

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Calidad de Servicio en Redes VoLTE

Autor: Lázaro Fortún Sosa

e-mail: lfortun@uclv.cu

Tutor: Ing. Víctor Manuel Peláez Fernández

e-mail: victor.pelaez@cubacel.cu

Consultante: Dr. C. Félix F. Álvarez Paliza

e-mail: fapaliza@uclv.edu.cu

Santa Clara

2017

"Año 59 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Calidad de Servicio en Redes VoLTE

Autor: Lázaro Fortún Sosa

e-mail: lfortun@uclv.cu

Tutor: Ing. Víctor Manuel Peláez Fernández

e-mail: victor.pelaez@cubacel.cu

Consultante: Dr. C. Félix F. Álvarez Paliza

e-mail: fapaliza@uclv.edu.cu

Santa Clara

2017

"Año 59 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad”.

Albert Einstein

DEDICATORIA

- A mis padres y a mi hermana.

AGRADECIMIENTOS

- A mi familia, en especial al apoyo incondicional de mis padres y mi hermana.
- A mi tutor por haberme ofrecido toda su ayuda.
- A mis amigos.
- A todos los profesores que contribuyeron con sus conocimientos y experiencia a mi formación como profesional.
- A todas las personas que me brindaron su ayuda y cariño durante el transcurso de estos 5 años en Santa Clara.

TAREA TÉCNICA

Análisis de la bibliografía para fundamentar las bases teóricas de la calidad de servicio de voz en las redes de Evolución a Largo Plazo (*Long Term Evolution*, LTE).

2. Estudio y caracterización de las redes LTE
3. Determinación de los parámetros de calidad de servicio (*Quality of Service*, QoS) para la voz en redes LTE.
4. Evaluación de distintas arquitecturas.
5. Valoración de redes LTE con el objetivo de medir el desempeño de la QoS de voz.
6. Diseño de una propuesta de red de Voz sobre LTE (*Voice over LTE*, VoLTE) empleando criterios para lograr QoS.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

En la actualidad en Cuba, ETECSA (Empresa de Telecomunicaciones de Cuba) es el único operador de telecomunicaciones, el cual en estos momentos ofrece a los suscriptores servicios provenientes de la segunda y tercera generación de las comunicaciones móviles. En este último caso solo en las cabeceras provinciales. Con el fin de brindar una conexión de alto nivel de cobertura de internet móvil, nuestro país se verá inmerso en una migración no muy tardía hacia las redes de banda ancha, tales como LTE o como algunos prefieren llamar Cuarta Generación (*Fourth Generation, 4G*). Distintas serán las arquitecturas de selección para dar solución al funcionamiento de VoLTE.

Este trabajo tiene como objetivo proponer una arquitectura que garantice calidad de servicio en redes VoLTE. Para alcanzar dicho objetivo se realizó primeramente una revisión bibliográfica de información actualizada. Luego se analizaron los diferentes parámetros para lograr calidad de servicio en redes VoLTE y se propuso una red con sus particularidades propias para funcionar en nuestro país con los equipos existentes. El principal resultado de este trabajo es ofrecer una red VoLTE para un futuro funcionamiento y también el de adquirir conocimientos en un tema tan novedoso y trascendental como lo es Voz sobre LTE.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TAREA TÉCNICA	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE REDES LTE	6
1.1 Introducción a las redes LTE	6
1.1.1 Arquitectura de las redes LTE	7
1.2 Características de las redes LTE	9
1.2.1 Interfaz de radio	10
1.2.2 Planificación de paquetes.....	11
1.2.3 Flexibilidad espectral	11
1.2.4 Tipo de modulación utilizado en LTE	12
1.3 VoLTE.....	13
1.4 Estado de la tecnología VoLTE en el mundo.....	14
1.5 Estado de la tecnología LTE en Cuba	14
1.5 Conclusiones del Capítulo.....	15
CAPÍTULO 2. PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN REDES	
VoLTE	16
2.1 Calidad de servicio, conceptos generales	16
2.2 Calidad de servicio en LTE.....	18

2.3	Parámetros para QoS en LTE.....	19
2.4	Requerimientos de Calidad de Servicio en redes VoLTE	22
2.4.1	MOS.....	23
2.5	Diferenciación de calidad de servicio entre VoLTE y VoIP	24
2.6	Conclusiones parciales del capítulo	25
CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE RED VOLTE EMPLEANDO CRITERIOS PARA LOGRAR QoS		26
3.1	Requerimientos para implementar QoS en la red propuesta.....	26
3.1.1	Requerimientos de los elementos de red (<i>Network Elements</i>).....	27
3.2	Soluciones para el soporte de VoLTE	29
3.2.1	Descripción de la red LTE a utilizar.....	31
3.2.2	Descripción de la red IMS	32
3.2.3	Single Radio Voice Call Continuity SRVCC	35
3.3	Propuesta de red VoLTE.....	36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		40
Conclusiones.....		40
Recomendaciones		41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		42
GLOSARIO		45

INTRODUCCIÓN

El surgimiento de las comunicaciones móviles comenzó con la primera generación (1G) de sistemas móviles, basada en la conmutación de circuitos, fue desarrollada a principios de la década de los 80s. Se desarrollaron varios sistemas diferentes pertenecientes a la 1G, tales como el Sistema Telefónico Móvil Analógico (*Analogue Mobile Phone System*, AMPS) en América del Norte, el Sistema Telefónico Móvil Nórdico (*Nordic Mobile Telephone*, NMT) en Escandinavia y varios países europeos, Sistema de Comunicaciones de Acceso Total Japonés (*Japanese Total Access Communication System*, JTACS) en Japón, y el Sistema de Comunicación de Acceso Total (*Total Access Communication System*, TACS) usado mundialmente (Dahlman et al., 2013).

Cada país desarrollaba su propio sistema, los teléfonos móviles solo funcionaban en el país en que se había comprado. Esto se debía a que la tecnología de un país no era compatible con la de otro, es por eso que se puede encontrar en la literatura el nombre de tecnologías nacionales o primera generación.

Estos sistemas móviles presentaban disímiles problemas, pero los principales eran la inconsistencia en la calidad de la voz, la interrupción frecuente del servicio durante una llamada, y el uso ineficiente del espectro radioeléctrico (Ramachandran, 2003).

La segunda generación (*Second Generation*, 2G) de los sistemas móviles celulares fue desarrollada a principios de los 90s y se caracteriza por una digitalización del sistema. Entre los desafíos para este tipo de tecnología fue el digitalizar el acceso al canal de radio, para brindar una mejor calidad de los servicios de voz, mayor seguridad y un uso más eficiente del espectro y la creación de un estándar global. Se introdujeron numerosos métodos de acceso incluyendo las tecnologías de Acceso Múltiple por División de Tiempo (*Time Division Multiple Access*, TDMA) y Acceso Múltiple por División de Código (*Code Division Multiple Access*, CDMA). Sistema Global para Comunicaciones Móviles (*Global System for*

Mobile Communications, GSM) y Comunicaciones Digitales Personales (*Personal Digital Communications*, PDC) son de los ejemplos que caben destacar de los sistemas móviles de 2G (Ramachandran, 2003).

Aunque GSM es el sistema móvil más exitoso comercialmente, debido al incremento en la demanda del acceso a internet, y a causa de su baja razón de datos (hasta 9.6 kbps), no satisface la calidad requerida en servicios multimedia de alta velocidad. Para superar las limitaciones de los sistemas pertenecientes a la 2G se crean varios sistemas móviles mejorados. El Servicio General de Paquetes vía Radio (*General Packet Radio Service*, GPRS) es un sistema basado en la conmutación de paquetes comúnmente denominado como de 2.5G, que proporciona una mejora significativa en las razones de transmisión de datos comparado con los sistemas de 2G. Es una extensión de GSM para la transmisión de datos mediante la conmutación de paquetes, que proporciona razones picos de transmisión de 171.2 kbps. GPRS dio paso a Razones de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*, EDGE) con razones de datos de hasta 384 kbps (Zarrinkoub, 2014).

Dado a la popularidad de la telefonía móvil en los países desarrollados, la cantidad de usuarios que utilizaban este medio de comunicación vino en crecimiento, por lo que se tuvo la necesidad de brindar un servicio más eficiente para voz, servicios multimedia y de transferencias de datos, la cantidad de usuarios ligados a la telefonía móvil hizo que los sistemas se saturaran rápidamente, haciendo que la transmisión de grandes volúmenes de información a velocidades altas en terminales inalámbricas y la red fija para aplicaciones de video, audio, video conferencias, conexiones a internet fuesen muy ineficientes, por lo tanto se tuvo la necesidad de mejorar y desarrollar nuevas tecnologías que dieron lugar a la tercera generación (*Third Generation*, 3G). La tercera generación de telefonía móvil, desarrollada a fines de los 90, ha permitido brindar servicios que van más allá de la voz, reúne acceso de radio de alta velocidad y servicios basados en IP (Protocolo de Internet) (Soto, 2011).

Los sistemas de tercera generación tuvieron su aparición con el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (*Universal Mobile Telecommunication System*, UMTS) también llamado W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) promovido por el Proyecto Asociado de Tercera Generación (3GPP, *Third Generation Partnership Project*,

por sus siglas en inglés). Una de las principales ventajas de UMTS sobre la segunda generación es la capacidad de soportar mayores velocidades de transmisión de datos, en concreto de 144 kbps en macroceldas grandes y 384 kbps en macroceldas pequeñas y microceldas (Fernández López, 2014).

Posteriormente apareció la tecnología HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) y HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), conocidos juntos como HSPA, como mejora de la tecnología UMTS. Consiste en un nuevo canal que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar velocidades de 14.4 Mbps. Es totalmente compatible con todas las aplicaciones en multimedia desarrolladas para UMTS. Además permite que la red sea utilizada simultáneamente por un número mayor de usuarios, HSDPA provee tres veces más capacidad que UMTS (Fernández López, 2014).

Debido al gran incremento del número de usuarios en las redes móviles, las grandes demandas de mejores aplicaciones, la necesidad de mayores razones de transmisión, el desarrollo económico y la competencia mundial surge la necesidad de una nueva tecnología móvil, las redes LTE.

En septiembre del 2009, 3GPP propone un estándar de comunicación móvil llamado LTE Avanzado (*LTE Advanced*, LTE-A) como una evolución de LTE. LTE-A fue formalmente aceptado como un sistema 4G candidato para mejorar el sistema LTE y cumplir con los requerimientos de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales Avanzadas (*International Mobile Telecommunications-Advanced*, IMT-Advanced).

La aplicación Voz sobre LTE (*Voice over LTE*, VoLTE) es el tópico más disertado de toda la red móvil LTE en la industria mundial de las telecomunicaciones. Con el servicio de voz siendo la mayor fuente de ingresos de todos los servicios ofrecidos en los sistemas 2G y 3G, hubo durante bastante tiempo un debate en la industria sobre lo que debería ser la solución de voz para LTE y diferentes alternativas surgieron amenazando con la fragmentación. La solución y la arquitectura de elección deberían ofrecer los beneficios de la evolución del servicio de voz mientras se asegura el servicio de telefonía actual; este fundamento es sustentado por la evolución de la oferta de servicios haciendo uso de capacidades de banda ancha y fácilmente agregar más ingresos que generan servicios (Gujral and JS, 2016).

En la actualidad se ha podido apreciar la gran evolución que ha tenido la tecnología en cuanto a las comunicaciones móviles. Desde su surgimiento, las comunicaciones móviles tienen dentro de sus principales objetivos garantizar altos valores de eficiencia y conectividad en cualquier sitio. El incremento que experimentan los usuarios en la telefonía móvil es notable, y sus exigencias en cuanto a servicios y aplicaciones también lo son. Con el desarrollo de las generaciones móviles de segunda y tercera generación (GSM y UMTS respectivamente) se hizo posible la oferta de nuevos servicios y aplicaciones; tales como la comunicación de voz y video en vivo (*online*), la navegación en internet a alta velocidad, la subida y descarga rápida de videos, juegos *online* interactivos y otros servicios que inducen a la creación de una plataforma que pueda manejar estas velocidades de transmisión. Es por eso que 3GPP, decidió desarrollar las redes de Evolución a Largo Plazo (*Long Term Evolution, LTE*). Este es un estándar diferente a las antiguas generaciones, principalmente en la transmisión de voz, ya que los servicios de voz migran de la conmutación de circuitos a la conmutación de paquetes, las ventajas del uso de la Voz sobre IP (*Voice over Internet Protocol, VoIP*) son numerosas, pero el uso de la conmutación de paquetes en el servicio de voz implica considerar un grupo de elementos que inciden en la calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*), es decir, dar prioridad a los paquetes IP que transporten servicio de voz.

La voz sobre LTE se declara como VoLTE. Es la evolución más novedosa en tecnología IP y se perfecciona muy rápido. Los principales impulsores de VoLTE han sido el hecho de que LTE es una arquitectura de paquete único y no tiene motor de servicio integrado de voz y SMS. Una solución para voz sobre LTE se necesita tan pronto como terminales móviles comienzan a utilizar el acceso LTE. VoLTE ofrece varias ventajas tanto para el operador como para los usuarios finales al mejorar la eficiencia espectral y de red. Los despliegues de los servicios VoLTE están aumentando a un ritmo muy rápido y requiere un número de métodos de resolución de problemas y optimizaciones para mejorar la calidad de servicio de voz de alta definición (Gujral and JS, 2016).

Como problema científico de este trabajo se ha partido de cómo lograr calidad de servicio (QoS) sobre redes LTE, para poder soportar servicios de voz sobre una red IP (VoLTE).

Teniendo por lo tanto como Objetivo General proponer una arquitectura que garantice calidad de servicio en redes VoLTE.

Estableciendo como Objetivos Específicos:

- Establecer los referentes teóricos sobre la calidad de servicio de voz en redes LTE.
- Determinar los principales parámetros a tener en cuenta para lograr QoS en redes VoLTE.
- Diseñar una propuesta de red Voz sobre LTE empleando criterios de QoS.

Para ello se partió de las siguientes Interrogantes Científicas:

¿Cuál es la situación actual que presentan las redes VoLTE?

¿Cómo determinar la calidad de servicio sobre redes LTE?

¿Qué medidas se deben tomar para que las redes LTE puedan soportar los servicios de voz con una buena QoS?

Con la realización de este trabajo se contribuye, en el orden teórico, metodológico y práctico, a la sistematización de los conocimientos sobre redes LTE y en particular, de las aplicaciones basadas en la voz; lo cual favorece a operadores como ETECSA, al permitirles brindar servicios de mayor calidad a un mayor número de clientes, con el consiguiente beneficio económico y social.

Organización del informe

Este trabajo consta de tres capítulos distribuidos de la siguiente manera:

CAPÍTULO I: Caracterización de las tecnologías de Redes LTE.

En este capítulo se describen los diferentes estándares involucrados, sus características, factibilidad de su uso para el cumplimiento del objetivo general, además se realiza un estudio del estado de la tecnología VoLTE en el mundo, y su implementación y perspectivas en Cuba.

CAPÍTULO II: Parámetros de calidad de servicio (QoS) en redes VoLTE.

En el capítulo dos se definen los mejores criterios de diseño para la implementación de redes VoLTE con QoS para soportar voz, particularizando las diferentes alternativas en cuanto a diferentes arquitecturas.

CAPÍTULO III: Propuesta de red VoLTE empleando criterios para lograr QoS.

En el tercer y último capítulo se realiza la propuesta de una red LTE, empleando las técnicas de QoS propuestas en el capítulo 2.

CAPÍTULO 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE REDES LTE

Con el rápido desarrollo de las redes LTE y el alto crecimiento de los teléfonos inteligentes (*Smartphone*), los operadores de redes móviles están frente al reto del continuo y enorme incremento de la razón de datos generados por sus suscriptores. Otro reto que enfrentan los operadores móviles es la estructura basada en todo IP de las redes LTE las cuales no pueden soportar transferencia de los servicios de voz tradicionales (El Wakiel et al., 2016).

En este capítulo se exponen las diferentes características de las redes LTE. Comenzando con una breve introducción a las redes LTE. Luego se mencionan algunas características y ventajas del uso de las redes LTE. Para finalmente definir el estado actual de las redes LTE en el mundo y en Cuba.

1.1 Introducción a las redes LTE

Al final del año 2004 se empezó en el 3GPP a discutir la evolución del sistema 3G hacia una nueva generación. Los objetivos marcados en un principio para esta nueva generación fueron los siguientes (San Miguel Fabregas, 2015):

- Que el sistema estuviese basado en la conmutación de paquetes de forma que no hubiera partes operando en conmutación de circuitos.
- Unas tasas de transferencias de datos superiores a 100 Mbps.
- Una mejor calidad del servicio. Para ello había que lograr una reducción del tiempo de latencia tanto en el plano de control como en el de usuario.
- Una estructura de red más económica (red plana basada en IP cuyos equipos son más baratos y de fácil adquisición).

1.1.1 Arquitectura de las redes LTE

La arquitectura de red de LTE está diseñada con el fin de soportar tráfico de conmutación de paquetes con movilidad ininterrumpida, QoS y latencia mínima. Está formada por el Núcleo de Paquetes Evolucionado (*Evolved Packet Core*, EPC) y la EUTRAN, referidas en conjunto como Sistema de Paquetes Evolucionado (*Evolved Packet System*, EPS). Uno de los cambios más significativos respecto a UMTS es que el Controlador de Red de Radio (*Radio Network Controller*, RNC) es eliminado y sus funciones son incorporadas al Nodo B Evolucionado (*evolved Node B*, eNB). Debido a la simplificación de la red LTE, todas las funcionalidades de gestión de los recursos de radio, que además incluyen la planificación de paquetes y el mecanismo de HO (*handover*), se implementan en los eNBs. Los eNBs realizan las funciones de los nodos B, así como los protocolos tradicionalmente implementados en el RNC. Sus funciones principales son la compresión de cabecera, el cifrado y la entrega confiable de los paquetes. En lo que a control se refiere, el eNB incorpora funciones tales como el control de admisión y la gestión de los recursos de radio (Khan, 2009).

Todas las interfaces de red están basadas en protocolos IP. Existen dos interfaces principales en la arquitectura LTE: X2 y S1. La interfaz X2 constituye la interconexión entre los eNBs en la EUTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*), mientras que la interfaz S1 es responsable de la conexión con los componentes del EPC descrito en (Rumney, 2013). Se definen dos entidades lógicas de pasarela: la Pasarela de Servicio (*Serving Gateway*, S-GW) y la Pasarela de Red de Datos de Paquetes (*Packet Data Network Gateway*, P-GW). El S-GW actúa como un ancla de movilidad local enviando y recibiendo paquetes hacia y desde el eNB en servicio y el UE. El P-GW realiza la función de interfaz con las redes externas de paquetes de datos. El P-GW también realiza varias funciones IP como la asignación de direcciones, el filtrado de paquetes y el enrutamiento (Khan, 2009).

Como se muestra en la Figura 1.1 una red de acceso E-UTRAN está formada por el eNB que proporciona la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC. Un eNB se comunica con el resto de los elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN Ue, S1, y X2.

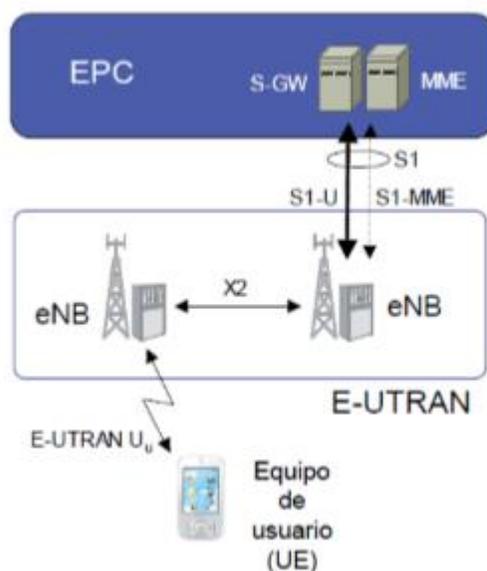


Figura 1.1 Red de acceso E-UTRAN (Agusti Comes et al., 2010).

El eNB se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1. Dicha interfaz está dividida en dos interfaces diferentes: S1-MME para sustentar el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario. La separación entre el plano de control y plano de usuario es una característica importante en la organización de las torres de protocolos asociadas a las interfaces de la red LTE. Así pues, el plano de usuario de una interfaz se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz, como paquetes IP del usuario que se envían entre E-UTRAN y EPC a través de S1-U. Por otro lado, el plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación de dicha interfaz, como la configuración del eNB desde la red EPC a través de S1-MME. Esta separación entre el plano de control y el plano de usuario en la interfaz S1 permite realizar la conexión del eNB con dos nodos diferentes de la red troncal. Así, mediante la interfaz S1-MME, el eNB se comunica con una entidad de red de EPC encargada únicamente de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control, dicha entidad se denomina Entidad de Gestión de Movilidad (MME). Por otro lado, mediante la interfaz S1-U, el eNB se comunica con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario, esta entidad de la EPC se denomina Pasarela de Servicio (S-GW). Esta separación entre entidades de red dedicadas a sustentar el plano de control o bien el plano de usuario es una característica importante de la red LTE,

donde se permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios (Agusti Comes et al., 2010). Opcionalmente, los eNBs pueden conectarse entre sí mediante la interfaz X2. A través de esta interfaz, los eNBs se intercambian tanto mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos de radio como información para reducir la interferencia entre eNBs, así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNB a otro durante un proceso de handover (Agusti Comes et al., 2010).

E-UTRAN: Red de Acceso Radio Terrestre Universal Evolucionada Uno de los componentes de suma importancia en la arquitectura del sistema LTE es la EUTRAN, la cual posee interfaces utilizadas para la conexión de los diferentes componentes que la conforman, entre ellas se encuentran: la interfaz (S1) entre la EUTRAN y el EPC, la interfaz radio (E-UTRAN Uu) entre los UE y E-UTRAN, y la interfaz (SGi) del EPC entre plataformas como IMS y la conexión a redes de paquetes externas IP (Ortiz Hernández, 2016).

Evolved NodeB (eNB) El núcleo de red en la arquitectura E-UTRAN es el nodo B mejorado o evolucionado (eNodeB o eNB) que proporciona la interfaz aérea con los protocolos del plano de usuario y el plano de control con terminación hacia el UE. Cada uno de los eNBs es un componente lógico que proporciona una o varias celdas E-UTRAN.

El eNB es una radio base ubicada adyacente a las antenas de radio, enlazando al equipo de usuario con el EPC. Las funciones del eNB son seleccionar la entidad MME, enrutar datos hacia la S-GW, la comprensión de cabecera cifrada y entrega de paquetes. En el plano de control posee funciones como la admisión, control y gestión de recursos de radio.

1.2 Características de las redes LTE

LTE se diseñó como una tecnología de acceso de radio evolucionada, completamente de conmutación de paquetes, así todos los paquetes se entregan por conmutación de paquetes (packet switched, PS) y los servicios de voz VoIP (Pastrav et al., 2015).

En marzo del 2009 hizo su aparición el sistema LTE que presenta las siguientes características (Fernández López, 2014):

- El sistema LTE proporciona velocidades máximas de transmisión pico de 100 Mbps en el enlace descendente (DL) y 50 Mbps en el ascendente (UL).
- Da la opción de trabajar con anchos de banda variables: 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz. El uso de una canalización u otra marcará el límite de las tasas de transmisión.
- En LTE se tienen diferentes bandas de frecuencia disponible.
- Se mejora la eficiencia espectral con respecto a los sistemas anteriores, en un factor 3 aproximadamente. Esta mejora se debe principalmente a las técnicas de acceso que utiliza el sistema LTE. Estas son Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*, OFDMA) para el enlace descendente y Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Única (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*, SCFDMA para el ascendente.
- Introducción de la tecnología MIMO (múltiples entradas y múltiples salidas) para aumentar la capacidad del sistema.
- Uso de varios tipos de modulación en función del estado del canal radio, que permitirán la obtención de diferentes velocidades. Estas modulaciones son QPSK, 16QAM y 64 QAM.
- Retardos de latencia de un máximo de 10 ms.
- Arquitectura plana basada en IP.
- Compatibilidad y coexistencia con otros sistemas, sean 3GPP o no.
- Costo por bit reducido tanto para el operador como para el usuario

1.2.1 Interfaz de radio

La interfaz radio está compuesta por el conjunto de eNBs y permite la interconexión de equipos de usuario y la red. Unido a ello, la información cifrada en esta interfaz proporciona seguridad (si otro UE decodifica la información no la observará de forma clara) e integridad (la información entre el eNB y el UE no podrá ser alterada). El cifrado es aplicado tanto al tráfico de usuario como a los mensajes de señalización RRC utilizados en la conexión de control dedicada (Ortiz Hernández, 2016).

EPC: Red Troncal de Paquetes Evolucionada. El diseño de la red troncal EPC proporciona un servicio de conectividad IP resultado de la evolución del servicio GPRS permitiendo explotar nuevas capacidades ofrecidas por la E-UTRAN. Existe la posibilidad de acceder a

servicios utilizando otras redes de acceso como UTRAN y GERAN (GSM EDGE Radio Access Network), así como fuera del ámbito del 3GPP (CDMA 2000, WiMAX, 802.11).

El núcleo del sistema EPC se conforma de tres entidades de red MME, S-GW y la P- GW, que unidas al HSS constituyen elementos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuarios conectados mediante la E- UTRAN y redes externas que se conectan al EPC (Ortiz Hernández, 2016).

1.2.2 Planificación de paquetes

En LTE la planificación de paquetes es responsable de la asignación eficiente de los Bloques de Recurso Físicos (*Physical Resource Block*, PRB) en cada Intervalo de Tiempo de Transmisión (*Transmission Time Interval*, TTI), para la transmisión de los paquetes de usuario en el UL y el DL. El planificador se basa en varios criterios de planificación que deben tener en cuenta satisfacer la QoS, garantizar justicia, y optimizar el desempeño del sistema (Dahlman et al., 2013).

Para seleccionar el usuario cuyos paquetes necesitan ser transmitidos en cada PRB se utiliza el algoritmo de planificación en el DL. Este algoritmo tiene en cuenta varios aspectos como parámetros de entrada, tales como el Indicador de la Calidad del Canal (*Channel Quality Indicator*, CQI), la demora de los paquetes, el estado del *buffer*, el uso de Bloques de Recurso (Resource Block, RB), entre otros (Torabzadeh and Ajib, 2010). La CQI es reportada por cada usuario activo al eNB para estimar la calidad del canal (Zhang and Liew, 2005).

1.2.3 Flexibilidad espectral

La flexibilidad espectral es otra de las características fundamentales de LTE. LTE puede ser desplegado con diferentes esquemas de duplexación: Duplexación por División de Frecuencia (FDD), Duplexación por División de Tiempo (TDD) como se muestra en la Figura 1.2. El modo FDD permite transmisiones simultáneas en el DL, y el UL operando en diferentes bandas de frecuencia, mientras que el modo TDD permite transmisiones en el DL y UL operando en la misma banda de frecuencia pero en ranuras de tiempo diferentes (Delgado, 2015).

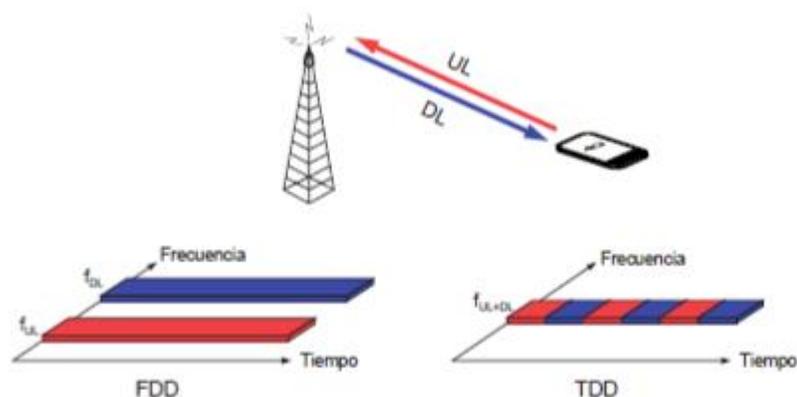


Figura 1.2 Esquema de duplexación (Delgado, 2015).

LTE y LTE-A da la opción de trabajar con anchos de banda variables: 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz son los valores estandarizados. El uso de una canalización u otra marcará el límite de las tasas de transmisión. Luego dependiendo del ancho de banda disponible los operadores pueden elegir los anchos de banda de transmisión. LTE y LTE-A pueden operar en diferentes bandas de frecuencia y son compatibles con cualquier sistema que utilice los 900MHz, 2.1GHz y 2.6GHz

1.2.4 Tipo de modulación utilizado en LTE

LTE utiliza dos técnicas de modulación diferentes para los enlaces *Uplink* y *Downlink*. Para el primero utiliza SCFDMA. En el segundo caso OFDMA. La transmisión y recepción se puede realizar con múltiples antenas (MIMO).

OFDMA

La técnica de acceso múltiple OFDMA utilizada en el enlace descendente del sistema LTE ofrece la posibilidad de que los diferentes símbolos modulados sobre las subportadoras pertenezcan a usuarios distintos. Por tanto, permite alojar varias transmisiones simultáneas correspondientes a diferentes flujos de información al viajar en subportadoras diferentes.

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 y los desvanecimientos rápidos (Akyildiz et al., 2010).

En la Figura 1.3 podemos observar a característica principal de SC-FDMA que es que transmite cada símbolo de datos usando el ancho de banda completo que le es asignado, a diferencia de OFDMA donde cada símbolo de datos es transmitido usando varias subportadoras. SCFDMA se seleccionó para el UL debido a que esta tiene ventajas similares a OFDMA tales como ortogonalidad entre usuarios, *scheduling* en el dominio de la frecuencia y robustez con respecto a la operación en trayectos múltiples. Además, SC-FDMA tiene un bajo requerimiento de *back-off*, que se traduce en la reducción de potencia de transmisión media para asegurar que la máxima potencia se quede dentro de la región lineal del amplificador de potencia, en comparación con OFDMA. Como resultado la potencia promedio de transmisión puede ser mucho mayor usando SC-FDMA de lo que puede esperarse con OFDMA. Esto aumenta la cobertura en el UL y proporciona altas razones de datos a los usuarios principalmente en el borde de la celda (Ghosh and Ratasuk, 2011).

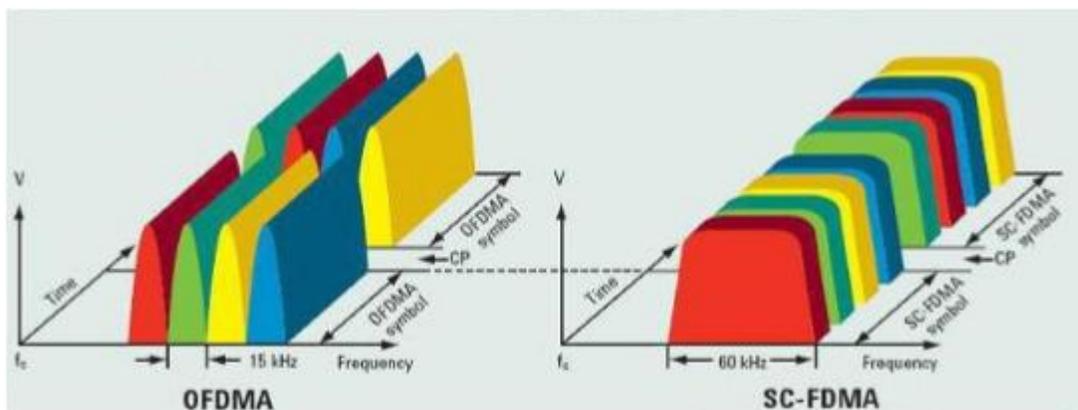


Figura 1.3 Diferencia entre OFDMA y SCFDMA (Guevara Toledo and Vázquez Alarcón, 2013).

1.3 VoLTE

La tecnología LTE fue introducida para reducir la latencia en la red de datos, además de proveer alta razón de transmisión de datos. Pero la naturaleza de LTE prohíbe la transmisión de servicios relacionados con la voz. VoLTE es la solución para transferir paquetes de voz con tratamiento especial sobre la red LTE, y da beneficios de baja latencia y calidad de servicio capaz para tener servicios de voz, juntamente proporcionado por EPC " *Evolved LTE*

Packet Core " e IMS "*IP Multimedia Subsystem*". Como VoLTE es una nueva tecnología tanto para la red como los proveedores de los dispositivos, trae consigo algunas limitaciones en proporcionar todos los servicios de voz sobre LTE (El Wakiel et al., 2016).

1.4 Estado de la tecnología VoLTE en el mundo

Actualmente 165 operadores están invirtiendo en VoLTE en 73 países y 102 operadores como por ejemplo (*Telstra, Orange, AT and T, MI y Viva* etc.) ya han lanzado servicios VoLTE de alta definición en 54 naciones de acorde al reporte presentado por GSA el 30 de enero de 2017 (GSA, 2017) VoLTE fue introducido y comercializado inicialmente por compañías de telecomunicaciones coreanas en 2012 y lanzado por primera vez en agosto de ese año en Corea y Estados Unidos. En la actualidad todos los operadores de redes móviles en Corea proporcionan servicios VoLTE.

1.5 Estado de la tecnología LTE en Cuba

El despliegue eficiente de una red LTE en Cuba debe cubrir inicialmente las zonas de alta demanda de tráfico y expandirse gradualmente hacia zonas de menor densidad. Para una migración a LTE en Cuba resulta factible comenzar con la implantación de la red en los emplazamientos donde actualmente exista un servicio de datos en uso y éste, además, represente altos ingresos. Estas zonas han sido definidas y coinciden con las áreas de cobertura del proyecto 3G de ETECSA; y son la zona norte de La Habana, Varadero, Cayo Santa María, Cayo Coco y Cayo Guillermo.

Una celda LTE ofrece rendimiento óptimo para radios de hasta 5 km, rendimiento efectivo para hasta 30 km y rendimiento limitado para radios de alrededor de 100 km. Conociendo que el área geográfica determinada por cada una de las zonas de alta demanda definidas no excede los 30 km de radio como promedio, se necesita utilizar sólo una estación base por cada área; exceptuándose el norte de La Habana donde, por la cantidad de usuarios concentrados, se propone el uso de dos radiobases (San Miguel Fabregas, 2015).

La red constaría de seis eNB (*evolved Node B*) conectados a una única EPC (*Evolved Packet Core*) a través de Fast Ethernet, tal como se muestra en la Figura 1.4.

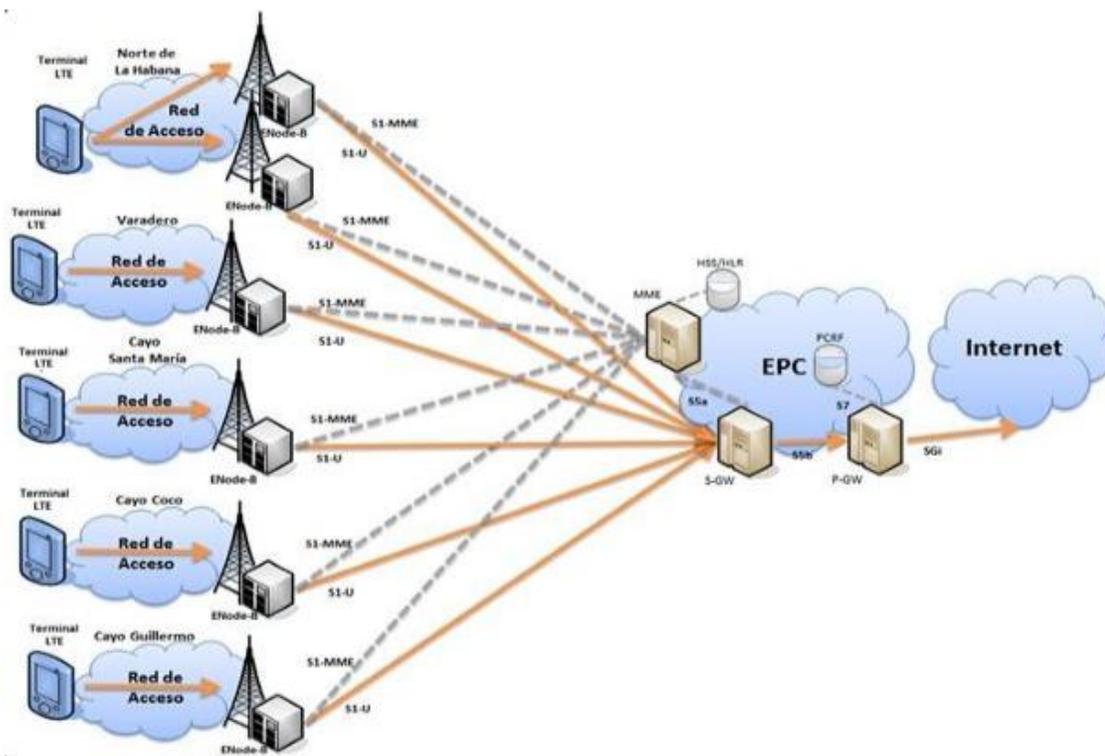


Figura 1.4 Red LTE propuesta para Cuba (Cruz et al., 2014).

El despliegue de una red LTE en Cuba es una solución viable para alcanzar la cuarta generación de telefonía móvil. En el caso de los servicios, puede significar el impulso que se necesita para su ampliación en cuanto a variedad y cantidad y para su extensión en cuanto a la disponibilidad para todos los usuarios de la red. En el caso de la economía del país, puede convertirse en un generador de ingresos que apoye el desarrollo económico a través de los contratos de *roaming* y nacionales.

1.5 Conclusiones del Capítulo

En este capítulo se realizó una caracterización de las tecnologías de las redes VoLTE. Se describieron las principales características de cada una de las tecnologías móviles. Se definieron los principales conceptos y particularidades de las redes LTE por lo cual podemos llegar a la conclusión de que LTE es la solución a los problemas de las bajas tasas de transmisión de datos ya que posee velocidades muy superiores a las antiguas redes debido a la multiplicación espacial MIMO y a la modulación OFDMA. LTE es una opción viable ya que este logra un uso eficiente del espectro radioeléctrico.

CAPÍTULO 2. PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN REDES VoLTE

En este capítulo se realiza una caracterización sobre la calidad de servicio en redes LTE particularizando en redes VoLTE. También se definen los mejores criterios de diseño para la implementación de redes VoLTE con QoS para soportar voz. Son expuestos los conceptos generales de calidad de servicio según la UIT. Se describen las características de QoS en redes LTE y VoLTE. Se realiza un análisis sobre los principales parámetros de QoS y las diferencias en la clasificación del tráfico de tipo VoLTE del VoIP.

2.1 Calidad de servicio, conceptos generales

Calidad de servicio (QoS):

Según la recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), se define como calidad de servicio (QoS) a la totalidad de las características de una red o un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio. Se considera también como la capacidad que tiene una red de proveer diferentes niveles de servicio para asegurar distintos perfiles de tráfico. Es particularmente interesante la QoS experimentada por el usuario (expresada mediante las siglas QoSE o QoSP – QoS percibida). La QoSE se ve influida por la QoS proporcionada por los factores psicológicos que influyen en la percepción del usuario. Es fundamental conocer la QoSE para optimizar los ingresos y recursos del proveedor de servicios. Cuantitativamente mide la calidad de los servicios que son considerados en varios aspectos del servicio de red, tales como tasas de errores, ancho de banda, retraso en la transmisión, disponibilidad y *jitter* (UIT-T, 2008).

Premisas por las cuales es necesario aplicar Calidad de Servicio en redes IP:

- Priorizar aplicaciones en la red que requieren de un alto nivel de servicio. Ejemplo: VoIP.
- Maximizar el uso de la infraestructura de red, manteniendo un margen de flexibilidad, seguridad y crecimiento para servicios emergentes.
- Mejorar las prestaciones para servicios en tiempo real.
- Responder a los cambios en el perfil de tráfico establecido.
- Proporcionar mecanismos para priorizar tráfico.

La QoS de extremo a extremo depende de las contribuciones que aporten los componentes que se muestran en la Figura 2.1:

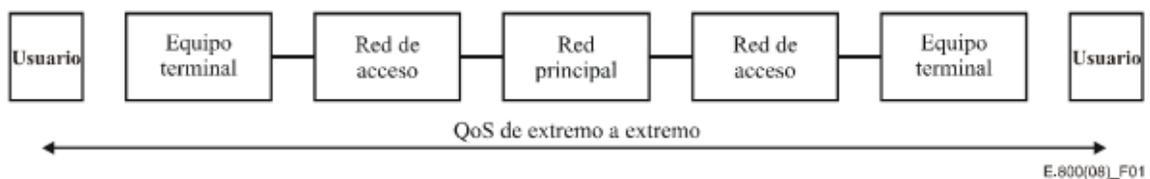


Figura 2.1 Esquema de contribuciones a la QoS de extremo a extremo.

Para especificar la QoS de extremo a extremo es necesario determinar las condiciones operativas específicas en que un servicio se proporciona a través de la conexión (sin conexión u orientado a la conexión). La QoS también puede verse alterada, dadas unas condiciones operativas específicas, por condiciones del entorno, como el tráfico y el encaminamiento. En la Figura 2.2 se ilustra la relación entre la QoS y la calidad de funcionamiento de la red (*Network Performance*, NP). La QoS comprende tanto la calidad de funcionamiento de toda la red como la calidad de funcionamiento independiente de la red. Dentro de la NP se incluyen la tasa de errores en los bits (*Bit Error Rate*, BER), la latencia, etc., y en la calidad de funcionamiento independiente de la red se cuentan el tiempo de prestación, el tiempo de reparación, la gama tarifaria y el tiempo de resolución de quejas, etc. La lista de criterios de QoS para un servicio concreto dependerá del servicio y su importancia podrá variar de un segmento de los suscriptores a otro.

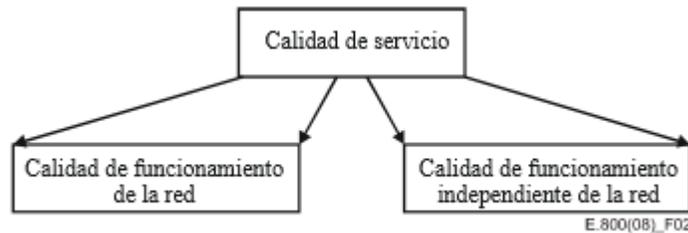


Figura 2.2 La calidad de servicio comprende criterios de red e independientes de la red (UIT-T, 2008).

2.2 Calidad de servicio en LTE

Las redes móviles de tercera generación (3G) brindan servicios de voz y datos en forma separada mediante conmutación de circuitos y conmutación de paquetes, en una misma tecnología. En cambio, una red *Long Term Evolution* (LTE) presenta un enfoque exclusivo al uso de datos de manera *All IP* (todo con *Internet Protocol*), de modo que las llamadas deben ser cursadas mediante Voz sobre IP (VoIP) en una red de conmutación de paquetes. Esto se logra haciendo uso de un núcleo de paquetes *IP Multimedia Subsystem* (IMS), a través de servidores *Session Initiation Protocol* (SIP) (Segura Villalobos, 2012).

De esta manera, se heredan los problemas de un servicio ofrecido por mejor esfuerzo mediante IP, surgiendo la gran necesidad de establecer Calidad de Servicio (QoS), mecanismo que establece prioridad de tráfico según las aplicaciones a las cuales acceden los usuarios. Así, resulta obligatorio monitorear el correcto funcionamiento de este mecanismo para cumplir con los acuerdos de nivel de servicio establecidos con el usuario (Sesia et al., 2011).

Los objetivos de LTE son proporcionar una alta eficiencia, baja latencia, flexibilidad espectral y velocidades móviles superiores (Mahfoudi et al., 2014). La QoS prioriza el tráfico de datos dependiendo del tipo de aplicación que esté utilizando el ancho de banda, ajustando las necesidades a las circunstancias. Entre las aplicaciones se incluyen el acceso móvil a la Web, telefonía IP, servicios de juegos, TV móvil de alta definición, videoconferencias y televisión 3D.

En un caso general, múltiples aplicaciones pueden estar corriendo simultáneamente en el equipo del usuario (*User Equipment*, UE), teniendo cada una diferentes requerimientos de

QoS. Por ejemplo, un UE puede estar realizando una llamada de VoIP, mientras que al mismo tiempo navega por la web o descarga ficheros. VoIP posee requerimientos más estrictos de QoS en términos de demora (*delay*) y variación de la demora (*jitter*) que la navegación web o la descarga de ficheros. Sin embargo, en el caso de la pérdida de paquetes la situación se invierte. La diferenciación de QoS en LTE está dada por la portadora EPS introducida por el Proyecto de Asociación de 3ª Generación (*3rd Generation Partnership Project, 3GPP*). Una portadora EPS puede ser del tipo mínima Razón de Bit Garantizada (*Guaranteed Bit Rate, GBR*) o del tipo Razón de Bit No Garantizada (*Non-GBR, NGBR*).

La portadora GBR puede ser usada para aplicaciones como VoIP. Este tipo de portadora tiene un valor GBR asociado, para el cual son asignados permanentemente recursos de transmisión dedicados al establecerse o modificarse la portadora, por ejemplo, mediante una función de control de admisión en el eNB. En caso de que existan recursos disponibles se pueden permitir razones de bits superiores a la GBR. En tales casos, el parámetro Máxima Razón de Bit (*Maximum Bit Rate, MBR*), que puede también estar asociado a una portadora GBR, establece un límite superior en la razón de bit que puede esperarse. La portadora NGBR no garantiza ninguna razón de bit específica. Este tipo de portadora puede usarse para aplicaciones como la navegación web y la descarga de ficheros. Para estas portadoras no se asignan recursos de ancho de banda de forma permanente (Sesia et al., 2011).

2.3 Parámetros para QoS en LTE

En LTE, el modelo de QoS utilizado para definir el comportamiento de un servicio portador EPS se basa en cuatro parámetros (Poikselkä et al., 2012):

1. Identificador de clase de QoS (*QoS Class Identifier, QCI*): Escalar que se utiliza como referencia para acceder a parámetros específicos de nodos que controlan el tratamiento de transferencia de paquetes a nivel de portadora. Prioridad de asignación y retención.
2. (*Allocation and Retention Priority, ARP*): Contiene información acerca del nivel de prioridad (escalar), capacidad de derecho de prioridad (bandera) y vulnerabilidad de derecho de prioridad (bandera). El propósito fundamental de ARP es decidir si una solicitud de establecimiento/modificación de portadora puede ser aceptada o necesita ser rechazada debido a limitaciones de recursos.

3. GBR (*Guaranteed Bit Rate*): Denota la razón de bit que se espera sea provista por una portadora EPS.
4. Máxima razón de bit (*Maximum Bit Rate*, MBR): Limita la razón de bit que se espera sea provista por una portadora EPS.

Además de estos cuatro parámetros, se complementa con dos parámetros adicionales asociados al tipo de subscripción de un usuario. En la Figura 2.3 se puede ver el conjunto completo de parámetros de QoS considerado en el sistema LTE.

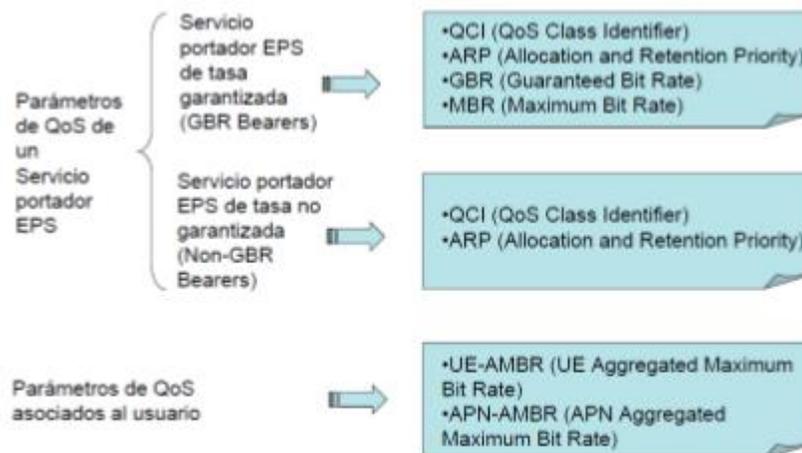


Figura 2.3 Parámetros de QoS en el sistema LTE (Poikselkä et al., 2012).

Cada servicio portador tiene asociado como mínimo dos parámetros: Identificador de Clase de QoS (QCI) y una Prioridad de Retención y Asignación (ARP). De forma general se puede decir que QCI determina el comportamiento del plano de usuario del servicio portador EPS, una mejor visión de este se puede ver en la tabla mostrada en la Figura 2.4 donde, por ejemplo, el valor de prioridad puede ser utilizado por el planificador para ordenar la asignación de recursos. El parámetro ARP es utilizado en el plano de control donde, de forma general, se utiliza como un indicador de prioridad en los procesos de establecimiento, modificación, desactivación de un servicio portador para, por ejemplo, poder liberar recursos que deban ser destinados a servicios más prioritarios (Sesia et al., 2011).

QCI	Tipo de recurso	Proridad	Presupuesto de demora (ms)	Razón de paquetes perdidos y erróneos	Servicios
1	GBR	2	100	10^{-2}	Llamadas de voz
2	GBR	4	150	10^{-3}	Videollamadas
3	GBR	5	300	10^{-6}	Video bajo demanda
4	GBR	3	50	10^{-3}	Juego en tiempo real
5	NGBR	1	100	10^{-6}	Señalización IMS
6	NGBR	7	100	10^{-3}	Voz y video en vivo, juegos interactivos
7	NGBR	6	300	10^{-6}	Video bajo demanda
8	NGBR	8	300	10^{-6}	Servicios basados en TCP (<i>www</i> , <i>e-mail</i>)
9	NGBR	9	300	10^{-6}	Servicios basados en TCP (<i>www</i> , <i>e-mail</i>)

Figura 2.4 QCI estandarizados en LTE (3GPP, 2012).

Los valores QCI definen el tipo de servicio que se está utilizando, pudiéndose clasificar en servicios de Razón de Bit Garantizada (GBR) y servicio de Razón de Bit no Garantizada (NGBR). Una característica importante de los servicios de tasa garantizada es que deben someterse siempre a control de admisión, ya que su activación conlleva la reserva de un determinado volumen de recursos de transmisión para poder garantizar dicha razón de datos. Por otro lado, en el caso de los servicios portadores sin tasa garantizada, no resulta estrictamente necesario pasar un control de admisión ya que los servicios NGBR pueden experimentar pérdidas de paquetes en situaciones de congestión (Agusti Comes et al., 2010). Además de los parámetros de QoS asignados a cada servicio portador EPS, un usuario del sistema LTE tiene asociado dos parámetros adicionales: UE-AMBR (Máxima Razón de Bit Agregada en el UE) y APN-AMBR (Máxima Razón de Bit Agregada en el APN). Ambos parámetros indican la máxima tasa de transferencia en bit/s que de forma agregada podrán experimentar el conjunto de servicios portadores EPS con NGBR. El primero delimita la tasa máxima del equipo del usuario y el segundo también delimita la tasa agregada máxima del equipo de usuario, pero asociado a una determinada red externa. Estos parámetros forman parte del perfil de suscripción del usuario (Agusti Comes et al., 2010).

2.4 Requerimientos de Calidad de Servicio en redes VoLTE

Existen varios requisitos básicos para la calidad de servicio en la red LTE. Dicha red proporciona conectividad IP básica en la plataforma de IMS. Los dispositivos móviles capaces de utilizar la red LTE necesitarán soportar llamadas de voz a través del protocolo IP.

Es por esta razón que se hace necesario cumplir con determinados Indicadores Clave o Medidores de Desempeño (*Key Performance Indicator*, KPI) para cumplir con los criterios de calidad de servicio que demanda una red VoLTE.

Los siguientes KPI son los que se tienen en cuenta:

Retardo de paquete de extremo a extremo (*End to End Packet delay*): Este parámetro da el retardo total del paquete de voz, es decir, el tiempo desde que se emite el sonido por el usuario trasmisor hasta que es percibido por el usuario receptor

Variación del retardo del paquete (*Packet Delay Variaton (PDV)*): Este parámetro da la variación de la demora extremo a extremo entre todos los paquetes recibidos por el usuario.

S1 Delay: Es la demora entre el E-Node B y el EPC. Este parámetro da la medida del tiempo tomado por un paquete en atravesar toda la red desde el E-Node B hasta el EPC.

Razón de pérdida de paquetes (*Packet Loss Rate, PLR*): La razón de paquetes perdidos da el número de paquetes de voz que se perdieron en la red debido a la congestión.

Realizar una evaluación eficaz de QoS en el servicio de VoLTE es un punto crucial para los operadores de redes LTE por múltiples razones (Vizzarri, 2014)

En sistemas inalámbricos la calidad de servicio percibida por los usuarios finales también llamada calidad de experiencia (QoE) es esencial. Subsecuentemente en caso de un servicio de VoIP como VoLTE la QoE se relaciona estrictamente a la calidad de la llamada, las técnicas QoS-orientadas serán llevadas a cabo para reducir la demora de la transmisión o latencias (*delay*). Otro aspecto es que las redes LTE usan conexión IP de extremo a extremo desde y hacia el UE: se recomienda para reducir la demora la conexión *end-to-end* (Forconi and Vizzarri, 2013). Finalmente, VoLTE es el servicio de voz para las redes LTE. Es caracterizado por los requerimientos de QoS bastante diferente a otro grupo de servicio, tales como búsqueda web HTTP o descarga FTP.

Para una valoración eficiente de QoS para VoLTE se hace necesario el análisis y la gestión de los siguientes elementos:

- Códec de voz
- Rasgos de QoS LTE: Portador y Calidad de Identificador de Clases de Servicio (*Quality of Service Class Identifiers, QCI*)
- Mejora de enrutamiento de red IP *network routing enhancement (DSCP mapping)* Servicio Diferenciado de Punto de Código, *Differentiated services code point*.
- El deterioro de la red (congestiones de la red o fallas)

Las técnicas de codificación y decodificación son muy importantes para preparar la transmisión o recepción de una señal digital buena. En caso de LTE estas técnicas deben integrarse con sus tipos de gestión de QoS implementados en el nivel de red (Portador de EPS y QCI), Tipo de Servicio (ToS) y criterio de planeamiento DSCP, anulación de congestión de red (3GPP, 2011).

2.4.1 MOS

La Calidad de Servicio define la calidad de la red de acuerdo a parámetros de red cuantitativos, denominados KPI, tales como paquetes perdidos, retardos y variación de los retardos (Vaser and Forconi, 2015). La Puntuación de Opinión Media (*Mean Opinion Score, MOS*) es el parámetro más importante de los KPI usados para evaluar servicios de VoIP con QoS incluyendo VoLTE (3GPP, 2011).

La Tabla 2.1 muestra los valores MOS y su relación con la percepción de QoS de una llamada.

Tabla 2.1 Valores MOS y percepción de QoS por el usuario final (3GPP, 2011).

NOTA MEDIA DE OPINION (MOS)		
MOS	Calidad	Percepción del usuario
5	Excelente	Imperceptible

4	Buena	Perceptible pero no molesta
3	Suficiente	Ligeramente molesta
2	Pobre	Molesta
1	Mala	Muy Molesta

2.5 Diferenciación de calidad de servicio entre VoLTE y VoIP

VoLTE es un servicio multimedia basado en VoIP que proporciona los servicios de llamada de voz y video conferencia. Dado que ambos servicios comparten muchos aspectos en común, es significativo para clasificar el tráfico VoLTE en medio del tráfico LTE usar métodos de clasificación de VoIP existentes. Para realizar la clasificación del tráfico de VoLTE eficazmente, es necesario encontrar las diferentes características de los dos servicios, las diferencias de los dos servicios se resumen a continuación:

Bajo redes inalámbricas: Los Servicios VoIP pueden ser proporcionados sobre varios tipos de redes inalámbricas como la red celular y la Wi-Fi, mientras que el servicio VoLTE es proporcionado sobre la red LTE únicamente.

Nivel de QoS Garantizado: Aunque ambos servicios VoLTE y VoIP pueden ser entregados a través de la red LTE, la QoS de los dos servicios serían muy diferentes. Para proporcionar garantía de QoS para el servicio VoLTE, los operadores de redes móviles lógicamente diferencian el tráfico de VoLTE y el que no es de VoLTE usando diferentes tipos de portadoras. El portador (*Bearer*) es una conexión lógica a través del cual un tipo de servicio de tráfico seguro puede continuarse. El Servicio VoLTE se entrega sobre un *bearer* especializado, el cual tiene la prioridad más alta, mientras que el tráfico que no es de VoLTE incluyendo el servicio VoIP es entregado sobre un portador predefinido que solo conserva calidad de servicio con el mejor esfuerzo.

Tipos de aplicación: todo el tráfico de VoIP sobre la red LTE es producido por el tercer grupo de aplicaciones móviles tales como *Skype*, *Viber* o *Whatsapp*, mientras que el tráfico

VoLTE puede ser únicamente generado por la aplicación predefinida del dial telefónico en el UE que se pre-instala por los operadores de red móvil (Hyun et al., 2014).

2.6 Conclusiones parciales del capítulo

En la configuración de redes VoLTE es de vital importancia la aplicación de los parámetros de calidad de servicio ya que estos son los que definen la calidad de la voz y los valores del MOS los cuales caracterizan el nivel de percepción de calidad de una red. Otro aspecto que es fundamental en la calidad de servicio es la diferenciación del tráfico, el de VoIP y el de VoLTE. La clasificación del tráfico se prioriza en cuanto a la clasificación de los servicios tal como se explicó en el epígrafe anterior.

CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE RED VOLTE EMPLEANDO CRITERIOS PARA LOGRAR QoS

En este último capítulo se propone una red VoLTE que cumpla con los requisitos de QoS establecidos para disponer de un buen nivel de QoE. Además, se dan las diferentes variantes de implementar VoLTE y es escogida la opción de *Single Radio Voice Call Continuity* (SRVCC) porque utiliza la red IMS ubicada en la parte superior de la infraestructura de LTE que brinda la prioridad al tráfico VoLTE y se interconecta con tecnologías heredadas como GSM (2G) y UMTS (3G).

3.1 Requerimientos para implementar QoS en la red propuesta

A diferencia de los servicios de datos por paquetes 2G y 3G, que tratan todo como lo primero que entra es lo primero que sale, la estructura 4G LTE se asegura de que cada servicio recibe la calidad de servicio necesaria, como por ejemplo los tráficos de tipo VoLTE tienen un canal de transporte (*bearer*) dedicado y los no VoLTE son entregados como mejor esfuerzo (*best effort*) por parte de la red.

Los servicios portadores (*bearer services*) en LTE se encargan de establecer a cada servicio la prioridad necesaria para brindar una buena aceptación por parte del usuario. Por ejemplo, demasiados bits de pérdida en un *streaming* de video como *YouTube*, causa el parpadeo que es percibido rápidamente por el ojo humano.

Los portadores GBR tienen asignado un ancho de banda garantizado para transportar tráfico sensible a pérdidas de paquetes y fluctuaciones, como voz sobre RTP. El GBR transportador de voz consume recursos y se crea cuando una llamada VoLTE tiene éxito y se borra en cuanto la llamada termina. El NGBR se crea normalmente para tráfico de datos, como por ejemplo tráfico hacia Internet basado en *best effort*. La mayoría de los portadores

predeterminados, como los que son para VoLTE donde el tráfico SIP fluye sobre servicios de internet no críticos, son NGBR.

Por el contrario, una sesión de voz en tiempo real (como VoLTE) puede tolerar más bits perdidos porque el oído no se da cuenta tan pronto como el ojo. Sin embargo, el retraso se debe minimizar para garantizar la inmediatez de la comunicación de humano a humano y para evitar el problema de solapamiento o *talk-over* encontrado en llamadas satelitales o llamadas VoIP con *jitter buffers* excesivamente largos (Luna Arias, 2015). En la Figura 3.1 se observa los dos tipos de portadores.

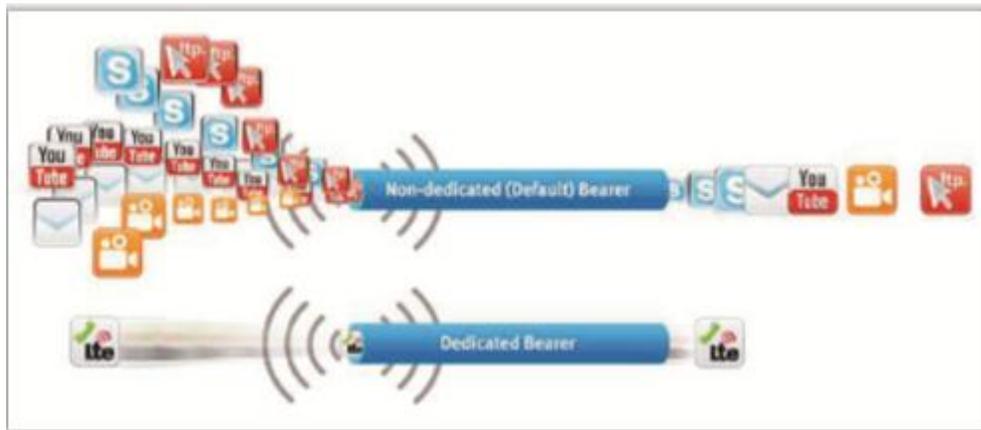


Figura 3.1 Diferenciación del bearer (Luna Arias, 2015).

3.1.1 Requerimientos de los elementos de red (*Network Elements*)

De acuerdo a modelos de simulación (*Opnet Modeler 17.5*) en la Tabla 3.1 se plantean los siguientes parámetros en cada uno de los elementos que conforman la arquitectura de la red VoLTE propuesta.

Tabla 3.1 Requerimientos de la red LTE

Nodo de la red	Parámetro	Valor del Parámetro

Equipo de usuario (<i>User Equipment, UE</i>)	Ganancia de la Antena	-1dBi
	Modulación y esquema de codificación (<i>Coding Scheme</i>)	9
	Modo canal multitrayecto (Enlace descendente)	LTE OFDMA ITU Pedestrian B
	Modo canal multitrayecto (Enlace Ascendente)	LTE SC-OFDM ITU Pedestrian B
	Pérdida de trayecto (<i>Pathloss</i>)	Espacio libre
	Sensibilidad del receptor	-200 dBm
EnodeB	Sectores	3
	Ancho de banda de la red LTE	20 MHz
	Modo de Duplexado	FDD
	Ganacia de la antena del EnodeB	15 dBi
	Antenas receptoras	2
	Antenas transmisoras	2
	Sensibilidad del receptor	-200 dBm
EPC	DRX para modo inactivo (<i>idle mode</i>)	256
	Tamaño del buffer N3	8192 bytes

La simulación de una red LTE con las especificaciones anteriores en un escenario congestionado según (Vizzarri, 2014) arroja como resultado el índice de opinión media (MOS) como se aprecia en la Figura 3.2:

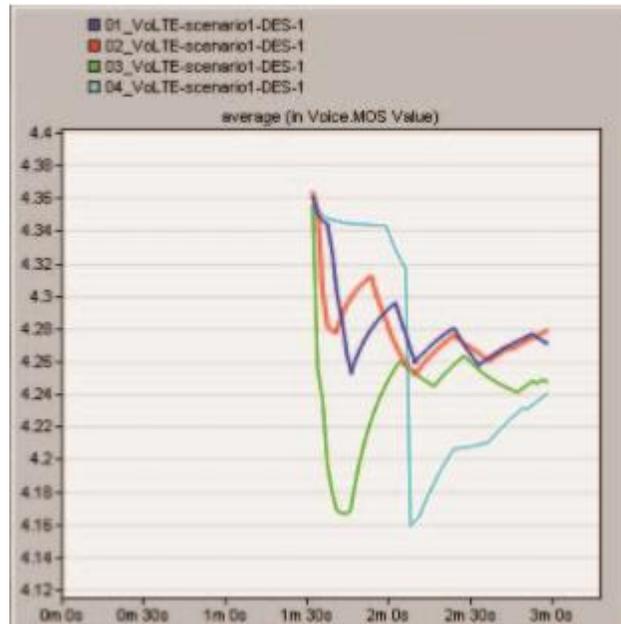


Figura 3.2 Gráfica de valores del MOS

Se observa que el nivel del MOS comprendido entre 4.16 y 4.36 está dentro del rango de buena calidad, definido según Tabla 2.1, lo cual indica que es un valor aceptable en una escala de 1 a 5.

3.2 Soluciones para el soporte de VoLTE

La ausencia de la compatibilidad de LTE con el dominio conmutación de circuitos (CS, *Circuit Switch*) ha llevado a la industria y a los cuerpos de estandarización tales como 3GPP a proponer varias soluciones para el soporte de la voz en la red LTE. Las dos soluciones más importantes a considerar entre ellos son las siguientes:

- *Circuit Switch fallback* (CSFB): proporciona una forma conveniente al reutilizar la red GSM/UMTS existente para poder soportar voz en redes LTE.

Esta solución proporciona a los operadores flexibilidad ya que pueden utilizar la red LTE para datos solamente y la red de CS para la funcionalidad de la voz. El usuario realiza un registro combinado tanto para la red LTE como para GSM/UMTS durante el proceso del

registro inicial. Este registro combinado se facilita por la Entidad de Gestión de Movilidad (MME, *Mobility Management Entity*) en la red LTE que realiza el registro en la red 2G/3G en beneficio del usuario. (Kadatskaya and Saburova, 2014).

En el caso de la voz; durante la iniciación de la llamada por el usuario, el MME remite la solicitud hacia el servidor de MSC en el dominio CS. Al reservar exitosamente los recursos en el dominio CS para la llamada, el servidor de MSC responderá al MME el estado de la solicitud. El MME le dice entonces al ENode B que le pida al usuario que realice un handover a la red de GSM/UMTS. La sesión de datos en curso para el usuario en la red LTE está suspendida si la red del destino es una red de GSM. Si la red del destino es una red de UMTS, entonces un handover separado de los portadores de datos existentes desde LTE a la red UMTS tiene lugar después del registro por el usuario en la red de UMTS. Esta solución tiene varias desventajas como el aumento en el tiempo de llamadas establecidas debido al procedimiento del handover y la interrupción de transmisión de datos a lo largo de la duración de la llamada cuando el usuario recae hacia una red GSM. Esta solución puede usarse durante el lanzamiento inicial cuando LTE se usa más para los datos de alta velocidad y la voz es completamente manejada por el CS legado de 2G/3G. Por lo tanto, CS *fallback* solo se está viendo como una solución temporal al lanzamiento inicial de la red LTE.

- Voz sobre LTE vía IP *Multimedia Subsystem* (VoLTE).

En esta solución, la funcionalidad de la voz se proporciona por el *IP Multimedia Subsystem* (IMS). IMS es una arquitectura de red de núcleo que se integra encima de la red LTE. La red IMS es principalmente usada para proporcionar todo tipo de servicios básicos para voz que se proveen por la red CS existente. Además, proporciona servicios de multimedia mejorados tales como video conferencia, juegos en tiempo real, etc. La ventaja principal de usar una solución basada en IMS es que utiliza la arquitectura de LTE completamente en lugar de contar con la existente red de CS para soportar voz. La red IMS también es capaz de integrarse con el legado de las redes 2G/3G y así puede continuar dando servicios de llamadas incluso cuando el subscriptor se mueve fuera de la cobertura de LTE. De ahí que, el subscriptor pueda experimentar los mismos servicios incluso cuando realice un roaming en las redes legadas.

Esta solución está proyectándose como la solución a largo plazo ya que es capaz de proveer los servicios mejorados de la red LTE y también soportar la integración con las redes existentes 2G/3G.

3.2.1 Descripción de la red LTE a utilizar

Una red de acceso LTE se considera una arquitectura reducida en comparación a 3G, porque que se manejan sólo datos paquetizados y no existe transmisión de voz nativa vía conmutación de circuitos. A través de una mejora en la modulación tanto en el *downlink* como en el *uplink* se mejora la eficiencia espectral y la velocidad de los datos.

La red móvil de cuarta generación EPS (*Evolved Packet System*) comprende de un núcleo de red y una red de acceso E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) tal como se observa en la Figura 3.3

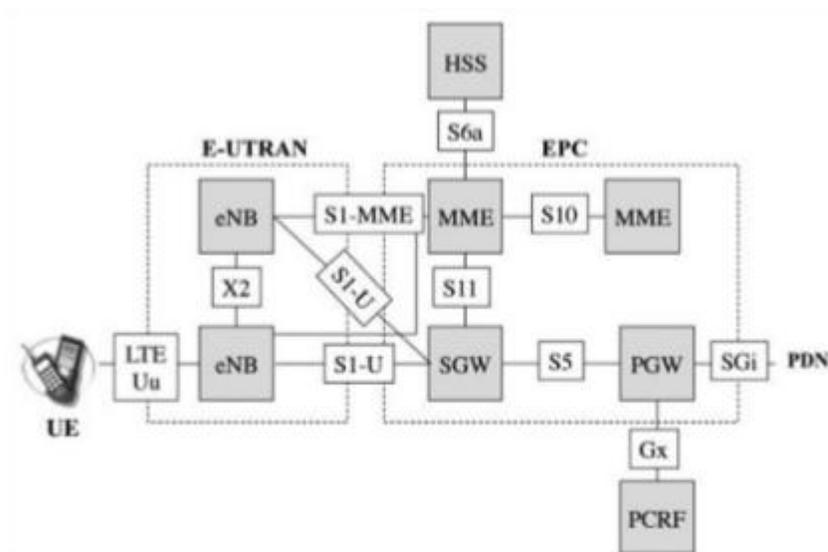


Figura 3.3 Red LTE (Chalacán Aguayo 2015).

Para esto, el estándar LTE cuenta con 2 elementos fundamentales en su núcleo (llamados en su conjunto EPC): *Mobility Management Entity* (MME), *Serving Gateway* (SGW). Además, debe existir una base de datos de usuarios (HSS) y un *Packet Data Network Gateway* (PDW), para permitir la interconexión hacia otras redes (internet, entre ellas). Además, cuenta con los e-nodosB los cuales componen las estaciones bases de este sistema junto a su controlador

respectivo y a las antenas; es decir, el enodoB es capaz de manejar el *handover* entre celdas sin recurrir al EPC para esta función.

La arquitectura de red tiene las siguientes identidades:

- UE
- Enode-B
- MME
- SGW (xGW)
- HSS
- PCRF
- PDW

Las funciones de cada una de las identidades y de interfaces fueron explicadas previamente en el epígrafe 1.2.1 que son las mismas que las de una red LTE estándar.

3.2.2 Descripción de la red IMS

La red IMS se conecta a las entidades siguientes y se puede apreciar en la Figura 3.4:

- PGW PDN *Packet Data Network Gateway* del EPC (*Evolved Packet Core*) en la red EPS (*Evolved Packet System*). El EPS construye 2 portadoras, una para transportar la señalización que se intercambia con el móvil (Plano de Control, *Control Plane*) y la otra para transportar la media (voz, datos o video) denominado User Plane o Plano de Usuario.
- PCRF *Policy Charging and Rules Function* para el control de media.
- HSS *Home Subscriber Server* para el acceso al perfil y los datos de seguridad del móvil.
- Red PSTN (*Public Switched Telephone Network*) y PLMN (*Public LAN Mobile Network*) para las interconexiones.

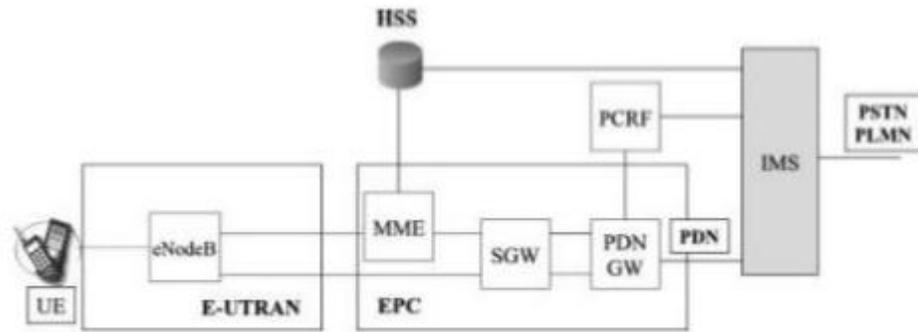


Figura 3.4 Entidades a la que se conecta la red IMS.

Esta red nos brinda las siguientes funciones:

- CSCF (*Call Session Control Function*) que involucra P-CSCF (*Proxy-CSCF*), SCSCF (*Serving-CSCF*), I-CSCF (*Interrogating-CSCF*) y E-CSCF (*Emergency CSCF*).
- *Application Servers (AP)*
- *Multimedia Resource Function (MRF)*, que involucra a MRFC (*MRF Controller*) y MFRP (*MRF Processor*).
- Interconexión con la PSTN o PLMN que involucran a BGCF (*Breakout Gateway Control Function*), MGCF (*Media Gateway Control Function*), MGW (*Media Gateway*) y SGW (*Signaling Gateway*).

Control de la Sesión P-CSCF. - es el primer contacto entre el móvil UE en la red IMS, realiza la función de un servidor Proxy, por lo que recibe las solicitudes desde el UE o desde el S-CSCF y las transfiere respectivamente al S/I-CSCF o al UE.

Las tareas que realiza el P-CSCF son las siguientes:

- Transferir la solicitud SIP *Register* al I-CSCF determinada en la base del nombre del dominio dado por el UE. Dentro del mensaje tenemos, una cabecera que contiene la dirección IP, esta dirección es conservada por el S-CSCF.
- Transferir la solicitud SIP *Invite* recibida desde el S-CSCF o respectivamente desde el UE. La solicitud SIP *Invite* recibida desde el UE contiene la dirección IP del S-CSCF en la ruta de la cabecera:
- Detectando las llamadas de emergencia y transfiriéndolas al E-CSCF.

- Estableciendo IPsec (IP *Security*) asociándola con el UE en el registro.
- Generando los datos necesarios para la generación de los tickets de cobro.
- Usando los mensajes DIAMETER intercambiándolos con el PCRF para controlar el tipo de recursos requeridos por el UE basados en la capacidad autorizada por la red EPS
- Verificar los recursos disponibles en la red EPS.

I-CSCF: es el punto de contacto con la red IMS para algunas transacciones que van desde el P-CSCF o S-CSCF, realiza la función de *Proxy Server*. Las tareas que realiza son las siguientes:

- Una vez que se recibe la primera solicitud SIP Register, se asigna un S-CSCF al UE y se transfiere la solicitud al S-CSCF escogido. Esta función se cumple gracias al intercambio de mensajes DIAMETER con la entidad HSS.
- Una vez que se recibe la segunda solicitud SIP Register y la primera solicitud SIP Invite, para una llamada entrante, se consulta al HSS para la dirección IP del SCSCF para el UE y luego se transfiere la solicitud al S-CSCF.
- Generar los datos necesarios para los tickets de cobro.

S-CSCF. - Realiza diferentes roles dependiendo de la solicitud recibida.

De un *Location Server* para el almacenamiento de la correspondencia entre la dirección IP y el URI del UE.

- De un *Proxy Server* para el establecimiento de una sesión.
- De un UA, en condiciones de operación anormal, cuando este tuvo que terminar o generar transacciones SIP.

E-CSCF: maneja llamadas de emergencias que son transmitidas por el P-CSCF y enruta las solicitudes a los centros más cercanos del UE. El centro de emergencia puede ser vinculado a ser fijo o a una red móvil o a otra red IMS. Las tareas que realiza son las siguientes (Chalacán Aguayo 2015):

- En solicitudes entrantes SIP, se contacta el LRF (*Location Retrieval Function*) para obtener la ubicación del UE o validar si este está incluido en la solicitud.
- En base a la información que también es dada por el LRF, se transfiere la solicitud al centro de emergencia más cercano.

3.2.3 Single Radio Voice Call Continuity SRVCC

SRVCC es una de las mejores alternativas para la implementación de VoLTE, porque utiliza la Red IMS. SRVCC nos asegura una llamada de voz continua entre las redes E-UTRAN y GSM o viceversa.

Este método trabaja como un proceso que mezcla, el proceso de handover en la red de acceso y el procedimiento de la sesión continua IMS. Esta solución requiere de algunos cambios, estos se deben realizar tanto en el equipo del usuario (UE) como en la red, se incluye señalización adicional para la capacidad de transmisión del SRVCC desde el UE. Además, el enodoNB debe adquirir la característica de permitir enviar la información de handover para que se ejecute el handover SRVCC. Luego el MME debe indicar al servidor MSC por medio del procedimiento del handover para empezar a dividir las portadoras, por lo que solo uno mantendrá la voz (Chalacán Aguayo 2015).

Al poner en función SRVCC se afecta el MME (*Mobility Management Entity*) en el EPS, por lo que se realizan las siguientes funciones:

- Separar las portadoras para la voz.
- Por medio de la interface Sv, se inicializa el SRVCC para el handover de la voz en la celda de las redes GSM o UMTS.
- Coordinar el handover desde PS a CS para los flujos de voz, y posibilitar el handover de PS a PS para otros tipos de flujos.

El servidor MSC (*Mobile Switching Center*) en las redes GSM o UMTS son también afectadas por el SRVCC. Realizan las siguientes funciones:

- Asegurarnos la disponibilidad de recursos en la red GSM o UMTS antes de que se ejecute el handover.
- Coordinar la ejecución del handover y transferir la comunicación telefónica.
- Iniciar el proceso de la transferencia de la comunicación telefónica.

3.3 Propuesta de red VoLTE

Una vez analizado todas las consideraciones que se necesita para la implementación de VoLTE, en la Figura 3.5 se presenta la arquitectura de red y sus interfaces para brindar servicios de voz a abonados LTE.

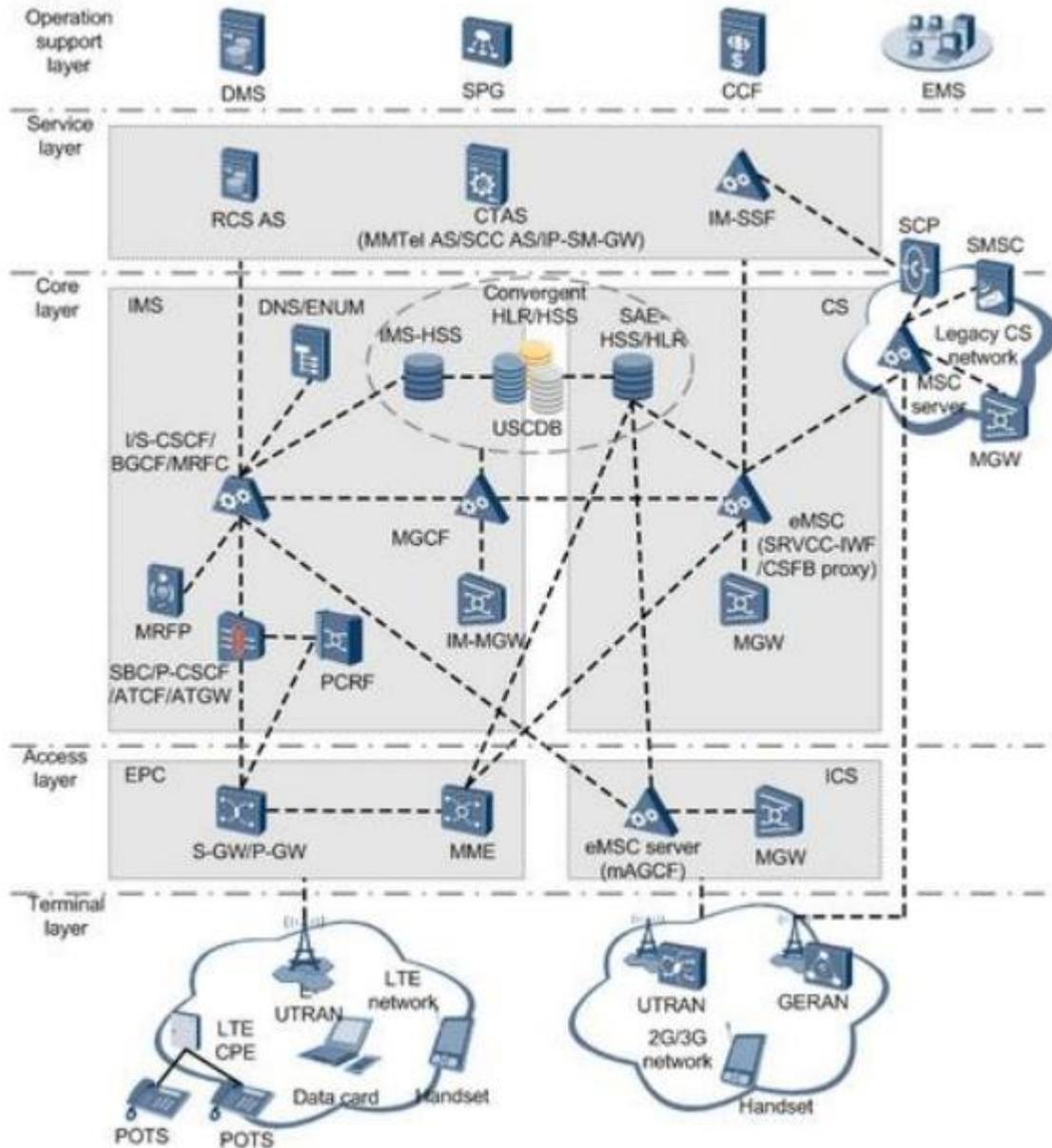


Figura 3.5 Arquitectura VoLTE Huawei (Chalacán Aguayo 2015).

En la red propuesta se aplican los parámetros de QoS tanto para un servicio portador EPS (QoS en LTE) como para VoLTE, ambos grupos de parámetros fueron explicados anteriormente en el capítulo 2 tales como:

Parámetros de QoS en LTE:

- Los Identificadores de Clases de QoS (QCI)
- Prioridad de ubicación y retenibilidad (*Allocation and Retention Priority*, ARP)
- Razón de bit garantizada, (*Guaranteed Bit Rate*, GBR)
- Máxima razón de bit (*Maximum Bit Rate*), MBR

Parámetros de QoS para VoLTE:

- MOS
- Retardo de paquete de extremo a extremo
- Variación Del Retardo Del Paquete
- S1 delay
- Razón de pérdida de paquetes

Esta propuesta consta de una mezcla de elementos de red que forman parte de dominios como IMS, CS y PS, además del concepto de la convergencia de datos que nos proporciona que los usuarios puedan manejarse en los diferentes dominios.

Se empleará la solución de una Plataforma VoLTE basado en IMS Core por su interoperabilidad con las redes heredadas (GSM y UMTS). Se busca elegir la mejor alternativa para la implementación de esta arquitectura dentro de la red actual de ETECSA, definiendo las funcionalidades de cada uno de los equipos a continuación:

MSC Server – Msoftx3000 permanece en el dominio CS el cual va a proveer funciones para realizar SRVCC, en este equipo se agrega la licencia para que soporte esta nueva característica además que tendrá la necesidad de ser actualizado.

MGW – UMG 8900 se aumentarán tarjetas GE para que soporte el tráfico de media que aumentara según lo proyectado en el número de llamadas simultáneas en hora pico. Con las tarjetas que manejan la capacidad de procesamiento no habría inconvenientes debido a que soporta el tráfico proyectado.

MME – USN9810 será necesaria la licencia para que soporte la característica de esta solución, la interfaz Sv aparece como el camino donde se realizarán diferentes intercambios de señalización con el Msoftx3000. Aquí tendremos un máximo de 10 Gb de capacidad lo cual es lo necesario para esta propuesta, cabe indicar que esta tarjeta tendrá su *backup* para no interrumpir el servicio.

Estos son los equipos que ya existen y se les agregará licencias o se los actualizará para que soporten la solución de VoLTE. Ahora lo nuevo que se agrega es el dominio de IMS, para que la llamada sea VoIP y no tenga que cambiar de dominio que es lo que se hacía con CSFB. S-CSCF-CSC3300 el software de este equipo consiste de Sistema Operativo Linux, Middleware que tiene una arquitectura propia de Huawei y las aplicaciones que se le quiera instalar como P-CSCF *Proxy Call Session Control Function* o S-CSCF *Serving Call Session Control Function* que es lo que necesitamos para nuestra arquitectura. El tipo de *subrack* que se utiliza es T8280.

SBC-SE2600 es un *Session Border controller* desarrollado por Huawei el cual se despliega en el borde de la red IP para controlar funciones como CAC *Call Admission Control*, Seguridad, Calidad de Servicio. El SE2600 tiene la particularidad de separar el plano de control del de media, lo cual hace que tenga unidades de procesamiento independientes que el *Signaling Processing Unit* y *Media Processing Unit*, los cuales se encuentran en el mismo CPU, pero lógicamente separados.

MGCF – MSOFTX3000 *Media Gateway Control Function*, este equipo actúa como un MGCF para implementar la interconexión entre el dominio IMS y el plano de control.

Este equipamiento cumple plenamente con los estándares del 3GPP en cuanto a la arquitectura IMS y la arquitectura LTE que en conjunto hacen posible el funcionamiento de VoLTE, pero a nivel físico se agrupan las funciones de tal manera que resulta importante considerarlas para evitar la subutilización de recursos existentes y prescindir de adquisiciones innecesarias de hardware.

Se recomienda utilizar equipos con elevada agregación de servicios ya que implica la adquisición de menor cantidad de dispositivos, con lo cual se logra menor tiempo de despliegue y optimización del espacio en el *datacenter*. Como el mayor porcentaje de la

tecnología a emplear es del proveedor Huawei, solo con una actualización de software se pueden utilizar para cumplir con las nuevas prestaciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Como resultado de la investigación desarrollada en este trabajo de diploma se arriba a las siguientes conclusiones:

- 1 En las redes LTE, Voz Sobre LTE (VoLTE) es la solución para transferir los paquetes de voz con un tratamiento especial, ofreciendo buena calidad de servicio y una latencia baja.
- 2 Los principales parámetros para establecer una buena calidad de servicio en redes VoLTE son los siguientes:
 - El Identificador de clase de QoS (QoS Class Identifier, QCI).
 - Allocation and Retention Priority, ARP
 - GBR (Guaranteed Bit Rate)
 - Máxima razón de bit (Maximum Bit Rate, MBR)
 - Packet End to End delay
 - Packet Delay Variaton (PDV):
 - S1 Delay
 - Packet Loss Rate (PLR)
 - MOS

- 3 IMS es la tecnología clave para proporcionar los servicios de voz en una red LTE (voz sobre LTE, VoLTE). IMS ofrece un marco que respalda los servicios multimedia basados en IP.
- 4 La red VoLTE propuesta basada en una arquitectura IMS con SRVCC (*Single Radio Voice Call Continuity*) para la continuidad de la llamada con las redes heredadas esta en funcion de los parametros y criterios de calidad de servicio.

Recomendaciones

Como recomendaciones se propone lo siguiente:

- 1 Análisis mediante herramientas de simulación de eventos discretos (DES) como el Opnet Modeler en su versión 17.5 para un estudio más profundo de los diferentes parámetros que garanticen QoS.
- 2 Implementar el diseño propuesto o una de sus variantes en la red del operador ETECSA.
- 3 Brindar el resultado de este trabajo de diploma como colofón a futuras investigaciones sobre VoLTE en Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3GPP 2011. LTE; Telecommunication management; Key Performance Indicators (KPI) for the Evolved Packet Core (EPC).
- 3GPP 2012. Technical Specification Group Services and System Aspects; Policy and charging control architecture *TS 23.203*.
- AGUSTI COMES, R., BERNARDO ALVAREZ, F., CASADEVALL PALACIO, F.-J., FERRUS FERRE, R. A., PEREZ ROMERO, J. & SALLENTO ROIG, J. O. 2010. LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles.
- AKYILDIZ, I. F., GUTIERREZ-ESTEVEZ, D. M. & REYES, E. C. 2010. The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced. *Physical communication*, 3, 217-244.
- CRUZ, Y. F., MARTÍNEZ, Y. V., HERNÁNDEZ, N. A. F. & RIZO, F. M. 2014. Solución de LTE para Cuba. *Revista Telemática*, 13, 53-61.
- CHALACÁN AGUAYO, M. C. 2015. *Propuesta para la implementación del servicio de voz sobre LTE en la ciudad de Guayaquil*. TRABAJO FIN DE MÁSTER Universidad Politécnica de Madrid
- DAHLMAN, E., PARKVALL, S. & SKOLD, J. 2013. *4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband*, Academic press.
- DELGADO, P. A. 2015. Impacto de los mecanismos de handover en la calidad percibida por usuarios de servicios de voz en LTE. *Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba*.
- EL WAKIEL, M., EL BADAWY, H. & EL HENNAWY, H. VOLTE deployment scenarios: Perspectives and performance assessments. *Selected Topics in Mobile & Wireless Networking (MoWNeT)*, 2016 International Conference on, 2016. IEEE, 1-8.
- FERNÁNDEZ LÓPEZ, I. 2014. Planificación y dimensionado de una red LTE.
- FORCONI, S. & VIZZARRI, A. Review of studies on end-to-end QoS in LTE networks. *AEIT Annual Conference*, 2013, 2013. IEEE, 1-6.
- GHOSH, A. & RATASUK, R. 2011. *Essentials of LTE and LTE-A*, Cambridge University Press.
- GSA 2017. Evolution to LTE report -4G MARKET and TECHNOLOGY UPDATE.
- GUEVARA TOLEDO, A. P. & VÁZQUEZ ALARCÓN, V. V. 2013. *Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica*. Universidad de Cuenca.
- GUJRAL, E. & JS, J. 2016. - Strategic Approach for VoLTE Performance Improvement.

- HYUN, J., LI, J., IM, C., YOO, J. H. & HONG, J. W. K. A VoLTE traffic classification method in LTE network. The 16th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium, 17-19 Sept. 2014 2014. 1-6.
- KADATSKAYA, O. & SABUROVA, S. Research of requirements to QoS for voice over LTE. 2014 First International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, 14-17 Oct. 2014 2014. 135-138.
- KHAN, F. 2009. *LTE for 4G mobile broadband: air interface technologies and performance*, Cambridge University Press.
- LUNA ARIAS, G. P. 2015. *Diseño de la plataforma VoLTE basado en IMS Core para la red de la corporación nacional de telecomunicaciones CNT-EP*. Escuela Politecnica Nacional.
- MAHFOUDI, M., BEKKALI, M. E., MAZER, S., GHAZI, M. E. & NAJID, A. LTE network capacity analysis to avoid congestion for real time traffic. Proceedings of 2014 Mediterranean Microwave Symposium (MMS2014), 12-14 Dec. 2014 2014. 1-5.
- ORTIZ HERNÁNDEZ, O. 2016. *Curso de Comunicaciones Móviles sobre la plataforma Moodle*. UCLV.
- PASTRAV, A. E. I., BARA, A., PALADE, T. & PUSCHITA, E. Assessing VoLTE performances for fundamental E-UTRAN technologies. 2015 38th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), 9-11 July 2015 2015. 1-6.
- POIKSELKÄ, M., HOLMA, H., HONGISTO, J., KALLIO, J. & TOSKALA, A. 2012. *Voice over LTE (VoLTE)*, John Wiley & Sons.
- RAMACHANDRAN, R. 2003. Evolution to 3G mobile communication. *Resonance*, 8, 37-51.
- RUMNEY, M. 2013. *LTE and the evolution to 4G wireless: Design and measurement challenges*, John Wiley & Sons.
- SAN MIGUEL FABREGAS, A. 2015. *Dimensionamiento de una red LTE para la ciudad de Santa Clara*. UCLV.
- SEGURA VILLALOBOS, C. D. 2012. *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE QoS/QoE EN SERVICIOS OTT MONTADOS SOBRE UNA PLATAFORMA LTE/IMS* UNIVERSIDAD DE CHILE
- SESA, S., BAKER, M. & TOUFIK, I. 2011. *LTE-the UMTS long term evolution: from theory to practice*, John Wiley & Sons.
- SOTO, L. A. V. 2011. Tecnología de voz sobre LTE, un paso hacia el futuro telefónico.
- TORABZADEH, M. & AJIB, W. 2010. Packet scheduling and fairness for multiuser MIMO systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59, 1330-1340.
- UIT-T 2008. E.800 Calidad de los servicios de telecomunicación: conceptos, modelos, objetivos, planificación de la seguridad de funcionamiento-Términos y definiciones relativos a la calidad de los servicios de telecomunicación.
- VASER, M. & FORCONI, S. QoS KPI and QoE KQI Relationship for LTE Video Streaming and VoLTE Services. 2015 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 9-11 Sept. 2015 2015. 318-323.
- VIZZARRI, A. Analysis of VoLTE end-to-end quality of service using OPNET. Modelling Symposium (EMS), 2014 European, 2014. IEEE, 452-457.

-
- ZARRINKOUB, H. 2014. *Understanding LTE with MATLAB: from mathematical modeling to simulation and prototyping*, John Wiley & Sons.
- ZHANG, Y. J. & LIEW, S. C. Link-adaptive largest-weighted-throughput packet scheduling for real-time traffics in wireless OFDM networks. Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM'05. IEEE, 2005. IEEE, 5 pp.-2494.

GLOSARIO

1G	Primera Generación (<i>First Generation</i>)
2G	Segunda Generación (<i>Second Generation</i>)
3G	Tercera Generación (<i>Third Generation</i>)
3GPP	Proyecto Asociación de Tercera Generación (<i>Third Generation Partnership Project</i>)
3GPP2	Proyecto Asociación de Tercera Generación 2 (<i>Third Generation Partnership Project 2</i>)
4G	Cuarta Generación (<i>Fourth Generation</i>)
AMPS	Sistema Telefónico Móvil Analógico (<i>Analogue Mobile Phone System</i>)
ARP	Prioridad de Retención y Asignación (<i>Allocation and Retention Priority</i>)
CDMA	Acceso Múltiple por División del Código (<i>Code Division Multiple Access</i>)
DL	Enlace Descendente (<i>DownLink</i>)
eNB	Nodo B Evolucionado (<i>evolved Node B</i>)
EPC	Núcleo de Paquetes Evolucionado (<i>Evolved Packet Core</i>)
EPS	Sistema de Paquetes Evolucionado (<i>Evolved Packet System</i>)
EUTRAN	Red de Acceso Radio Terrestre Universal 3G Evolucionada (<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network</i>)
FDD	Duplexación por División de la Frecuencia (<i>Frequency Division Duplexing</i>)
FDMA	Acceso Múltiple por División de la Frecuencia (<i>Frequency Division Multiple Access</i>)
GBR	Razón de Bit No Garantizada (<i>Non-Guaranteed Bit Rate</i>) xii
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles (<i>Global System for Mobile Communications</i>)

HO	Transferencia (<i>handover</i>)
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Union of Telecommunication).
JTACS	Sistema de Comunicaciones de Acceso Total Japonés (<i>Japanese Total Access Communication System</i>)
LTE	Evolución a Largo Plazo (<i>Long Term Evolution</i>)
MBR	Máxima Razón de Bit (<i>Maximum Bit Rate</i>)
MIMO	Múltiples Entradas Múltiples Salidas (<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>)
MME	Entidad de Gestión de Movilidad (<i>Mobility Management Entity</i>)
MOS	Nota de Opinión Media (<i>Mean Opinion Score</i>)
NGBR	Razón de Bit No Garantizada (<i>Non-Guaranteed Bit Rate</i>)
NMT	Sistema Telefónico Móvil Nórdico (<i>Nordic Mobile Telephone</i>)
OFDM	Multiplexación por División de la Frecuencia Ortogonal (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
OFDMA	Acceso Múltiple por División de la Frecuencia Ortogonal (<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>)
QCI	Identificador de Clase de QoS (<i>QoS Class Identifier</i>)
QoS	Calidad de Servicio (<i>Quality Of Service</i>)
RNC	Controlador de Red de Radio (<i>Radio Network Controller</i>)
SC-FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Única (<i>Single-Carrier Frequency Division Multiple Access</i>)
S-GW	Pasarela de Servicio (<i>Serving Gateway</i>)
TDMA	Acceso Múltiple por División del Tiempo (<i>Time Division Multiple Access</i>)
TTI	Intervalo de Tiempo de Transmisión (<i>Transmission Time Interval</i>)
UL	Enlace Ascendente (<i>UpLink</i>)
UMTS	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>)
UTRAN	Red de Acceso Radio Terrestre Universal 3G (<i>Universal Terrestrial Radio Access Network</i>)
VoIP	Voz sobre el Protocolo de Internet (<i>Voice over Internet Protocol</i>)

VoLTE Voz sobre LTE (*Voice over LTE*).

WCDMA Acceso múltiple por división de código de banda ancha (*Wideband Code Division Multiple Access*).