT ha tratado de armonizar en la medida de lo posible el uso de estas bandas IMT a escala mundial, aunque en algunas de estas bandas y en algunas partes del mundo no se ha logrado esta armonización debido a que las necesidades de otros servicios radioeléctricos entran en conflicto. Estas bandas lo podemos ver en la tabla IV-VIII.

Tabla IV- VIII: Bandas identificadas para las IMT

Banda (MHz)	Notas del Cuadro que identifican la banda para las IMT
450-470	5.286AA
698-960	5.312A; 5.313A; 5.317 ^a
1 710-2 025	5.384A, 5.388
2 110-2 200	5.388
2 300-2 400	5.384 ^a
2 500-2 690	5.384 ^a
3 400-3 600	5.430A, 5.432A, 5.432B, 5.433 ^a

FUENTE: UIT-R, Recomendación UIT-R M.1036-4

ELABORADO POR: Las Autoras

4.5.1 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 450-470 MHZ.

Las disposiciones de frecuencias recomendadas en estas bandas, teniendo en cuenta los sistemas móviles públicos existentes, deben aplicarse como se indica en la tabla IV-IX:

Tabla IV- IX: Disposiciones de Frecuencias Apareadas en las Bandas 698-960 MHz

Frequency Arrangements	Paired arrangements				Un-paired arrangements
	Mobile station Transmitter (MHz)	Centre Gap (MHz)	Base station Transmitter (MHz)	Duplex Separation (MHz)	
D1	450.000-454.800	5.2	460.000-464.800	10	None
D2	451.325-455.725	5.6	461.325-465.725	10	None
D3	452.000-456.475	5.525	462.000-466.475	10	None
D4	452.500-457.475	5.025	462.500-467.475	10	None
D5	453.00-457.500	5.5	463.000-467.500	10	None
D6	455.250-459.975	5.275	465.250-469.975	10	None
D7	450.000-457.500	5.0	462.500-470.00	12.5	None
D8					450-470 TDD
D9	450.000-455.00	10.0	465.000-470.000	15	457.500-462.500 TDD
D10	451.000-458.000	3.0	461.000-468.000	10	None

FUENTE: UIT-R, Recomendación UIT-R M.1036-4

ELABORADO POR: Las Autoras

Actualmente esta banda es utilizada para sistemas de Radios de Dos Vías y se está realizando una migración de los usuarios de estos sistemas para permitir la explotación del servicio de Telefonía Fija Inalámbrica en Áreas Rurales mediante la implementación de CDMA-450, además del servicio de Internet

Los rangos de frecuencias concesionadas son 452,500 – 457,475 MHz y 462,500 – 467,475 MHz (las 3 PORTADORAS de la banda A-A') para la operadora CNT.

4.5.2 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 698 - 960 MHZ

La UIT-R en la Recomendación UIT-R M.1036-4 da a conocer la disposición de frecuencias en la banda 698-960 Mhz, teniendo en cuenta los sistemas públicos existentes y deben aplicarse como se indica en la tabla IV-X:

Tabla IV- X: Disposiciones de Frecuencias Apareadas en las Bandas 698-960 MHz

Disposiciones de frecuencias	Estación móvil transmisora (MHz)	Separación central (MHz)	Estación de base transmisora (MHz)	Separación dúplex (MHz)
A1	824-849	20	869-894	45
A2	880-915	10	925-960	45
A3	832-862	11	791-821	41
A4	698-716 776-793	12 13	728-746 746-763	30 30
A5	703-748	10	758-803	55
A6	None	None	None	

FUENTE: UIT-R, Recomendación UIT-R M.1036-4
ELABORADO POR: Las Autoras

En el rango 698 – 806 MHz actualmente se encuentran operando sistemas de televisión codificada terrestre, mismos que podrán continuar operando hasta la fecha en la cual culmine su contrato de concesión, pues, este rango fue recientemente atribuido (mayo 2012) para los servicios Fijo y Móvil y la operación exclusiva de sistemas IMT.

Dentro de los rangos 824–849 MHz y 869–894 MHz están operando sistemas IMT perteneciente al Servicio Móvil Avanzado (SMA).

4.5.3 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 1710- 2200 MHZ

Las disposiciones de frecuencias recomendadas en estas bandas, teniendo en cuenta los sistemas móviles públicos existentes, deben aplicarse como se indica en la tabla IV-XI:

Tabla IV- XI: Disposiciones de Frecuencias en las Bandas 1 710-2 200 MHz.

Disposiciones de frecuencias	Estación móvil transmisora (MHz)	Separación central (MHz)	Estación de base transmisora (MHz)	Separación dúplex (MHz)	Espectro no apareado (por ejemplo, para DDT) (MHz)
B1	1 920-1 980	130	2 110-2 170	190	1 880-1 920; 2 010-2 025
B2	1 710-1 785	20	1 805-1 880	95	Ninguno
B3	1 850-1 910	20	1 930-1 990	80	1 910-1 930
B4 (armonizada con B1 y B2)	1 710-1 785 1 920-1 980	20 130	1 805-1 880 2 110-2 170	95 190	1 900-1 920; 2 010-2 025
B5 (armonizada con B3 y partes de B1 y B2)	1 850-1 910 1 710-1 770	20 340	1 930-1 990 2 110-2 170	80 400	1 910-1 930

FUENTE: UIT-R, Recomendación UIT-R M.1036-4

ELABORADO POR: Las Autoras

El rango 1710-2025 MHz está atribuido para los servicios Fijo y Móvil y la operación exclusiva de sistemas IMT.

Dentro del rango 1850-1910 MHz y 1930-1990 MHz están operando sistemas IMT perteneciente al Servicio Móvil Avanzado (SMA), es importante recalcar que dos bloques de 15+15 MHz se encuentran libres dentro de este rango.

El rango 2110-2200 MHz está atribuido para los servicios Fijo y Móvil y la operación exclusiva de sistemas IMT.

Existen pocos enlaces radioeléctricos auxiliares para el servicio de radiodifusión con emisiones de televisión dentro del rango, los cuales se encuentran en proceso de migración con el objetivo de despejar la totalidad de dicho rango y utilizarlo para servicios IMT.

4.5.4 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 2300-2400 MHZ.

Las disposiciones de frecuencias recomendadas para esta banda, tomando en consideración los sistemas móviles públicos existentes, deben aplicarse como se indica en la tabla IV-XII:

Tabla IV- XII: Disposiciones de Frecuencias en las Bandas 2300-2 400 MHz.

Frequency Arrangement	Paired Arrangements				Un-paired arrangements (for TDD)
	Mobile station transmitter (MHz)	Centre gap (MHz)	Base station transmitter (MHz)	Dúplex separation (MHz)	
E1					2300-2400 TDD

FUENTE: UIT-R, Recomendación UIT-R M.1036-3
ELABORADO POR: Las Autoras

Esta banda está reservada para Seguridad Nacional

4.5.5 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 2500-2690 MHZ.

Las disposiciones de frecuencias recomendadas para esta banda, tomando en consideración los sistemas móviles públicos existentes, deben aplicarse como se indica en la tabla IV-XIII:

Tabla IV- XIII: Disposiciones de Frecuencias en las Bandas 2500–2 690 MHz

Disposición de frecuencia	Transmisor de la estación móvil (EM) (MHz)	Separación central (MHz)	Transmisor de la estación de base (EB) (MHz)	Separación dúplex (MHz)	Utilización de la separación central
C1	2 500-2 570	50	2 620-2 690	120	DDT
C2	2 500-2 570	50	2 620-2 690	120	DL del DDF (externo)
C3	DDF/DDT flexible				

FUENTE: UIT-R, Recomendación UIT-R M.1036-3

ELABORADO POR: Las Autoras

4.5.6 DISPOSICIONES DE FRECUENCIAS EN LAS BANDAS 3400-3600 MHz

Las disposiciones de frecuencias recomendadas para esta banda, tomando en consideración los sistemas móviles públicos existentes, deben aplicarse como se indica en la tabla IV-XIV:

Tabla IV- XIV: Disposiciones de Frecuencias en las Bandas 3 400–3 600 MHz

Frequency Arrangement	Paired Arrangements				Un-paired arrangements (for TDD)
	Mobile station transmitter (MHz)	Centre gap (MHz)	Base station transmitter (MHz)	Dúplex separation (MHz)	
F1					3400-3600
F2	3410-3490	20	3510-3590	100	None

FUENTE: UIT-R, Recomendación UIT-R M.1036-4

ELABORADO POR: Las Autoras

Esta banda actualmente está siendo utilizada por sistemas de acceso fijo inalámbrico para telefonía fija inalámbrica y transmisión de datos

4.6 DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS A NIVEL MUNDIAL

Con el fin de planificar, atribuir y asignar las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, de manera tal que todos los países puedan compartir este recurso limitado en forma adecuada, la Unión Internacional de Telecomunicaciones ha dividido al mundo en tres Regiones, esa división, consta de tres columnas, denominadas: Región 1, Región 2 y Región 3 como se puede observar en la figura:

- REGIÓN 1 conforman Europa, África, El Medio Oriente, Mongolia y las Repúblicas de la ex-Unión Soviética.
- REGIÓN 2 conforman los países de las Américas.
- La REGIÓN 3 conforma el resto del Mundo, principalmente Asia y Oceanía.

Estas regiones se refieren a distintas zonas geográficas. El Ecuador hace parte de la región 2.

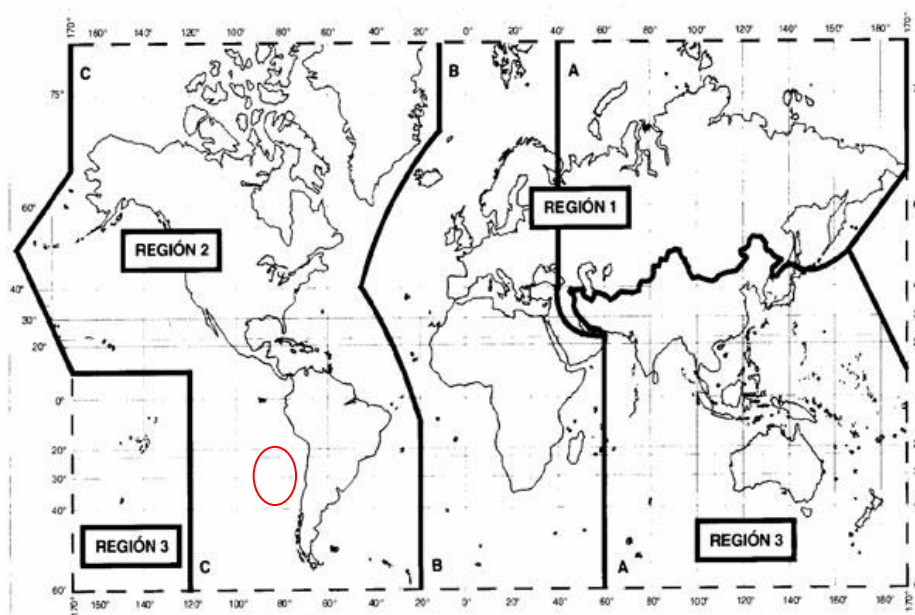


Figura IV-7: Distribución de frecuencias por Regiones
FUENTE: http://ea8nq.ure.es/rr/art05_e.htm

4.7 BANDAS DE FRECUENCIA PARA LOS SISTEMAS IMT EN EL ECUADOR

En base al plan nacional de frecuencias y a la nota nacional EQA.85 se han asignado las siguientes bandas de frecuencia para la operación exclusiva de sistemas IMT para servicios Móvil y Fijo.

En la tabla IV-XV podemos observar las bandas de frecuencia para el sistema IMT.

Tabla IV- XV: Frecuencias para el despliegue del sistema IMT

Bandas MHz
698-806
824-849
1710-2025
2110-2200
2500-2690

FUENTE: CONATEL, Plan Nacional de Frecuencias 2012

ELABORADO POR: Las Autoras

Hay tres bandas principalmente que son recomendadas para el despliegue de LTE en la región entre estas tenemos:

- 700 MHz
- 1700 MHz /2100MHz
- 2.5 GHz

Estas tres bandas en conjunto ofrecen una gran oportunidad para masificar los servicios de banda ancha móvil en Latinoamérica y Ecuador. A continuación se detallan cada una de estas bandas.

4.7.1 BANDA DE 700MHZ

La banda 700, que incluye la distribución de la banda 698 MHz-806 MHz, presenta una serie de beneficios sobre bandas más altas, como podría ser la banda de 2.5 GHz también candidata a ser explotada para la utilización de banda ancha móvil. Esto debido a que las bandas de frecuencias debajo de 1 GHz presentan cualidades muy favorables en cuanto a cobertura y propagación de sus señales, resultando ideales en términos técnicos y económicos para despliegues de redes de servicios de telecomunicaciones inalámbricas.

El principal beneficio es el ahorro de costo desde el punto de inversión que conlleva la banda 700 ya que al ser una frecuencia más baja tiene mayor cobertura por lo que la instalación sería menos costosa permitiendo la penetración, en un mayor porcentaje, de la población. Esto es importante para un país como Ecuador ya que permitiría incrementar el crecimiento de la utilización de datos en zonas rurales y menos pobladas.

- **Segmentación A5 para la Banda de 700MHz**

La segmentación APT (Tele comunidad Asia-Pacífico) es un tipo de segmentación de la banda 698-806 MHz conocida como la banda de 700 MHz y especialmente configurado para el despliegue tecnologías de banda ancha móvil entre estas LTE. En esta segmentación existe en dos variantes, FDD y TDD, que han sido normalizados por el 3GPP y recomendado por la UIT como segmentaciones A5 y A6, respectivamente. La segmentación APT ha sido diseñada para permitir un uso más eficiente de los recursos disponibles del espectro. Por lo tanto este plan divide la banda en bloques contiguos de frecuencias que son tan grandes como sea

posible teniendo en cuenta la necesidad de evitar interferencias con los servicios en otras bandas de frecuencia. La opción TDD (segmentación A6) incluye 100 MHz de espectro continuo, mientras que la opción FDD (segmentación A5) comprende dos grandes bloques:

- 45 MHz para la transmisión de enlace ascendente en la parte inferior de la banda.
- 45 MHz para la transmisión de enlace descendente en la parte superior.

Ambos esquemas FDD y TDD para la banda de 700 MHz incluyen bandas de guarda de 5 MHz y 3 MHz en sus bordes inferior y superior, respectivamente. La versión FDD también incluye un centro de brecha de 10 MHz. Las bandas de guarda sirven el propósito de mitigar la interferencia con las bandas adyacentes, mientras que se requiere la brecha centro FDD para evitar la interferencia entre transmisiones de enlace descendente y de enlace ascendente.

El CONATEL mediante resolución RTV-268-11-CONATEL-2012 de 15 de Mayo de 2012 aprobó la modificación el cuadro de atribuciones del plan Nacional de Frecuencias correspondiente al rango de 698-806 MHz, a fin de que operen Sistemas IMT, además mediante Resolución RTV-679-24-CONATEL-2012 del 18 de Octubre del 2102, resolvió adoptar el esquema de Segmentación A5 para el rango de frecuencias 698-806 MHz, propuesto por la Tele comunidad Asia-Pacífico (APT), como podemos observar en la figura IV-8:



Figura IV-8: Segmentación A5 para la Banda de 700MHz
FUENTE: CONATEL, Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012

4.7.2 BANDAS 1700 MHz /2100MHz

La banda 1700MHz/2100MHz conocida como AWS (Advanced Wireless Services), esta banda se compone de 1700MHz y 2100MHz (1700 para upload y 2100 para download) y son bandas de capacidad, porque ofrecen una gran cantidad de espectro que permite acomodar muchos operadores, el Ecuador ha adoptado la segmentación B5 en la banda AWS como se muestra a continuación

- **Segmentación B5 para la Banda AWS 1700/2100 MHz**

El Ecuador mediante la resolución TEL.804-29-CONATEL-2012 del 12 de Diciembre del 2012 resolvió en el artículo 2 adoptar el esquema de segmentación B5 para la banda de que está formada por una frecuencia apareada de 1700 MHz con 2100 MHz.

La segmentación B5 utiliza frecuencias en dos segmentos: 1710-1770 MHz para el enlace ascendente, y 2110 a 2170 MHz para enlace descendente, como se puede observar en la figura IV-9:

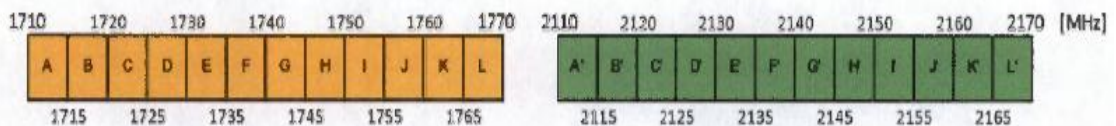


Figura IV-9: Segmentación B5 para la Banda AWS
FUENTE: CONATEL, Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012

4.7.3 BANDA 2.5 GHz

La Banda de 2.5 GHz tiende a definirse como aquel segmento que va de los 2500 a los 2690 MHz y contiene 190 MHz continuos. Dadas las tecnologías disponibles actualmente, y la amplitud de la banda, hacen a ésta idónea para la prestación de servicios de telecomunicaciones móviles avanzados, particularmente, de banda ancha, que demandan alta capacidad de red y se caracterizan por mayores velocidades de transmisión.

Dadas sus características técnicas, de menor rango de propagación de la señal en relación con las frecuencias menores a 1 GHz y una menor capacidad para penetrar en interiores, tiende a considerarse como banda complementaria de aquéllas en las cuales se prestan los servicios de telefonía móvil (Bandas de 800, 1700 y 1900 MHz), resultando ideal para desplegar redes en zonas urbanas y suburbanas, en donde se requiere ofrecer mayor capacidad de red y mayores velocidades de transmisión y no la más adecuada para cubrir zonas rurales, debido a que demanda la instalación de mayor infraestructura, respecto a las bandas del espectro radioeléctrico menores a 1 GHz. La UIT ha propuesto tres opciones de segmentación de la Banda de 2.5 GHz, que son C1, C2 y C3 de las cuales el Ecuador ha adoptado la segmentación C1.

- **Segmentación C1 para la Banda 2.5 GHz**

El CONATEL Mediante la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 del 12 de Diciembre del 2012 resolvió en el artículo 2 adoptar el esquema de segmentación C1 como se puede observar en la figura IV-10 para la banda de 2.5 GHz.

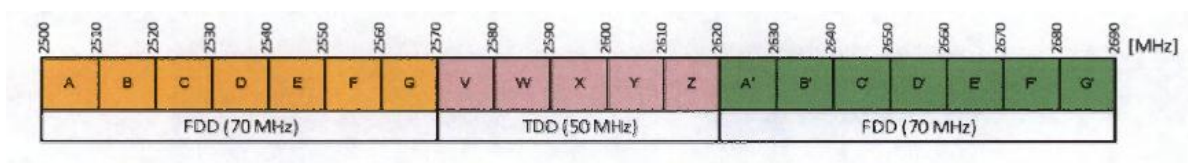


Figura IV-10: Segmentación C1 para la Banda de 2.5 GHz
FUENTE: CONATEL, Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012

La segmentación C1, divide las bandas de frecuencias para Uplink en el rango de 2500-2570 MHz agrupadas con bandas en el rango de 2620 – 2690 para el Downlink esto es para el uso en modo FDD, con una separación dúplex de 120 MHz, y la banda en el rango 2570-2620 MHz para el uso en modo TDD.

CAPÍTULO V

5. ESTUDIO TÉCNICO DE LA TECNOLOGÍA LTE-A PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL ECUADOR

5.1 MIGRACIÓN DE LAS OPERADORAS HACIA LTE-A

5.1.1 TECNOLOGÍA HSPA +

HSPA+ se estandarizó por primera vez en la versión Release 7 del 3GPP y su estandarización continuó hasta la versión del Release 10, esta tecnología soporta velocidades de datos máximas de 28 Mbps hasta de 42 Mbps en el enlace de bajada y de 11 Mbps hasta 22 Mbps en el enlace ascendente utilizando múltiples portadoras, pero como ha ido evolucionando su velocidad puede llegar hasta 672 Mbps según lo propuesto para el Release 11 de 3GPP, utilizando técnicas avanzadas de antena, las cuales representan velocidades teóricas pico, mejorando así la capacidad de UMTS, dando también un mayor soporte de servicios en tiempo

real como voz sobre IP (VoIP), juegos en línea y push-to-talk (PTT) para teléfonos o dispositivos móviles, utiliza tecnologías MIMO, modulación de orden superior (HOM) como 64QAM y Multicarrier. HSPA+ también introduce una arquitectura opcional IP para las redes cuyas estaciones base estén conectadas directamente a un backhaul IP y en seguida al enrutador del ISP. Asimismo, esta tecnología permite un ahorro importante de batería y un acceso más rápido al contenido, ya que mantiene una conexión permanente.

A continuación se detallan algunas de sus funcionalidades:

- Las optimizaciones a HSPA+ son compatibles en sentido reverso con UMTS Release 99/Release 5/Release 6.
- HSPA+ aumenta significativamente la capacidad de HSPA, y reduce la latencia por debajo de los 50 ms.
- HSPA+ con 64 QAM y técnicas de antena avanzadas tales como 2X2 MIMO puede entregar 42 Mbps de capacidad teórica y 11.5 Mbps en el Uplink.
- HSPA+ es compatible con LTE y facilita la operación de ambas tecnologías. Así, los operadores pueden aprovechar la opción SAE/EPC planificada para LTE.
- HSPA+ da soporte a servicios de voz y de datos en la misma portadora y a lo ancho de todo el espectro de radio disponible, y ofrece estos servicios de manera simultánea a los usuarios.

La evolución de funcionalidades del 3GPP Release 7 a Release 10 impulsó las tasas de datos máximas posibles de HSPA+ de 14 Mbps a 168 Mbps. Sin embargo continúan mejorando en el Release 11 del 3GPP ya que nuevamente duplicarán esta capacidad a una tasa de datos máxima posible de 336 Mbps como se detalla a continuación y lo podemos ver en la figura V-1:

- Rel-7: 64QAM o 2X2 MIMO => 21 o 28 Mbps
- Rel-8: DC + 64QAM o 2X2 MIMO + 64QAM => 42 Mbps
- Rel-9: DC + 2X2 MIMO + 64QAM => 84 Mbps
- Rel-10: 4C + 2X2 MIMO + 64QAM => 168 Mbps
- Rel-11: (8C o 4X4 MIMO) + 64QAM => 336 Mbps

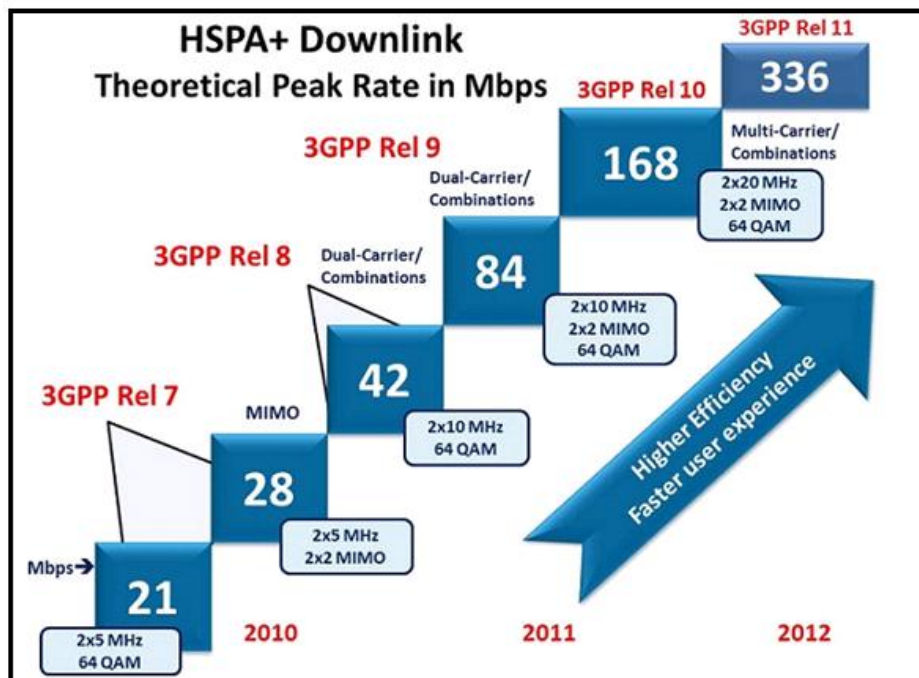


Figura V- 1: HSPA+ Enlace Descendente, Tasas máximas teóricas en Mbps
FUENTE: 4G AMERICAS "HSPA+: Acceso A Paquetes A Alta Velocidad Plus" (2013)

Esto en velocidades teóricas, ya que la velocidad real obtenida por el usuario es sensiblemente inferior a la anunciada debido a que esta se ve influida por el ancho de banda consumido por los protocolos, por las condiciones radioeléctricas (nivel de cobertura), la cantidad de usuarios simultáneos y la saturación del enlace de la estación base con la red troncal de la operadora.

MIMO Y MODULACIÓN DE ORDEN SUPERIOR (HOM) EN HSPA+

HSPA+ utiliza tecnologías MIMO 2x2 como se puede ver en la figura V-2, que es uno de los componentes principales para que HSPA+ pueda ofrecer las velocidades mencionadas anteriormente. Por lo tanto se puede aprovechar el procesamiento de múltiples antenas tanto en el transmisor y receptor, también incluye modulación de orden superior para incrementar la velocidad sin aumentar el ancho de banda de transmisión.

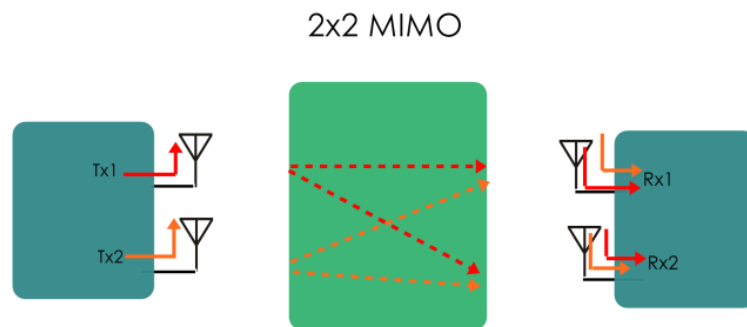


Figura V- 2: MIMO 2x2
FUENTE: Cisco "MIMO 2x2" (2012)
ELABORADO POR: Las Autoras

EVOLUCIÓN DE HSPA+

En este apartado analizaremos la evolución que ha tenido HSPA+; en el Release 7 HSPA+ usa la tecnología MIMO entre las principales mejoras tenemos: utilización de 64 QAM para la modulación, conexión de paquetes continua para usuarios de datos (CPC), y el uso de múltiples antenas MIMO en los receptores.

- **Modulación de amplitud en cuadratura (QAM):** Es una técnica que transporta datos, mediante la modulación de la señal portadora, tanto en amplitud como en fase.

Una de las funciones que se han añadido a HSPA + en el Release 8 es el Dual Cell HSDPA+ o también conocido como Dual Carrier HSDPA+ (DC-HSDPA+), donde se añade la agregación de portadoras (CA) de dos bandas adyacentes de 5MHz, que cubren la misma área, aumentando de esta manera el rendimiento, como podemos ver en la figura V-3.

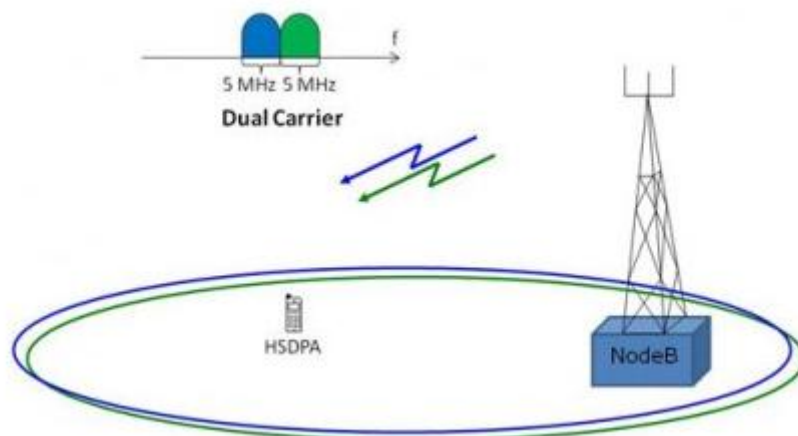


Figura V- 3: Dual Carrier HSPA+
FUENTE: 3GPP "HSPA" (2013)

A diferencia de HSPA+ del Release 7 como podemos ver en la figura V-4 la conexión se realiza a dos celdas o Carriers en forma simultánea y de ahí el nombre dual. La red Dual Carrier HSDPA+ tiene el doble de capacidad que la red HSPA+, lo que permite tener el doble de velocidad y el doble de mejora.

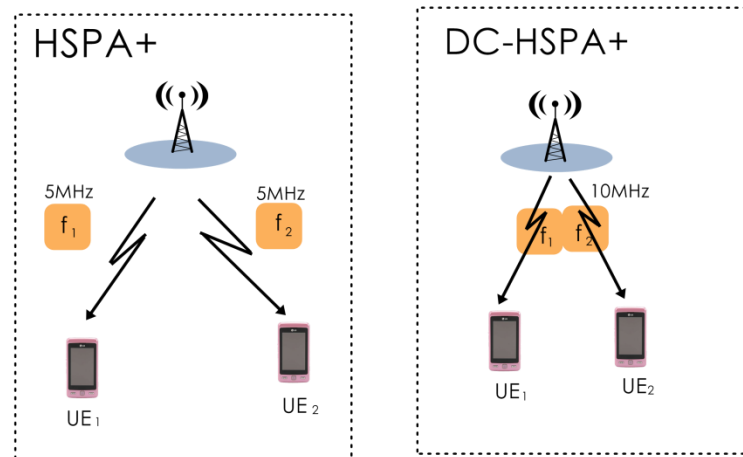


Figura V- 4: Comparación HSPA+ vs. DC-HSPA+
FUENTE: Tecnoinfopy.blogspot.com "HSPA+" (2012)
ELABORADO POR: Las Autoras

El Release 9 también está diseñado para soportar multicarrier en el enlace ascendente y como una mejora se da el uso simultaneo de múltiples bandas, se combina MIMO 2x2 con multicarrier ofreciendo una velocidad de 84 Mbps en el enlace descendente y 23 Mbps en el enlace ascendente con UL multicarrier. En el Release 10 se da una mejora con la Operación de 4 portadoras en el enlace descendente.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO DE BANDA ANCHA (WCDMA)

HSPA + mejora ampliamente utilizando WCDMA (UMTS), basada en redes 3G con velocidades más altas para el usuario final que son comparables a las nuevas redes LTE.

W-CDMA basada en CDMA tiene un ancho de banda de portadora de 5 MHz, utiliza la técnica de espectro ensanchado para lograr una señal resistente a las interferencias, en la figura V-5 podemos ver el esquema de WCDMA.

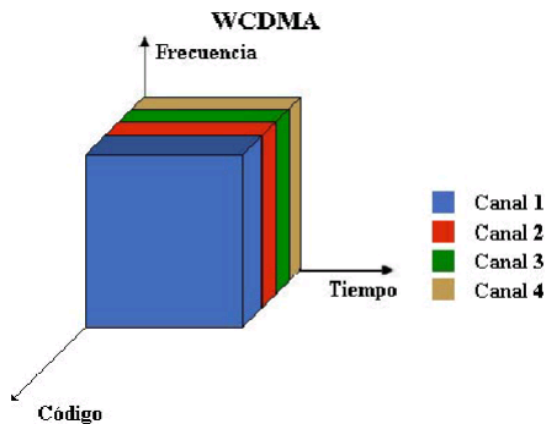


Figura V- 5: Esquema WCDMA
FUENTE: bibing.us.es "WCDMA" (2012)

Se hace una división asignando a cada usuario un código diferente con la finalidad que múltiples usuarios puedan transmitir de manera simultánea sobre el mismo canal es decir que varios usuarios comparten una misma portadora.

5.1.2 ARQUITECTURA HSPA +

Con la introducción de HSPA + hay un cambio relevante a nivel de radio, lo que permite duplicar las tasa de bit respecto a HSPA, con esto se reduce la latencia y el consumo de potencia en las terminales de usuario. En la red de Core, se presenta la simplificación de la arquitectura de acceso a la red de paquetes y se presenta a IMS como un elemento de red que controla todos los tipos de acceso IP, en esta etapa ya se consideran los accesos WLAN y banda ancha.

La arquitectura sufre algunas modificaciones de red como podemos observar en la figura V-6.

- Túnel Directo
- Nodo B con funciones de RNC

Túnel directo

El objetivo del túnel directo (One Tunnel), básicamente es separar las funciones de control de las de transporte en la red de Paquetes Conmutados. En esencia, se tiene un controlador SGSN que se encarga de las funciones de control tradicionales y se tienen GGSNs mejorados, capaces de asumir las funciones de transporte que previamente realizaban conjuntamente el SGSN y el GGSN. De esta manera se permite crear túneles GTP directamente entre los RNCs/BSSs y los GGSNs.

- Serving GPRS Support Node (SGSN) es responsable de la entrega de paquetes de datos desde y hacia las estaciones móviles dentro de su área de servicio geográfica. Funciona en conjunto con la puerta de enlace de Gateway GPRS Support Node (GGSN) para mantener la conexión de un usuario móvil a Internet y aplicaciones móviles basadas en paquetes.
- Gateway GPRS Support Node (GGSN) interactúa con la red externa de datos a través de la interfaz Gi. Convierte los paquetes GPRS provenientes del SGSN en el formato correspondiente a la red externa de datos, efectuando después el envío de los mismos, también redirecciona los paquetes que llegan de las redes externas y los envía al SGSN que corresponda, esto lo hace a través de la interfaz Gn. En general realiza funciones de enrutamiento de paquetes entre la red interna y externa que incluyen funciones de autenticación de usuarios móviles con las redes de

paquetes externas. El tráfico de plano de usuario entre GGSN y el NB o RNC es llevado a través de la interfaz Gn en configuración de túnel directo.

Nodo B con funciones de RNC

Las funciones necesarias para el establecimiento de los túneles GTP se trasladan al nodo B, de forma tal que puede omitirse la RNC en la arquitectura.

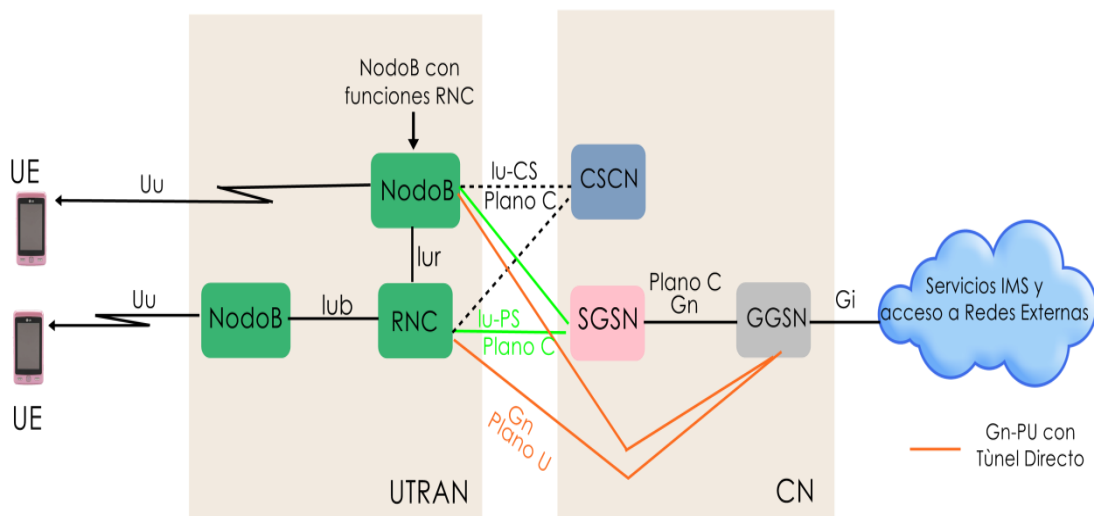


Figura V- 6: Arquitectura HSPA+
FUENTE: Startseite TU Ilmenau“HSPA+” (2011)
ELABORADO POR: Las Autoras

5.1.3 MIGRACIÓN DE HSPA+ HACIA LTE-A

- **COMPARACIÓN DE HSPA+ Y LTE-A**

En vista de que LTE-A tiene una arquitectura similar a HSPA+, como se ve en la figura V-7, procedemos a comparar estas dos arquitecturas, a nivel de dominio de usuario, red de acceso de radio, red troncal, técnicas multiantenas y acceso al medio.

- **Domino de Usuario**

HSPA+ y LTE-A tienen los equipos de usuarios (UEs) en su arquitectura.

- **Red de acceso de radio**

HSPA+ está formado por los HSPA+ Evolved Node y se diferencia de la red de acceso E-UTRAN de LTE-A en las funciones que realiza el RNC en el eNB.

- **Red Troncal**

La red troncal para HSPA+ se conoce como Núcleo de Red (RC) que está formado por SGSN y por el GGSN y la red troncal para LTE-A se la conoce como Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPS) que está formada por MME, S-GW, P-GW.

- **Técnicas Multiantenas**

La técnica MIMO utilizada tanto para HSPA+ y LTE-A es vital ya que permite aumentar la eficiencia espectral. HSPA+ usa MIMO con un máximo de dos antenas, es decir MIMO 2x2 solo en el enlace descendente en cambio LTE-A utiliza MIMO mejorado constituido por SU-MIMO, MU-MIMO, MIMO Cooperativo, conjuntamente con MIMO tenemos Agregación de portadoras (CA) que permite aumentar la tasa de datos y reducir la latencia para los usuarios, logrando incrementar los anchos de banda tanto para UL como para DL y en HSPA+ tenemos el DC-HSPA+ permite duplicar la capacidad de la red de HSPA+, soporta también multicarrier en el enlace ascendente, puede agrupar hasta 5 componentes portadoras de 5MHz.

- **Acceso al medio**

HSPA+ utiliza CDMA tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente en cambio LTE-A utiliza OFDMA para el enlace descendente y SC-OFDMA para el enlace ascendente.

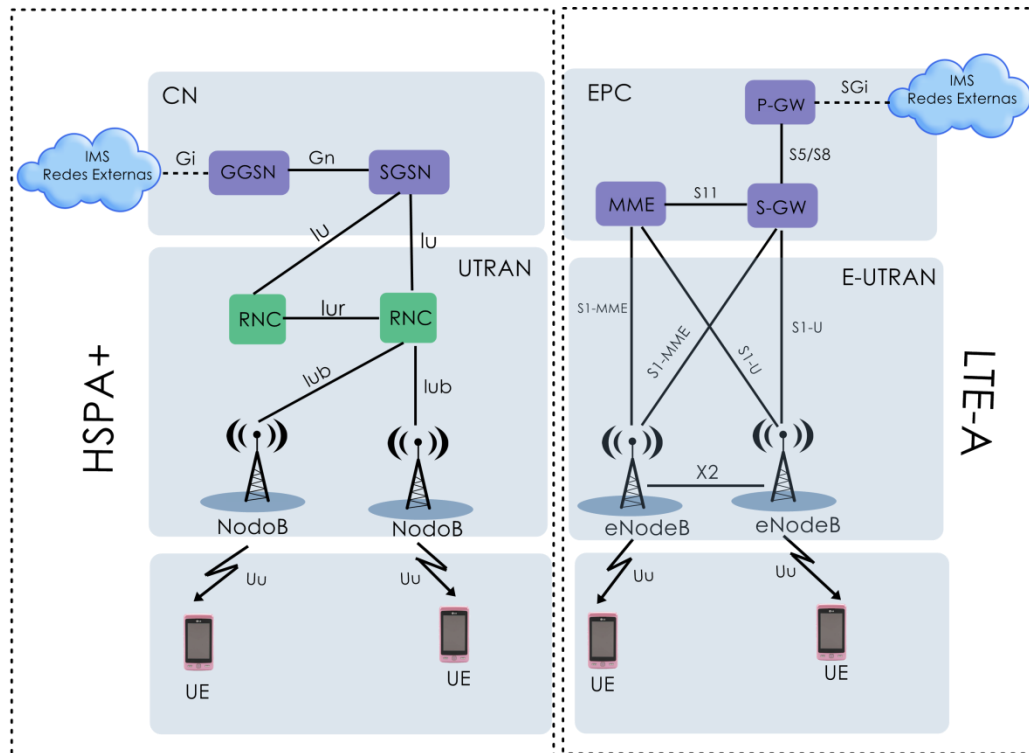


Figura V- 7: Arquitectura HSPA+ vs. LTE-Advanced
ELABORADO POR: Las Autoras

- **MEJORAS QUE SE DEBEN HACER EN LA RED HSPA+ PARA MIGRAR HACIA LTE-A**

Después de haber comparado y analizado estas dos tecnologías podemos decir que dentro de su arquitectura tienen cosas en común que permitirán su migración, ya que LTE-A se ha diseñado de modo que tenga compatibilidad con versiones anteriores. Este proceso de migración se realizará paulatinamente.

A continuación analizaremos el cambio o las mejoras que se debe hacer en la arquitectura HSPA+ para que sea factible la migración a LTE-A en lo que se refiere a equipos de usuario, red de acceso de radio, red troncal, técnicas multiantenas y acceso al medio, como podemos ver en la figura V-8 en donde se propone una arquitectura que integre HSPA+ y LTE-A, cada una de las partes de la red se detallan a continuación:

- **Equipos de Usuario**

Los UEs deben soportar las dos tecnologías de radio, operaciones de movilidad y las nuevas bandas de frecuencias asignadas.

- **Red de Acceso de Radio**

El UTRAN debe desempeñar las mismas medidas de control y funciones de análisis que el E-UTRAN así como también el transporte de información de Handover.

Los eNBs de E-UTRAN deben desempeñar las funciones del Nodo B y también las del RNC para la gestión de recursos de radio, las celdas vecinas de otras redes deben ser configuradas en cada eNB para la movilidad entre las celdas y optimizar la comunicación entre los UEs.

- **Red Troncal.**

Para soportar movilidad entre redes, el MME necesitará señalización con el SGSN, este proceso de señalización es la misma que hay entre dos MMEs.

El SGSN mantiene funciones como controlar nodos en el núcleo de la red y tiene funciones similares al MME. El SGSN necesita actualizar el software para soportar el cambio de S-GWs.

El S-GW funciona en los procesos del handover de los eNBs, en las operaciones de la movilidad el S-GW se comporta como un GGSN para lo cual requiere una actualización del software. El SGSN migra a Release 8 donde tiene que soportar dos nuevas interfaces S3 y S4 que son interfaces internas, S3 es la interfaz entre MME y el SGSN y es análoga a la interfaz Gn. La interfaz S4 es totalmente nueva para SGSN y similar a la interfaz S11, adicionalmente hay dos interfaces nuevas S6d y S12, S6 se utiliza para el acceso a la base de datos HSS desde la red HSPA+ y la interfaz S12 permite la conexión directa entre el EPC y UTRAN.

P-GW es el que permite la conexión con las redes externas, para que un equipo pueda comunicarse en una red 4G el SGSN se comunica con P-GW a través de S-GW.

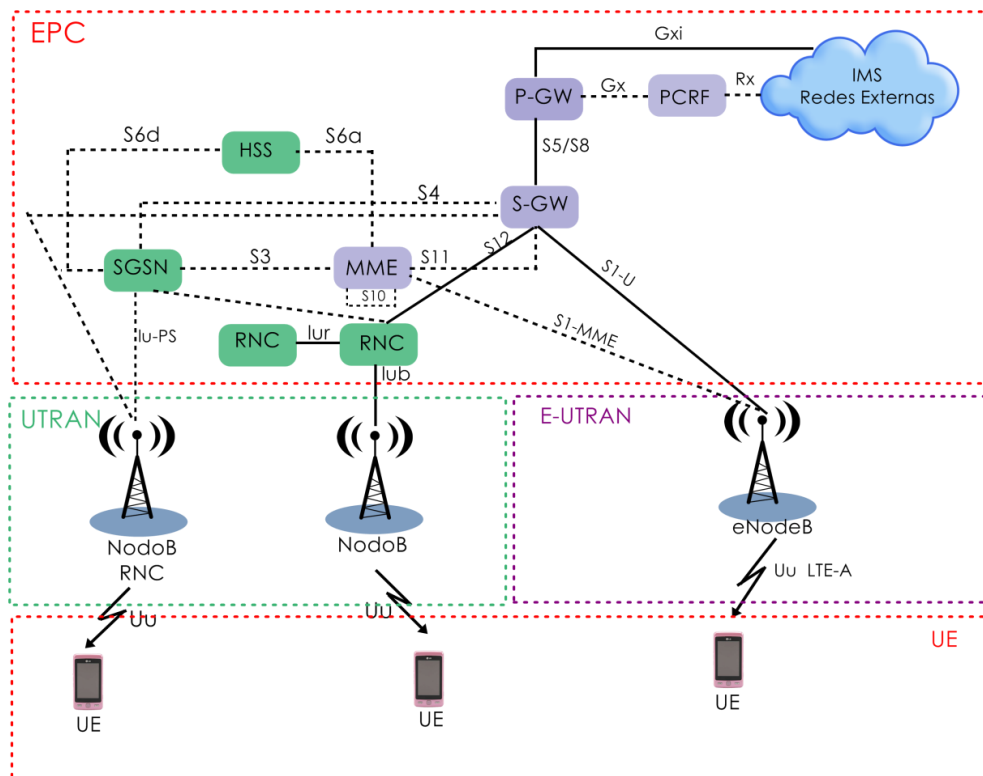


Figura V- 8: Integración de las Arquitecturas HSPA+ y LTE-Advanced
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA
ELABORADO POR: Las Autoras

Las tres operadoras del Servicio Móvil Avanzado en el Ecuador, CLARO, MOVISTAR y CNT.EP al momento ya disponen de la tecnología HSPA+ siendo un punto a su favor para el proceso de migración hacia LTE-A ya que sus redes pueden ser interconectadas a una red LTE, mediante la interconexión al núcleo de la red LTE con RNC a través de las interfaces definidas para tal efecto. En los elementos de la UTRAN deben realizarse ciertas configuraciones y actualizaciones a fin de que pueda trabajar conjuntamente con el E-UTRAN.

5.2 PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS

De acuerdo a las bandas de frecuencias detalladas en el capítulo 4, cada una de las tres operadoras necesariamente requiere que el Estado asigne bandas en las

que puede operar esta tecnología siendo la asignación de frecuencias el principal obstáculo debido a que existen varias bandas de frecuencia en las que se puede implementar LTE pero muchas de ellas ya están en uso por otras tecnologías celulares mientras que otras están siendo liberadas y reasignadas.

Se debe asignar el espectro evitando las interferencias con otras bandas o dispositivos utilizados de forma masiva, aprovechando los recursos del espectro para una buena propagación y permitiendo su uso eficiente sin desperdiciar el recurso.

5.2.1 ESPECTRO OTORGADO A LA CNT-E.P. PARA OFRECER SERVICIOS 4G.

El Gobierno Nacional, a través del CONATEL mediante resolución TEL-804-29-CONATEL-2012, del 12 de Diciembre del 2012 según los artículos 4 y 5 resolvió lo siguiente:

Artículo 4. “ 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 afecto. ”

Artículo 5. 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

1710-1730MHz (UPLINK) y 2110-2130 MHz (DOWNLINK) 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 una vez que estos hayan migrado de acuerdo a las resoluciones emitidas por el CONATEL. Las condiciones y exigencias por el otorgamiento de este espectro serán autorizadas por el CONATEL sobre la base del informe de la comisión conformada para este efecto.

Por lo tanto la empresa pública CNT E.P cuenta con 30MHz en la banda de 700 MHz a nivel nacional, y 40MHz en las bandas AWS, con el objetivo de desplegar redes de telecomunicaciones de nuevas tecnologías, facilitando la introducción de servicios de banda ancha móvil.

Sin embargo en la asignación del espectro el ente regulador excluyó a los dos principales operadores móviles del mercado ecuatoriano Claro y Movistar lo cual influye en el crecimiento de LTE a corto plazo, teniendo en cuenta las demoras que ha mostrado la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) en la implementación de nuevas tecnologías.

Con esto el CONATEL trata de fortalecer la posición competitiva de CNT frente a sus competidores móviles, posicionándose como el operador móvil con mayor cantidad de espectro en el mercado y el único con participación en las bandas de 700 MHz y 1,7/2,1 GHz. entre las más propicias para servicios de banda ancha móvil 4G.

Una vez que la CNT E.P cuenta con bandas de frecuencias disponible para el despliegue de LTE, esta operadora empezará a implementar dicha tecnología.

Alcatel Lucent es la empresa que proveerá conectividad para el despliegue de la red 4G a CNT E.P, estas dos compañías firmaron en julio del 2013 el contrato que le permitirá desplegar la red 4G en la región de la Costa y sur del país. A este contrato se suma Huawei, una empresa de origen chino, que dará cobertura en la zona noreste del país.

5.2.2 SOLUCIONES PARA LAS OPERADORAS CONECEL S. A Y OTECEL S.A.

Las operadoras CONECEL S.A y OTECEL S.A llevan algunos años haciendo el pedido de la asignación de espectro para LTE, la operadora CONECEL S.A (CLARO) ha hecho este pedido desde el 31 de Octubre del 2011 que dice “*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.*”, lo podemos ver en la tabla V-I.

Tabla V- I: Requerimiento de CONECEL S.A. para las bandas de LTE

Alternativa	Banda de Frecuencia	Número de Portadoras	Ancho de Banda solicitado x portadora	Separación Dúplex	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

FUENTE: Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012

ELABORADO POR: Las Autoras

De igual manera la operadora OTECEL S.A. solicitó se le asigne espectro para el despliegue de tecnología 4G, y que mediante resolución TEL-804-29-CONATEL-

2012 dice *“Mediante oficio VPR-2285-2011 del 11 de febrero del 2011, ingresado con trámite N° 47445 el 24 de febrero del 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 700MHz, 1700 MHz, 1900MHz o 2100 MHz dependiendo de la situación de cada banda y las necesidades, sin perjuicio de considerar otros segmentos del Plan Nacional de Telecomunicaciones”*

Mediante Resolución TEL-805-29-CONATEL-2012, del 12 de diciembre del 2012, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones conformó una Comisión Interinstitucional integrada por el MINTEL, SENATEL Y SENPLADES, a fin de que presente para conocimiento del CONATEL, alternativas de asignación de espectro radioeléctrico en la banda de 190MHz, en función de los objetivos del Plan Nacional de Banda Ancha y las condiciones del mercado de SMA, suspendiendo el trámite de las solicitudes de CONECEL S.A. y OTECEL S.A. de otorgamiento de espectro adicional en la banda 1900MHz hasta que la comisión presente el informe respectivo.

Según la Resolución TEL-390-19-CONATEL-2013, del 16 de agosto de 2013, el CONATEL aprobó la conformación de la Comisión Negociadora, que estará encargada de establecer las condiciones, términos y plazos sobre los cuales el Estado ecuatoriano asignará el espectro radioeléctrico en la banda 1900 MHz, precautelando sus intereses, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente. Para este efecto, la Comisión tendrá el plazo de 90 días.

Una vez que la Comisión de Negociación presente el informe al CONATEL, este Organismo considerará el otorgamiento de espectro adicional en la banda 1900 MHz a las empresas CONECEL S.A. y OTECEL S.A.

Este pedido ha sido analizado desde dos puntos de vista, la primera orientada a la cobertura y oferta de servicios, la segunda a garantizar la calidad, asequibilidad, y operatividad de los servicios móviles, por tanto se espera que el Estado Ecuatoriano aumente el espectro radioeléctrico en la banda de 1900 MHz a los operadores privados CONECEL S.A Y OTECEL S.A.

El aumento de espectro en la banda de 1900MHz permitirá mejorar las condiciones de calidad de servicio en cuanto a capacidad de acceso, inclusión de nuevos usuarios y operatividad del servicio y puede ser una opción para desplegar servicios 4G.

Una solución para que las operadoras privadas puedan desplegar la tecnología LTE sería otorgarles frecuencias en las bandas de 700MHz y 1700/2100MHz en la misma cantidad asignada a la CNT E.P., de tal forma que esta distribución sea equitativa tanto para las operadoras públicas como privadas y se fomente la libre competencia.

Esta asignación podría ser distribuida de la siguiente manera:

- **BANDA DE 700MHz:** Se asignará a cada operadora 30 MHz, de la siguiente manera:

Los bloques A-A', B-B' y C-C' correspondientes a los rangos 703MHz-718MHz para el UPLINK y 758MHz-773MHz para Downlink para la operadora CONECEL S.A.

Los bloques D-D', E-E' y F-F' correspondientes a los rangos 718MHz-733MHz para el UPLINK y 773MHz-788MHz para Downlink para la operadora OTECEL S.A. como podemos ver en la figura V-9:

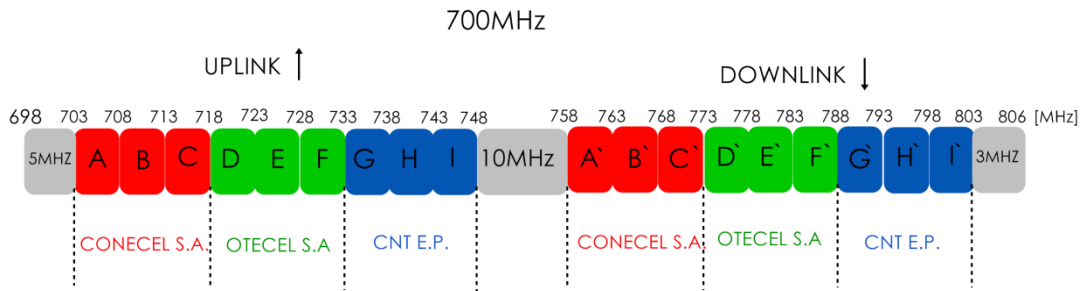


Figura V- 9: Canalización de la banda de 700MHz para las operadora privadas.
ELABORADO POR: Las Autoras

- **BANDA DE 1700MHz/2100MHz:** Se asignará a cada operadora 40 MHz, de la siguiente manera:

Los bloques E-E', F-F', G-G' y H-H' correspondientes a los rangos 1730MHz-1750MHz para el UPLINK y 2130MHz-2150MHz para Downlink para la operadora OTECEL S.A.

Los bloques I-I', J-J', K-K' y L-L' correspondientes a los rangos 1750MHz-1770MHz para el UPLINK y 2150MHz-2170MHz para Downlink para la operadora CONECEL S.A. como podemos ver en la figura V-10:

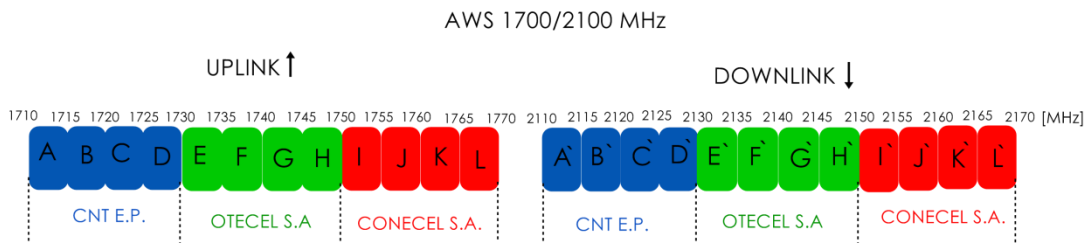


Figura V- 10: Canalización de la Banda AWS para las Operadora Privadas.
ELABORADO POR: Las Autoras

- **BANDA 2.5 GHz:** En la banda de 2.5 GHz se podría asignar 40MHz de espectro en el modo FDD y 10 MHz en el modo TDD y se podría distribuir de la siguiente manera:

Modo FDD

Asignar los bloques A-A' y B-B', para CONECEL S.A. correspondientes a los rangos de 2520MHz-2540MHz para el Uplink, y 2620MHz-2640MHz para el Downlink.

Asignar los bloques C-C' y D-D', para OTECEL S.A. correspondientes a los rangos de 2520MHz-2540MHz para el Uplink, y 2640MHz-2660MHz para el Downlink.

Asignar los bloques E-E' y F-F', para CNT E.P. correspondientes a los rangos de 2540MHz-2560MHz para el Uplink, y 2660MHz-2680MHz para el Downlink como se puede ver en la figura V-11.

Modo TDD

Asignar el bloque Z para CONECEL S.A.

Asignar el bloque X para OTECEL S.A.

Asignar el bloque V para CNT E.P.

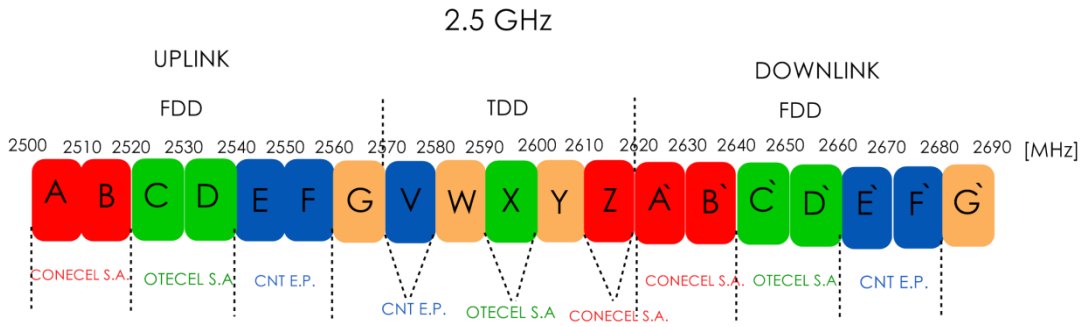


Figura V- 11: Canalización de la Banda de 2.5 GHz para las 3 Operadoras del Ecuador.
ELABORADO POR: Las Autoras

- **BANDA 1900 MHz:** En la banda de 1900 MHz, los bloques A-A' y B-B' se encuentran libres por lo tanto otra solución sería otorgarles 15 MHz de frecuencias adicionales de la banda de 1900 MHz distribuidos de la siguiente manera:

En los bloques A-A', correspondientes a los rangos de 1850-1865 MHz para uplink y 1930 MHz – 1945 MHz para el Downlink para la operadora OTECEL S.A. como se puede ver en la figura 5.12.

En los bloques B-B', correspondientes a los rangos de 1870-1885 MHz para uplink y 1950 MHz – 1965 MHz para el Downlink para la operadora CONECEL S.A. como se puede ver en la figura V-12.

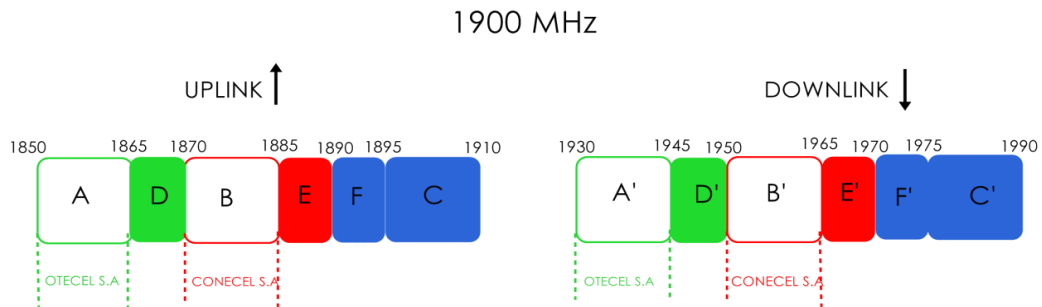


Figura V- 12: Canalización de la Banda de 1900 MHz para las Operadoras Privadas.
ELABORADO POR: Las Autoras

5.3 EQUIPOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LTE

En este apartado se analizará un punto clave en la migración hacia LTE, se trata de los terminales tanto para la red como para los usuarios, estos deben satisfacer los exigentes requisitos para proporcionar una experiencia de banda ancha móvil capaz de alcanzar altas tasas de transferencia y dar una mejor experiencia al usuario.

Además, como la mayoría de operadores todavía están en etapas iniciales de LTE aún proveen servicios de generaciones anteriores. Por consiguiente, los dispositivos deben ser capaces de operar en una combinación de tecnologías, incluida LTE.

Para el caso de Ecuador se prevé que para febrero y abril del 2014 se venderán planes con móviles que cuenten con servicios 4G de las marcas Nokia, LG, Huawei y Alcatel Lucent. Y en el caso de dispositivos de otras marcas se deberá verificar si son o no compatibles.

Los principales proveedores de equipos LTE para Ecuador son Huawei y Alcatel-Lucent siendo este último el que ha establecido una posición de fuerte liderazgo global en 4G/LTE, habiendo sido seleccionada por más de 20 operadores debido a la experiencia en el diseño, despliegue y operación de redes LTE con clientes en las principales regiones del mundo.

5.3.1 EQUIPOS DE RED PARA LTE-A

En vista de que los volúmenes de señalización de la red troncal de paquetes son significativamente mayores que en las redes troncales de 3G existentes. Esto se debe en parte a que la arquitectura Todo IP de LTE es más plana, los equipos deben desplegar una plataforma de MME /Nodos de Soporte GPRS de Servicio (SGSN) de nueva generación y de calidad de operador que no sólo tenga una alta capacidad, potencia de procesamiento de CPU y capacidad de ampliación, sino que además tenga la posibilidad de gestionar este tráfico de un modo inteligente para reducir la señalización global de la red troncal. A continuación se indican algunos de los equipos de red propuestos por los fabricantes de marca Huawei, Alcatel Lucent y Cisco y modelos de red que incluyen estos equipos para la implementación LTE.

HUAWEI

Hay equipos marca Huawei para la red troncal y la red de núcleo.

Equipos para la red de núcleo (EPC)

- **eWBB2.0 USN9810**

El eWBB2.0 USN9810 o denominado USN9810 es un nodo de servicios unificados desplegado por HUAWEI. Se aplica solo a sistemas de Redes Core Avanzadas de Paquetes (EPC). El USN9810 lleva a cabo las funciones de entidad de gestión de movilidad (MME) y proporciona la gestión integrada de autenticación de usuarios, que forma parte de las funcionalidades del Evolución de la Arquitectura del

Sistema-Servidor Local de Abonados (SAE-HSS), en la figura V-13 podemos ver un eWBB2.0 USN9810.



USN9810
Figura V- 13: eWBB2.0 USN9810
FUENTE: HUAWEI (2013)

En la figura V-14 podemos ver el entorno de red que propone HUAWEI para implementar LTE / EPC.

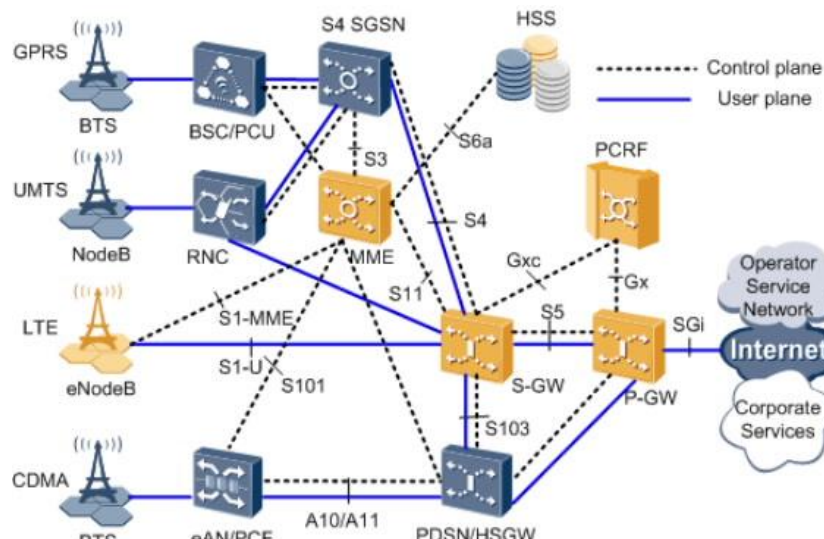


Figura V- 14: Entorno de Red en la Solución de Huawei LTE / EPC
FUENTE: Huawei "Global - Enterprise - NLA - eWBB LTE" (2013)

Entre sus características esta ofrece una alta integración, el USN9810 admite un máximo de 20.000 suscriptores E-UTRAN conectados al mismo tiempo, alta

fiabilidad, alta escalabilidad, gestión eficiente, fácil operación y mantenimiento, alta confiabilidad.

- **UGW9811**

El UGW9811 como podemos ver en la figura V-15, diseñado para su uso en el sistema de núcleo de paquetes evolucionado (EPC) solamente. El UGW9811 combina las funciones del S-GW y del PDN (P-GW).



UGW9811

Figura V- 15: EquipoUSN9810
FUENTE: HUAWEI (2013)

En la figura V-16 podemos ver un modelo de red implementado con el equipo USN9810.

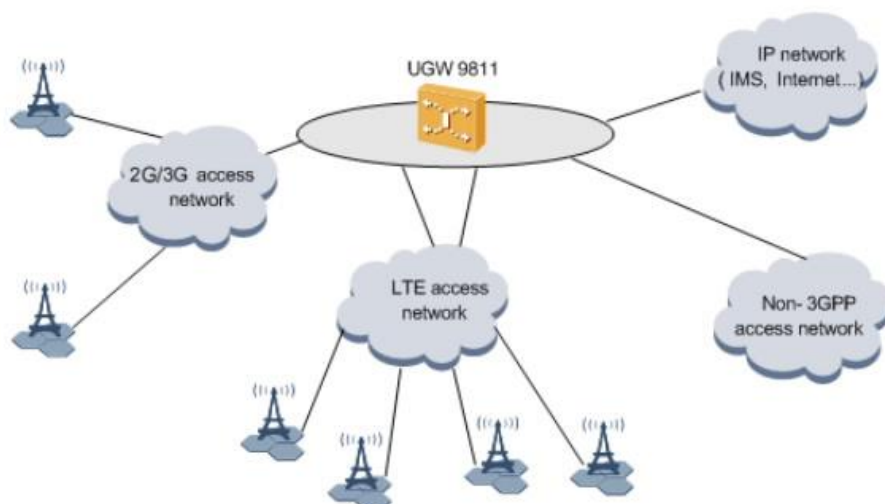


Figura V- 16: Escenario de Aplicación de USN9810
FUENTE: HUAWEI (2013)

- **iManager M2000 NMS**

El iManager M2000 gestiona centralmente elementos de la red móvil, incluyendo LTE / EPC. La M2000 proporciona funciones básicas tales como la gestión de configuración, gestión del rendimiento, gestión de fallos, gestión de seguridad, gestión de registros, gestión de topología, software de gestión y administración del sistema, lo podemos ver en la figura V-17.



Figura V- 17: iManager M2000 NMS
FUENTE: HUAWEI (2013)

- **eCNS600**

El eCNS600 trabaja como la red central de LTE, que integra la función de MME, S-GW/P-GW y HSS, lo podemos ver en la figura V-18.

Características:

- Soporte máximo de 500 eNB y 4 Gbps de rendimiento.
- Armarios apilables para ampliación de la capacidad.
- Alta confiabilidad.



Figura V- 18: eSCN230
FUENTE: HUAWEI (2013)

En la figura V-19, podemos ver el escenario de la red con el equipo eSCN230.

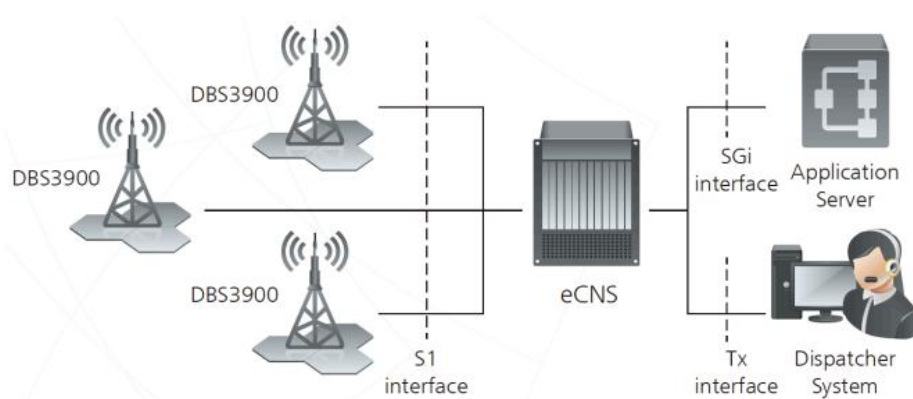


Figura V- 19: Escenario de eSCN230
FUENTE: Huawei “eWBB Product Specification” (2013)

Equipos para la red Troncal (E-UTRAN)

- **DBS3900**

HUAWEI ofrece un Nodo B evolucionado (eNB), el cuales soporta múltiples tecnologías de acceso de radio (GSM, UMTS, CDMA, TD-SCDMA y LTE), soporta un máximo de 3000 usuarios por eNB, en el enlace descendente se puede alcanzar 173Mbps con una configuración MIMO 2x2, modulación 64 QAM y en un ancho de banda de 20 MHz, mientras que en el enlace ascendente se pueden alcanzar 84 Mbps con 1x2 SIMO, 64 QAM en 20 MHz por celda, su marca comercial es DBS3900, como lo podemos ver en la figura V-20.

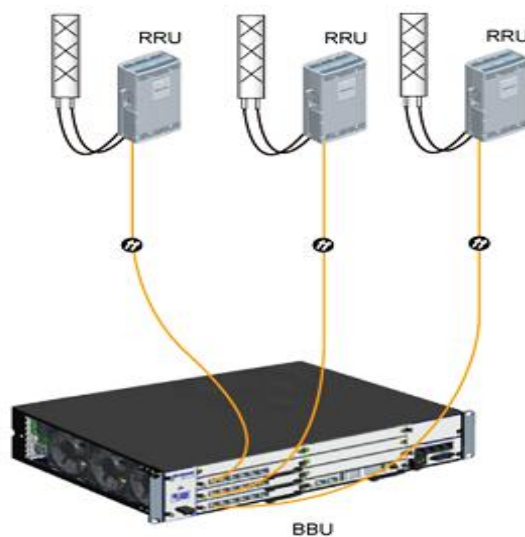


Figura V- 20: DBS3900

FUENTE: Huawei "eWBB Product Specification" (2013)

El eNB realiza principalmente de gestión de recursos de radio (RRM) funciones como la gestión de la interfaz aérea, control de acceso, control de la movilidad, y el equipo de usuario (UE) de la asignación de recursos. Múltiples eNBs constituyen un sistema de E-UTRAN.

El DBS3900 tiene sólo dos tipos de módulos básicos: unidad de banda base (BBU3900) y la unidad de radio remota (RRU), que puede ser configurado con flexibilidad para cumplir los requisitos en diferentes escenarios de uso. Además, el DBS3900 cuenta con un tamaño pequeño, bajo consumo de energía, instalación flexible y fácil implementación del sitio.

Por lo tanto, la BBU3900 se puede instalar fácilmente en un espacio libre en un sitio existente. La RRU es compacta y ligera. Puede ser instalada cerca de una antena de acortar la longitud de alimentación y mejorar la cobertura del sistema.

La figura V-21, muestra los escenarios típicos para la instalación de los DBS3900 tanto en exteriores como en interiores, respectivamente.

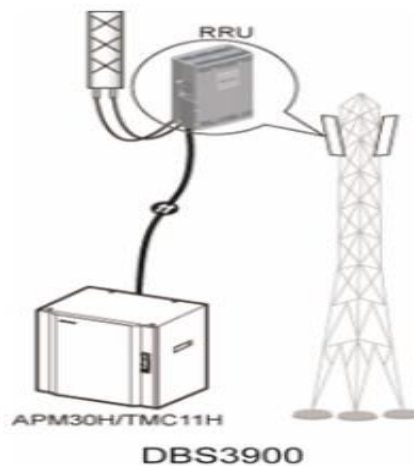


Figura V- 21: Escenario de instalación del DBS3900
FUENTE: Huawei “eWBB Product Specification” (2013)

ALCATEL LUCENT

- **Alcatel Lucent 7750 Service Router**

Es un router multiservicio que tiene plataforma optimizada para ofrecer servicios LTE, provee un software de alta disponibilidad y una arquitectura de hardware

que permite a los operadores brindar la capacidad exacta a los servicios que se presenten en su infraestructura.

El SR7750 provee la capacidad de servicios integrados necesaria y el espacio para el procesamiento de paquetes para permitir a los proveedores de servicio incrementar cuentas de suscriptores y ancho de banda sin incurrir en gastos de capital exponencial, de servicios de telefonía móvil en una plataforma de extremo IP, tiene funciones de GGSN, S-GW y P-GW, lo podemos ver en la figura V-22.



Figura V- 22: Equipo Alcatel Lucent 7750 Service Router
FUENTE: Alcatel-Lucent "SR - 7750" (2013)

- **9471 WMM**

El Alcatel-Lucent 9471 Gestor de Movilidad inalámbrica (WMM) es el Nodo de Soporte de GPRS y Entidad de Gestión de la Movilidad (SGSN / MME) en la red de núcleo de paquetes inalámbrica convergente. Se lleva a cabo la señalización de gestión de la movilidad y de la sesión y de conmutación para redes de acceso LTE GSM, WCDMA y de paquetes de datos, lo podemos ver en la figura V-23.



Figura V- 23: Equipo Alcatel Lucent 9471 WMM
FUENTE: Alcatel-Lucent "9471 WMM" (2013)

- **9100 Estación Base Multi Estándar**

La Estación Base Multi-Standard Alcatel-Lucent 9100 (9100 MBS) es una gama de estaciones base multi-tecnología que ofrecen una gran escalabilidad y un rendimiento excelente radio en un diseño compacto. Los MBS 9100 permite a los proveedores de servicios desplegar GSM / EDGE, WCDMA / HSPA + y LTE, solos o simultáneamente. Incluye una amplia gama de armarios de estaciones base para cualquier tipo de cobertura, la capacidad y el medio ambiente.

- **9412 eNodeB Compact**

El 9412 eNodeB Compact es una solución de alta capacidad, sirve para desplegar redes LTE ofreciendo una mayor flexibilidad, está diseñado para integrarse en redes existentes.



Figura V- 24: Equipo 9412 eNodeB Compact
FUENTE: Alcatel-Lucent "9412 eNodeB Compact"(2013)

- **9226 Base Station Compact**

La estación base de Alcatel-Lucent que permite a los operadores que brindan servicios inalámbricos migrar a la siguiente generación de la tecnología LTE con la máxima reutilización de equipos.

- **7500 Serving GPRS Support Node (SGSN)**

El Alcatel-Lucent 7500, Nodo de Soporte GPRS (SGSN) es un elemento clave ya que proporciona las funciones de gestión de paquetes IP y la movilidad de los usuarios finales móviles de banda ancha. Construido sobre una plataforma estándar de la industria escalable y de alto rendimiento, el 7500 SGSN proporciona la flexibilidad necesaria para soportar GPRS / EDGE, HSPA / HSPA +, ofrece un núcleo de paquetes para redes móviles que soporta los requisitos de capacidad de ancho de banda orientándose hacia la evolución a largo plazo (LTE) en el futuro.



Figura V- 25: Equipo 7500 Serving GPRS Support Node (SGSN)
FUENTE: Alcatel-Lucent "7500 Serving GPRS Support Node"(2013)

- **5780 Dynamic Services Controller (DSC)**

El 5780 Servicios de control dinámico de Alcatel-Lucent (DSC) es una plataforma basada que permite a los proveedores de servicio desplegar servicios de forma rápida y sencilla con un alto rendimiento, escalabilidad, flexibilidad y facilidad de mantenimiento. Con su módulo de control de la política, el 5780 DSC proporciona la Política y Normas Función de carga (PCRF) de 3G/4G redes inalámbricas y de acceso de telefonía fija. Con este módulo, los proveedores de servicios pueden ofrecer servicios innovadores y personalizados para monetizar sus redes.



Figura V- 26: Equipo 5780 Dynamic Services Controller (DSC)
FUENTE: Alcatel-Lucent "5780 Dynamic Services Controller" (2013)

Un modelo de red implementado con equipos Alcatel Lucent lo podemos ver en la figura V-27

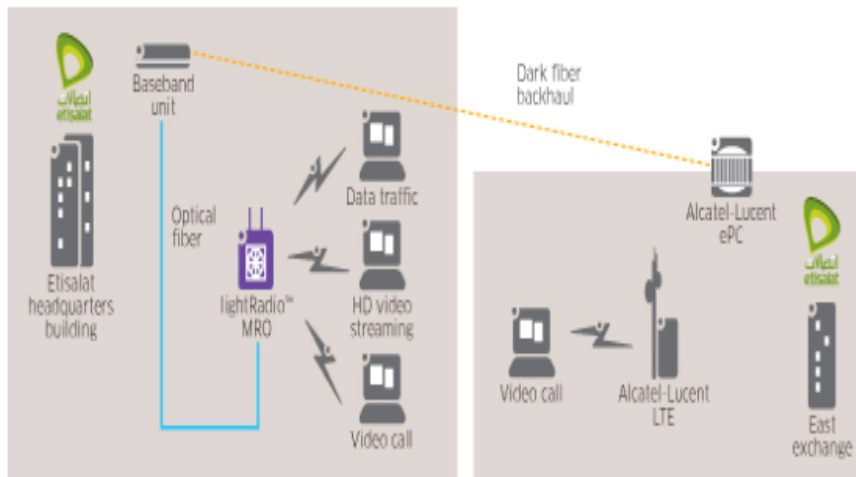


Figura V- 27: Red con el Equipo 5780 Dynamic Services Controller (DSC)
FUENTE: Alcatel-Lucent

De esta manera cambia la forma de cómo se diseñan, despliegan y gestionan las redes al reunirse en una combinación exclusiva acceso radio (macro celdas, celdas pequeñas y WiFi), transporte/backhaul IP avanzado, y núcleo.

CISCO

En vista de que muchos operadores ya están planificando sus redes de núcleo 4G. Cisco tiene estrategias y soluciones que mejoran las redes 3G existentes y satisfacen los requisitos de la red 4G EPC.

- **CISCO ASR 5000**

La plataforma de núcleo multimedia Cisco ASR 5000 simplifica la migración hacia el núcleo EPC de LTE a través de una actualización de software, sin requerir

grandes cambios o equipos. Cisco ASR 5000 puede actuar ya sea de forma independiente o integrar en una sola plataforma las entidades:

- Cisco MME Mobility Management Entity
- Cisco PGW Packet Data Network Gateway
- Cisco SGW Serving Gateway
- Cisco ePDG Evolved Packet Data Gateway
- Cisco SGSN Serving GPRS Support Node versión 8
- HRPD Serving Gateway

En la figura V-28 podemos ver un equipo CISCO ASR 5000.



Figura V- 28: Equipo CISCO ASR 5000
FUENTE: <http://www.cisco.com>

Todas las capacidades de la serie ASR 5000 se han desarrollado en base a las necesidades del internet móvil de la próxima generación.

Las dos plataformas de Cisco ASR 5000 Series, el ASR 5000 y ASR 5500, ofrecen rendimiento de una manera simple y rentable. Estas plataformas dan a los operadores la capacidad de ampliar el rendimiento de la red, aumentar los ingresos, y reducir los costos, entre sus características tenemos:

- Flexibilidad
- Escalabilidad
- Inteligencia

Una red implementada con equipos CISCO ASR 500 quedaría de la siguiente manera:

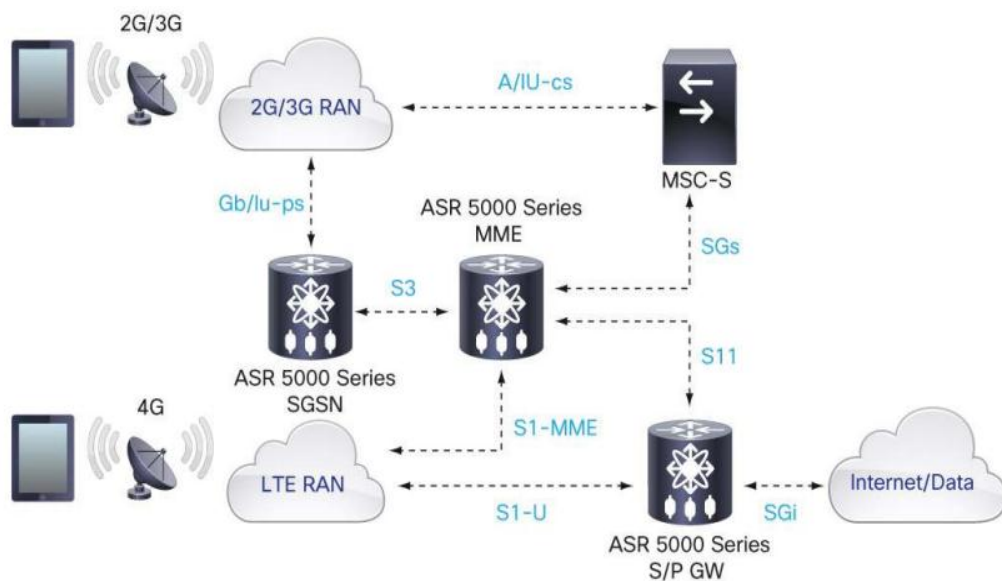


Figura V- 29: Red LTE con Equipos Cisco
FUENTE: CISCO "Voice and Video over LTE: The Cisco Solution" (2013)

5.3.2 EQUIPOS PARA EL USUARIO EN LA RED LTE-A

En la actualidad con el despliegue de la tecnología como es 4G es necesario que los equipos de usuario sean compatibles a los requerimientos técnicos de LTE, a continuación se describen algunos de los equipos de usuario que pueden operar en dicha red.

MODEMS

- **EA100**

HUAWEI EA100 (figura V-30) es un equipo terminal del abonado LTE. Como puerta de entrada inalámbrica, el EA100 puede desplegarse en interiores y se utiliza con eA660. El EA100 ofrece conexión inalámbrica, VoIP y otros servicios de Internet.



Figura V- 30: ModemEA100
FUENTE: Huawei Enterprise “EA100” (2013)

El EA100 se despliega en interiores y se debe utilizar con la eA660. El EA100 obtiene señales del eA660 mediante un cable de red para ofrecer VoIP, acceso inalámbrico y otros servicios de Internet, en la figura V-31, podemos ver su escenario de aplicación.

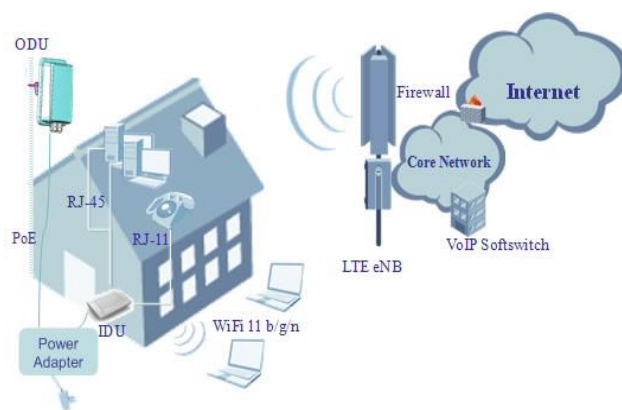


Figura V- 31: Escenario de aplicación de EA100
FUENTE: Huawei Enterprise (2013)

- **Samsung GT-B3710 LTE USB**

Modem Samsung GT-B3710 es compatible con la última de 3GPP estándar LTE y también con 2G/EDGE en 900MHz/1800MHz, Samsung GT-B3710 módem 4G se

conecta al ordenador a través de USB 2.0. Este módem ofrece un máximo de carga de 100/50 Mbps para los usuarios 4G.



Figura V- 32: Samsung GT-B3710
FUENTE: Huawei Enterprise (2013)

- **LG M13 LTE Modem**

Trabaja en la cuarta generación de red LTE, la velocidad máxima de descarga puede tener 70M y 20M velocidad de subida.



Figura V- 33: LG M13 LTE Modem
FUENTE: Huawei Enterprise (2013)

- **Huawei E392, modem USB 4G LTE y HSPA+**

El módem Huawei E392 mediante puerto USB permite la conexión al ordenador dentro del área de cobertura de las redes LTE/HSPA+/UMTS/EDGE/GPRS y GSM, El módem E392 es rápido y fácil de operar.



Figura V- 34:USBE392
FUENTE: Huawei Enterprise (2013)

- **CELULARES Y TABLETS**

En la tabla V-II, podemos ver un alista de algunos terminales con tecnología LTE-Advanced.

Tabla V- II: Terminales que soportan tecnología LTE-Advanced

EQUIPO	FIGURA
Samsung <ul style="list-style-type: none">▪ Galaxy S4▪ Galaxy S3▪ Galaxy Note 2	
Apple <ul style="list-style-type: none">▪ Iphone 5▪ iPad mini▪ iPad de cuarta generación	
HTC <ul style="list-style-type: none">▪ HTC One	
Sony <ul style="list-style-type: none">▪ Xperia Z▪ Tablet Xperia Z	
LG <ul style="list-style-type: none">▪ Optimus G	
Nokia <ul style="list-style-type: none">▪ Lumia 920▪ Lumia 820▪ Lumia 928	
Huawei <ul style="list-style-type: none">▪ Ascend P2▪ Ascend G526	
Blackberry <ul style="list-style-type: none">▪ BlackBerry Z10	

ELABORADO POR: Las Autoras

Como podemos ver existe una amplia gama de dispositivos para los usuarios finales LTE, estos dispositivos permitirán a los usuarios disfrutar de la banda ancha móvil, tener experiencias a velocidades increíbles y disfrutar de contenidos variados y aplicaciones.

El propósito de detallar tanto los equipos de red como los equipos de usuarios para la tecnología LTE-Advanced, es dar a conocer la factibilidad que tienen las operadoras de implementar 4G y los usuarios de disfrutar de esta tecnología.

5.4 SERVICIOS QUE OFRECE LTE-A

LTE-A ofrece una amplia gama de servicios para los usuarios, a continuación se detallan algunos de ellos:

- **MOVILIDAD:** Asegura a los usuarios soporte necesario para la movilidad, el servicio de banda ancha estará disponible en cualquier momento y en cualquier lugar.
- **STREAMING:** Esta tecnología también permite hacer *streaming* en alta definición y en tiempo real, sin interrupciones ni tiempo de espera por el *buffer*. Por tanto los usuarios podrán descargar música o videos y al mismo tiempo escucharlos y verlos con mayor calidad respectivamente sin cortes.
- **NAVEGACIÓN POR LA WEB:** Desde sus teléfonos inteligentes, los usuarios podrán conectarse a Internet con velocidades diez veces más rápidas que a través de redes de 3G mejorando enormemente la navegación por la Web.

- **HIGH DEFINITION (HD):** Capacidad para efectuar, sin ningún tipo de cortes, videoconferencias, video llamadas, juegos en red con imagen y sonido de alta calidad, así como también realizar transmisiones en vivo y directo y ver televisión en alta definición y en 3D.
- **VELOCIDAD:** Velocidades máximas de bajada alrededor de 100 Mbps y 50 Mbps de subida, gracias a estas redes de alta velocidad los usuarios disfrutarán aún más de los juegos en red, con mejor definición y mayores propiedades, la transferencia de datos se ejecutará con mayor rapidez, se podrá subir fotos y videos de una cámara digital en tiempo real desde cualquier lugar.
- **VoIP:** La voz por LTE supone un 40 % de mejora en la calidad de la voz, si se compara con la que se realiza en las redes 3G, y la posibilidad de establecer una conexión en 0,25 segundos, esto es, 20 veces más rápido que en una llamada 3G normal.

5.5 TARIFAS CONSIDERADAS PARA LOS SERVICIOS DE LTE

Es muy necesario definir las tarifas adecuadas para que las empresas puedan brindar servicios LTE y que puedan competir con otras tecnologías de banda ancha, para esto se debe partir del valor de las tarifas de servicio de banda ancha que actualmente se ofrece.

CNT E.P.

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT E.P., opera servicios de telefonía fija local, regional e internacional, acceso a internet estándar y de alta

velocidad actualmente utiliza tecnología de última generación HSPA+, televisión satelital y telefonía móvil en el territorio nacional ecuatoriano.

Las tarifas establecidas por la CNT para celulares y módems se pueden visualizar en las tablas respectivamente.

- **CELULARES**

Tabla V- III: Tarifas para celulares de la CNT E.P.

Plan	MB Incluidos	Tarifa Mensual
Banda Ancha HSPA+ Ctrl 19	1000	\$19,00
Banda Ancha HSPA+ Ctrl 29	2000	\$ 29,00
Banda Ancha HSPA+ Ctrl 39	3000	\$ 39,00

FUENTE: CNT E.P.
ELABORADO POR: Las Autoras

- **MODEMS**

Tabla V- IV: Tarifas de Banda Ancha Móvil de CNT E.P.

Plan	Cuota Mensual con IVA	Megas Incluidas	Equipos
BANDA ANCHA HSPA+ CTRL 10	\$11.20	500 MB	Modem Huawei E173, E303, 367 y Alcatel X500
BANDA ANCHA HSPA+ CTRL 15	\$17.00	700 MB	
BANDA ANCHA HSPA+ CTRL 19	\$22.00	1000 MB	
BANDA ANCHA HSPA+ CTRL 25	\$27.00	1500 MB	
BANDA ANCHA HSP+ CTRL 29	\$32.48	2000 MB	
BANDA ANCHA HSP+ CTRL 39	\$43.68	FULL MB	

FUENTE: CNT E.P.
ELABORADO POR: Las Autoras

OTECEL S.A.

Las tarifas que ofrece la operadora OTECEL S.A para Banda Ancha Móvil se puede observar en las siguientes tablas:

- **CELULARES**

Tabla V- V: Tarifas para celulares de MOVISTAR

PLAN	MB incluidos	Precio	Velocidad máxima de navegación (Kbps)	Equipos
INTERNET MOVISTAR HPLUS	1000	\$22,36	2.048/1.024	Iphone, Android, Nokia Con capacidad de navegación
	2000	\$33,60	10.240/2.048	
	3000	\$44,80	10.240/2.048	
	5000	\$56,00	10.240/2.048	

FUENTE: MOVISTAR
ELABORADO POR: Las Autoras

- **TABLETS**

Tabla V- VI: Tarifas para Tablets de MOVISTAR

Plan	MB incluidos	Tarifa final (Inc. IVA)	Equipos
IM CTRL Tablet Hplus	1.000	\$22,40	Huawei MediaPad Lite 7",
IM CTRL Tablet Hplus	2.000	\$33,60	Samsung Galaxy Note 10.1", Tab 2 10.1"
IM CTRL Tablet Hplus	3.000	\$44,80	
IM Full Megas Tablet Hplus	Full megas	\$67,20	

FUENTE: MOVISTAR
ELABORADO POR: Las Autoras

▪ **MODEMS**

Tabla V- VII: Tarifas para Módems de CNT E.P.

Plan	MB incluidos	Tarifa Final	WiFi ZTE MF70	Equipos
IM Controlado 600MB	600	\$15,68	\$49,00	Módem Huawei E355, E586
IM Control HPlus 1000MB	1000	\$21,28	\$9,00	
Internet Móvil Controlado 2000 MB	2000	\$32,48	\$0,00	
IM Control Hplus 5000 MB	5000	\$54,88	\$0,00	
FULL MEGAS BAM HPLUS	Ilimitados	\$66,08	\$0,00	

FUENTE: MOVISTAR
ELABORADO POR: Las Autoras

CONECEL S.A.

Las tarifas que ofrece la empresa CONECEL S.A para Banda Ancha Móvil se puede observar en las siguientes tablas:

▪ **Celulares**

Tabla V- VIII: Tarifas de Banda Ancha Móvil de CONECEL S.A

Plan	Megas Incluidos	Tarifa Mensual (No inc. IVA)	Equipos
Banda Ancha Móvil 19	1000 MB	19,00	Huawei E303 Huawei E367 Huawei E355
Banda Ancha Móvil 29	2000 MB	\$29,00	Huawei E303 Huawei E367 Huawei E355
Banda Ancha Móvil 39	3000 MB	\$39,00	Huawei E303 Huawei E367 Huawei E355
Blackberry Bis Full 1000 MB	1000 MB	\$ 22,39	BlackBerry
Blackberry Bis Full 2000 MB	2000 MB	\$ 32,48	BlackBerry
Blackberry Bis Full 3000 MB	3000 MB	\$ 43,68	BlackBerry
Blackberry Bis Full 5000 MB	5000 MB	\$ 54,88	BlackBerry

FUENTE: CLARO
ELABORADO POR: Las Autoras

▪ **Tablets**

Tabla V- IX: Tarifas de CONECEL S.A. para Tablets.

Plan	Megas Incluidos	Tarifa Mensual	Equipos
1000MB	1000	29.99	Samsung:T211 T, T311, P5100, Note8 Huawei HD Sony Xperia
1500MB	1500	34.99	
2000MB	2000	44.99	
3000MB	3000	46.65	
5000MB	5000	57.49	
10000MB	10000	64.99	

FUENTE: CLARO
ELABORADO POR: Las Autoras

▪ **Módems**

Tabla V- X: Tarifas de CONECEL S.A. para Módems

Plan	MB Incluidos	Tarifa Mensual	Equipos
BAM Flex 19	1000	\$ 19,00	Módem Huawei E355
BAM Flex 29	2000	\$ 29,00	
BAM Flex 39	3000	\$ 39,00	
BAM Flex 10000 MB	10000	\$ 59,00	

FUENTE: CLARO
ELABORADO POR: Las Autoras

▪ **Netbooks**

Tabla V- XI: Tarifas de CONECEL S.A. para Netbooks

Plan	Megas Incluidos	Tarifa Mensual (no inc. IVA)	Equipos
Netbook Flex 49	3000	\$ 69,00	Samsung N102- 2GB HP DM 1A HP 4440S
Netbook Flex 59	10000	\$ 89,00	
Netbook 2000Mb 30M	2000	\$ 39,00	
Netbook 3000Mb 30M	3000	\$ 49,00	
Netbook 10000Mb 30M	10000	\$ 69,00	

FUENTE: CLARO
ELABORADO POR: Las Autoras

▪ **PLANES PARA LTE-A**

Debido a que la tecnología LTE-Advanced todavía no está implementada en nuestro país no podemos dar valores exactos sobre las nuevas tarifas, se prevé que para febrero y abril del 2014 se venderán planes con móviles que ya cuenten con 4G para ser utilizados por parte de la operadora CNT E.P. , Por ahora tomando en cuenta los varios aspectos de esta tecnología como mayores velocidades, inversión de los operadores para implementar LTE, el costo de los equipos para LTE, estas tarifas deberían tener un aumento mínimo respecto a las tarifas ofrecidas por las tres operadoras analizadas, con tecnología HSPA+ que ofrecen actualmente de modo que puedan tener acogida por los usuarios.

5.6 REFERENCIAL ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LTE-A

Como se ha presenciado, el mercado mundial de las telecomunicaciones crece rápidamente debido a la necesidad de la demanda, lo que implica un mejoramiento en equipos como ya se mencionó, tanto para la red ya se debe instalar nuevos equipos y para los usuarios que deben adquirir dispositivos que soporten LTE, en general, estos equipos deben ofrecer más funciones para que puedan desplegarse nuevas tecnologías lo que implica que el precio de los equipos aumente, es decir un dispositivo 4G tiene mejores características que un dispositivo 3G por tanto su precio será incrementado, precio que se espera disminuya más adelante y así estos puedan estar al alcance de todos.

COSTOS DE INVERSIÓN PARA LA RED LTE-A

En este apartado determinaremos cual es el costo de inversión para implementar LTE-Advanced en el Ecuador, siendo valores aproximados que cada operadora tendrá de acuerdo a sus requerimientos.

Como son los operadores quienes tienen acuerdos con proveedores en los que ya están fijados los equipos que se pueden instalar en una determinada región. Para el análisis de costos tomaremos como referencia la marca Huawei debido a que esta será la proveedora de CNT E.P., pero en este caso utilizaremos esta marca para las tres operadoras.

En la siguiente figura se muestra los equipos necesarios que forman parte de la solución para la implementación de una red LTE-Advanced completa con equipos de la marca Huawei, para la red del núcleo tenemos el equipo eCNS600, los eNBs se pueden implementar con el DBS3900 integrado por el RRU y el BBU y para la gestión de redes móviles el iManager M2000.



Figura V- 35: Equipos para la red LTE-Advanced
FUENTE: Huawei

Para el análisis general de un eNB tomaremos en cuenta que LTE-Advanced se implementara en la misma infraestructura que ya posee cada operador, lo que se necesita es cambiar los equipos.

Para el sistema radiante necesariamente se debe cambiar las antenas debido a que LTE-Advanced trabaja en otras frecuencias, para cada eNB se necesita 3 antenas sectoriales de 120° que permitan dar una cobertura total, para casos específicos como carreteras o dependiendo de la cobertura que se quiera abarcar solo se necesitarán dos antenas.

De los equipos mencionados anteriormente utilizaremos el equipo DBS3900 que es un equipo marca Huawei formado por el BBU y los RRU, los RRU se conectan al BBU a través de fibra óptica, normalmente las antenas están a una altura de 30m, 60m y 90m. Para el cálculo hemos tomado como referencia 60m, por tanto necesitaremos 60m de fibra óptica para conectar el RRU al BBU.

Con estos datos podemos hacer el siguiente cálculo:

Tabla V- XII: Inversión para implementar un eNB

EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO (\$)
ANTENAS	3	6000
DBS3900 (RRU, BBU)	1	110.000
FIBRA ÓPTICA	60 m.	78
TOTAL		116.078

ELABORADO POR: Las Autoras

FUENTE: Alibaba.com

Por tanto se puede concluir que la implementación de LTE-Advanced para cada eNB tendrá un costo aproximado de 116 mil dólares.

A estos valores debemos adicionar los precios de los equipos para el EPC que es el núcleo de la red para lo cual se utilizará el equipo eCNS600 con un precio de 100 mil dólares, de acuerdo a las especificaciones del equipo el número máximo de eNBs que soporta es 500 y para la gestión de la red se utilizara el iManager M2000 con un precio de 40 mil dólares que nos permitirá una gestión centralizada de red.

Con este dato podemos sacar un valor aproximado para cada operadora, tomando en cuenta el número de estaciones base por operadora en el Ecuador.

- **COSTOS PARA LA OPERADORA CNT E.P.**

El valor total de la tabla V-XV es el costo de implementar un eNB, como la CNT E.P. cuenta con 228 estaciones base necesitamos el costo total aproximado, en la tabla V-XVI podemos ver el costo aproximado para 228 eNBs.

Tabla V- XIII: Costo de Implementar 228 eNBs para la CNT E.P.

EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO
ENBs	228	26.465.784
eCNS600	1	100.000
iManager M2000	1	40.000
TOTAL		26.605.784

ELABORADO POR: Las Autoras

FUENTE: Alibaba.com

Se puede concluir que la CNT E.P. lo básico que necesita para implementar LTE-Advanced es aproximadamente 27 millones de dólares.

- **COSTOS PARA LA OPERADORA CLARO**

CLARO cuenta al momento con 4.020 estaciones base, por tanto tenemos:

Tabla V- XIV: Costo de Implementar 4.020 eNBs para la CLARO

EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO
ENBs	4.020	466.633.560
eCNS600	9	100.000
iManager M2000	3	40.000
TOTAL		467.653.560

ELABORADO POR: Las Autoras

FUENTE: Alibaba.com

El costo para que la operadora CLARO pueda implementar LTE-Advanced es 470 millones de dólares aproximadamente.

▪ **COSTOS PARA LA OPERADORA MOVISTAR**

MOVISTAR cuenta al momento con 2.702 estaciones base, por tanto tenemos:

Tabla V- XV: Costo de Implementar 2.702 eNBs para la MOVISTAR.

EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO
ENBs	2.702	313.642.756
eCNS600	5	100.000
iManager M2000	3	40.000
TOTAL		314.262.756

ELABORADO POR: Las Autoras

FUENTE: Alibaba.com

El costo para que la operadora MOVISTAR pueda implementar LTE-Advanced es 320 millones de dólares.

REFERENCIAL ECONÓMICO PARA USUARIOS

En el 2012 se reportaron 839.705 usuarios de teléfonos inteligentes (Smartphone), que corresponde a un porcentaje de 12.2%, de los cuales Guayas tiene el mayor porcentaje de usuarios con Smartphone, seguido de Pichincha según los últimos datos de la encuesta “Tecnologías de la Información y la Comunicación” levantada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

La tecnología LTE-Advanced ya está siendo desplegada en las provincias de Quito y Guayaquil por parte de la operadora CNT E.P. y en vista de que el 12.2% de los usuarios de telefonía tiene un teléfono inteligente, podemos apreciar que esta cifra es mínima respecto a la demanda de servicios de voz y datos que tiene el país. Si se tiene en cuenta que solamente algunos celulares ofrecen la posibilidad de soportar la conexión 4G, el precio será un factor determinante para ingreso de esta nueva tecnología.

El 12.2% de los usuarios deben verificar si el equipo está habilitado para 4G LTE en las bandas 700MHz o 1700MHz/2100MHz, para lo cual pueden consultar las especificaciones técnicas del equipo. En algunos casos algunos equipos necesitarán actualizar su software, adicionalmente se necesitará de un chip 4G denominado USIM cuyo precio es aproximadamente 15 dólares y suscribirse a cualquiera de los planes inteligentes disponibles.

En el Ecuador, el 80,67% de los usuarios de telefonía móvil tiene plan prepago para comunicarse y acceder a planes de datos y sólo el 18,71% accede a planes pos pago (figura IV-3). Para que LTE se incursione en el mercado los operadores tendrán que buscar alternativas para que esta tendencia del mercado cambie ya que los usuarios cada vez más tienen la necesidad de tener planes de datos para entretenimiento, navegación en redes sociales y descarga de música y videos al menor costo posible.

Para los usuarios que no disponen de un Smartphone deberían adquirirlo tomando en cuenta que tienen que ser compatible con la tecnología 4G y operar

en la banda de 700MHz o 1700MHz /2100MHz, el precio promedio de un Smartphone es de 300 dólares

Para poder utilizar los servicios 4G el usuario tiene que estar en una zona de cobertura 4G y para el caso de lugares sin cobertura 4G LTE, los equipos se conectarán a la redes HSPA+, 3G o 2G, alcanzando los niveles de velocidad permitidos por estas redes.

Además la CNT pondrá al mercado un dispositivo denominado "Mi wi-fi portátil", con el que el usuario podrá proveer de internet de alta velocidad a sus dispositivos como tabletas, teléfonos inteligentes y laptops. Los costos estarán entre \$ 35 y 50, por paquetes de entre 2 y 5 Gbps.

En resumen para que un usuario pueda beneficiarse de la tecnología LTE requiere:

Tabla V- XVI: Costo para que el usuario tenga LTE-Advanced.

Equipo	\$ 300,00
U-SIM	\$15,00
PLAN	\$40,00
Total	\$ 355,00

FUENTE: Huawei, (2013)

ELABORADO POR: Las Autoras

Tomando en cuenta que el valor del Plan depende de las necesidades del usuario hemos tomado como base el plan NAVEGA FULL 50 Mbps.

Como podemos observar este valor es elevado especialmente del equipo y una estrategia para incrementar el uso de smartphones en el Ecuador sería, iniciar una

campana de renovaci3n de terminales que permitan a los clientes prepago de las diferentes operadoras m3viles adquirir un equipo a menor costo.

5.7 RESULTADOS

▪ MEJORAS DE LA TECNOLOGÍA LTE-ADVANCED EN COMPARACI3N CON LA TECNOLOGÍA HSPA+.

Los cambios se realizan a nivel de equipo de usuario, red de acceso al n3cleo, red troncal, t3cnicas multiantena y acceso al medio.

Los equipos de usuario 4G han sido desarrollados para soportar la tecnología LTE-Advanced y son compatibles con tecnologías de versiones anteriores.

La red de acceso al n3cleo debe soportar movilidad entre redes, para lo cual el SGSN necesita actualizar el software para soportar el cambio de S-GW y permitir la señalización con el MME, adem3s se añaden nuevas interfaces an3logas a las existentes que permitir3n la comunicaci3n.

En la red troncal, los eNBs asumen las funciones del Nodo B y las del RNC para la gesti3n de recursos de radio para ello las celdas de otras redes deben ser configuradas en cada eNB para la movilidad entre celdas y optimizar la comunicaci3n entre los UEs.

Para aumentar la eficiencia espectral se utiliza la t3cnica MIMO pero a diferencia de HSPA+, LTE-Advanced utiliza MIMO mejorado que conjuntamente con la agregaci3n de portadoras permite aumentar la tasa de datos y reducir la latencia,

aumentando así el ancho de banda y brinda protección adicional a los desvanecimientos del canal radio por medio de técnicas de diversidad espacial.

Para el acceso al medio HSPA+ utiliza CDMA tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente en cambio LTE-A utiliza OFDMA para el enlace descendente y SC-OFDMA para el enlace ascendente, obteniéndose así un sistema mejorado y robusto, lo que permite aumentar la velocidad de conexión entre la redes.

Con estos cambios en la red 4G podemos ver mejoras notables en cuanto a velocidad, movilidad, cobertura y flexibilidad en el espectro.

LTE-Advanced logra una velocidad teórica de 1Gbps para el enlace descendente y 300 Mbps para el enlace ascendente, HSPA+ soporta velocidades máximas teóricas de 42 Mbps para el enlace de bajada y de 22 Mbps en el enlace ascendente y puede llegar hasta 672 Mbps. Por lo que podemos ver hay una mejora del 32.8% en cuanto a velocidad. Sin embargo esta velocidad se alcanza en las mejores condiciones. Con una excelente señal de radio y sin otros usuarios en la celda, la velocidad real se ve influida por el ancho de banda consumido, por los protocolos, por las condiciones radioeléctricas (nivel de cobertura), por la cantidad de usuarios simultáneos y por la saturación del enlace de la estación base con la red troncal de la operadora.

LTE-Advanced tiene una velocidad de 100 Mbps en ambientes de alta movilidad para el enlace descendente, el sistema soporta movilidad entre redes celulares hasta 350 Km/h. Según las especificaciones de movilidad tenemos:

- 0-15 Km/h: Baja movilidad
- 15-120 Km/h: Alta movilidad
- 120-350: Muy alta movilidad

LTE-Advanced presenta ventajas en cuanto a cobertura debido a que puede operar en la banda de 700 MHz, esta banda ofrece mayor cobertura especialmente para zonas rurales y al ser una banda baja es menos costosa.

Una de las características más importantes es la flexibilidad del uso del espectro porque puede operar tanto en bandas pareadas FDD como no pareadas TDD, permite además un uso óptimo del espectro radioeléctrico por medio de técnicas de Asignación Dinámica del Espectro, básicamente el sistema es capaz, en función de las condiciones del canal en cada bloque de frecuencia e instante de tiempo, de seleccionar los usuarios en mejores condiciones.

- **REQUERIMIENTOS Y FACTIBILIDAD TÉCNICA**

Como un pequeño resumen describiremos los equipos necesarios para implementar una red 4G tanto para el usuario como para la red. En la figura V-36 podemos ver que la red 4G consta de un terminal móvil 4G, para la parte del eNB consta de antenas, RRUs, BBU, estos dos últimos conectados entre sí mediante fibra óptica,

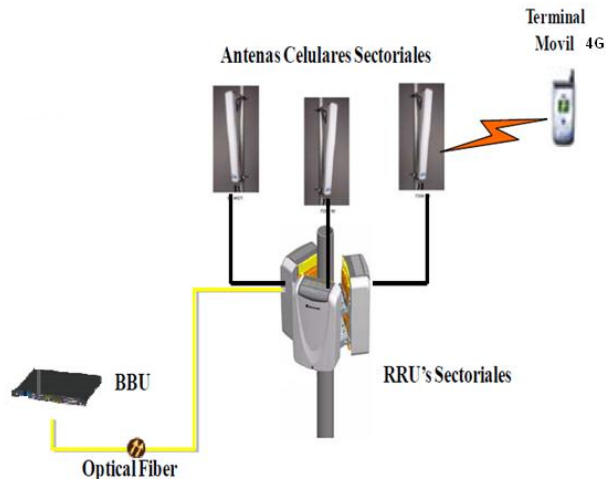


Figura V- 36: Equipos de la tecnología LTE-Advanced
FUENTE: www.ramonmillan.com (2013)

LTE-Advanced posee una infraestructura simple de modo que sea de implementar y operar es así que la migración hacia LTE-Advanced específicamente se hará en la misma infraestructura física que tiene cada operadora actualmente, será necesario realizar cambios en los equipos, para el eNB se requieren tres antenas sectoriales de 120° que operen en las frecuencias de 700 MHz y 1700/2100 MHz, actualmente estas antenas operan en las bandas de 850 MHz y 1900 MHz. Adicionalmente a las antenas se necesitan equipos para la estación base consideraremos el DBS3900 constituido por el RRU y el BBU para gestión de recursos de radio, funciones como la gestión de la interfaz aérea, control de acceso, control de la movilidad, y el equipo de usuario (UE) de la asignación de recursos, una de las ventajas de este equipo es que soporta múltiples tecnologías de acceso de radio (GSM, UMTS, CDMA, TD-SCDMA y LTE-A).

Para la red del núcleo será necesario adquirir un equipo que realice las funciones centrales de LTE y que integra la función de MME, S-GW/P-GW y HSS. Uno de ellos podría ser el eCNS600.

Uno de los equipos que cumple con los requerimientos para gestionar los elementos de la red móvil como gestión de configuración, gestión del rendimiento, gestión de fallos, gestión de seguridad, gestión de registros, gestión de topología, software de gestión y administración del sistema es el iManager M2000.

Se puede concluir que la implementación de esta nueva tecnología es factible técnicamente ya que hay una variedad de equipos tanto para la red (figura V-8...V-23) como para los usuarios (tabla V-II), disponibles que cumplen con los requerimientos de funcionalidad para una red 4G.

▪ **FACTIBILIDAD ECONÓMICA**

Como sabemos la meta de todo proyecto es generar ganancias, haciendo un presupuesto aproximado de los costos de implementación, tomando en cuenta el número de equipos necesarios que cada operadora debe instalar tenemos los siguientes valores para la operadora CNT E.P., tiene un costo aproximadamente de 27 millones de dólares para la operadora MOVISTAR tiene un costo aproximadamente de 320 millones de dólares y para la operadora CLARO tiene un costo aproximadamente de 470 millones de dólares para ofrecer este servicio a todo el país, este referencial económico se ha hecho para el mismo número de eNBs que cada operadora tiene actualmente.

Más allá de la inversión lo que deben tener en cuenta las operadoras es que necesariamente tienen que migrar hacia nuevas tecnologías, debido al crecimiento de usuarios en telefonía móvil esta inversión será recuperable en corto plazo.

Para que un usuario pueda beneficiarse de la tecnología LTE requiere un equipo 4G que sea compatible con esta tecnología. El precio aproximado es de 300 dólares y los nuevos planes se estima que superaran a los actuales con mínimas variaciones con el fin de que los usuarios puedan adquirirlo sin mayor dificultad.

▪ **REQUERIMIENTOS REGULATORIOS**

Para que una nueva tecnología pueda ser desplegada cada una de las tres operadoras necesariamente requiere que el Estado asigne bandas en las que puede operar.

Las bandas adoptadas por el Ecuador para el despliegue de LTE-Advanced son las bandas de 700 MHz, 1700/2100 MHz y la de 2.5 GHz. Con las segmentaciones A5, B5 y C1 respectivamente.

CNT E.P ya dispone de 30MHz en la banda de 700 MHz a nivel nacional, y 40MHz en las bandas AWS.

A las operadoras CONECEL S.A y OTECEL S.A se propone asignar bandas de frecuencias en la misma cantidad que a la operadora publica CNT E.P., es así que CONECEL tendrá 30 MHz en los bloques A-A', B-B' y C-C' correspondientes a los rangos 703MHz-718MHz para el UPLINK y 758MHz-773MHz para Downlink, OTECEL tendrá los bloques D-D', E-E' y F-F' correspondientes a los rangos 718MHz-733MHz para el UPLINK y 773MHz-788MHz para Downlink.

En la banda de 1700MHz/2100MHz se asignará a cada operadora 40 MHz, en los bloques E-E', F-F', G-G' y H-H' correspondientes a los rangos 1730MHz-1750MHz para el UPLINK y 2130MHz-2150MHz para Downlink para la operadora OTECEL

S.A. y los bloques I-I', J-J', K-K' y L-L' correspondientes a los rangos 1750MHz-1770MHz para el UPLINK y 2150MHz-2170MHz para Downlink para la operadora CONECEL S.A.

En la banda de 2.5 GHz se podría asignar 40MHz de espectro en el modo FDD y 10 MHz en el modo TDD.

Otra solución sería asignar 15 MHz en la banda de 1900 MHz en los bloques A-A' y B-B' que se encuentran libres, en los bloques A-A', correspondientes a los rangos de 1850-1865 MHz para uplink y 1930 MHz – 1945 MHz para el Downlink para la operadora OTECEL S.A. y los bloques B-B', correspondientes a los rangos de 1870-1885 MHz para uplink y 1950 MHz – 1965 MHz para el Downlink para la operadora CONECEL S.A.

CONCLUSIONES

- LTE cambia completamente la tecnología radio respecto a UMTS, esta arquitectura tiene ventajas superiores a las tecnologías desarrolladas anteriormente ya que mejora la latencia, el throughput y la capacidad de la red, el núcleo de la red presenta simplicidad en la arquitectura ya que las radio bases se conectan directamente con el sistema central de la red, resultando benéfico para los operadores porque la inversión en infraestructura es menor y optimiza el tráfico de los servicios.
- LTE-A mejora en varios aspectos a la de red LTE, los cambios más notables son que en LTE-A se incorpora el Nodo de retransmisión (RN) proporcionando una mayor cobertura y capacidad en los bordes de células, Agregación de Portadoras (CA) para alcanzar altas tasas de transmisión, mejoras en el soporte de esquemas multiantena utilizando antenas MIMO 8x8 y MIMO 4x4 para mejorar la tasa pico por usuario y también ha identificado un método para mejorar la eficiencia espectral en el borde de la célula denominado CoMP reduciendo la interferencia específicamente en el borde de la célula.
- Las bandas que son recomendadas para el despliegue de LTE-A en la región 2 que es la región en la que se encuentra el Ecuador son las bandas de 700 MHz, 1700 MHz/2100 MHz (AWS) y 2.5 GHz, debido a que presentan mejoras muy favorables en cuanto a cobertura, propagación de señales, mayor capacidad de red y mayores velocidades de transmisión siendo aspectos favorables para la implementación de esta tecnología, el

Ecuador ha adoptado las segmentaciones A5, B5, C1 respectivamente en las bandas antes mencionadas .

- LTE-A tiene una arquitectura similar a HSPA+ que permitirá su migración, ya que LTE-A se ha diseñado de modo que tenga compatibilidad con versiones anteriores para lo cual se debe realizar mejoras o cambios a nivel de: equipos de usuario, red de acceso de radio, red troncal, técnicas multiantenas y acceso al medio.
- LTE-A tiene la capacidad para proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, HSPA+ soporta velocidades de hasta 168 Mbps utilizando múltiples portadoras, y hasta 672 Mbps utilizando técnicas avanzadas de antenas, esta velocidad se alcanza en las mejores condiciones es decir con una excelente señal de radio y sin otros usuarios en la celda, la velocidad real se ve influida por el ancho de banda consumido, por las condiciones radioeléctricas, por la cantidad de usuarios simultáneos y por la saturación del enlace de la estación base con la red troncal de la operadora.
- LTE-Advanced tiene una velocidad de 100 Mbps en ambientes de alta movilidad para el enlace descendente, el sistema soporta movilidad entre redes celulares hasta 350 Km/h, presenta mejora notables en cuanto a cobertura, flexibilidad en el uso del espectro ya que puede operar tanto en bandas pareadas FDD como no pareadas TDD, además permite el uso óptimo del espectro radioeléctrico por medio de técnicas de Asignación Dinámica del Espectro.

- Las tres operadoras del Servicio Móvil Avanzado en el Ecuador, CLARO, MOVISTAR y CNT.EP. han desplegado la tecnología HSPA+ lo que les da facilidad para el proceso de migración hacia LTE-A ya que sus redes pueden ser interconectadas a una red LTE, mediante la interconexión al núcleo de la red LTE y realizando ciertas configuraciones y actualizaciones a fin de que pueda trabajar conjuntamente.
- La empresa pública CNT E.P tiene asignado por parte del CONATEL 30MHz en la banda de 700 MHz y 40MHz en las bandas AWS, siendo la operadora con mayor cantidad de espectro en el mercado con respecto a las operadoras privadas (CLARO y MOVISTAR) lo cual influye en el crecimiento de LTE-A a nivel nacional, cabe recalcar que CNT E.P. ya ha empezado a implementar dicha tecnología en las ciudades principales como es Quito y Guayaquil.
- Los fabricantes de equipos tienen estrategias y soluciones que mejoran las redes 3G existentes y satisfacen los requisitos de la red 4G, entre los principales tenemos: Cisco, Huawei y Alcatel Lucent, las empresas que proveerán conectividad para el despliegue de la red 4G a Ecuador a través de la operadora CNT E.P son Huawei y Alcatel-Lucent siendo este último el que ha establecido una posición de fuerte liderazgo global en 4G/LTE, debido a la experiencia en el diseño, despliegue y operación de redes LTE con clientes en las principales regiones del mundo.
- LTE-Advanced posee una infraestructura simple de implementar y operar es así que la migración hacia LTE-Advanced específicamente se hará en la misma infraestructura física que tiene cada operadora actualmente.

- En lo que se refiere a requerimientos técnicos para su implementación, los eNBs requieren tres antenas sectoriales de 120° que operen en las frecuencias de 700 MHz y 1700/2100 MHz o 2.5GHz, para la gestión de radio un equipo en este caso el DBS3900 equipo marca Huawei formando por el RRU y BBU, para la red del núcleo es necesario adquirir un equipo (eCNS600) que realice las funciones centrales de LTE integrando la función de MME, S-GW/P-GW y HSS, adicionalmente es necesario gestionar los elementos de la red móvil para esto tenemos el iManager M2000.
- Tomando como referencias los precios de equipos de la marca Huawei, las operadoras CLARO, MOVISTAR y CNT E.P tendrán que invertir aproximadamente 470 millones de dólares, 320 millones de dólares y 27 millones de dólares respectivamente en la implementación de la red 4G en todo el país, este cálculo ha sido realizado de acuerdo al número de radio bases que tiene cada operadora.
- La inversión que cada una de las operadoras tienen que realizar es elevado pero tomando en cuenta el crecimiento de los usuarios de telefonía móvil este valor se puede recuperar, pero mucho más allá de la inversión se debe tener en cuenta que las operadoras necesariamente tienen que migrar hacia nuevas tecnologías.
- Es factible implementar LTE-Advanced en el aspecto técnico, regulatorio y económico permitiendo ofrecer mayor capacidad, movilidad, velocidad, cobertura, flexibilidad en el espectro para la red de Servicio Móvil Avanzado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda al Estado Ecuatoriano a través del CONATEL utilizar la segmentación A5 de la banda de 700 MHz debido a la cobertura que ofrece, principalmente para zonas rurales y por ser menos costosa.
- Se debe asignar el espectro evitando las interferencias con otras bandas o dispositivos, aprovechando los recursos del espectro para una buena propagación y permitiendo su uso eficiente sin desperdiciar el recurso.
- El Estado Ecuatoriano debería otorgar frecuencias a las operadoras privadas (CLARO Y MOVISTAR) en la misma cantidad asignada a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT E.P.) de tal forma que esta distribución sea equitativa para la operadoras públicas y privadas y pueda desplegarse esta tecnología en el menor tiempo posible.
- Los usuarios que van a adquirir un Smartphone deben tomar en cuenta que el equipo sea compatible y opere en la banda en la cual esta implementada la tecnología 4G.
- Las operadoras de Servicio Móvil Avanzado deben buscar estrategias para que los clientes puedan acceder a la tecnología LTE, proporcionando facilidades para que los usuarios adquieran equipos al menor costo posible.

RESUMEN

En esta investigación se realizó un estudio técnico de la Tecnología Long Term Evolution-Advanced (LTE-A) y las condiciones técnico-regulatorias para su implementación y migración a 4G del Servicio Móvil Avanzado, realizado en la Escuela de Ingeniería en Electrónica Telecomunicaciones y Redes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para todo el Ecuador.

Para la recopilación de información se utilizó el método analítico haciendo la revisión de varios documentos y páginas web. Se analizó la tecnología de Acceso de paquetes a Alta Velocidad-Evolucionada (HSPA+) y la tecnología LTE-A. Se procedió a comparar las dos tecnologías a nivel de: Equipos de Usuario, Red Troncal y Red de Acceso al Núcleo, determinando las mejoras y cambios para migrar la red hacia LTE-A.

Se plantean soluciones para que las operadoras privadas (CLARO y MOVISTAR) puedan desplegar la tecnología LTE-A, proponiendo otorgarles 30 MHz en las bandas de 700 MHz y 40 MHz en la banda de 1700/2100 MHz. Se realizó un análisis económico para medir la posible inversión en la implementación.

LTE-A y HSPA+ alcanzan velocidades de 1000 Mbps y 672 Mbps respectivamente, LTE-A muestra un 32,8% de mejora en la velocidad, gracias a técnicas como: agregación de portadora y soporte de esquemas multiantena.

Se concluye que es factible la implementación de LTE-Advanced, en el aspecto técnico, regulatorio y económico, permitiendo ofrecer mayor capacidad, velocidad para la red del Servicio Móvil Avanzado.

Se recomienda al Estado Ecuatoriano otorgar frecuencias a las operadoras privadas (CLARO Y MOVISTAR) en la misma cantidad asignada a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT E.P.) de tal forma que esta distribución sea equitativa para las operadoras públicas y privadas.

SUMMARY

In this research, a study of the Technology Long Term Evolution-Advanced (LTE-A) and technical-regulatory conditions for its implementation and migration to advanced 4G mobile service, held at the School of Electronic Engineering in Telecommunications and networks Higher Polytechnic School of Chimborazo for all Ecuador.

For information gathering the analytical method was used to review various documents and web pages. It was analyze the access packages technology, high – speed-Evolved (HSPA+) and LTE-A technology. Then it proceeded to compare the two technologies at the level of equipment users, Trunk Network and Access Network specific core improvements and network changes to migrate to LTE-A.

We propose solutions to private operators (CLARO and MOVISTAR) deploy LTE-A technology, proposing to grant 30MHz and 40MHz in the 700MHz and 1700/2100MHz bands respectively. An economic analysis was conducted to measure the possible investment in the implementation.

LTE-A and HSPA+ reach speeds of 1000Mbps and 672Mbps respectively, LTE-A shows a 32.8% improvement in speed, thanks to techniques such as carrier aggregation schemes and multi-antenna support.

We concluded that is feasible to implement LTE-Advanced, in the technical aspect, regulatory and economical, allowing us to offer greater capacity, speed for Advanced Mobile Service Network.

It is recommended that the Ecuadorian State to grant frequencies to private operators (CLARO and MOVISTAR) in the same amount allocated to the National Telecommunications Corporation (CNT E.P.) so that this distribution is fair to the public and private operators.

GLOSARIO

Access-Stratum (AS), es una capa funcional en el UMTS y LTE , son las pilas de protocolos entre la red de radio y el equipo de usuario.

Backhaul Link, se refiere al enlace entre el Nodo de Retransmisión (RN) y el eNB.

Bearer, es un flujo de paquetes IP el cual tiene asignado una serie de características, entre ellas la QoS. Existen varios tipos de bearer dependiendo de la parte de la red donde se definan. Aquellos que se establecen entre el UE y el eNodeB, se denominan "Radio Bearer".

Buffer, es un espacio de memoria, en el que se almacenan datos para evitar que el programa o recurso que los requiere, ya sea hardware o software, se quede sin datos durante una transferencia.

Capacidad de la red, cantidad de información que puede ser transmitida sobre dicha red.

Component Carrier, es cualquiera de los anchos de banda de LTE Release 8 y 9.

Desvanecimiento, se refiere a que dicha señal es atenuada debido a la pérdida en el espacio, los obstáculos y resistencia que debe traspasar durante toda su trayectoria hasta su destino.

DSL (Línea de abonado digital), es un término utilizado para referirse de forma global a todas las tecnologías que proveen una conexión digital sobre línea de abonado de la red telefónica básica o conmutada.

Handover o traspaso, es el sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.

Interferencia co-canal, ocurre cuando la misma frecuencia de portadora de dos transmisores separados físicamente llegan a un mismo receptor al mismo tiempo

Latencia, es el tiempo transcurrido entre el momento en que envías datos a través de una red y cuando estos arriban.

MIMO, es una tecnología de antenas inteligentes de arrays adaptativos empleada en algunas redes inalámbricas como: femtoceldas y en WiMAX que aprovecha el fenómeno de multipropagación y radiocomunicaciones.

NAS, protocolos que llevan a cabo la gestión de movilidad de los equipos de usuario y la gestión de las sesiones para el establecimiento de la conectividad entre el equipo de usuario.

OFDM, es una técnica de multi-canalización basada en el uso de varias subportadoras.

Red Heterogénea, es una mezcla de redes con células grandes y pequeñas las cuales está formada por múltiples tecnologías de acceso de radio, arquitecturas, soluciones de transmisión y estaciones base de diversas potencias de transmisión.

Roaming, es un concepto utilizado en comunicaciones inalámbricas que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra.

SIP, es un protocolo de señalización definido por el IETF (Internet Engineering Task Force) que permite el establecimiento, liberación y modificación de sesiones multimedia.

Subcanal, es un conjunto de subportadoras físicas activas que pueden o no ser adyacentes.

Streaming de música, es una forma de distribución de canciones a través de internet, o dicho de otra forma, las partes de un archivo que se almacenan de forma temporal en la memoria de nuestro dispositivo.

Telecomunicaciones, según la UIT es toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos e informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.²NGN, es una arquitectura de red orientada a reemplazar las redes telefónicas conmutadas de telefonía, para brindar servicios de voz y multimedia.

Throughput, es la utilización que podemos lograr con un elemento de red (router, enlace WAN, LAN, etc.).

UTRAN, es un conjunto de Subsistemas de redes de radio (RNS) que son el modo de comunicación de la red UMTS.

BIBLIOGRAFIA

1. **AGUSTÍ COMES, R. Y OTROS.**, LTE: Nuevas Tendencias de Comunicaciones Móviles., 4a. ed., Catalunya-España., Fundación Vodafone España., 2010., Pp. 55-79.

2. **SEUNGJUNE, Y. Y OTROS.**, Radio Protocols for LTE and LTE-Advanced., 1ª.ed., Washington-Estados Unidos., John Wiley&Sons, Ltd., 2012., Pp. 50-68.

3. **BOCCIA, O. Y OTROS.**, Las telecomunicaciones de Banda Ancha en la Región Américas., Asunción-Paraguay., UIT., 2006., Pp. 168-171.

<http://www.itu.int/ITUUD/finance/Work%20on%20Financing/TelecomBandaAnchaLatinoamerica-sp.pdf>

4. **REVISTA DE NEGOCIOS DE SEGURIDAD (RNDS)**, Evolución de las Telecomunicaciones., N° 36., Buenos Aires-Argentina., RNDS., 2012., Pp. 64-68.

5. ECUADOR, SUPERTEL., El ABC de la banda ancha: Condiciones de operación beneficios situación actual protocolo de internet, Quito-Ecuador., Revista institucional Vol.1, N° 17., Don Bosco., 2012., Pp. 5-8.

6. ECUADOR, SUPERTEL., Evolución de la Telefonía Móvil en el Ecuador., Quito-Ecuador., Revista Institucional Vol.1, N°16., Don Bosco., 2012., Pp.20-23.

7. SOTO, K., LTE, Evolución a Largo Plazo para el Acceso Inalámbrico de Banda Ancha Móvil., Facultad de Ciencias de la Ingeniería., Escuela de Ingeniería Civil Electrónica., Universidad Austral de Chile., Valdivia-Chile., **TESIS.**, 2009., Pp. 65-69.

8. MARCANO, D., Apuntes, LTE-Advanced., s.ed., Caracas Venezuela., s.edt., 2012.

9. ARQUITECTURA LTE/SAE

<http://www.tribuglobal.com/index.php/tecnologia/telecomunicaciones/372-lte-caracteristicas-tecnicas-ii-parte.html>

2013-07-16

10. DIFFERENCE BETWEEN FDD LTE AND TDD LTE NETWORKS

<http://www.differencebetween.com/difference-between-fdd-lte-fd-lte-and-vs-tdd-lte-td-lte-networks/>.

2013-09-05

11. EQUIPOS EXISTENTES

<http://www.claro.com.>

2013-10-25

12. ENHANCED HIGH-SPEED PACKET ACCESS

http://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/public/iks/files/lehre/UMTS/13_UMTS-HSPA+_ws12.pdf

2013-10-15

13. ENTERPRISE PRODUCTS

<http://www.alcatel-lucent.com/>.

2013-10-25

14. ESTADISTICAS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO

<http://www.supertel.com>.

2013-05-17

15. HSPA+

<http://www.4gamericas.org>

2013-06-15

16. INFORME SOBRE LTE (LONG TERM EVOLUTION)

<http://es.scribd.com/doc/160861191/Informe-Sobre-Lte-Long-Term-Evolution>.

2013-07-16

17. ITU (INTERNATIONAL COMMUNICATION UNION) M.1036

<http://www.itu.int/rec/R-REC-M.1036-3-200707-S/>.

2013-07-14

**18. ITU-R.ITU GLOBAL STANDARD FOR INTERNATIONAL MOBILE
TELECOMMUNICATIONS**

[http://www.itu.int/ITU-R/information/promotion/e-
flash/2/article4.html](http://www.itu.int/ITU-R/information/promotion/e-flash/2/article4.html).

2013-07-16

19. LTE NETWORK ARCHITECTURE

<http://www.tutorialspoint.com/ltenetworkarchitecture>

2013-07-18

20. LTE Y LTE ADVANCED

[http://www.xataka.com/otros/lte-y-lte-advanced-cual-de-ellos-
es-realmente-4g](http://www.xataka.com/otros/lte-y-lte-advanced-cual-de-ellos-es-realmente-4g).

2013-05-04

21. OPERADORAS ANTE LA BANDA ANCHA MÓVIL

[http://www.managementsolutions.com/PDF/ESP/operadoras
-moviles.pdf](http://www.managementsolutions.com/PDF/ESP/operadoras-moviles.pdf).

2013-05-12

22. PLANES MOVISTAR

<http://www.movistar.com/>

2013-10-26

23. PLANES, TELEFONÍA MÓVIL

<http://www.cnt.gob.ec>

2013-10-26

24. PRODUCTOS Y SOLUCIONES

<http://www.huawei.com/ec/>

2013-10-25

25. REDES CELULARES – SU EVOLUCIÓN

<http://www.poderpda.com/noticias/redes-celulares-su-evolucion-en-mexico/>

2013-06-15

26. RESOLUCIONES DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

[http://www.conatel.com.](http://www.conatel.com)

2013-06-30

27. SC-FDMA IS IMPLEMENTED IN LTE UPLINK

[http://www.eeweb.com/project/atit_patel/sc-fdma-is-implemented-in-lte-uplink.](http://www.eeweb.com/project/atit_patel/sc-fdma-is-implemented-in-lte-uplink)

2013-07-20

28. TELEFONÍA MÓVIL

[http://es.kioskea.net/contents/682-telefonía-movil.](http://es.kioskea.net/contents/682-telefonía-movil)

2013-05-05

29. TECNOLOGÍAS MÓVILES

[http://www.i.edu.mx/aportaciones/trabajo%20final11.pdf.](http://www.i.edu.mx/aportaciones/trabajo%20final11.pdf)

2013-05-12

30. TELEFONÍA MÓVIL 3.5G

<http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/91>

[59574/Telefonia -Movil-3-5G.html](http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/9159574/Telefonia-Movil-3-5G.html)

2013-06-05

31. THE MOBILE BROADBAND STARDARD

[http://www.3gpp.org/Technologies.](http://www.3gpp.org/Technologies)

2013-07-14

32. VOLTE (VOICE OVER LONG TERM EVOLUTION)

[http://www.ramonmillan.com/tutoriales/volte.php.](http://www.ramonmillan.com/tutoriales/volte.php)

2013-07-18

33. 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT 2

[http://www.3gpp2.org/.](http://www.3gpp2.org/)

2013-07-14

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1

Frecuencias para LTE

Las frecuencias correspondientes a la banda LTE son: **1850 - 1915 MHz**

(uplink) 1930 - 1995 MHz (downlink)

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	F _{UL_low} - F _{UL_high}	F _{DL_low} - F _{DL_high}	
1	1920 MHz - 1980 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz - 1910 MHz	1930 MHz - 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz - 1785 MHz	1805 MHz - 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz - 1755 MHz	2110 MHz - 2155 MHz	FDD
5	824 MHz - 849 MHz	869 MHz - 894 MHz	FDD
6 ¹	830 MHz - 840 MHz	875 MHz - 885 MHz	FDD
7	2500 MHz - 2570 MHz	2620 MHz - 2690 MHz	FDD
8	880 MHz - 915 MHz	925 MHz - 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz - 1784.9 MHz	1844.9 MHz - 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz - 1770 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz - 1447.9 MHz	1475.9 MHz - 1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz - 716 MHz	729 MHz - 746 MHz	FDD
13	777 MHz - 787 MHz	746 MHz - 756 MHz	FDD
14	788 MHz - 798 MHz	758 MHz - 768 MHz	FDD
15	Reserved	Reserved	FDD
16	Reserved	Reserved	FDD
17	704 MHz - 716 MHz	734 MHz - 746 MHz	FDD
18	815 MHz - 830 MHz	860 MHz - 875 MHz	FDD
19	830 MHz - 845 MHz	875 MHz - 890 MHz	FDD
20	832 MHz - 862 MHz	791 MHz - 821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz - 1462.9 MHz	1495.9 MHz - 1510.9 MHz	FDD
22	3410 MHz - 3490 MHz	3510 MHz - 3590 MHz	FDD
23	2000 MHz - 2020 MHz	2180 MHz - 2200 MHz	FDD
24	1626.5 MHz - 1680.5 MHz	1525 MHz - 1559 MHz	FDD
25	1850 MHz - 1915 MHz	1930 MHz - 1995 MHz	FDD
26	814 MHz - 849 MHz	859 MHz - 894 MHz	FDD
27	807 MHz - 824 MHz	852 MHz - 869 MHz	FDD
28	703 MHz - 748 MHz	758 MHz - 803 MHz	FDD
29	N/A	717 MHz - 728 MHz	FDD ²
...			
33	1900 MHz - 1920 MHz	1900 MHz - 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz - 2025 MHz	2010 MHz - 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz - 1910 MHz	1850 MHz - 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz - 1990 MHz	1930 MHz - 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz - 1930 MHz	1910 MHz - 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz - 2620 MHz	2570 MHz - 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz - 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz - 2400 MHz	2300 MHz - 2400 MHz	TDD
41	2496 MHz - 2690 MHz	2496 MHz - 2690 MHz	TDD
42	3400 MHz - 3600 MHz	3400 MHz - 3600 MHz	TDD
43	3600 MHz - 3800 MHz	3600 MHz - 3800 MHz	TDD
44	703 MHz - 803 MHz	703 MHz - 803 MHz	TDD

NOTE 1: Band 6 is not applicable
 NOTE 2: Restricted to E-UTRA operation when carrier aggregation is configured. The downlink operating band is paired with the uplink operating band (external) of the carrier aggregation configuration that is supporting the configured Pcell.

ANEXO 2

Asignación de Espectro Móvil en América Latina

Asignaciones de Espectro Móvil en América Latina

Banda de Espectro MH	700	850	900	1700	1800	1900	1700/2100	2100	1900/2100	2300	2500
Argentina	-	√	-	-	-	√	-	-	-	-	-
Bolivia	√	√	-	-	-	√	√	-	-	-	-
Brasil	-	√	√	-	√	√	-	-	√	-	√
Chile	-	√	-	-	-	√	√	-	-	-	√
Colombia	-	√	-	-	-	√	√	-	-	-	√
Costa Rica	-	√	-	-	√	-	-	√	-	-	-
Ecuador	√	√	-	-	-	√	√	-	-	-	-
El Salvador	-	√	√	-	-	√	-	-	-	-	-
Guatemala	-	√	√	-	-	√	-	-	-	-	-
Honduras	-	√	-	-	-	√	-	-	-	-	-
México	-	√	-	-	-	√	√	-	-	-	-
Nicaragua	√	√	-	-	√	√	-	-	-	-	-
Panamá	-	√	-	-	-	√	-	-	-	-	-
Paraguay	-	√	-	-	-	√	√	-	-	-	-
Perú	-	√	√	-	-	√	√	-	-	-	-
Puerto Rico	√	√	√	-	-	√	√	-	-	√	-
República Dominicana	-	√	√	√	√	√	-	-	-	-	-
Uruguay	-	√	√	-	√	√	√	-	√	-	-
Venezuela	-	√	√	-	√	√	-	-	-	-	-

Topes de Espectro en América Latina, Julio 2013

Mercado	Tope de Espectro	Observación
Argentina	50 MHz	Espectro actualmente asignado
Bolivia	Ninguno	Espectro actualmente asignado
Brasil	85 MHz	Excluye 450 MHz o 2,5 GHz
Chile	60 MHz	Sólo aplica para espectro AWS en combinación con 850 MHz y 1,9 GHz
Colombia	115 MHz	85 MHz para > 1 GHz y 30 MHz para < 1 GHz
Costa Rica	Ninguno	Espectro actualmente asignado
Ecuador	65 MHz	Espectro actualmente asignado. No aplica para las bandas AWS de CNT AWS o espectro de 700 MHz
El Salvador	Ninguno	Espectro actualmente asignado
Guatemala	Ninguno	Espectro actualmente asignado
Honduras	Ninguno	Espectro actualmente asignado
México	80 MHz	Espectro actualmente asignado
Nicaragua	Ninguno	Espectro actualmente asignado
Panamá	Ninguno	Espectro actualmente asignado
Paraguay	Ninguno	Espectro actualmente asignado
Perú	40 MHz + 60 MHz	60 MHz para 800 MHz, 900 MHz y 1,9 GHz; 40 MHz para 1,7-2,1 GHz
Puerto Rico	Ninguno	Espectro actualmente asignado
República Dominicana	Ninguno	For AWS 40Mhz
Uruguay	Ninguno	Espectro actualmente asignado
Venezuela	Ninguno	Espectro actualmente asignado

ANEXO 3

Datasheet de equipos para Lte-Advanced

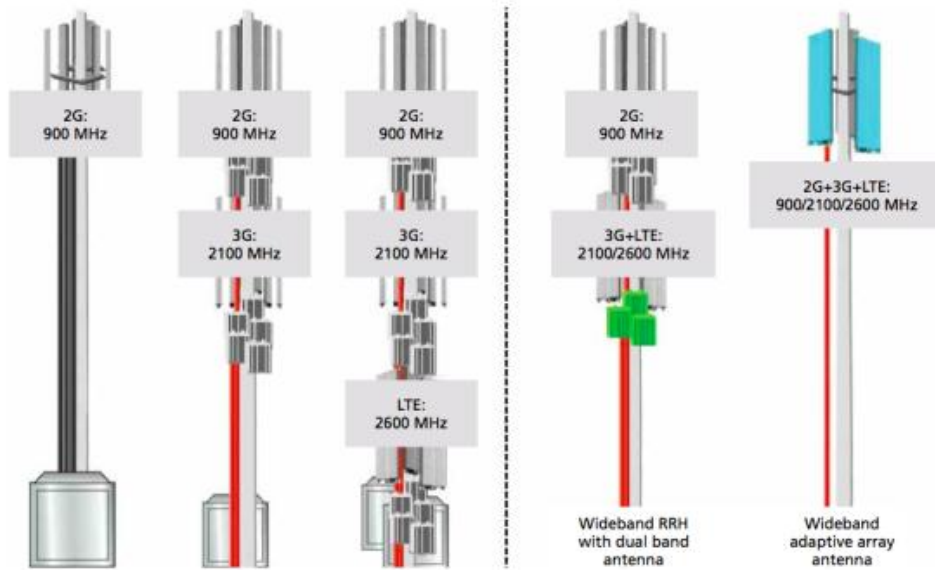
- **CUBOS LIGHT RADIO DE ALCATEL LUCENT**

Alcatel-Lucent es una compañía de telecomunicaciones que se encuentra creando y desarrollando tecnología para resolver problemas de cobertura, velocidad de data, dentro de estas tecnologías tenemos soluciones para redes LTE



Light Radio es un cubo, aproximadamente 2.5 pulgadas de tamaño, puede ser desplegado para reemplazar antenas existentes, lo que significa que ahorra espacio y dinero a la hora de instalarse, también puede trabajar en conjunto con dichas antenas, como se puede ver en la figura.

Figure 8. Current and future radio heads on cell towers - with lightRadio paradigm



Estos pueden instalarse en grupos, cada uno actuando independientemente, lo que es conveniente si en algún momento uno de estos se llega a dañar; los demás seguirían funcionando sin problemas. De hecho, de dañarse alguno se podría reemplazarlo.

Los cubos light Radio pueden ser instalados incluso en postes de alumbrado, lo que representa una forma económica y rápida de aumentar cobertura en un área determinada.

Estos cubos poseen varias tecnologías de antena, como lo es 2G, 3G y 4G LTE; todas en un mismo cubo. Otras versiones podrían incluir Wi-Fi lo que podría en el futuro hacer posible que un teléfono cambie de 3G o 4G a Wi-Fi sin intervención del usuario.

Un grupo de estos cubos puede aumentar en un 30% la capacidad de banda ancha en comparación con antenas existentes.

El enfoque de esta solución es en “software” o programación, donde es esto lo que ayuda grandemente al desempeño de la red. En vez de tener mucho equipo en las antenas, la programación del mismo se encarga de manejar las tareas requeridas para mantener un servicio eficiente.

Esta tecnología representa una reducción en costos de instalación y mantenimiento, pues cambiar uno de estos cubos es como cambiar una bombilla de luz, uno de los puntos importantes es que es posible reducir a la mitad las emisiones de CO2 al ambiente.

MRO light Radio

El MRO (Metro Radio Outdoor) light Radio forma parte de la familia de productos Alcatel-Lucent light Radio small cells y se basa en el “cubo” light Radio. El “cubo” es una innovación de Bell Labs que combina y reduce antenas de torres de celdas en un dispositivo de pequeño factor de forma, multiestándar y multifrecuencia que se puede montar en postes, edificios o en cualquier sitio con alimentación y conexión de banda ancha. Amplía la red LTE para proporcionar cobertura de hotspot en zonas densamente pobladas como centros comerciales, aeropuertos, y estadios deportivos.

▪ **Especificaciones del Equipo Cisco ASR 5500**

Description	Specification
Logical Interfaces	<ul style="list-style-type: none">• GSMA• GSM UMTS• SIGTRAN• IMS Ma, Mw, Mg, Mj, Mr, ISC, Cx, Sh• IETF SIP• H.248• ECMP, IEEE 802.1q VLANs, IEEE 802.3ad link aggregation• MPLS LSPs, GRE interface tunnels• L2TP, IPSEC
Physical Dimensions	<ul style="list-style-type: none">• Height: 93.3 cm (36.75 in.)• Width: 43.8 cm (17.25 in.)• Depth: 69.9 cm (27.5 in.)• Mounting weight (chassis): 51.25 kg (113 lb)

	<ul style="list-style-type: none">• Total weight (fully loaded): 204.1 kg (450 lb)
Power	<ul style="list-style-type: none">• Base 20-slot chassis: 256W• Fabric and storage card (up to 6 per chassis): 100W• System status card (up to 2 per chassis): 10W• Management I/O card (up to 6 per chassis): 900W• Data processing card (up to 8 per chassis): 1000W• Front fan tray (2 per chassis): 60W• Back fan tray (2 per chassis): 840W• Total power (fully loaded): 12,800W• 8 power feeds, capable of carrying 80A each• Operating voltage: -40.5 to -72V
Environmental	<ul style="list-style-type: none">• Normal operating temperature: 0°C to 40°C (32°F to 104°F)• Storage temperature: -40°C to +70°C (-40°F to 158°F)• Normal operating humidity: 20% to 80% noncondensing

	<ul style="list-style-type: none">• Storage humidity: 10% to 95% noncondensing• Normal operating altitude: 60m (197 ft) below to 4,000m (13,123 ft) above sea level (at 30°C)• Non-operating altitude: 60m (197 ft) below to 15,000m (49,212 ft) above sea level
GSM/UMTS (CS Domain)	<ul style="list-style-type: none">• 3GPP TS 24.008, 48.006, 48.008, 25.413, 29.232, Q.1950, 23.003, 29.002, 23.039, 23.040, 23.401, 23.402, 24.011, 24.080, 24.081, 24.083, 24.084, 24.091, 24.173, 23.009, 49.008
IETF	<ul style="list-style-type: none">• RFC 1035, 2046, 2387, 2617, 2782, 2915, 2976, 2833, 3261(SIP), 3263(SIP), 3262, 3264, 3265(SIP), 3310, 3311, 3323, 3325, 3327(SIP), 3428, 3455, 3551, 3588, 3608(SIP), 3680, 3761, 3842, 3966, 4483, 4566
CDMA	<ul style="list-style-type: none">• CDMA A.S0013-C v2.0, A.S0014-C v2.0, C.S0005-D v2.0

eCNS600

Integrated Core Network



Specifications

Performance Specifications:

Maximum number of subscribers: 20K

Maximum throughput: 4Gbps/Board

Maximum number of eNodeB: 500

Mechanical Specifications:

Power supply: -40V~-57V DC

Dimensions: 622(H)x 442(W)x400(D)mm

Weight: <50kg

Environmental Specifications:

Working temperature: 0°C ~ +45°C

Relative humidity: -5°C ~ +55°C

Ingress Protection (IP) rating: IP50

EMC Specifications:

ETSI EN 300 386V1.3.3: 2005

AS/NZS CISPR 22: 2004

CISPR 22: 2002 CLASSA

EN 55022: 1998 + A1: 2000+A2: 2003 CLASSA

EN 55024:1998 + A1:2001 + A2:2003

FCC part 15:2006

VCCI V-3: 2006

CISPR 24: 1997

Reliability Specifications:

System availability $\geq 99.999\%$

MTBF ≥ 250000 hours

MTTR ≤ 1 hour

Redundancy strategy: 1+1hot backup

DBS3900

Distributed Base Station



The DBS 3900 consist of:

Base Band processing Unit: BBU3900 ($\leq 445W$); LBBPd1 for 2x2MIMO; LBBPd2 for DL 4x2MIMO / UL 4Rx Diversity;

Remote Radio Units: 2T2R, 4T4R;

Performance Specifications:

BBU3900

Item	Performance Specifications
Maximum number of cells	4T4R beamforming: 18 cells with a bandwidth of 10 MHz or 20 MHz for each cell 4 x 2 MIMO: 18 cells with a bandwidth of 5 MHz or 10 MHz or 20 MHz for each cell 2 x 2 MIMO: 18 cells with a bandwidth of 5 MHz or 10 MHz or 20 MHz for each cell
Maximum throughput per cell with the 20 MHz bandwidth	Downlink data rate at the Media Access Control (MAC) layer: 130 Mbit/s (4 x 2 MIMO and 2 x 2 MIMO)
Maximum throughput per eNodeB	Sum of uplink and downlink data rates at the MAC layer: 1500 Mbit/s
Maximum number of UEs in RRC_CONNECTED mode in an eNodeB	10,800
Data radio bearer (DRB)	Eight DRBs per user equipment (UE)

RRU (LTE FDD)

Supported frequency band:

700M/800M/850M/900M/1.0G/1.8G/2.1G/2.6G

Capacity: an RRU supports one carrier with the 1.4MHz/3MHz/5 MHz/10

MHz/15MHz/ 20 MHz

Maximum transmit power: 2 x 40W

RRU (LTE TDD)

Supported frequency band: 1.8G/2.3G/2.6G/3.5G/3.7G/5.8G

Capacity: an RRU supports one carrier with the 3MHz/5MHz /10MHz
/20MHz

Maximum transmit power: 4 x 20W; 2 x 50W

Mechanical Specifications:

BBU

Power supply: -38.4V DC ~-57V DC

Dimensions: 86(H) × 442(W) × 310(D) mm

Weight: ≤12 kg (in full configuration)

RRU

Power supply: -36V DC ~-57V DC

Dimensions (RRU3232 without the housing): 480(H)x 270(W) x 140(D) mm

Dimensions (RRU3232 with the housing): 485(H) x 300(W) x 170(D) mm

Weight (RRU 3232 without the housing): ≤ 19.5kg

Weight (RRU 3232 with the housing): ≤ 21 kg

EMC Specifications:

R&TTE Directive 1999/5/EC

R&TTE Directive 89/336/EEC

3GPP TS 36.113

ETSI EN 301489-1/23

ETSI EN 301908-1 V2.2.1 (2003-10)

ITU-R SM.329-10

Environmental Specifications:

BBU

Working temperature: -20°C to +50°C

Relative humidity: 5% RH ~ 95% RH

Ingress Protection (IP) rating: IP20

RRU

Working temperature (with solar radiation of 1120 w/ m²): -40°C ~ +50°C

Working temperature (without solar radiation): -40 ° C ~ +55°C

Relative humidity: 5% RH ~ 100% RH

Ingress Protection (IP) rating: IP65

System availability ≥ 99.999%

MTBF ≥ 155000hours

MTTR \leq 1hour

System reset time $<$ 150s

Reliability Specifications:

System availability \geq 99.999%

MTBF \geq 155000hours

MTTR \leq 1hour

System reset time $<$ 150s

iManager M2000

All-in-One OSS



Specifications

Performance Specifications:

Hardware configuration: 2 CPU IBM x3650 M3

Maximum number of equivalent NE: 50

Mechanical Specifications:

Power supply: 48V ~60V DC

Dimensions: 85.5(H) x 443.6(W) x 705(D) mm

Weight: 22kg ~29.03kg

Environmental Specifications:

Working temperature: 10°C ~35°C

Relative humidity: 20%RH ~80%RH

Reliability Specifications:

System availability \geq 99.9943%

MTBF \geq 114,509hours

MTTR \leq 0.49932hour

Regulatory compliance:

FCC - Verified to comply with Part 15 of the FCC Rules, Class A

Canada ICES-003, issue 4, Class A

UL/IEC 60950-1

CSA C22.2 No. 69950-1-03

NOM-019

Argentina IEC60950-1

Japan VCCI, Class A

Australia/New Zealand AS/NZS CISPR 22:2006, Class A

IEC-60950-1:2001 (CB Certificate and CB Test Report)

Taiwan BSMI CNS 13438, Class A; CNS 14336

China CCC (4943-2001), GB 9254-2008 Class A, GB 17625.1:2003

Korea KN22, Class A; KN24

Russia/GOST ME01, IEC-60950-1, GOST R 51318.22-99, GOST R

51318.24-99, GOST R 51317.3.2-2006, GOST R 51317.3.3-99

IEC 60950-1 (CB Certificate and CB Test Report)

CE Mark (EN55022 Class A, EN60950-1, EN55024, EN61000-3-2,

EN61000-3-3)

CISPR 22, Class A

TUV-GS (EN60950-1 /IEC60950-1, EK1-ITB2000)

eH811-118

Professional Trunking Terminal



Specifications

Band	LTE	1785MHz ~ 1805MHz (Support Customized Frequency)
size	Dimensions	146(H) x 72(W) x 21(D)mm
	Weight	300g (including the battery)
Display	Type	FWVGA(1280x720) TFT
	Size	4.5 inch
	Touch Screen	Capacitive
System	Operation	Android 4.0
Memory	Platform	Omap4460 1.5GHz
	Memory	1GB RAM+ 4GB ROM
	Memory Card slot	Up to 32G
Data	LTE	3GPP Release 8
	WLAN	WiFi 802.11b/g/n
	Bluetooth	V3.0
Camera	pixels	8million
	Flash	Double LED
Battery	Thick Battery	5200mA
	Thin Battery	2600mA
Proof	Dust/Shock/Water Proof	Support
	Ingress Protection (IP) rating	IP67
Other Functions	G sensor	Support
	Gyroscope	Support
	Compass	Support
	GPS	Support
	USB	Micro USB2.0
	FM	Support
	Proximity & light Sensor	Support
Dual MIC	Support	

eA660-118

Wireless Access Outdoor CPE



Specifications

Item	Specification
Standard Compliance	<ul style="list-style-type: none">• WAN: LTE 3GPP Release 8• LAN: IEEE 802.3/802.3u
Operation Frequency	<ul style="list-style-type: none">• LTE: 1785MHz ~ 1805MHz (Support Customized Frequency)
External interface	<ul style="list-style-type: none">• 1 Ethernet interface: 10/100 Base-T port• 2 Antenna interface• 1 SIM slot
Maximum Transmit Power	23~30dBm (+2)
Receiver Sensitivity	<ul style="list-style-type: none">• -100dBm/5MHz• -97dBm/10MHz• -94dBm/20MHz
Power Consumption	< 21w
Power Supply	POE
Dimensions(WxDxH)	250 x 250 x 60mm
Ingress Protection (IP) rating	IP67
Weight	< 500g (not include power adapter)
Temperature	Operation Temperature: -40°C ~ 60°C Storage Temperature: -40°C ~ 70°C

eA100

Wireless Access Indoor Unit



Specifications

Item	Specification
Standard Compliance	<ul style="list-style-type: none">• WLAN: IEEE 802.11b/g/n• LAN: IEEE 802.3/802.3u
Operation Frequency	<ul style="list-style-type: none">• WLAN: 2.4GHz
External interface	<ul style="list-style-type: none">• 4 Ethernet interface: 10/100 Base-T port• 1 POST (RJ11)• 1 Power interface• Reset Button
Maximum Transmit Power	<ul style="list-style-type: none">• 802.11n: 11dBm (+2)• 802.11g: 13dBm (+2)• 802.11b: 15dBm (+2)
Receiver Sensitivity	<ul style="list-style-type: none">• -64dBm@65Mbps for 802.11n• -65dBm@54Mbps for 802.11g• -76dBm@11Mbps for 802.11b
Power Consumption	< 21w
Power Supply	12 VDC
Dimensions(WxDxH)	40 x 220 x 160mm
Weight	< 500g (not include power adapter)
Temperature	Operation Temperature: -5°C ~ 45°C
	Storage Temperature: -40°C ~ 70°C