



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Estudio comparativo entre redes LTE Advanced y LTE a nivel de CORE

AUTOR:

Ing. David Oswaldo Castillo Contreras

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

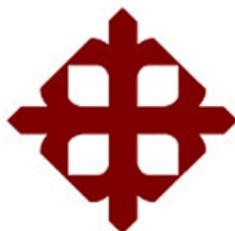
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

25 de agosto del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Castillo Contreras, David Oswaldo** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, a los 25 días del mes agosto año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Castillo Contreras, David Oswaldo**

DECLARÓ QUE:

El Trabajo de Titulación “**Estudio comparativo entre redes LTE y LTE Advanced a nivel de CORE**”, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizó del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 25 días del mes agosto año 2017

EL AUTOR

Ing. David Oswaldo Castillo Contreras



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Castillo Contreras, David Oswaldo**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulado: “**Estudio comparativo entre redes LTE y LTE Advanced a nivel de CORE**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 25 días del mes agosto año 2017

EL AUTOR

Ing. David Oswaldo Castillo Contreras

REPORTE DE URKUND

URKUND	
Documento	Tesis Maestría Teleco UCSG_David Castillo Contreras.docx (D29154515)
Presentado	2017-06-04 17:02 (-05:00)
Presentado por	dcasti81@gmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Tesis DC Mostrar el mensaje completo 2% de estas 29 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.

Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación a:

Dios, quien con su infinita sabiduría condujo mis pasos para la culminación de este proyecto profesional.

Mi esposa, Eva, porque sin su ayuda, mi esfuerzo hubiera fracasado.

A mis hijos, Allison, Grace y David porque son la razón de este esfuerzo.

A mis padres, Eloy y Grace, porque siempre buscaron la manera de ayudarme a concretar mis metas, porque siempre creyeron en mí.

A mi hermana, Marusia, porque siempre tuvo palabras de aliento.

A mi amigo Gary, por enseñarme con el ejemplo de que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

A todas las personas que de una u otra manera ayudaron para que este trabajo de titulación se materialice.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado la vida, por haberme dado las fuerzas necesarias para concluir este proyecto de titulación.

No hubiera sido posible para mi culminar esta meta profesional sin la ayuda de Eva, mi esposa, quien se quedaba al cuidado de nuestro hogar mientras yo dedicaba tiempo al estudio, ha sido una esposa estupenda, por tu ayuda y comprensión te estaré siempre agradecido.

A mis padres Eloy y Grace quienes siempre me enseñaron que todo lo que vale la pena en esta vida, requiere de sacrificio y esfuerzo. Gracias padres porque siempre han estado cuando he necesitado de una palabra de aliento o de algún consejo. Los amo.

Gracias MSc. Edwin Palacios Meléndez por la conducción y por todo el apoyo brindado desde el primer momento en el que le presente mi proyecto.

Gracias a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil por todo el apoyo brindado a lo largo de esta Maestría.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
TUTOR

f. _____

CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
REVISOR

f. _____

PHILCO ASQUI, ORLANDO LUIS
REVISOR

f. _____

ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
Resumen.....	XV
Abstract.....	XVI
Capítulo 1: Generalidades del trabajo de titulación.....	17
1.1. <i>Introducción</i>	17
1.2. <i>Antecedentes</i>	18
1.3. <i>Definición del problema</i>	19
1.4. <i>Justificación del Problema a Investigar</i>	19
1.5. <i>Objetivos</i>	19
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	19
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	19
1.6. <i>Hipótesis o Idea a Defender</i>	19
1.7. <i>Metodología de investigación</i>	20
Capítulo 2: Medios de transmisión.....	21
2.1. <i>Introducción</i>	21
2.2. <i>Medios de transmisión</i>	22
2.2.1. <i>Fibra óptica</i>	23
2.2.1.1 <i>Tipos de Fibras Ópticas</i>	24
2.2.1.2 <i>Ventajas y desventajas de la Fibra Óptica</i>	26
2.2.2. <i>Comunicaciones inalámbricas</i>	28
2.2.2.1 <i>Comunicaciones Satelitales</i>	29
2.3 <i>Normativas IEEE 802</i>	31
2.3.2 <i>Limitaciones 802.11</i>	34
2.4 <i>Redes Inalámbricas</i>	36
2.4.1 <i>Redes WiFi</i>	36
2.4.2 <i>Redes WiMax</i>	37
2.4.2.1 <i>Topologías de redes WiMAX</i>	39
2.4.3 <i>IEEE 802.16-2004 WiMAX</i>	39

2.5	<i>Redes de telefonía celular</i>	40
2.5.1	Primera Generación (1G)	41
2.5.2	Segunda Generación (2G).....	42
2.5.3	Generación 2.5G	43
2.5.4	Tercera Generación (3G).....	44
Capítulo 3: LTE		46
3.1.	<i>Introducción</i>	46
3.1.1.	Arquitectura Redes Celulares 3GPP.....	47
3.1.2.	Arquitectura LTE.....	48
3.1.3.	Arquitectura EPC (Evolved Packet Core)	49
3.1.4.	Elementos del EPC (Evolved Packet Core)	52
3.2.	<i>IP Multimedia Subsystem (IMS)</i>	55
3.3.	<i>Mecanismo CS Fallback</i>	58
3.3.1.	Descripción del CS Fallback	59
3.3.2.	Arquitectura	60
3.3.3.	Combinación de la movilidad.....	61
3.3.4.	Proceso para la administración de la movilidad combinada.....	63
3.3.5	Procedimientos de control de llamada del CS Fallback.....	64
3.3.5.1	Llamada Originada.....	64
3.3.5.2	Llamada Terminada	65
3.4	<i>Problemas CS Fallback</i>	66
3.4.1	Escenario de falla	66
3.4.2	Configuración escenario de falla.....	67
3.4.3	Mensajería del escenario de falla.....	67
3.4.4	Señalización del escenario fallido.	69
Capítulo 4: LTE Advanced		72
4.1.	<i>Introducción</i>	72
4.2.	<i>Arquitectura de LTE-Advanced</i>	74
4.3.	<i>VoLTE</i>	75
4.3.1	VoLTE Profile descripción.....	76
4.3.2	Configuración de Red y funciones básicas VoLTE.....	77

4.4 Controles Básicos en VoLTE	78
4.4.1 Proceso de Registro en el IMS	78
4.4.2 Llamadas de voz originadas.	79
Capítulo 5: Análisis comparativo entre redes LTE y LTE Advanced a nivel de CORE de voz	82
5.1 <i>Arquitectura de Red.</i>	82
5.2 <i>Servicio de Voz</i>	84
Conclusiones	87
Recomendaciones	89
Glosario	90
Referencias Bibliográficas	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1 Fibra Monomodo.....	25
Figura 2. 2 Fibra Multimodo	26
Figura 2. 3 Diagrama esquemático comunicaciones inalámbricas	29
Figura 2. 4 Enlace punto a punto	30
Figura 2. 5 Enlace de difusión vía satélite.....	30

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Arquitectura de redes 3GPP	47
Figura 3. 2: Detalle de arquitectura LTE	49
Figura 3. 3: Arquitectura EPC.....	49
Figura 3. 4 Equipos básicos del EPC.....	50
Figura 3. 5: Provisión de servicios IMS	56
Figura 3. 6: Equipo de usuario	58
Figura 3. 7: Concepto básico CS Fallback	60
Figura 3. 8: Arquitectura de red necesaria para CS Fallback	60
Figura 3. 9: Mapeo de registro de localización de área	62
Figura 3. 10: Procedimiento combinado de registro de localización....	63
Figura 3. 11: Proceso llamada originada.....	64
Figura 3. 12: Proceso llamada terminada	65
Figura 3. 13: Log de pruebas 1 realizadas con equipos TEMS	68
Figura 3. 14: Log de pruebas 2 realizadas con equipos TEMS.	68
Figura 3. 15: Log de pruebas 3 realizadas con equipos TEMS.	69
Figura 3. 16: Señalización para prueba 1 realizada por el aplicativo Flexi Maintenance.....	70
Figura 3. 17: Señalización para prueba 2 realizada por el aplicativo Flexi Maintenance.....	70
Figura 3. 18: Señalización para prueba 3 realizada por el aplicativo Flexi Maintenance.....	70

Capítulo 4:

Figura 4. 1: Migración del servicio de voz	76
Figura 4. 2: Configuración de red VoLTE.....	77
Figura 4. 3: Proceso de control de registro en el IMS	78
Figura 4. 4: Llamada de voz originada.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Detalle del estándar IEEE 802	32
Tabla 2. 2: Detalle del estándar 802.11 con sus frecuencias y alcances aproximados.....	33

Capítulo 4:

Tabla 4. 1: Requisitos IMT-Advanced para tecnologías 4G	73
Tabla 4. 2: Propuesta del 3GPP para que LTE-Advanced sea considerada tecnología 4G.....	73

Capítulo 5:

Tabla 5. 1: Comparativa entre LTE y LTE Advanced.....	85
Tabla 5. 1: Comparativa entre entidades y servicios de voz entre LTE y LTE Advanced	86

Resumen

El presente trabajo de titulación contiene un estudio y análisis de las tecnologías LTE y LTE-Advanced a nivel de CORE de voz. Mediante la metodología de investigación descriptiva, se expondrán profundamente las principales características tecnológicas de las redes LTE y LTE Advanced, haciendo un enfoque hacia la arquitectura del CORE de voz y sus principales procesos para la administración de la movilidad, llamadas originadas y llamadas terminadas. Se detallará paso a paso el mecanismo denominado CS Fallback, mediante el cual las llamadas de voz de una red LTE cursan en las redes 3G, y a través de pruebas realizadas en campo se evidenciará el escenario en el cual este mecanismo falla. Se realizará una comparación de las principales diferencias entre ambas tecnologías a nivel de CORE de voz para determinar que los problemas existentes en las redes híbridas y al mecanismo de CS Fallback no están presentes en las redes LTE Advanced nativas. Previo al despliegue de la tecnología LTE Advanced en el Ecuador, se harán ciertas recomendaciones sobre el enfoque que deben de tener las compañías proveedoras de los servicios celulares y la importancia del gobierno al momento de incentivar a la industria con la finalidad de que el país no se quede rezagado tecnológicamente.

Palabras claves: LTE, LTE Advanced, CS Fallback, CORE, 3G, Comunicaciones inalámbricas móviles.

Abstract

The present titration work contains a study and analysis of LTE and LTE-Advanced technologies at CORE level of voice. Through the methodology of descriptive research, the main technological characteristics of the LTE and LTE Advanced networks will be exposed, with a focus on the CORE voice architecture and its main processes for the management of mobility, originated calls and terminated calls. The mechanism called CS Fallback will be detailed step by step, through which the voice calls of a LTE network are carried out in 3G networks, and through field tests the scenario in which this mechanism fails will be evidenced. A comparison of the main differences between the two technologies at CORE level of voice will be made to determine that the problems in the hybrid networks and the mechanism of Fallback CS are not present in native Advanced LTE networks. Prior to the deployment of LTE Advanced technology in Ecuador, certain recommendations will be made regarding the approach that should be taken by companies that provide cellular services and the importance of the government in encouraging industry so that the country does not technology.

Keywords: LTE, LTE Advanced, CS Fallback, CORE, 3G, Mobile wireless communications.

Capítulo 1: Generalidades del trabajo de titulación

Este capítulo está orientado a la descripción de las generalidades del trabajo a desarrollar, se encontrarán particularidades como los antecedentes, la justificación del problema, objetivos generales y específicos, hipótesis y metodología de investigación.

1.1. Introducción.

Con el continuo crecimiento de usuarios en las redes de telefonía móvil, se ha dado paso a la par un crecimiento constante en el consumo de datos móviles, esto fomentado principalmente por la gran cantidad de aplicaciones móviles como videos en calidad de HD y 4K, juegos en línea, realidad aumentada, etc. Esto ha sido el pilar fundamental para que la evolución de las redes móviles sea constante en el tiempo, a fin de satisfacer el creciente número de abonados y consecuentemente el tráfico de voz y datos.

La evolución de las redes móviles viene dada en pasos pequeños como lo son los upgrades, parches o instalación de mejoras a nivel de software, mejoras en las técnicas de acceso a los medios, mejoras en las características de las antenas, esto se transforma sin lugar a dudas a una mejor experiencia para el cliente, sin embargo, en algunas ocasiones los avances deben de ser de manera más radical, como es el caso del paso de la tercera generación de redes celulares a la cuarta generación.

Luego de desarrollarse los diversos estándares para los lineamientos de las características que la cuarta generación de telefonía móvil debía seguir, los diversos fabricantes entendieron que la tecnología que estaba naciendo no iba a poder ser implementada mediante upgrades de hardware o software de los equipos actualmente instalados para los diversos operadores a nivel mundial, sino que debían de ser equipos completamente nuevos capaces de satisfacer las demandas de la nueva tecnología.

Este requerimiento de parte de los fabricantes de instalar nuevos equipos, demanda por parte de los operadores una gran inversión y debido a que los equipos que se encuentran en uso actualmente para brindar el servicio de tercera generación son relativamente nuevos, los operadores solicitaron el desarrollo de nuevas técnicas a fin de no incurrir en la inversión de instalación de una nueva red.

Con esto se da paso al nacimiento de nuevas técnicas, para tratar de emular lo que son las características que definen la nueva generación, de esta manera las redes de tercera generación mediante la implementación de ciertos upgrades son capaces de simular las características de la nueva tecnología de redes LTE, esto es como lo que se conoce con el nombre de LTE Advanced.

Sin embargo, la aplicación de estas técnicas con llevan a problemas que son propias de las mismas, por tal razón el objeto de este estudio es comparar las redes LTE y LTE Advanced con la finalidad de determinar las principales diferencias entre ambas.

1.2. Antecedentes.

Actualmente en el Ecuador existen tres operadoras de telefonía móvil que brindan el servicio de 4G LTE, sin embargo, ninguna de las tres compañías celulares proporciona el servicio de voz sobre red LTE sino que utilizan diversos métodos, uno de ellos, lograr que las llamadas de voz cursen sobre la red 3G mientras que la navegación de los terminales se la realiza sobre la red 4G. Con este método, permite que el terminal constantemente varíe de red, lo que ocasiona en ciertos casos perdidas de llamadas en los abonados mientras se encuentran acampando en la red 4G. Esto se presenta como un problema, ya que los abonados no llegan a tener el conocimiento de que se los está tratando de comunicar.

La migración de los servicios de voz a la red 4G corresponden a la solución de este inconveniente, al mismo tiempo que permite realizar mejoras adicionales.

1.3. Definición del problema

Necesidad de realizar un estudio comparativo entre las arquitecturas de las redes y los mecanismos para proveer el servicio de voz sobre las redes LTE y LTE Advanced a nivel de equipos CORE de voz con la finalidad de describir las principales características de cada tecnología determinando la mejor opción para dar solución a los problemas propios que se dan en las redes híbridas y las funcionalidades como el CS Fallback.

1.4. Justificación del Problema a Investigar.

A través de este estudio se pretende realizar una comparación entre las tecnologías LTE y LTE Advanced a nivel de CORE de voz para determinar la opción más robusta para administrar las llamadas de voz sobre redes de cuarta generación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Realizar el estudio comparativo entre redes LTE y LTE Advanced a nivel de CORE de voz.

1.5.2. Objetivos específicos

- ✓ Fundamentar las bases teóricas de las comunicaciones inalámbricas móviles.
- ✓ Describir las características tecnológicas de una red LTE y LTE Advanced a nivel de CORE de voz.
- ✓ Demostrar los problemas existentes en la funcionalidad de CS Fallback.
- ✓ Comparar las principales diferencias entre las redes LTE y LTE Advanced a nivel de CORE de voz.

1.6. Hipótesis o Idea a Defender

A través de este estudio se pretende realizar un análisis comparativo de los núcleos de red de voz y los procesos mediante los cuales cada red

realiza la administración de las llamadas de voz, para determinar que VoLTE soluciona los problemas que se presentan en las redes LTE y su mecanismo de CS Fallback.

1.7. Metodología de investigación.

Para este trabajo de titulación, la metodología de la investigación con la que se trabajara es la metodología descriptiva, ya que procederemos a realizar una descripción profunda de las arquitecturas de red a nivel de CORE de voz y el funcionamiento de cada una para lograr proveer los servicios de voz, luego se realizara una comparación entre ambas tecnologías para lograr establecer las diferencias más relevantes.

Capítulo 2: Medios de transmisión

En este capítulo se detallará los medios de transmisión alámbricos e inalámbricos, dentro de los alámbricos y por ser el más utilizado hoy en día, hablaremos de la fibra óptica, su clasificación, las ventajas y desventajas de cada tipo. En los medios inalámbricos se revisará los enlaces satelitales y sus características, la tecnología WiFi, WiMAX hasta llegar a la telefonía celular en donde se hará un detalle de las principales características de las tecnologías antecesoras de 4G.

2.1. Introducción.

La tecnología celular 3G dio la oportunidad a los usuarios de poder acceder a servicios como video, navegación en internet, *e-mail*, *chats*, etc. Este tipo de servicios modificó tanto la vida de los usuarios, que los mismos incrementaron su consumo de datos móviles de una manera contundente, este alto tráfico de datos terminó en una saturación de los canales de transmisión de las redes 3G.

Este uso vertiginoso de los datos móviles sobrepasaron los *2Mbps* con los cuales fueron dimensionadas las redes 3G para el tráfico de datos, esto fue el punta pie inicial para poder pensar en el nacimiento de una nueva tecnología de redes móviles capaz de poder soportar la creciente demanda en cuanto a tráfico de datos se refiere, proporcionar al cliente mejores velocidades de navegación y alcanzar nuevos niveles eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico, es así como esta nueva red es pensada inicialmente con la idea de poder brindar velocidades que se asemejen y/o mejoren a las otorgadas por las redes LAN básicas *10Mbps*.

La tecnología 4G es capaz de brindar a los usuarios una mejor experiencia en la navegación web, se podrá observar video en *HD*, realizar *streaming* en tiempo real, utilizar aplicaciones con realidad aumentada, mejorar el despliegue de nuevas tecnologías de

telecomunicaciones que necesiten mayores velocidades de transmisión, posibilitando en acceso a la nube desde cualquier equipo móvil y en cualquier momento, esto se traduce en una nueva manera de interactuar con la tecnología, permitiendo una verdadera convergencia de aplicaciones y servicios.(Agustí Comes & Bernardo Álvarez, Francisco, 2010)

2.2. Medios de transmisión.

La principal función de la comunicación es la de poder llevar la información desde un punto A, hacia un punto B, la información es transmitida mediante señales eléctricas o señales ópticas por medio de un canal de comunicación o medio de transmisión.

El medio de transmisión es el medio físico por el cual viajara la información desde el trasmisor hacia el receptor. Este medio puede ser un par de cables, cable coaxial e inclusive el propio aire, sin embargo, todos los medios de transmisión se caracterizan por padecer atenuaciones, ruido, interferencia, desvanecimiento u otros factores que obstaculizaran que la señal viaje a través del medio sin sufrir alteraciones. Estos factores deberán de ser considerados para poder minimizarlos al momento de transmitir la información.

En esta parte se describirán los medios de transmisión más importantes, los mismos que se clasifican en dos tipos, los medios alámbricos y los medios inalámbricos, aunque no es óptimo denominar como medios alámbricos a los medios físicos, debido a que el nombre alámbrico está asociado con los cables de cobre y dentro de este grupo no clasificaría los cables de fibra óptica construidos con material de fibra de vidrio es preferible referenciar los medios alámbricos como medios confinados, es decir son medios físicos confinados sobre conductos de cobre, fibra de vidrio o contenedores metálicos. Recapitulando podemos decir que los medios confinados se ven limitados por el medio y no salen de él.

La otra cara de la moneda esta denominada como medios inalámbricos, no físicos o no confinados y son en donde las señales de radio frecuencia (*RF*) originadas por el transmisor, radian libremente a través del aire, este medio es definido técnicamente como espectro radioeléctrico o electromagnético.

2.2.1. Fibra óptica

Durante los últimos tiempos se ha visto una revolución en el mundo de las telecomunicaciones liderada principalmente por la sustitución de los cables de cobre por los delgados hilos de vidrio que transportan gran cantidad de información a lo largo de trayectos más grandes con una fidelidad mayor y con una claridad mejorada.

A través de la historia se conoce que la luz ha sido utilizada para comunicar a distancias sin embargo las técnicas utilizadas han sido tediosas y poco prácticas, al mismo tiempo se sabe que las comunicaciones han estado ligadas con las condiciones atmosféricas y a la línea de vista. Desde la antigua Grecia la luz del sol se la utilizaba haciéndola reflejar con espejos para hacer señales entre torres, esta técnica se ha mantenido y con el tiempo ha sufrido algunas mejoras. Con el pasar de los días la luz del sol fue sustituida por luz artificial y se ha logrado estructurar la señal de encendido y apagado en algo semejante al código Morse.

Luego de la invención del láser en 1958 empezaron los estudios de comunicación luminosa por el aire, los láseres brindan una banda estrecha de radiación de luz que se puede curvar mediante espejos, sin embargo, esta comunicación no prospero debido a que se requería visibilidad directa, la niebla o la lluvia podían afectar el enlace considerablemente. Los experimentos siguieron con la propagación de la luz en un medio vítreo, este medio fue el preferido sobre el aire debido a su constancia y a que no se veía disminuido por las condiciones climáticas o medioambientales.

En 1970 se descubrió la primera fibra óptica de bajas pérdidas, la misma fue hecha de silicio de 250 micras de diámetro (similar a un cabello humano). Corning Inc. a mediados de la misma década y luego de perfeccionar el proceso de fabricación se desarrolló el primer cable de fibra óptica comercial, esto fue el inicio de la revolución de la fibra óptica e inmediatamente comenzaron las pruebas de los sistemas a cortas distancias por las empresas telefónicas, como consecuencia de las pruebas y con el pasar del tiempo las distancias se fueron incrementando y fueron apareciendo más productos. Con el pasar de los años los cables de fibra óptica ganaron protagonismo en el mundo de las telecomunicaciones, actualmente es una tecnología probada y aceptada.

La idea principal de encender y apagar la comunicación con luz utilizada en el pasado es muy similar con lo que se utiliza hoy en día, la señal de información a transmitir controla la fuente de luz encendiéndola y apagándola en una secuencia codificada particular o variando su intensidad. La luz se acopla a una fibra óptica que la guía a lo largo de la distancia de la comunicación. En el extremo del receptor, un detector decodifica la luz y reproduce la información de la señal (Chomycz, Bob, 1998)

2.2.1.1 Tipos de Fibras Ópticas

Las fibras ópticas se clasifican debido a los números de modos que soportan en mono modo y multimodo

Fibras monomodo

Son denominadas como fibras monomodo aquellas que solo permiten un solo modo de propagación y en las cuales solo pueden ser transmitidos rayos que tengan una trayectoria que siga al eje de la fibra. Este tipo de fibras otorgan mayor capacidad de transporte de información (Alonso Vargas, 2015).



Figura 2. 1: Fibra Monomodo
Fuente: (Alonso Vargas, 2015)

- Núcleo pequeño
- Dispersión reducida
- Ideal para enlaces de larga distancia
- Utiliza laser como fuente de luz
- Comúnmente utilizado en backbones

Fibras multimodo

Son denominadas como fibras multimodo aquellas en las que se permite más de un modo de propagación, en este tipo de fibras pueden existir muchos modos de propagación de luz, normalmente son utilizadas para enlaces con distancias menores a 2km (Alonso Vargas, 2015).



Figura 2. 2: Fibra Multimodo
Fuente: (Alonso Vargas, 2015)

- Núcleo mayor al de las fibras monomodo
- Mayor dispersión, pérdidas de señal
- Utiliza led como fuente de luz

2.2.1.2 Ventajas y desventajas de la Fibra Óptica

En el libro de (Alonso Vargas, 2015) se detallan algunas de las ventajas y desventajas de la fibra óptica, las mismas que mencionaremos a continuación:

Baja Atenuación. La fibra óptica es el medio de transmisión físico con menor atenuación, debido a esta característica es posible realizar enlaces entre 100 y 200 km sin la necesidad de repetidores, reduciendo así también en la economía del equipamiento de las redes.

Mayor ancho de banda. Gracias a la gran capacidad de transmisión es posible realizar enlaces con un mayor ancho de banda, además de que existe la posibilidad de propagar ondas ópticas de varias longitudes de onda, lo que se convertiría en un mayor rendimiento de los sistemas.

Menor peso y tamaño. El diámetro de la fibra óptica es similar al cabello de los humanos, esto corresponde una gran ventaja sobre los cables multipares por ejemplo que tienen un mayor peso y volumen, a la hora de facilidades y costos de instalación.

Flexibilidad y recursos disponibles. Los cables de fibra óptica pueden ser contruidos con materiales dieléctricos en su totalidad, el principal componente para la fabricación es el dióxido de silicio (SiO_2) que corresponde a uno de los recursos con mayor abundancia en el planeta tierra.

Aislamiento eléctrico entre terminales. Debido a que la fibra óptica está construida con materiales dieléctricos, no se inducen corrientes eléctricas sobre el cable.

Ausencia de radiación emitida. Ya que la fibra óptica está construida con materiales dieléctricos y al no inducir corrientes eléctricas sobre sí mismas, no generan radiaciones electromagnéticas, tampoco se ve afectada por radiaciones producidas por otros medios, esta es una razón muy fuerte para ser elegida como medio de transmisión de información de muy alta calidad sin mayores degradaciones.

Costo y mantenimiento. El costo de los cables de fibra óptica y la tecnología asociada a su instalación se ha venido reduciendo en los últimos tiempos, siendo así que los costos de mantenimiento de una fábrica de FO es muy inferior a una de cobre.

La información puede ser transmitida en medios eléctricamente ruidosos con un índice de error muy bajo y sin interferencias eléctricas. Las características de transmisión son intactas con relación a los cambios de temperatura, se mantiene estable entre -40 y 200 °C.

Desventajas de la Fibra Óptica

- Fragilidad
- Transmisores y receptores costosos
- Empalmes más difíciles de realizar
- Necesidad de conversores eléctricos-ópticos
- No puede transmitir potencias elevadas

- No existen memorias ópticas

El costo de la instalación de la fibra óptica solo se justifica cuando su capacidad de ancho de banda y baja atenuación es requerida, para los enlaces con necesidades de bajo ancho de banda, esta solución es más costosa que los conductores de cobre.

Los receptores de señales ópticas deben de ser energizados con fuentes externas debido a que los cables de fibra óptica no son conductores de electricidad. La presencia de agua y su facilidad para corroer la superficie del vidrio es el factor más determinante para el envejecimiento de la fibra óptica.

2.2.2. Comunicaciones inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas son descritas en el libro (Stallings, 2004) como la transmisión y recepción de la información que se lleva a cabo mediante antenas, para la transmisión las antenas radian energía electromagnética en el aire, mientras que para la recepción la antena capta la energía electromagnética del medio que la rodea.

En este tipo de comunicaciones existen dos tipos de configuraciones: direccional y omnidireccional. Para la primera configuración la antena de transmisión concentra la energía electromagnética en un solo haz, por esta razón las antenas de transmisión y recepción deben de estar alineadas. Para la segunda configuración la antena de transmisión radial de forma dispersa y en todas direcciones por lo que es más factible recibir la señal por una gran cantidad de antenas receptoras.

En las comunicaciones inalámbricas se deben de considerar tres rangos, el primer rango es el comprendido entre los 2GHz hasta los 40GHz y es denominado frecuencia de microonda, en estas frecuencias se puede trabajar con haces altamente direccionales ideales para

enlaces punto a punto, el segundo rango es de 30MHz a 1GHz denominados intervalo de ondas de radio, son adecuadas para enlaces omnidireccionales, el ultimo rango de frecuencias es el infrarrojo comprendido entre los 3×10^{11} hasta los 2×10^{14} Hz, este tipo de frecuencias son utilizadas para conexiones locales punto a punto así como aplicaciones multipunto dentro de áreas de cobertura limitada como las habitaciones.

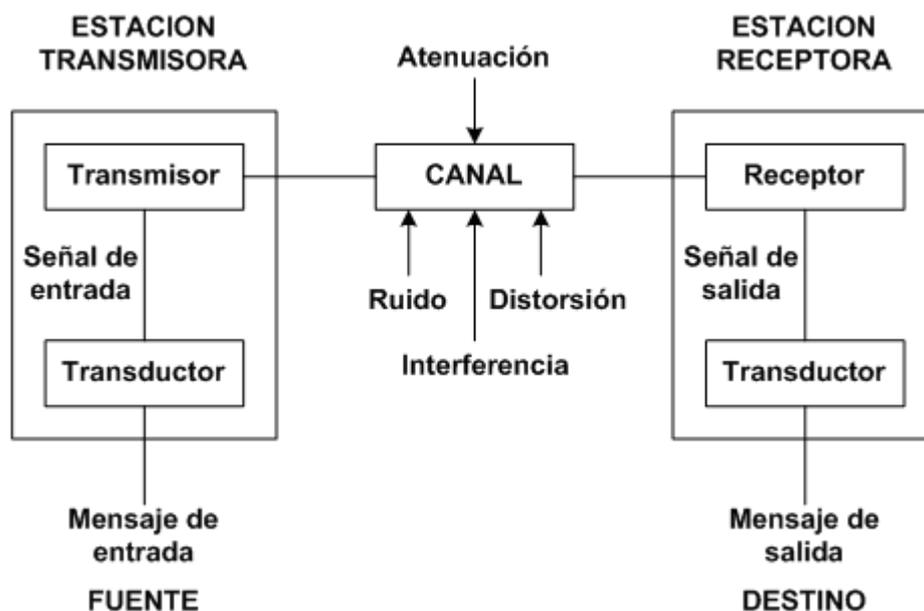


Figura 2. 3: Diagrama esquemático comunicaciones inalámbricas
Fuente: (Stallings, 2004)

2.2.2.1 Comunicaciones Satelitales

De la misma manera las comunicaciones satelitales son descritas por (Stallings, 2004) de manera general como estaciones base (transmisores/receptores terrestres) y satélites. El satélite recibe la señal en una banda de frecuencia (canal ascendente), la regenera y la retransmite en otra banda de frecuencia (canal descendente), cada satélite opera bandas de frecuencias que son denominados *transponders*.

La configuración punto a punto permite enlazar dos antenas terrestres distantes entre sí, y los enlaces multipunto permite enlazar la estación base transmisora con varios receptores.

Uno de los requerimientos básicos para lograr la eficacia de estos enlaces es que el satélite se encuentre en una órbita geoestacionaria, es decir que mantenga una posición fija con relación a la tierra, de no ser esto así el satélite se desalinearía constantemente con sus estaciones base. La órbita geoestacionaria se encuentra a una distancia de 35.784Km de la tierra.

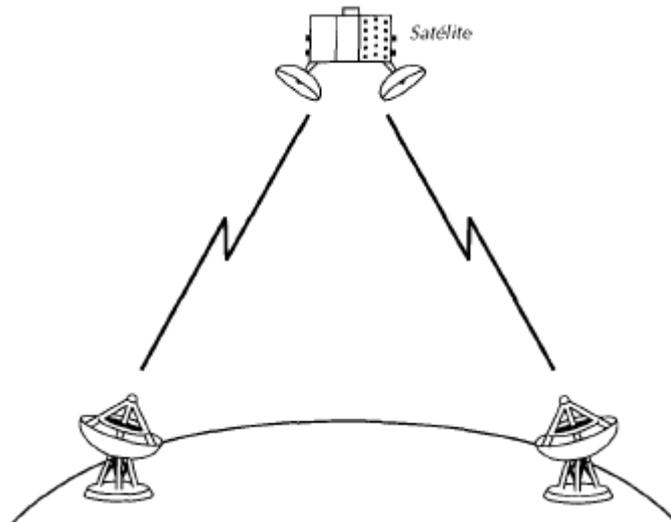


Figura 2. 4: Enlace punto a punto
Fuente: (Stallings, 2004)

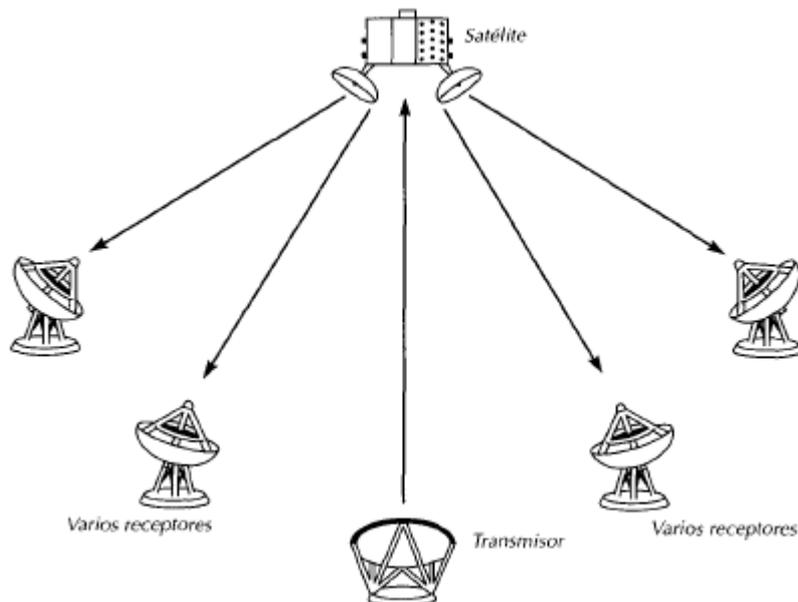


Figura 2. 5: Enlace de difusión vía satélite
Fuente: (Stallings, 2004)

2.3 Normativas IEEE 802

Los sistemas de transmisión nacieron de la forma cableada y actualmente ese medio físico es casi siempre la fibra óptica, ya que ofrece mayor capacidad que las inalámbricas. Pero la instalación de fibras es mucho más cara y demanda más tiempo al momento de ejecutar la obra, debido a que el factor económico es determinante para la ejecución de los proyectos de implementación de redes es que en algunos casos las mismas suelen nacer como redes inalámbricas para luego y a medida que el tráfico de datos ha aumentado poder migrar la red inalámbrica a una cableada (Pietrosemoli, 2008).

Tanto las redes cableadas como las inalámbricas poseen una gran variedad de estándares que existen en estos días más los que aún se están desarrollando en laboratorios, esta estandarización es la que permite la interoperabilidad la administración entre los diversos equipos inalámbricos por parte de los que desarrollan, instalan y gestionan las redes inalámbricas.

El estándar que regula las conexiones inalámbricas es el 802 del *IEEE*, este estudio se enfocara más detenidamente en el estándar 802.11 conocido como *Wi-Fi (Wireless Fidelity)*. El estándar 802 es específicamente para redes que tratan con paquetes de tamaño variable, los servicios y protocolos especificados en *IEEE 802* hacen referencia a las dos capas inferiores del modelo *OSI*.

Los estándares 802 son mantenidos por el Comité de Estándares *LAN/MAN* de la *IEEE (LMSC)*. En (Pietrosemoli, 2008) se detallan los grupos de trabajos específicos en los que se enfoca cada estándar.

Tabla 2. 1: Detalle del estándar IEEE 802

Nombre	Descripción
IEEE 802.1	Puentes y Gestión de Redes
IEEE 802.3	Ethernet
IEEE 802.11 a/b/g/n	Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)
IEEE 802.15	Redes Inalámbricas de Área Personal (PAN)
IEEE 802.15.1	Bluetooth
IEEE 802.15.2	Coexistencia IEEE 802.15 y IEEE 802.11
IEEE 802.15.3	Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) y Alta Velocidad
IEEE 802.15.4	Redes Inalámbricas de Área Personal y Baja Velocidad (Por ej. Zigbee)
IEEE 802.15.5	Redes en Malla para WPAN
IEEE 802.15.6	Redes de Área Corporal (BAN)
IEEE 802.16	Acceso Inalámbrico de Banda ancha (base de WiMAX)
IEEE 802.16.1	Servicio de Distribución Local Multipunto (LMDS)
IEEE 802.18	Regulaciones de Radio
IEEE 802.19	Coexistencia
IEEE 802.20	Acceso Inalámbrico Móvil de Banda Ancha
IEEE 802.21	Traspaso (<i>handoff</i>) Independiente del Medio
IEEE 802.22	Redes Inalámbricas de Área Regional
IEEE 802.23	Servicios de Emergencia
IEEE 802.24	Malla Inteligente (<i>Smart Grid</i>)
IEEE 802.25	Red de Área Omni-Range

Fuente: (Pietrosemoli, 2008)

2.3.1 Estándar 802.11

El estándar 802.11 es el que define las redes inalámbricas, (Pietrosemoli, 2008) detalla una tabla con las variantes del 802.11, frecuencias y alcances aproximados.

Tabla 2. 2: Detalle del estándar 802.11 con sus frecuencias y alcances aproximados

Proto- colo 802.11	Apro-bado	Fre- cuen- cia	An-cho de Ban- da	Tasa de datos por flujo	Alcance aproximado en interiores		Alcance aproximado en interiores	
					(m)	(ft)	(m)	(ft)
-	Jun 1997	2.4	20	1, 2	20	66	100	330
a	Sep 1999	5	20	6,9,12, 18, 24, 36, 48, 54	35	115	120	390
b	Sep 1999	2.4	20	1, 2, 5.5, 11	35	115	140	460
g	Jun 2003	2.4	20	6,9,12, 18, 24, 36, 48, 54	38	125	140	460
n	Oct 2009	2.4/5	20	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	70	230	250	820
			40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150				
ac	Nov.2011	5	20	Up to 87.6				
			40	Up to 200				
			80	Up to 433.3				
			160	Up to 866.7				

Fuente: (Pietrosemoli, 2008)

La Tabla 2.2 muestra las comunicaciones inalámbricas concentradas en las bandas de 2,4 y 5 GHz, las mismas que son clasificadas como uso común compartido. Esta característica permite que diversos equipos puedan hacer uso de estas bandas de forma simultánea siguiendo ciertas normas a fin de no producirse interferencias entre los distintos equipos.

Para poder hacer uso esas bandas no es necesario contar con licencias de uso o concesiones de espectro, sin embargo, esta ventaja no exime que estas bandas estén sujetas a condiciones específicas, los límites de potencia sobre los que se puede radiar o los protocolos de comunicación que se pueden utilizar son algunas de las consideraciones a ser tomadas por los fabricantes.

La limitación de la potencia máxima de emisión está pensada a la búsqueda de un equilibrio entre la cobertura de los puntos de acceso y las posibles interferencias entre emisores. Para el caso de las bandas de uso común del espectro, la regulación limita la potencia máxima que se puede utilizar en esta banda a 100mW o 20dBm de potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE).

Para el uso de *Wi-Fi* en la banda 5Ghz, las potencias permitidas en estas bandas varían en cada país.

Debido a que son bandas de uso común, la banda de frecuencia 2,4 GHz es utilizada además de las redes *Wi-Fi* por otras tecnologías como Bluetooth, Home RF, hornos microondas, esto incrementa la posibilidad de congestión e interferencia en esta banda, esta fue la razón fundamental por la cual se decidió utilizar también la banda de 5 GHz para redes *Wi-Fi*, se puede concluir entonces que la banda de 2,4 GHz es de uso común para propósitos generales y la banda de 5Ghz es de uso común pero más orientada a redes.

2.3.2 Limitaciones 802.11

Sin importar la banda de frecuencia en la que se esté trabajando, el estándar 802.11 tiene las siguientes limitaciones:

- Alcance: Aunque el estándar indica que es posible tener un alcance de hasta 100 metros, esto en la práctica no suele cumplirse debido a los obstáculos entre el AP y el equipo terminal, así como también de las condiciones meteorológicas y las interferencias que se pudieran estar suscitando. Con buenas condiciones meteorológicas y antenas exteriores en los terminales el alcance puede superar la barrera de los 100 metros en espacios abiertos, no obstante, dentro de una casa o edificio las paredes corresponden a obstáculos para la propagación de las ondas radioeléctricas, limitando de este modo el alcance de la señal.

- Ancho de banda: nominalmente los estándares pueden alcanzar físicamente las velocidades detalladas en el estándar, sin embargo, la utilización de protocolos para poder hacer posible el transporte de la información de usuario sobre el canal aéreo, la velocidad útil se reduce. Adicional debido a las condiciones del entorno la comunicación de cada terminal con el punto de acceso se adapta, por tal razón es posible encontrar conexiones de 11Mbps, 2 Mbps o incluso 1 Mbps con el mismo punto de acceso.
- Calidad de servicio: Es sabido que no todo el tráfico tiene la misma importancia por ejemplo la descarga de un archivo no conlleva la misma prioridad que una llamada *VoIP*, los últimos protocolos de *Wi-Fi* como el 802.11 b y g, no traen consigo mejoras significativas en este aspecto, de manera que no es posible priorizar un tipo de tráfico por encima de otro, lo que se traduce en un perjuicio cuando se mezclan flujos de tráfico con requerimientos diferentes como voz y datos, la conclusión es que *Wi-Fi* no corresponde a una tecnología adecuada para transportar tráfico que necesita una mayor calidad como *VoIP*, no porque no funcione correctamente, sino más bien, por el hecho que no se puede garantizar cuando y en qué condiciones funcionara.
- Seguridad: debido a que, al momento de la creación de esta tecnología, los investigadores estaban pensando en cómo transmitir datos sobre el aire que era el verdadero desafío, se descuidó el aspecto de seguridad de las redes y con el pasar de los tiempos y a su gran masificación se hizo necesario introducir mejoras en este aspecto. En el estándar 802.11i se solventan la mayoría de debilidades originales al punto de llevar a compararlas en seguridad a las redes fijas.
- Movilidad: Erróneamente se ha confundido el término de itinerancia con el de movilidad, debido a que mientras se está conectado en una red *Wi-Fi* es posible desplazarse dentro de un área pequeña o que no se dependa de un cable conectado a nuestro dispositivo, sin embargo, eso no corresponde a la

definición de movilidad, sino más bien, al de itinerancia, para poder hablar de movilidad nuestra conexión debería de ser capaz de proporcionar conectividad mientras existe desplazamiento en un vehículo a una velocidad normal, inclusive mientras se realizan caminatas y debido al poco alcance de cobertura para poderse conectar a una nueva red se debe de desconectar en primer lugar de nuestra red, lo que implica saltar de una red a otra ocasionando la desconexión temporal de la red o en el peor de los casos, tener que conectarse de manera manual.

2.4 Redes Inalámbricas

2.4.1 Redes WiFi

Según (Andrews, Ghosh, & Muhamed, 2007) las redes *Wi-Fi* son redes de comunicaciones de datos, lo que significa que pueden conectar, *PC*, servidores, impresoras con la ventaja de realizar la conexión sin la necesidad de utilizar cables. El acrónimo *Wi-Fi* es utilizado para identificar los equipos que utilizan cualquier variante de la normativa *IEEE 802.11* que permite crear redes de área local sin hilos denominadas *WLAN*.

Los elementos fundamentales de una red *Wi-Fi* son:

- Punto de acceso (*AP*): es el punto de unión entre las redes cableadas y la red *Wi-Fi* o entre distintas zonas *Wi-Fi*, funciona como un repetidor de señal.
- Terminal *Wi-Fi*: este es cualquier equipo que se conecta a la red *Wi-Fi* como *PC*, *PDA*, celulares, etc.

Wi-Fi nació para brindar una conexión mayor a la de Bluetooth y menor al *Wi-Max*, es decir para brindar una cobertura con un alcance de menos de 100 m y con una capacidad de algunos *Mbps*, esta tecnología cumple con los estándares aplicables a Ethernet, pero con la necesidad de la normativa adicional que regule el uso del espectro radioeléctrico y el

orden con el cual los diversos dispositivos envían la información entre sí.

De acuerdo con la forma de trabajar del *IEEE* los estándares no se configuran de manera cerrada, esto permite mejorar continuamente y por esta razón con el paso del tiempo van apareciendo nuevos sub estándares que conllevan mejoras o variantes de algún tipo, se podrá dar cuenta de esto debido a que la nomenclatura utilizada es añadir letras minúsculas luego del número que es el estándar principal, 802.11 xx. Antes de poder enviar datos o paquetes la capa física y de enlace deberán de estar conectadas, sin esta conectividad los nodos que conformen la red no podrán enviar o recibir datos.

Esta conectividad física viene dada por los equipos inalámbricos de la red que deben de operar en la misma franja del espectro radioeléctrico, por ejemplo, los radios de los equipos 802.11a se comunican con los otros radios 802.11a, a 5Ghz, y los radios de los equipos 802.11b/g se enlazan a los radios de los demás equipos 802.11b/g a 2.4Ghz, de ninguna manera se podrán comunicar equipos 802.11a con 802.11b/g debido a que cada uno se encuentra en una franja distinta del espectro.

2.4.2 Redes WiMax

De acuerdo con (Andrews et al., 2007) *WiMax* es la tecnología que se ha estandarizado por la *IEEE* bajo el numeral 802.16, es posible hacer la relación como el hermano mayor del *Wi-Fi*, esto con la finalidad de realizar una referencia que *WiMax* promete más alcance, más ancho de banda y mucha más potencia que su hermano menor *Wi-Fi*.

Una de las primeras diferencias importantes entre ambas tecnologías nace de los ámbitos de aplicación para los cuales fueron diseñados cada uno, *Wi-Fi* nació como una tecnología para cubrir los

últimos metros y así poder liberar al usuario del uso de los cables en entornos pequeños como la oficina o el hogar. La funcionalidad esperada era la de tratar de ser comparable con las conexiones Ethernet fijas y un servicio sin garantías de calidad, lo que se suele conocer como *best-effort*.

WiMax por otro lado fue diseñado como una alternativa para dos aplicaciones importantes de los operadores de telecomunicaciones, la primera fue ser la evolución de las tecnologías *LMDS* y *MMDS* para la implementación de radio-enlaces punto a punto; la segunda es ser una tecnología adecuada para brindar un servicio de acceso fijo, en otras palabras ser un competidor directo o reemplazante de las redes de acceso fijas (*DSL* y cable) que en ciertos entornos, como los rurales, en donde el despliegue de soluciones alámbricas son muy costosas y las soluciones inalámbricas como los enlaces punto-multipunto mucho más flexibles y baratas. Como este servicio está orientado a operadores de telecomunicaciones, el uso de bandas de frecuencias no reguladas, no tiene cabida y por la misma razón el estándar incluye mecanismos de seguridad y QoS, requisitos obligatorios para servicios de categoría comercial.

Debido a su orientación como servicio de distribución y conexión de redes entre sí, el alcance era uno de los parámetros más importantes, en un principio se utilizó frecuencias entre los 10 y 66 Ghz que lograban cubrir algunas decenas de kilómetros. Las limitantes para poder trabajar en esas frecuencias era que debía de existir línea de vista directa entre el emisor y el receptor y el equipamiento era más propio de ubicaciones fijas que para poder ser transportados en laptops o *PDA*'s.

WiMax trajo mejoras con relación a la movilidad, realizando pruebas de hasta 120km/h, complementó las redes mesh y logró mejorar el uso en interiores de edificios. Finalmente, las evoluciones permitieron a *WiMax* promocionarse como alternativa de las redes

móviles tradicionales en términos de ubicuidad, alcance y funcionalidad, esto significó un desplazamiento a bandas de frecuencias de 2-11 Ghz

2.4.2.1 Topologías de redes WiMAX.

Las topologías de una red WiMAX según se describe en (Andrews et al., 2007) son:

- De distribución: la estación base es el punto de acceso por medio del cual los usuarios distribuidos en la celda acceden al internet, es un acceso centralizado. La estación base se encarga también de gestionar el canal y distribuir los recursos en función de las demandas de cada usuario.
- Malladas: la comunicación es directa entre estaciones móviles, no existe la necesidad de pasar por una estación base. La gestión de los recursos es distribuida, el mayor problema de esta tecnología radica en la compatibilidad de los sistemas de gestión, por esta razón es muy común que los equipos sean del mismo fabricante.

2.4.3 IEEE 802.16-2004 WiMAX

Al igual que *Wi-Fi*, *WiMax* define solo el nivel físico y de enlace, estos dos niveles son los que determinan las diferencias con relación al alcance y a la calidad de servicio entre *WiMax* y *Wi-Fi*, el resto de niveles determinan por el mercado, dependiendo de las aplicaciones y servicios que se quieran brindar.

WiMax utiliza la técnica de modulación conocida como *OFDM*, que permite un uso más eficiente del espectro, sin embargo, existen muchas mejoras para lograr que *WiMax* sea robusta ante errores, interferencias, etc. en comparación con *Wi-Fi*, que son *Forward Error Correction* y *Adaptive Modulation*.

Además de estos mecanismos *WiMax* introduce un sistema de reparto de las posibilidades de transmisión, que es lo que permite que

varios flujos de datos tengan mayor prioridad y mejores garantías de calidad que otros. Fundamentalmente antes de enviar o recibir información con algún grado de calidad, cada estación debe de pedir a la estación base los recursos que necesita para la aplicación que vaya destinada la conexión, esta responsabilidad recae sobre la estación base quien según el estándar 802.11e es la que determina los mecanismos por los cuales se decide si se acepta o no una nueva conexión y como decidir la manera de repartir los recursos (IEEE Computer Society, LAN/MAN Standards Committee, IEEE Microwave Theory and Techniques Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, & IEEE-SA Standards Board, 2004)

2.5 Redes de telefonía celular

En el documento (Inzaurrealde & Isi, 2010) se hace un repaso a través de la historia de la evolución de la telefonía celular, la misma lleva poco más de 20 años brindando servicio de telefonía móvil a los usuarios. Conceptualmente las redes celulares nacieron para poder brindar el servicio telefónico a los usuarios sin la necesidad que estos estén atados a un cable telefónico, principalmente funciona con estaciones de radio que dan cobertura a pequeñas o grandes zonas en forma de celdas, el tamaño de las celdas se la define básicamente por la población a la que se brindara servicio, mientras más densa sea el área, las celdas de cobertura serán más pequeñas y se requerirán más celdas para cubrir esa zona geográfica, mientras que si la zona no es tan poblada, bastara con una o dos celdas para brindar el servicio.

Las radio estaciones son las encargadas de dar cobertura a las celdas, y son administradas por los controladores de radios que son los encargados de administrar la llamada entre el teléfono móvil y la central telefónica, los controladores de radio son administrados por la central telefónica quien es la encargada de realizar la interconexión con las demás redes móviles o *PSTN* (Tomasi, 2010).

Conforme al artículo científico de (Rodriguez & Hernandez, 2005) se resumirá la historia de la telefonía celular de la siguiente manera.

2.5.1 Primera Generación (1G)

La 1G de telefonía celular nació en 1979, continuando su desarrollo a través de la década de los años 80, con esta generación se introdujeron los teléfonos celulares, basados en redes celulares con muchas estaciones base relativamente cercanas unas de otras y los controles necesarios para permitir la movilidad entre estaciones con una llamada en curso.

Esta generación se caracteriza por ser estrictamente para cursar voz en formato analógico, debido a la calidad de los enlaces que era muy precaria. El traspaso entre celdas se lo realizaba de una manera imprecisa debido a la baja capacidad con la que contaban, lo que disminuía significativamente la cantidad de usuarios a los que se les podía ofrecer el servicio de manera simultánea.

Otra característica de esta primera generación de telefonía móvil es la falta de seguridad en las conexiones, ya que carecía de algún tipo de control para evitar la interceptación de las llamadas. La tecnología que lidero esta generación fue *AMPS (Advanced Mobile Phone System)*, desarrollada mayoritariamente por Bell. Inicialmente fue desplegada en Estados Unidos, luego fue adoptada por otros países de manera regular. El Sistema de Comunicación de Acceso Total (*TACS*) fue otro sistema que existió durante la 1G, fue desplegado inicialmente en Reino Unido para luego ser distribuido a otros países.

Al ser la primera generación existían algunas diferencias en las especificaciones de los diversos sistemas, sin embargo, conceptualmente eran similares. La voz era transmitida en forma de frecuencia modulada, existía un canal de control para usarlo de manera simultánea para habilitar el traspaso a otro canal de comunicación de

ser necesario. Las frecuencias de los canales eran diferentes para cada sistema, *AMPS* utilizaba canales de 30Khz y *TACS* de 25Khz.

Los terminales que existían para esta tecnología eran significativamente más grandes que los que existen hoy en día, principalmente porque los mismos fueron diseñados para ser instalados en los autos, Motorola fue la primera empresa en construir un teléfono verdaderamente portátil.

Los sistemas *NMT*, *AMPS*, *TACS* y *Radiocom 2000* son conocidos como la primera generación de telefonía celular.

2.5.2 Segunda Generación (2G)

Luego del indiscutible éxito de la *1G*, la masificación del servicio saco a flote las deficiencias que la tecnología poseía. El espectro utilizado no abastecía para soportar la calidad de servicio que se requería. Al convertir los sistemas analógicos a digitales, se produjeron significativos ahorros en la utilización del espectro. Debido a estos avances en la década de los 90 nacieron algunos sistemas como *GSM*, *TDMA*, y *CDMA*.

La primera llamada digital fue realizada en Estados Unidos en 1990, en 1991 la primera red *GSM* fue instalada en Europa. Esta generación fue caracterizada por los circuitos digitales de datos conmutados por circuitos, se utilizó acceso múltiple de tiempo dividido lo que significo hasta ocho usuarios utilizando canales separados por 200MHz entre sí. Los sistemas básicos se situaron en la banda de los 900MHz, otros sistemas utilizaron las bandas de 1800 y 1900MHz, la banda de 850MHz fue introducida posteriormente. La *2G* desplazo rápidamente a la *1G* debido a que la *2G* utiliza frecuencias coincidentes con la *1G* por ejemplo los 900Hz en Europa.

Los terminales también sufrieron un drástico cambio ya que los mismos disminuyeron su tamaño de una manera considerable, desaparecieron los grandes terminales para dar paso a terminales mucho más pequeños y livianos (entre 80 y 200gr), las mejoras en el consumo y rendimiento de las baterías fueron notorias.

Los protocolos de codificación utilizados en 2G son más sofisticados que sus antecesores a tal punto que aún son utilizados, las tecnologías que caracterizaron esta generación fueron: *GSM (Global System for Mobile Communications)*; *IS-136* (también denominado *TIA/EIA136* ó *ANSI-136*); *CDMA (Code Division Multiple Access)* y *PDC (Personal Digital Communications)* este último utilizado en Japón.

Los protocolos que se utilizan en la 2G soportan velocidades de voz mucho más altas, sin embargo, son limitados para la comunicación de datos. Nacen servicios auxiliares como datos, fax y *SMS (Short Message Service)*. La gran mayoría de los protocolos utilizados en 2G tienen diferentes niveles de encriptación.

2.5.3 Generación 2.5G

Al igual que la tecnología antecesora, una vez que la 2G se estableció, fue más evidente notar las limitantes de varios sistemas en lo que al envío de información de refería. Al mismo tiempo que el internet se popularizaba varias aplicaciones para la transferencia de información eran confrontadas, si bien es cierto que la tercera generación de telefonía móvil aún estaba en el firmamento, varios servicios tuvieron la necesidad de adelantar su llegada.

General Packet Radio Service (GPRS) fue desarrollado por *GSM* y el primero en ver la luz, hasta ese momento, todos los circuitos eran dedicados de forma exclusiva a cada usuario o también conocido como "*circuit switched*", esto demostraba ineficiencia cuando un canal transmitía información en un pequeño porcentaje, el nuevo sistema

permite a los usuarios compartir un mismo canal, dirigiendo los paquetes de información desde el emisor al receptor. Esto permite un uso más eficiente de los canales de comunicación.

Luego de *GPRS* nació *EDGE (Enhanced Data rates aplicado a GSM Evolution)*. Esta tecnología es básicamente *GPRS* con un mejor esquema de modulación. *GPRS* y *EDGE* fueron tecnologías propias de *GSM* y por consiguiente los demás sistemas también tuvieron sus adelantos como *CDMA* que dio el primer paso hacia *CDMA2000 1x*.

La tecnología *2.5G* ofrece varios de los servicios de *3G*, puede utilizar parte de la infraestructura *2G* en sistemas *GSM* y *CDMA*, su característica fundamental es el *GPRS* que provee transferencia de datos en velocidades moderadas utilizando canales *TDMA* no utilizados en los sistemas *GSM*. Los servicios *EDGE* y *CDMA2000 1x* para *GSM* y *CDMA* respectivamente califican oficialmente como servicios *3G* ya que la tasa de transferencia supera los 144kbit/s, pero son considerados por la mayoría como servicios *2.5G* debido a que son verdaderamente más lentos que los servicios implementados en una red *3G*.

El termino *2.5G* no está definido oficialmente como el caso de *2G* o *3G* sin embargo se lo manejo de esa manera por fines comerciales. Los operadores evolucionaron primero a las redes *2.5G* antes que a la *3G* debido a los costos para actualizar la red es menor a hacerlo a *3G* directamente.

2.5.4 Tercera Generación (3G)

Luego de haber introducido las redes *2G* se empezó a desarrollar los sistemas *3G*, como en ocasiones anteriores existían varios estándares con distintos fabricantes intentando ser la tecnología predominante. En esta ocasión y de forma diferente a la tecnología *2G*, el significado de *3G* fue estandarizado por el proceso *IMT-2000*. Este proceso no estandarizo la tecnología, sino los requerimientos que la

tecnología debía de cumplir, por ejemplo, la tasa de 2Mbit/s en ambientes cerrados y 384kbit/s en ambientes abiertos. Esta estandarización internacional fue dividida por varios estándares muy diferenciados entre sí.

Principalmente existen tres tecnologías 3G, para Europa existe *UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)* utilizando *CDMA* en banda ancha (*W-CDMA*), este sistema provee transferencias de hasta 2Mbps. Las evoluciones de *CDMA2000*, la primera que fue lanzada es *CDMA2000 1xEV-DO*, *EV-DO* proviene de *Evolution Data Only* y su idea principal consistía en que muchas de las aplicaciones solo necesitan conexiones de datos, como si se necesitara conectar una *PC* a internet, en el caso de necesitar adicionalmente un canal por voz, un canal *1x* estándar es necesario, además por motivos de compatibilidad *EV-DO* utiliza tecnología *TDMA*.

La siguiente evolución de *CDMA2000* fue *CDMA2000 1xEV-DV* esta fue una evolución del sistema *1x* completamente distinto del *EV-DO* ofreciendo servicios totales de voz y datos; este sistema es compatible también con *CDMA* y *CDMA2000 1x* y es capaz de ofrecer tasas de hasta 3.1Mbps. Ambas evoluciones de *CDMA2000 1x* utilizaron *FDD (Frequency Division Duplex)*, donde los links de ida y vuelta utilizan distintas frecuencias. *UMTS* tiene una especificación llamada *TDD (Time Division Duplex)*, donde los links poseen la misma frecuencia, pero utilizan distintos segmentos de tiempo.

El tercer sistema fue desarrollado por China y utiliza *TDD*, es conocido como *TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA)*, utiliza un canal de 1.6MHz y fue diseñado para que abastezca el mercado chino y sus alrededores. Algunos de los sistemas 2.5G como *CDMA2000 1x* y *GPRS*, ofrecen servicios de 3G sin llegar a los niveles de transferencia de datos o usos multimedia de la nueva generación.

Capítulo 3: LTE

Este capítulo está orientado al estudio de la tecnología *LTE versión 8*, realizando un hincapié al *CORE* de voz para lo cual se realizará una introducción describiendo los equipos que componen el núcleo de la red con sus funcionalidades y mecanismos mediante los cuales es posible continuar entregando las llamadas de voz desde el dominio CS y los posibles problemas que se pueden presentar en estas redes.

3.1. Introducción

En el 2008 la *ITU* definió mediante la versión 8 y el nombre de *IMT-Advanced* a las redes que sobrepasan las capacidades de las redes *IMT-2000* a partir de ahí nace una pequeña mentira debido a que la conectividad móvil *LTE* no es necesariamente *4G*.

La idea con la cual nació *LTE* fue la de superar a los sistemas o tecnologías antecesoras en velocidad de transmisión, capacidad, eficiencia y movilidad, para esto se desarrolló nuevas técnicas tanto a nivel de software como de hardware, de esta manera se esperaba que *LTE* fuera considerada una tecnología por encima de sus antecesoras y próxima ser catalogada *4G*.

Este capítulo se enfocará en comprender el funcionamiento de esta tecnología, desde su arquitectura hasta los procesos necesarios para el establecimiento de rutinas cotidianas como lo son los *tracking area update*, llamadas originadas, llamadas terminadas y administración de la movilidad.

Se planteará el mecanismo denominado *CS Fallback* y se revisará el escenario en el cual este mecanismo no logra concretarse ocasionando pérdidas en las llamadas de voz.

3.1.1. Arquitectura Redes Celulares 3GPP

Según la arquitectura de redes celulares definida por la 3GPP existen tres subsistemas que hacen posible la existencia y funcionamiento de las redes, estas son: el equipo de usuario, la red de acceso y la red troncal. La comunicación entre el equipo de usuario con la red de acceso se produce mediante la interfaz de radio, y para que se concrete la conexión entre la red de acceso y la red troncal se necesitan las interfaces AN-CN (*Access Network – Core Network*), como se muestra en la Figura 3.1.

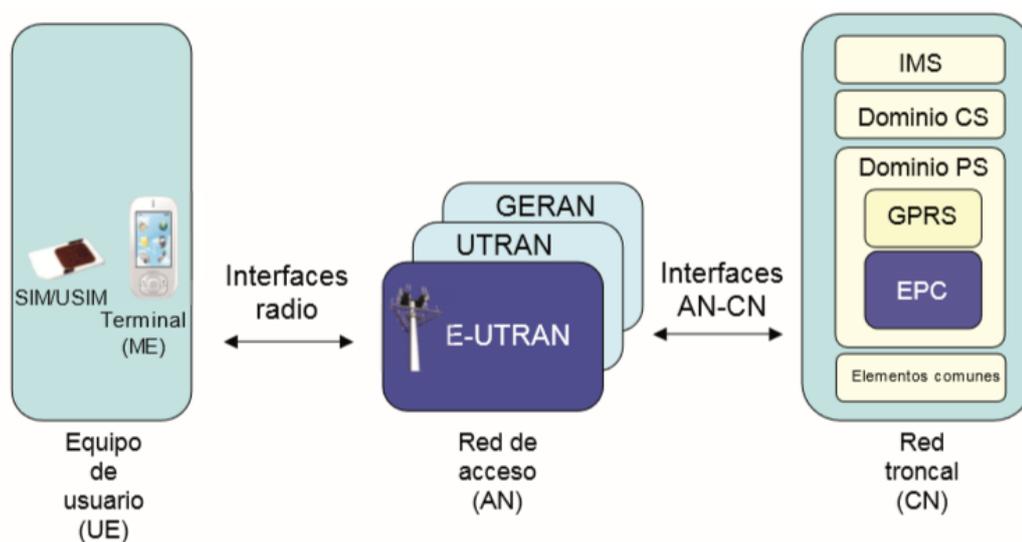


Figura 3. 1: Arquitectura de redes 3GPP

Fuente: (Agustí Comes & Bernardo Alvarez, Francisco, 2010)

El bloque definido como equipo de usuario está conformado por un terminal móvil (*ME*) y por la *SIM/USIM* (*Subscriber Identity Module / UMTS Subscriber Identity Module*).

El bloque de Red de acceso está definido por tres redes, *GERAN* (*GSM/EDGE Radio Access Network*), *UTRAN* (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) y *E-UTRAN* (*Evolved UTRAN*). Cada red de acceso pertenece a una generación de redes y la misma define su propia interfaz de radio, así *GERAN* utiliza *TDMA*, *UTRAN* usa *WCDMA* y *E-UTRAN* trabaja con *OFDM*.

El bloque de Core está compuesto por un dominio de circuitos CS, un dominio de paquetes PS, el subsistema IMS y los elementos comunes. El dominio CS alberga todos los equipos y entidades necesarias para proporcionar los servicios de telecomunicaciones basados en conmutación de circuitos.

El dominio PS es la parte del CORE que brinda los servicios relacionados con la conmutación de paquetes, este dominio tiene dos partes el primero es GPRS y el segundo es EPC (*Evolved Packet Core*). GPRS es utilizada por las redes de acceso GERAN y UTRAN, mientras que las redes de acceso E-UTRAN utilizan EPC, que es la evolución del GPRS. EPC es una de las características fundamentales de las redes LTE, es la encargada de proveer la conectividad IP a los equipos de usuarios utilizando la red de acceso.

En el bloque de CORE también se encuentra un sub-bloque denominado “Elementos Comunes”, en esta sección están los elementos de software y hardware que permiten la gestión de los bloques de CS, PS e IMS y administran la información almacenada de los usuarios de red registrados. El IMS es el equipo que se encarga de proveer los servicios multimedia basados en IP y administra la señalización de estos servicios y su conectividad es otorgada por el dominio PS.

3.1.2. Arquitectura LTE

LTE está definida por elementos de red que la identifican y diferencian de las arquitecturas de red diferente de los sistemas genéricos definidos por la 3GPP, estos elementos son: E-UTRAN, EPC e IMS. En la Figura 3.2 se podrá observar un sistema LTE en su totalidad, esta gráfica muestra además a elementos que no son propios del EPS, esto conforme a la interoperabilidad de las redes LTE con otras redes 3GPP, como no 3GPP. En el gráfico se pueden observar los nombres de cada uno de las interfaces y entre que elementos.

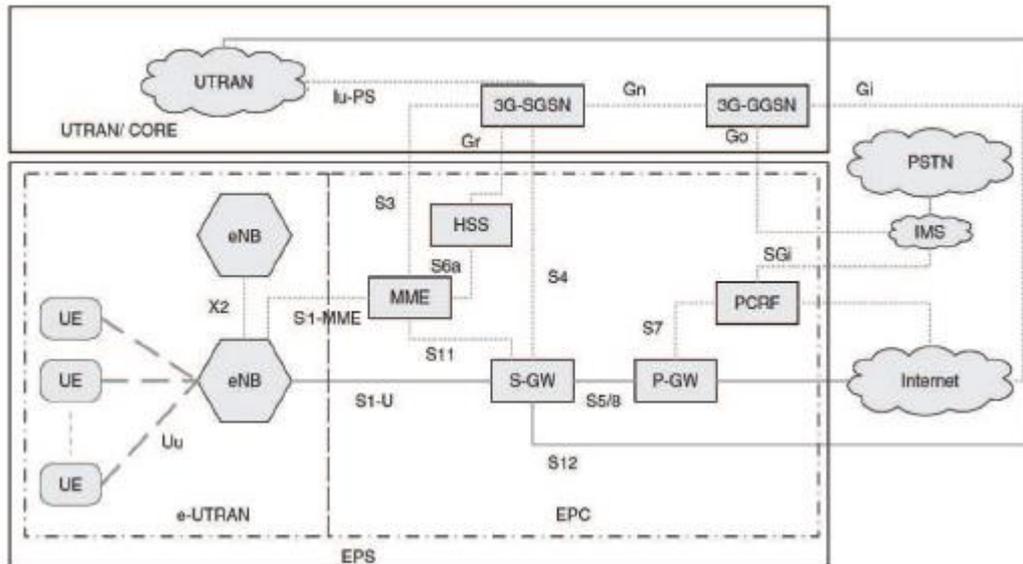


Figura 3. 2: Detalle de arquitectura LTE
 Fuente: (Agustí Comes & Bernardo Alvarez, Francisco, 2010)

3.1.3. Arquitectura EPC (Evolved Packet Core)

La arquitectura del *EPC* ofrece un servicio de conectividad *IP* soportado en la posibilidad de la utilización de sus servicios a través de otras redes de acceso *3GPP* (*GERAN* y *UTRAN*) como no *3GPP* (*CDMA2000*, *WiMax*, *802.11*).

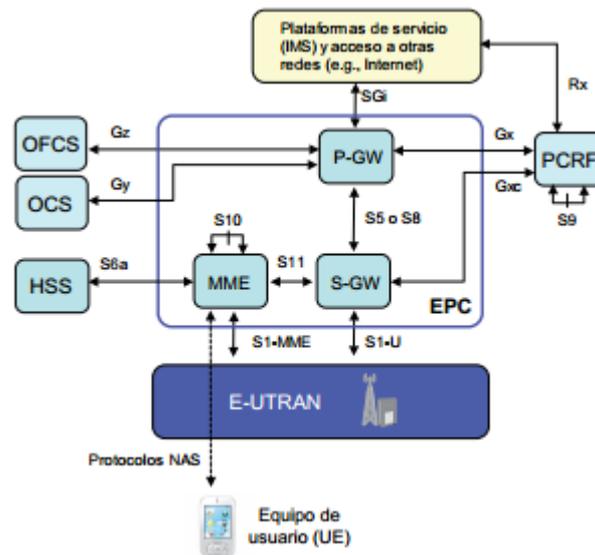


Figura 3. 3: Arquitectura EPC.
 Fuente: (Agustí Comes & Bernardo Alvarez, Francisco, 2010)

La Figura 3.3 ilustra una troncal *EPC* para la provisión de servicios *IP* mediante una red de acceso *E-UTRAN*, los elementos de

red de la arquitectura *EPC* son unidades funcionales, esto significa que son unidades lógicas que desempeñan funcionalidades muy bien delimitadas, debido a esta razón es muy común encontrar a todas las unidades funcionales dentro de un mismo equipo físico.

El *EPC* está formado por tres elementos de red: *MME* (*Mobility Management Entity*), *Serving Gateway* (*S-GW*) y *Packet Data Network Gateway* (*P-GW*), además existe la base de datos principal definida como *HSS* (*Home Subscriber Server*), estos son los elementos básicos para proveer el servicio de conectividad *IP* entre los equipos de usuarios conectados a través de las redes de acceso y las redes externas que se conectan al *EPC*.

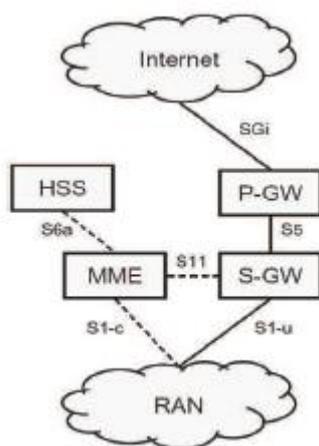


Figura 3. 4: Equipos básicos del EPC

Fuente: (Agustí Comes & Bernardo Alvarez, Francisco, 2010)

El *S-GW* y *P-GW* están asociadas al plano de usuario (*user plane*), mientras que el *MME* realiza las funciones de señalización o plano de control (*control plane*).

La conexión entre la red de acceso *E-UTRAN* con la red troncal *EPC* se realiza mediante la interfaz *S1*, esta interfaz *S1-MME* corresponde al plano de control y termina en *MME*, la interfaz *S1-U* corresponde al plano de usuario y termina en *S-GW*.

El *MME* es quien controla las funciones de plano de usuario en el *S-GW* mediante la interfaz *S11*, se conecta al *HSS* a través de la interfaz *S6a* para poder acceder a la información de los usuarios de la red que están permitidos de establecer conexiones mediante *E-UTRAN*. Es posible que los *MME* se conecten entre sí, y esto se logra a través de las interfaces *S10*.

La interconexión del *EPC* con redes externas o plataformas de servicio *IMS (IP Multimedia Subsystem)* se realiza mediante el *P-GW* y la interface *SGi*. El *P-GW* es el encargado de la asignación de direcciones *IP* a los equipos de usuarios y también de realizar el control de *QoS* en las sesiones de datos establecidas. El *P-GW* se conecta internamente con el *S-GW* por la interfaz *S5*, esto siempre y cuando ambos equipos pertenezcan al mismo operador, de no ser el caso se deberán de conectar mediante la interfaz *S8* para poder brindar el servicio de *roaming*.

El *PCRF (Policy and Charging Rules Function)* forma parte del *PCC (Policy and Charging Control)* que es utilizado para controlar los servicios portadores que se ofrecen en una red *LTE* como activar y gestionar los parámetros de *QoS* determinados para cada abonado, supervisión de los mecanismos de tarificación, medición del consumo de datos, entre otros. El *PCRF* mediante su interfaz *Gx* administra los servicios portadores *EPS* de la red *LTE* a través del envío de reglas *PCC* necesarias para la configuración de la operación de las funciones específicas del plano de usuario del elemento *P-GW*, como, por ejemplo, funciones que limitan la velocidad de transmisión de los servicios.

El *IMS* se conecta con el *PCRF* mediante la interfaz *Rx*, esta interfaz ofrece la funcionalidad de control necesaria para que los servidores de aplicación externos puedan proporcionar información asociada a los servicios finales que accede un usuario junto con las características y requerimientos de *QoS*.

El *OFCS (Offline Charging System)* y *OCS (Online Charging System)* son el centro del sistema de tarificación de la red. Los modelos de tarificación pueden ser muy variados como, por ejemplo, tiempo de uso, consumo de datos, eventos, entre otros.

La interfaz *Gz* es el medio por el cual interactúa el *OFCS* y el *P-GW*, mientras que con el *OCS* es la interfaz *Gy*.

3.1.4. Elementos del EPC (Evolved Packet Core)

Este punto se enfocará más a detalle en las funcionalidades soportadas por los tres elementos que conforman el núcleo de la red *LTE* o *EPC*: *MME*, *S-GW* y *P-GW* y adicionalmente el *HSS*.

Mobility Management Entity (MME)

El elemento de red *MME* es la entidad más importante dentro del plano de control (*control plane*) en las redes *LTE*, es el encargado de gestionar el acceso de los terminales de usuarios a través de la red de acceso *E-UTRAN*, en otras palabras, cada usuario que este registrado y sea alcanzable mediante la *E-UTRAN*, tendrá asignada una entidad *MME* en él. Los *MME* sirven o gestionan un número determinado de *eNB's* pudiendo ser distribuidos por zonas geográficas dentro de un mismo país, o por sectores para ciudades con grandes poblaciones.

En el *MME* se encuentra cierta información de los usuarios registrados como por ejemplo identificadores, conexiones o servicios portadores *EPS* activos, datos sobre la ubicación del usuario en la red, entre otros. El *MME* realiza las siguientes funciones:

- Gestión de la movilidad de usuarios en modo *idle*, el *MME* se encarga de hacer el seguimiento de la ubicación de los usuarios, para esto se crean las áreas de seguimiento (*Tracking áreas*) y el procedimiento denominado *Tracking Areas Updates*, que es método por el cual se obtiene la información de la localización de

todos los usuarios registrados en la red *LTE* administrada por un *MME*.

- Gestión de la autorización, control y autenticación de los usuarios que acceden a la red *LTE* en base a la información suministrada por el *HSS*.
- Gestión de los servicios *EPS* mediante la señalización necesaria para el establecimiento, retención, modificación y liberación de los mismos.
- Gestión y soporte en los procedimientos relacionados con las funciones de control de acceso hacia la red *LTE* y hacia redes externas mediante el uso de protocolos *NAS*.

Serving Gateway (S-GW)

El elemento de red *S-GW* es el que permite el enlace en el plano de usuario del *E-UTRAN* y el *EPC*. Cada usuario registrado en la red *LTE* está asignado a un *S-GW*, esta asignación puede corresponder a varios criterios debido a que una red puede tener varios *S-GW*, entre estos criterios se encuentran balanceos de carga o zonas geográficas.

Las principales funciones del *S-GW* son:

- El *S-GW* es el encargado de mantener la movilidad de los usuarios en el intercambio de *eNBs* (*handover*), es así que dentro del plano de usuario el intercambiar *eNBs* significa realizar un cambio de servicios portadores *S1* entre los *eNBs* y el *S-GW* asignado, de esta forma se ve inalterada la conexión entre el *S-GW* y el *P-GW*.
- Almacenamiento temporal de paquetes *IP*, cuando los equipos terminales se encuentran en estado *idle*. El plano de usuario entre el equipo terminal y el *S-GW* deja de existir en el momento que el tráfico de datos se detiene, en este caso el terminal pasa a un modo *idle* y por lo tanto dejar de estar conectado a un *eNB*, cuando llega tráfico dirigido a un terminal en estado *idle*, este

tráfico es dirigido al *S-GW* en el cual está registrado el abonado y mantiene temporalmente los paquetes *IP* hasta reestablecer la conexión en plano de usuario con el equipo de usuario.

- El *S-GW* se encarga de dirigir el tráfico *IP* desde el usuario hacia el elemento *P-GW* y en sentido contrario, el tráfico proveniente de los elementos *P-GW* hacia el *eNB* en el cual se encuentra registrado el equipo de usuario.

PDN Gateway (P-GW)

Es el elemento que proporciona la conectividad *LTE* y las redes externas, todos los paquetes *IP* que se generen por un usuario *LTE* van hacia la red externa por medio de este equipo y viceversa.

Las principales funciones del *P-GW* son:

- Tarificación de los servicios portadores que estén definidos para el terminal.
- Asignación de direcciones *IP* para los terminales, estas direcciones pueden ser *IPv4* ó *IPv6* y serán asignadas mediante la señalización propia de *LTE*, es decir *NAS* o *DHCP*.
- Procesamiento del tráfico *IP* que cursa por el equipo *P-GW*, el mismo es efectuado por varios filtros que relacionan los paquetes *IP* con el usuario y servicios portados *EPS*, esto ayuda a aplicar varias reglas para tarificación y también a inspeccionar y validar los paquetes *IP* que cursan por la red.

HSS (Home Subscriber Server)

El *HSS* es el equipo en el cual se almacena toda la información de los usuarios de la red, el acceso hacia el *HSS* desde el *EPC* se realiza mediante el *MME* a través de la interface *S6a*. La información que se almacena abarca tanto a la información referente al abonado como a la información necesaria para la operación de la red.

La base de datos que alberga el *HSS* es constantemente consultada por los diversos equipos de red encargados de brindar los servicios de conectividad, estos equipos pueden ser el *MME* en una red *EPC*, un *SGSN* de una red *GPRS*, un *MSC* del dominio de circuitos y también un *IMS*.

El *HSS* contiene información permanente que solo puede ser modificada por procesos administrativos internos, como por ejemplo dar de alta o baja a un abonado o la modificación de las condiciones y servicios al modificar un contrato en curso.

3.2. IP Multimedia Subsystem (IMS)

El subsistema *IMS* se encuentra integrado al núcleo de la red *LTE* mediante una infraestructura conformada por servidores, *gateways* y base de datos, a través de este subsistema se logra proporcionar los mecanismos de control necesarios para la provisión de servicios multimedia basados en *IP* a los abonados. Nace a partir de la versión 5 del sistema *UMTS*, sin embargo, debido a su desarrollo ha ocasionado que su campo de acción se incremente, de esta manera hoy es aplicado en otras tecnologías de red fijas (*ADSL*) y móviles (*3GPP2*, *Mobile WiMax*).

El *IMS* es un elemento muy importante dentro de la arquitectura *LTE*, ya que este equipo es el encargado de brindar el acceso al internet mediante el uso de la red celular, además gestiona la provisión de los servicios de voz y video sobre *IP*. El acceso al *IMS* es mediante los servicios de conectividad *IP* proporcionados por la red *LTE*. *IMS* también permite interactuar con redes de conmutación de circuitos *CS* como las *PSTN* o las redes móviles ya existentes, provee soporte para las diversas redes de acceso debido a que se lo considera como un subsistema independiente. Este subsistema fue creado a partir de la necesidad de brindar *QoS* en las sesiones multimedia en tiempo real y de esta manera mejorar los sistemas de tarificación.

El *IMS* utiliza protocolos derivados del *IETF*, estos protocolos son creados para la provisión de servicios multimedia en los sistemas de comunicaciones móviles, su utilización facilita la interconexión de diferentes redes de telecomunicaciones ya sean fijas o móviles.

Particularmente el protocolo *SIP* (*Session Initiation Protocol*) fue elegido por el *3GPP* como protocolo base para soportar la señalización referente al *IMS*, este protocolo establece y administra las sesiones multimedia (telefonía, video conferencia, etc.) en redes *IP* bajo el modelo de cliente-servidor, el mismo tiene la mayoría de las características de los protocolos *SMTP* y *HTTP*. *SIP* no es el único protocolo que se utiliza en el *IMS*, se puede mencionar también los protocolos *H.248* y *Diameter* que se utilizan para las interconexiones de redes *IP* con redes telefónicas tradicionales.

El *IMS* realiza la provisión de servicios de acuerdo con el modelo que se muestra en la Figura 3.5.

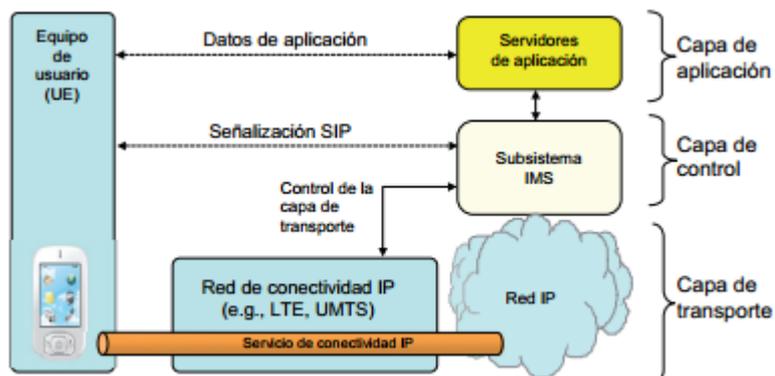


Figura 3. 5: Provisión de servicios IMS

Fuente: (Agustí Comes & Bernardo Álvarez, Francisco, 2010)

La capa de transporte es representada mediante la infraestructura de la red *IP*, para proporcionar el encaminamiento de los flujos *IP* entre equipos. La capa de control alberga los equipos necesarios para la gestión de las sesiones como los servidores de señalización *SIP*, así como otros elementos para la interacción con redes telefónicas tradicionales.

La capa de aplicación es donde se encuentran los servidores que proporcionan los diferentes servicios brindados a través del *IMS*, en esta capa también existen los elementos conectados con otras plataformas de servicios como redes inteligentes. A través de estas plataformas es posible proveer servicios desde proveedores de aplicaciones externas conocidas como *ASPs (Application Service Providers)*.

Equipo de Usuario

El equipo de usuario es el medio por el cual los usuarios pueden acceder a los servicios otorgados a través de las redes LTE mediante el uso de la interfaz de radio. El equipo de usuario *LTE* posee una arquitectura que consta de dos elementos: el módulo de suscripción de usuario (*SIM/USIM*) y el equipo móvil (*Mobile Equipment, ME*) cuyas funciones se definen en dos entidades funcionales: el terminal móvil (*Mobile Terminal, MT*) y el equipo terminal (*Terminal Equipment, TE*).

UICC (Universal Integrated Circuit Card)

Las *UICC* son los “chips” utilizados en teléfonos móviles y dispositivos externos como los modems, para las redes *GSM* y *UMTS*. La tarjeta inteligente se refiere al circuito integrado y a su capacidad de comunicación y procesado, entre los datos que se almacenan están los datos relativos al usuario para su identificación en la red, el *IMSI* asignado a ese usuario, agenda, *SMS* entre otros.

Las redes *3GPP* gestionan los datos de suscripción de usuarios mediante el uso de los módulos *SIM* y *USIM* que forman parte de las aplicaciones *UICC*. La *SIM/USIM* es un módulo por el cual se logra identificar al usuario en las redes, independientemente del terminal utilizado. Para lograr registrarse en las redes *GSM* se utiliza el módulo *SIM (Subscriber Identity Module)*, mientras que para las redes *UMTS* se lo logra a través del módulo *USIM (UMTS SIM)*. Las tarjetas *UICC* también poseen un módulo por el cual se logra almacenar información

relacionada a los servicios *IMS*, este módulo se denomina *ISIM* (*IP Multimedia Service Identity Module*).

Equipo Móvil (ME)

El Equipo Móvil está dividido en dos entidades, *MT* y *TE*. El *MT* es el que se encarga de las funciones de conectividad y el *TE* es el equipo que interactúa con el usuario. Un ejemplo claro para identificar *MT* y *TE* es un modem y una laptop, el modem es el equipo *MT* y la laptop es el *TE* (ver Figura 3.6).

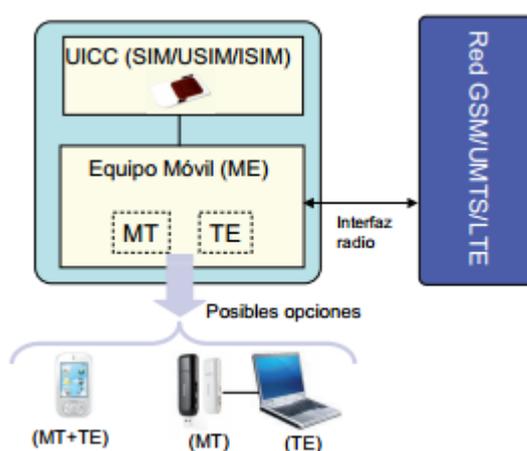


Figura 3. 6: Equipo de usuario

Fuente: (Agustí Comes & Bernardo Alvarez, Francisco, 2010)

3.3. Mecanismo CS Fallback

El *Evolved Packet Core* (*EPC*), el núcleo de red en las redes de la próxima generación de las comunicaciones móviles puede trabajar con diversos tipos de sistemas de radio acceso como *3G*, *LTE* y *Wireless LAN* de una manera integrada y proveer la administración de la movilidad.

Las redes *LTE* están enfocadas en el soporte de todos sus servicios en el protocolo *IP* sin funciones soportadas en el dominio de la conmutación de circuitos. Acorde a esto, los servicios como las llamadas de voz y los mensajes de texto (*Short Message Service*, *SMS*) que son proporcionados por el dominio de la conmutación de circuitos (*CS*) serán reemplazadas en un principio por *VoIP*. Esto necesita del desarrollo del

IP Multimedia Subsystem (IMS) como un sistema enfocado a ser la plataforma de control.

Todavía un terminal que está acampando en la red *LTE* no es capaz de utilizar el sistema de radio acceso *3G* de manera simultánea, esto significa que no tendría los medios para recibir u originar una llamada desde una red *3G* del dominio de circuitos *CS*.

Sin embargo, los servicios de voz siguen siendo uno de los más importantes ofrecidos en las redes de comunicaciones móviles, y por esta razón era primordial que estos servicios continuaran siendo provistos de alguna manera durante el tiempo que tomara el desarrollo de la tecnología *LTE* mientras continuaba proveyendo los servicios de datos a alta velocidad sin ofrecer los servicios de voz por el *IMS*.

La temprana implementación de *LTE* para que los usuarios accedan a los servicios de datos de alta velocidad, fue la razón por la cual el *3GPP* decidió realizar la estandarización del mecanismo por el cual se realizaría la conmutación a *3G* para las llamadas originadas o terminadas en un terminal móvil. Esta funcionalidad se denomina “*CS Fallback*” y habilita los servicios de voz utilizando la red *3G* en el dominio de circuitos para proveer a los usuarios.

3.3.1. Descripción del CS Fallback

El concepto básico del *CS Fallback* se muestra en la Figura 3.7. Un terminal acampando en la red *LTE* recibe una llamada de voz desde el dominio de la conmutación de circuitos *CS* por medio del *EPC*. Una vez recibido el mensaje de *Paging*, el terminal móvil reconoce que la red lo está llamando desde el *CS* por lo tanto realiza la conmutación a *3G*. Luego se envía una respuesta de confirmación para aceptar la llamada desde el móvil a la red *3G* y a partir de este punto todo el control de la llamada es efectuado por la red *3G*.

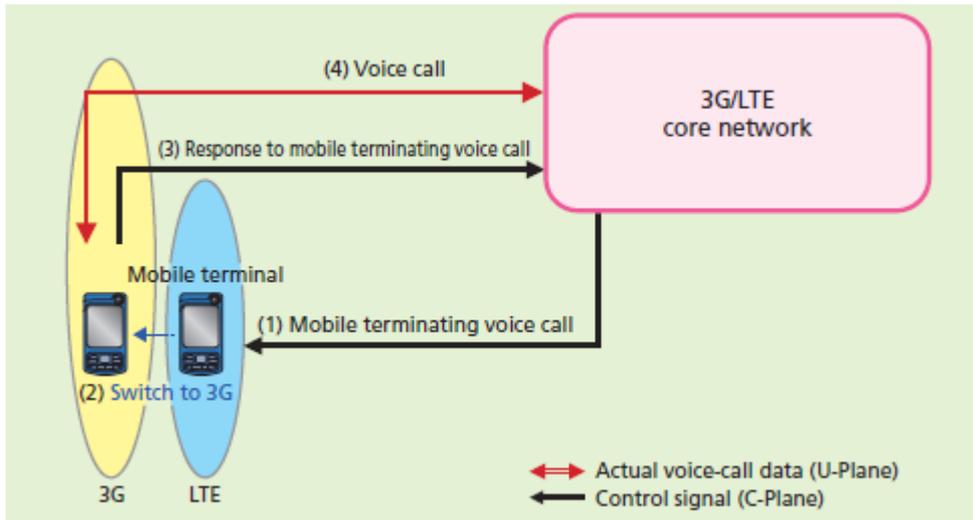


Figura 3. 7: Concepto básico CS Fallback
Fuente: (Tanaka & Koshimizu, 2009)

3.3.2. Arquitectura

El mecanismo del *CS Fallback* consiste en la función de notificar a un terminal móvil una solicitud de llamada proveniente del dominio CS y combinar la administración de las funciones de movilidad entre el dominio CS y el *EPC*. La arquitectura de red se muestra en la Figura 3.8.

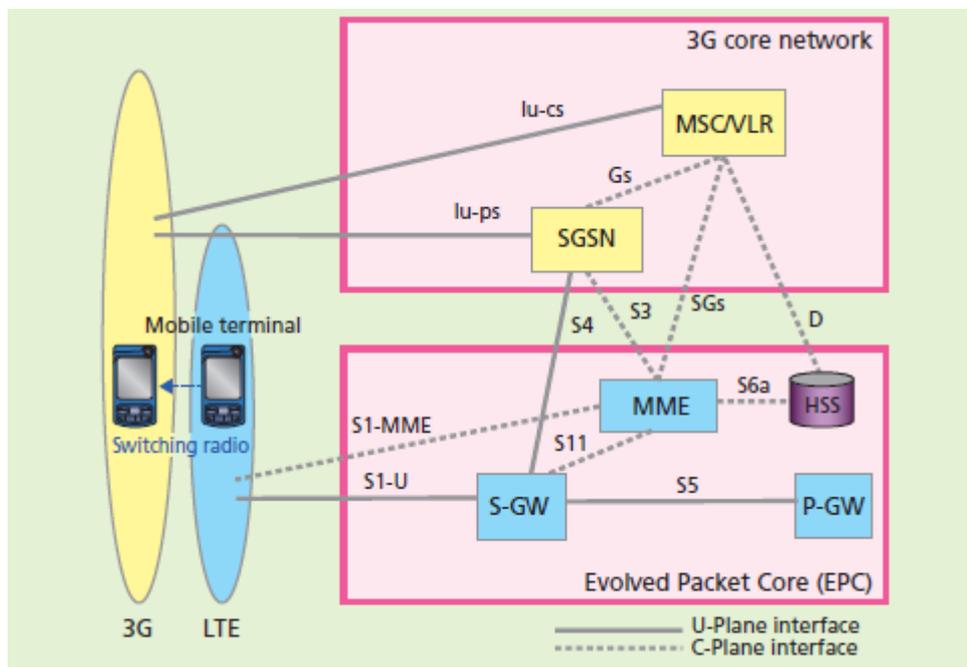


Figura 3. 8: Arquitectura de red necesaria para CS Fallback
Fuente: (Tanaka & Koshimizu, 2009)

La característica más notoria de los *EPC* con la funcionalidad de *CS Fallback* es la de tener conectados el *Mobile Switching Center (MSC)* y el *Visitor Location Register (VLR)* del dominio *CS* en las redes *3G* con el *Mobility Management Entity (MME)*, que es el administrador de la funcionalidad de la movilidad. La interface por la cual se conectan el *MSC/VLR* con el *MME* se denomina *SGs*, y está basada en el concepto de *Gs* que es la interface que interconecta la *MSC/VLR* con el *Serving General Packet Radio Service Support Node (SGSN)*. La interface *SGs* provee casi todas las funciones de la interface *Gs*.

La función del *CS Fallback* utiliza el *SGs* para transferir la solicitud de llamada al terminal móvil del dominio *CS* hacia el *LTE*. También proporciona una gestión combinada de la movilidad entre el dominio *CS* en *3G* y el *EPC* para permitir que la transferencia se efectúe.

3.3.3. Combinación de la movilidad

Las redes de comunicaciones móviles deben de conocer permanentemente donde se encuentra localizado el terminal móvil, para así poder entregar los requerimientos de servicios al usuario en el lado de la terminación móvil. El procedimiento para determinar la ubicación del terminal se llama administración de la movilidad (*Mobility Management*). Esta es una función básica de las comunicaciones móviles, tanto *3G* como *LTE* proveen la función de administración de la movilidad.

Para completar la llamada usando la funcionalidad del *CS FallBack*, el dominio *CS* necesita conocer en qué área de registro de ubicación se encuentra acampando el terminal móvil, para esto el *MME* debe de corresponder el control de la administración de la movilidad al dominio *CS* con el del *EPC* e informar al *MSC/VLR* que el terminal móvil se encuentra presente en un área de *LTE*.

El CORE de las redes 3G ya tienen incorporado una función para enlazar la administración de la movilidad del dominio CS con el *Packed Switched (PS)* dominio PS. Tanto el dominio CS como el dominio PS son provistas de forma separada. De esta manera si se combina la administración de la movilidad puede ser utilizada, el procedimiento de administración de movilidad para un terminal móvil solo necesita ser realizado una vez, esto para reducir las señales de tráfico en la red.

Este concepto de combinar la administración de la movilidad es adoptado por la funcionalidad del *CS Fallback*. Específicamente el *MSC/VLR* utiliza la misma lógica para recibir la solicitud de registro de localización desde el *SGSN* como para recibir la solicitud del registro de localización desde el *MME*. De esta manera se logra una combinación más eficiente con relación a la administración de la movilidad entre el *EPC* y el dominio CS.

Un terminal móvil acampando en *LTE* no puede utilizar la red 3G al mismo tiempo, esto significa que el *MME* que contiene el registro de localización de área (*Tracking Area, TA*) está imposibilitado de identificar a cuál *MSC/VLR* debería enviar los mensajes desde el *TA*, esto se solventa con la adopción por parte del *MME* de la cartografía *TA* y *LA*, Figura 3.9.

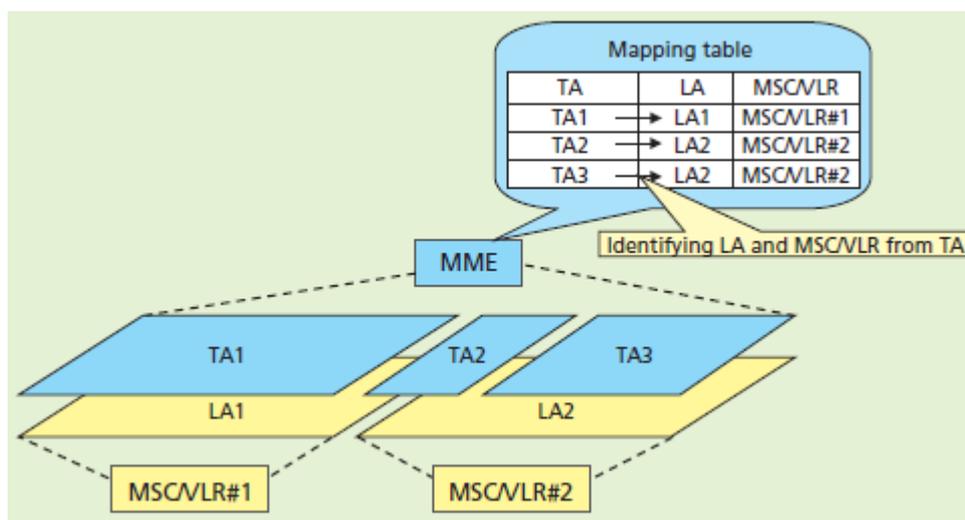


Figura 3. 9: Mapeo de registro de localización de área

Fuente: (Tanaka & Koshimizu, 2009)

El *MME* almacena la base de datos para administrar las correspondencias sobreponiéndose físicamente *TA's* y *LA's*, esta información es utilizada para determinar a cuál *MSC/VLR* se debe de enviar el registro de ubicación.

3.3.4. Proceso para la administración de la movilidad combinada

La combinación *TA/LA update* para la funcionalidad el *CS Fallback* se muestra en la Figura 3.10.

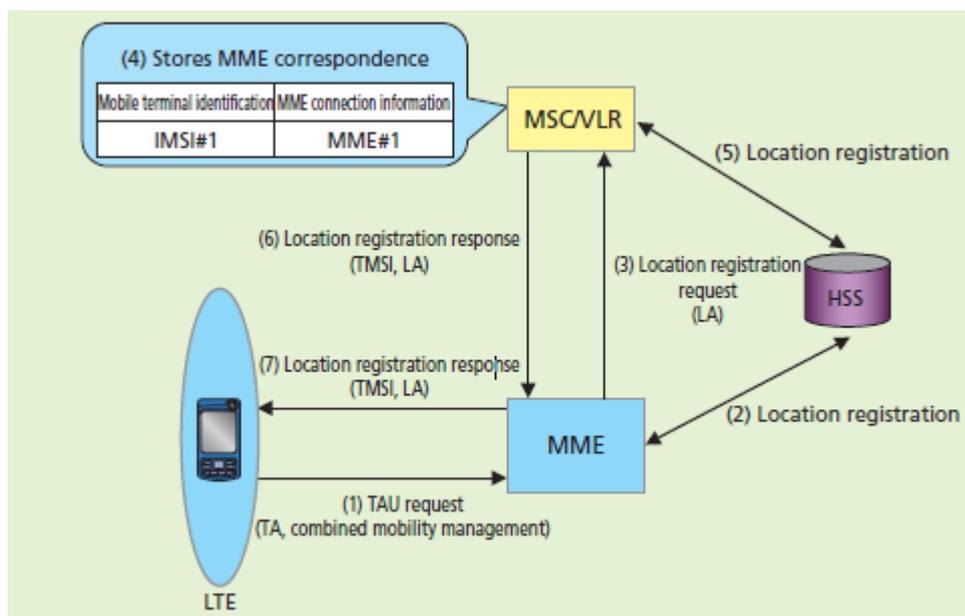


Figura 3. 10: Procedimiento combinado de registro de localización

Fuente: (Tanaka & Koshimizu, 2009)

En primer lugar, el terminal móvil envía hacia el *MME* una solicitud de mensaje *Tracking Area Update (TAU)* indicando una combinación entre *TAU* y el *TA* actual en el que se encuentra registrado el móvil en ese instante (1). El *MME* procede a la actualización de la ubicación hacia el *Home Subscriber Server (HSS)* en cuya base de datos se utiliza para administrar los perfiles de usuarios. En el siguiente paso el *MME* procede a utilizar la correspondencia en base de datos de *TA/LA* para identificar el *LA* correspondiente del *MSC/VLR* que administra el área, e identifica el punto de referencia *SGs* para enviar un mensaje de *Location Area Update (LAU)* hacia el *MSC/VLR* junto con el *LA* identificado (3).

El *MSC/VLR* recibe la solicitud de *LAU*, almacena la correspondencia entre el *ID* del *MME* que origina la solicitud y el *ID* como el *International Mobile Subscriber Identity (IMSI)* para identificar al usuario (4). Esto permite conocer al *MSC/VLR* cual *MME* está actualmente conectado y que el usuario está acampando en la red *LTE*. Luego de esto el *MSC/VLR* realiza un proceso registro de localización con el *HSS* (5). Para finalizar el *MSC/VLR* informa al *MME* la identidad de usuario temporal (*TMSI*) la cual será utilizada para las llamadas móviles terminadas en el dominio *CS*, e informa que el registro de localización ha sido completado. El *MME* comunica al terminal móvil el *TMSI* y *LA* con el que el terminal móvil ha sido registrado, completando de esta manera el registro de localización combinado.

3.3.5 Procedimientos de control de llamada del CS Fallback.

3.3.5.1 Llamada Originada

Para realizar una llamada de voz utilizando el mecanismo de *CS Fallback*, el terminal móvil registrado en la red *LTE* primero debe de conmutar (*fall back*) hacia la red *3G*, el procedimiento para una llamada originada se muestra en la Figura 3.11.

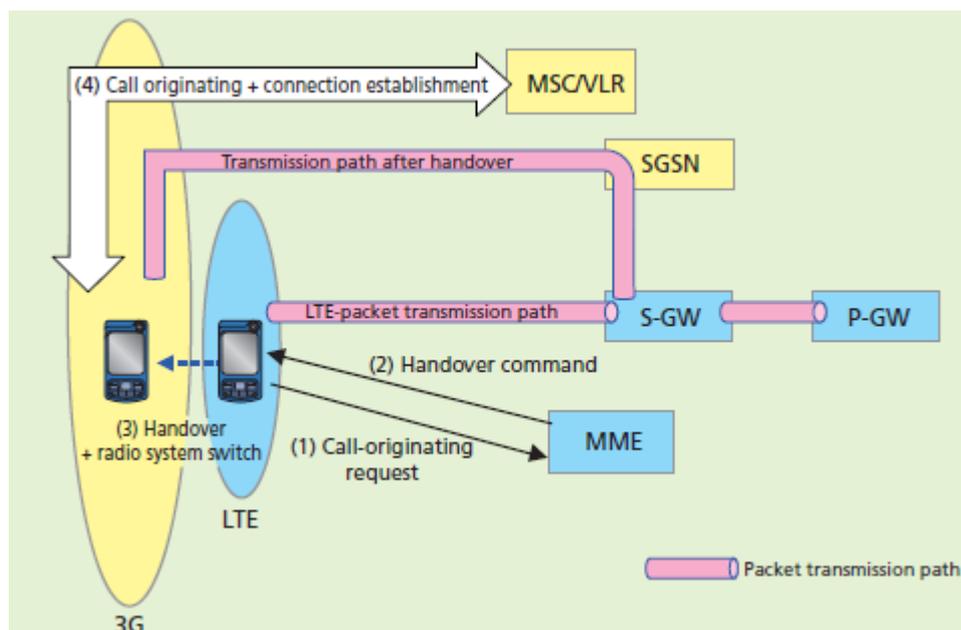


Figura 3. 11: Proceso llamada originada
Fuente: (Tanaka & Koshimizu, 2009)

Para originar la llamada el terminal móvil inicia enviando un mensaje de *CS Fallback* hacia el *MME* (1), este inicia la entrega del terminal móvil en *LTE* mediante el *handover* (2). El terminal realiza el cambio de radio de *LTE* hacia *3G* (3). Una vez concluida la conmutación del radio el terminal móvil inicia una solicitud de servicios de voz hacia el *MSC/VLR*. La llamada de voz es establecida utilizando los procedimientos ya establecidos para las redes *3G*, completando así el procedimiento de *CS Fallback* (4).

3.3.5.2 Llamada Terminada

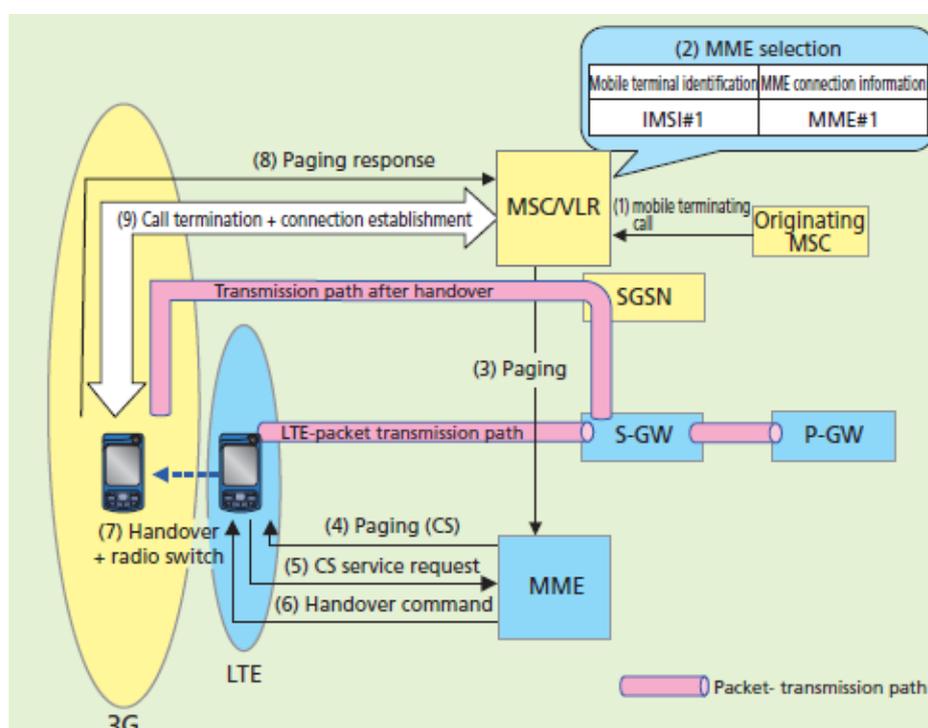


Figura 3. 12: Proceso llamada terminada

Fuente: (Tanaka & Koshimizu, 2009)

Cuando el *MSC/VLR* recibe un mensaje indicando un evento de llamada terminada, el *MSC/VLR* identifica el respectivo *MME* desde la información proveniente de la llamada recibida (2), a continuación el *MSC/VLR* envía un mensaje de *Paging* hacia el *MME* (3), este a su vez envía un mensaje de *Paging* al terminal móvil registrado en *LTE* (4), este mensaje de *Paging* incluye información que la llamada ingresada es un servicio del dominio *CS*, el terminal móvil envía una solicitud de *CS*

Fallback hacia el *MME* (5), luego de esto se produce la conmutación de la interface de radio hacia *3G* (6,7). El terminal móvil que ahora se encuentra acampando en *3G* envía una respuesta de *Paging* al *MSC/VLR* en el cual está registrado. Finalmente, el procedimiento para una llamada terminada es finalizado al igual que el proceso del *CS Fallback*.

3.4 Problemas CS Fallback

LTE fue lanzada comercialmente bajo la aprobación de la *3GPP* y su versión 8, esta nueva arquitectura de red permite acceder a un nuevo nivel en cuanto a velocidad de transmisión de datos se refiere, facilitando de esta forma el acceso al usuario a una nueva gama de servicios con mejores estándares de calidad. Debido a la premura con la que fue lanzada esta tecnología, existían equipos que no habían logrado culminar su desarrollo completamente, para lograr la administración de las llamadas de voz en el dominio de la conmutación de paquetes, es aquí en donde nuevamente la *3GPP* ve necesaria la estandarización del mecanismo llamado *CS Fallback* que permite la coexistencia de las redes basadas en arquitecturas *3GPP* seguir ofreciendo las llamadas de voz administradas desde el dominio de circuitos *CS*, mientras los datos son manejados por el *EPC*.

La forma en la que este mecanismo funciona para los diversos requerimientos como llamadas de voz originadas o terminadas, registro de localización se encuentra descrita en la sección anterior, sin embargo, existen pruebas de campo que detallan un escenario en el cual este mecanismo no funciona correctamente, siendo el mismo imperceptible para el usuario final y dejando el terminal móvil en un estado de *idle*, el cual es inalcanzable para el *MSC/VLR*.

3.4.1 Escenario de falla

Las pruebas de campo demuestran un escenario en el cual un terminal móvil bajo la cobertura de una red *LTE* se desplaza a lo largo

de la ciudad, la misma que por varios criterios no cuenta con una cobertura completa con la red *LTE*, esto obliga al terminal estar realizando constantemente *handovers* entre las redes *2G*, *3G* y *4G* dependiendo de la zona en donde el usuario se movilice.

El terminal que acampa en la red *LTE* y constantemente está variando su registro en las redes, cuando regresa a la cobertura *LTE* y es objeto de una llamada terminada, los procesos de *paging* para encontrar el terminal móvil no son exitosos en ciertas ocasiones, esto provoca que al momento de tratar de entregarle una llamada al cliente, la misma sea direccionada al buzón de mensajes de voz, ya que no fue posible localizar el terminal del usuario, este escenario es imperceptible para el cliente y solo se percata del intento de llamada hacia el mismo por medio del arribo del mensaje en su casillero de voz.

3.4.2 Configuración escenario de falla

Para reproducir el escenario de falla se simula el *handover* de un usuario entre las diversas redes, de la siguiente forma:

- Teléfono en modo avión activado.
- Se desactiva el modo avión y el terminal se engancha en la red *LTE*.
- Forzar al equipo registrarse en la red *2G*.
- Registro exitoso en la red *2G*.
- Forzar al equipo registrarse en la red *3G UMTS*.
- Se establece el registro del terminal en la red *3G*.
- Se configura el teléfono en selección de red automático (*LTE/ 3G /2G*).
- Realizar prueba de llama entrante.

3.4.3 Mensajería del escenario de falla

A continuación, se muestra la mensajería generada en la prueba de campo para llamadas de voz con la IMSI 740000115916877.

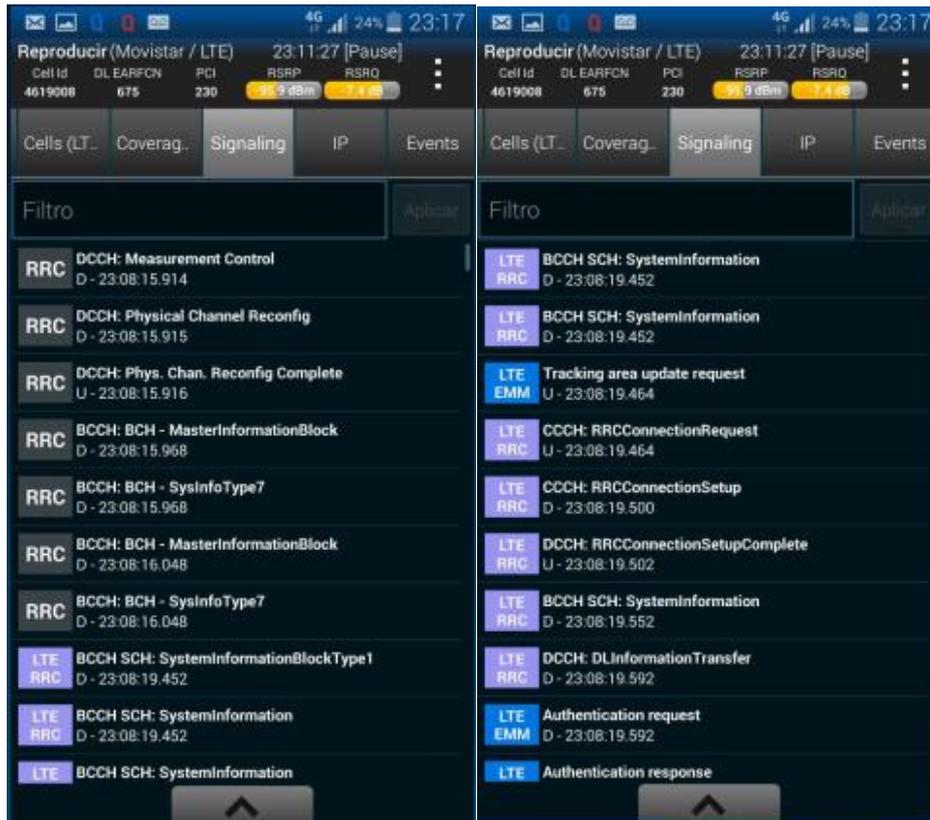


Figura 3. 13: Log de pruebas 1 realizada con equipo TEMS

Elaborado por: Autor

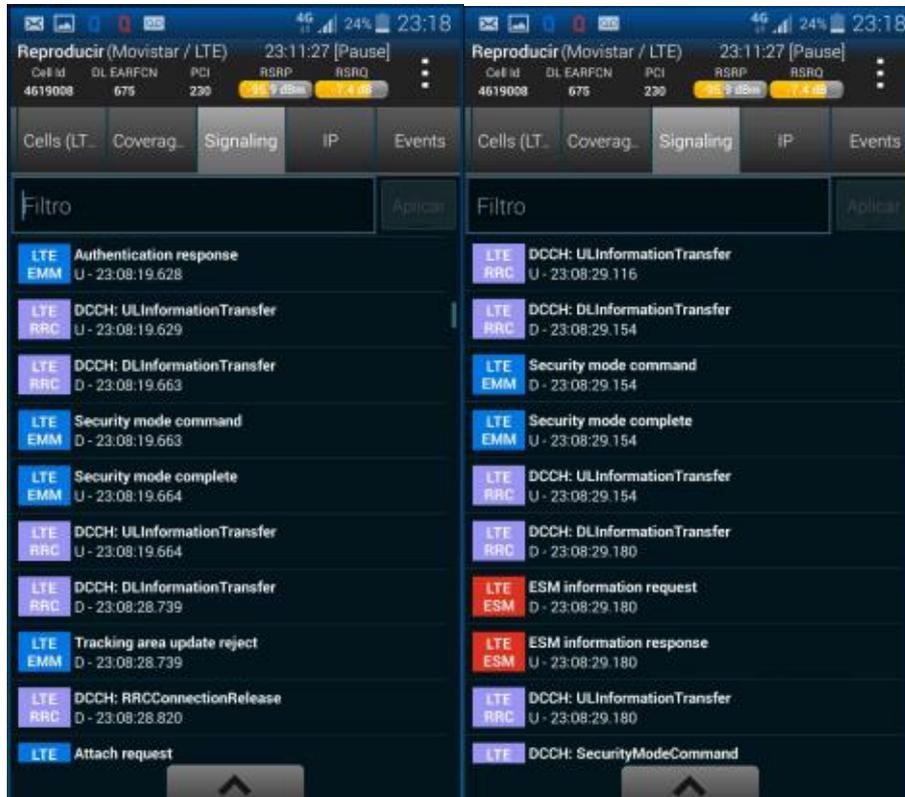


Figura 3. 14: Log de pruebas 2 realizada con equipo TEMS.

Elaborado por: Autor

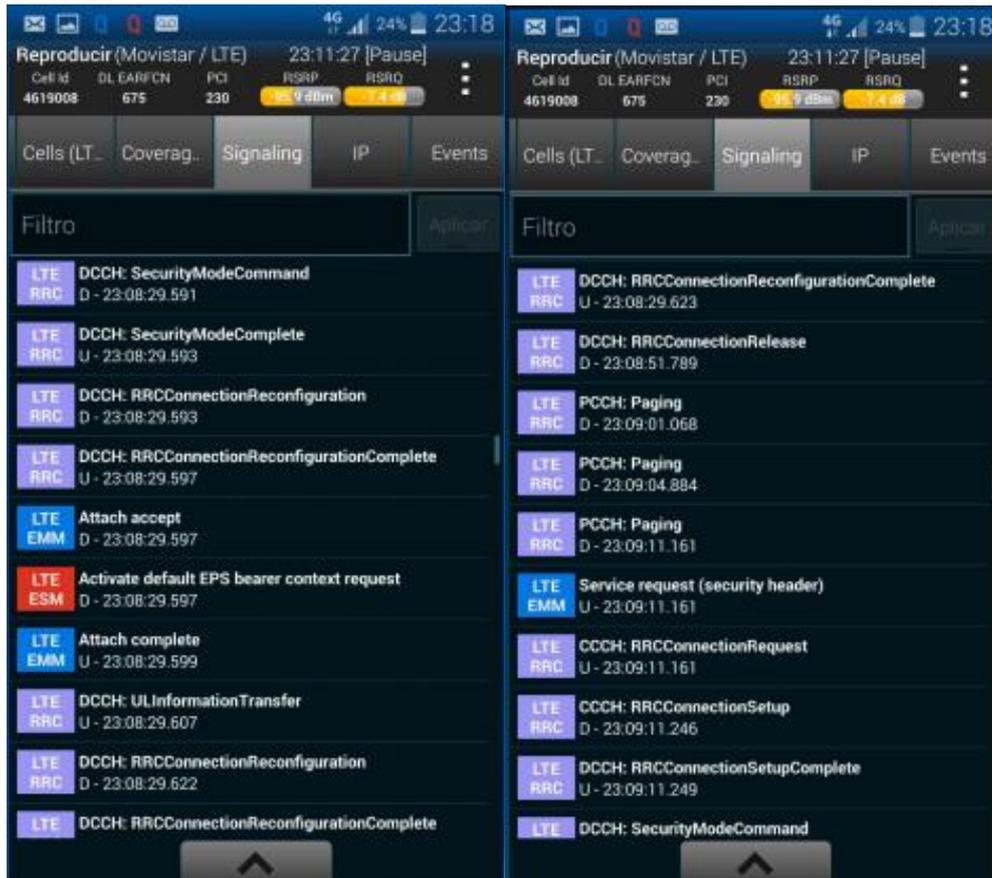


Figura 3. 15: Log de pruebas 3 realizada con equipo TEMS.
Elaborado por: Autor

Las Figuras 3.13, 3.14 y 3.15 muestran la mensajería que se genera para localizar al abonado y entregar la llamada, como se puede apreciar en dichas Figuras, existen varios intentos de *Paging* pero el terminal móvil no responde a dicha mensajería con el *acknowledge* necesario, debido a esto no es posible continuar con el mecanismo de CS Fallback y la llamada finalmente se en ruta al *voicemail* del abonado. Este es un escenario en el cual se evidencia una falencia dentro de las redes LTE.

3.4.4 Señalización del escenario fallido.

A continuación, observaremos la señalización que existe dentro del mecanismo de CS Fallback para localizar un terminal para llamadas terminadas.



Figura 3. 16: Señalización para prueba 1 realizada por el aplicativo Flexi Maintenance.

Elaborado por: Autor

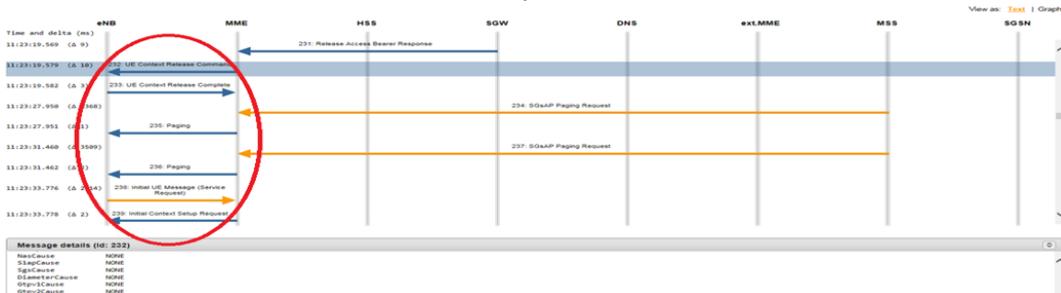


Figura 3. 17: Señalización para prueba 2 realizada por el aplicativo Flexi Maintenance.

Elaborado por: Autor

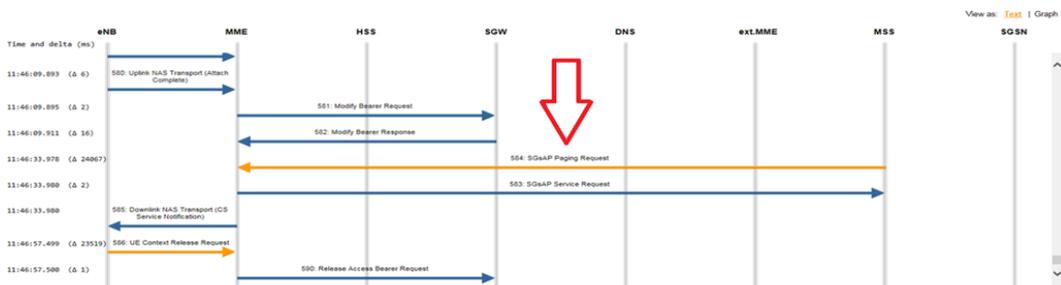


Figura 3. 18: Señalización para prueba 3 realizada por el aplicativo Flexi Maintenance.

Elaborado por: Autor

En la sección 3.5.2, para el escenario de una llamada terminada el MSC envía un mensaje hacia el MME y este inicia un proceso de localización del terminal móvil a través del eNodeB (ver Figura 3.16), la mensajería entre el MSC y el MME (ver Figura 3.17), luego el MME inicia la comunicación con el eNodeB y este debe de contestar con un mensaje de *Extended Service Request*, este mensaje nunca es enviado por parte del eNode B hacia el MME, tal como se muestra en la figura 3.18.

Al no completarse todo el proceso de mensajería para realizar el *switch* del radio acceso, el mecanismo de *CS Fallback* no toma lugar y la llamada es enrutada al buzón de voz, siendo imperceptible para el cliente que tenía en proceso una llamada terminada hacia su dispositivo.

Capítulo 4: LTE Advanced

Este capítulo tiene por objeto el estudio de la tecnología LTE Advanced a nivel de CORE de voz, como la cuarta generación de redes móviles especificada en la versión 10 del 3GPP, por lo tanto, superior a su antecesora LTE, para lo cual presentará una introducción enfocada en la estandarización de esta nueva tecnología, la arquitectura del sistema y sus principales características mejoradas con la versión 8.

4.1. Introducción

En el 2008 la *ITU* designo el término de *IMT-Advanced* para reconocer a los sistemas con capacidad superior a las tecnologías *IMT-2000*. *LTE-Advanced* es la evolución del sistema *LTE* y como es de suponerse el objetivo es exceder los requisitos determinados para *IMT-Advanced*. En el 2009 la organización 3GPP envió a la ITU-R todas las especificaciones de *LTE-Advanced* para su revisión y evaluación, de esta manera se esperaba conseguir que *LTE-Advanced* sea candidata a 4G *IMT-Advanced*.

LTE Advanced busca marcar una nueva era mejorando en tres áreas específicas: velocidad de transmisión de datos pico y promedio; eficiencia espectral y mejorar los valores de latencia para los planos de control y usuario.

Los requisitos generales que el *IMT-Advanced* exige a las tecnologías que quieren ser catalogadas como 4G están:

- Funcionalidad mundial, manteniendo la flexibilidad para soportar toda la gama de servicios y aplicaciones.
- Compatibilidad de servicios entre IMT y redes fijas
- Interconexión con sistemas de radio acceso diferentes.
- Alta calidad en servicios móviles, capacidad de *roaming* a nivel mundial.

- Velocidades en el orden de 1Gbps para baja movilidad y 100 Mbps para gran movilidad.

La Tabla 4.1 detalla los requisitos para el acceso de radio definido por la ITU-R para *IMT-Advanced*.

Tabla 4. 1: Requisitos IMT-Advanced para tecnologías 4G

Parámetro	Downlink	Uplink
Ancho de banda	40 MHz	
Eficiencia espectral pico (bps/Hz)	15	6.75
Eficiencia espectral promedio (bps/Hz/celda)	3 (<i>hotspot</i> en el interior) 2.6 (Micro urbano) 2.2 (Macro urbano) 1.1 (Macro rural)	2.25 (<i>hotspot</i> en el interior) 1.8 (Micro urbano) 1.4 (Macro urbano) 0.7 (Macro rural)
Eficiencia espectral por usuario en el borde de la celda (bps/Hz)	0.1 (<i>hotspot</i> en el interior) 0.075 (Micro urbano) 0.06 (Macro urbano) 0.04 (Macro rural)	0.07 (<i>hotspot</i> en el interior) 0.05 (Micro urbano) 0.03 (Macro urbano) 0.015 (Macro rural)
Capacidad de VoIP (usuario/celda/MHz)	50 (<i>hotspot</i> en el interior) / 40 (Micro urbano y Macro urbano) / 30 (Macro rural)	
Latencia en el plano de usuario (ms)	10	
Latencia en el plano de control (ms)	100	

Fuente: (3GPP, 2017b) TR 36.913

La Tabla 4.2 muestra los valores propuestos por *LTE-Advanced*.

Tabla 4. 2: Propuesta del 3GPP para que LTE-Advanced sea considerada tecnología 4G

Parámetro	Downlink	Uplink
Ancho de banda	Hasta 100 MHz	
Velocidad de transmisión pico (Mbps)	1000	500
Eficiencia espectral pico (bps/Hz)	30	15
Eficiencia espectral promedio (bps/Hz/celda)	2.6 (<i>hotspot</i> en el interior)	2 (<i>hotspot</i> en el interior)
Eficiencia espectral por usuario en el borde de la celda (bps/Hz)	0.09 (<i>hotspot</i> en el interior)	0.07 (<i>hotspot</i> en el interior)
Capacidad de VoIP (usuario/celda/MHz)	Superior a la versión 8 de <i>LTE</i>	
Latencia en el plano de usuario (ms)	10	
Latencia en el plano de control (ms)	50 (De <i>Idle</i> a Activo) 10 (De Inactivo a Activo)	

Fuente: (3GPP, 2017a) TR36.912

LTE-Advanced está enfocada en mantener la compatibilidad con las tecnologías antecesoras, esto brinda la oportunidad a los operadores de continuar ofreciendo el servicio *LTE* a sus usuarios, mientras su equipo de red es actualizado de manera progresiva. Este enfoque fue independientemente de los requerimientos establecidos por el *IMT-Advanced*, esto ha dado como resultado que varios de los objetivos hayan sido superados por *LTE-Advanced* por ejemplo, la eficiencia espectral y los índices de latencia.

La evaluación de *LTE-Advanced* fue realizada por 18 empresas pertenecientes al 3GPP, demostrando que *LTE-Advanced* cumple satisfactoriamente los índices propuestos por el *IMT-Advanced*.

LTE-Advanced fue aceptada por la ITU como tecnología *IMT-Advanced* en octubre del 2010.

4.2. Arquitectura de LTE-Advanced

En el capítulo 3.1.3, se muestra la arquitectura LTE, esta arquitectura es la misma para *LTE-Advanced* a diferencia de un elemento adicional en la red de acceso concerniente al uso de los denominados *relay nodes*. La arquitectura está conformada por los siguientes bloques funcionales: *E-UTRAN*, el *EPC*, el *IMS* y el equipo de usuario. En cada bloque, los elementos de red y las interfaces que conectan a los diferentes equipos en las diferentes redes de acceso del *CORE* y externas, son iguales a las descritas para *LTE*.

En el *E-UTRAN* el equipo principal es el *eNB* que se comunica con otros *eNB's* mediante la interfaz *X2* y con el *EPC* por la interfaz *S1-U* del plano de usuario y a través de la interfaz *S1-MME* del plano de control. El *EPC* está compuesto por tres elementos de red que son: *MME*, *S-GW* y *P-GW*. El *MME* se comunica con el *S-GW* por la interfaz *S11*, el *S-GW* y el *P-GW* se conectan por la interfaz *S5/S8* y entre *MME's*

utilizan la interfaz *S10*. El *EPC* se comunica con las plataformas de servicios externos mediante la interfaz *SGi*.

4.3. VoLTE

Desde el nacimiento de *LTE* con el *EPC* para ofrecer todos los servicios multimedia de alta velocidad en una red cien por ciento *IP*, era inevitable pensar que en un futuro cercano se llegaría a ofrecer los servicios de voz basados en los sistemas *IP*.

La Asociación *GSM (GSMA)* ha conducido los estudios de la voz sobre *LTE (VoLTE)* mediante la utilización del subsistema multimedia *IP (IMS)*, este subsistema *IMS* ha sido estandarizado por la *3GPP* para proporcionar los servicios de voz, se publicó un documento llamado "*VoLTE Profile*" en el cual se recogen las especificaciones mínimas que se requieren para proveer este servicio.

Cuando las primeras especificaciones de *LTE* fueron publicadas por la *3GPP* en la versión 8, todos los sistemas existentes estaban basados en la conmutación de circuitos para los servicios de voz y *SMS*. Debido a que *LTE* es una red que está orientada a la conmutación de paquetes, se vio la necesidad de desarrollar mecanismos mediante los cuales se continuara brindando los servicios de voz sobre redes *3G*, la funcionalidad estandarizada por la *3GPP* se denomina *CS Fallback*, existe también una funcionalidad que no ha sido estandarizada internacionalmente pero que existe y se denomina *VoLGA (Voice over LTE vía Generic Access)*.

Debido a los problemas de calidad de servicio, interoperabilidad y *roaming* por la adopción de los operadores de los diversos mecanismos, fue necesaria la adopción de un sistema único para los servicios de voz, es así como a partir del 2009 hasta el 2010 el *GSMA* desarrollo un plan para la migración hacia *VoLTE*.

El *VoLTE* previsto por el *GSMA* acepta los sistemas que utilizan *CSFB* y *VoLGA* como pasos transitorios y establece el sistema utilizando el *IMS* como objetivo final. *VoLTE Profile* son las especificaciones técnicas desarrolladas por la *GSMA* para la implementación de *VoLTE* utilizando el *IMS* (ver figura 4.1).

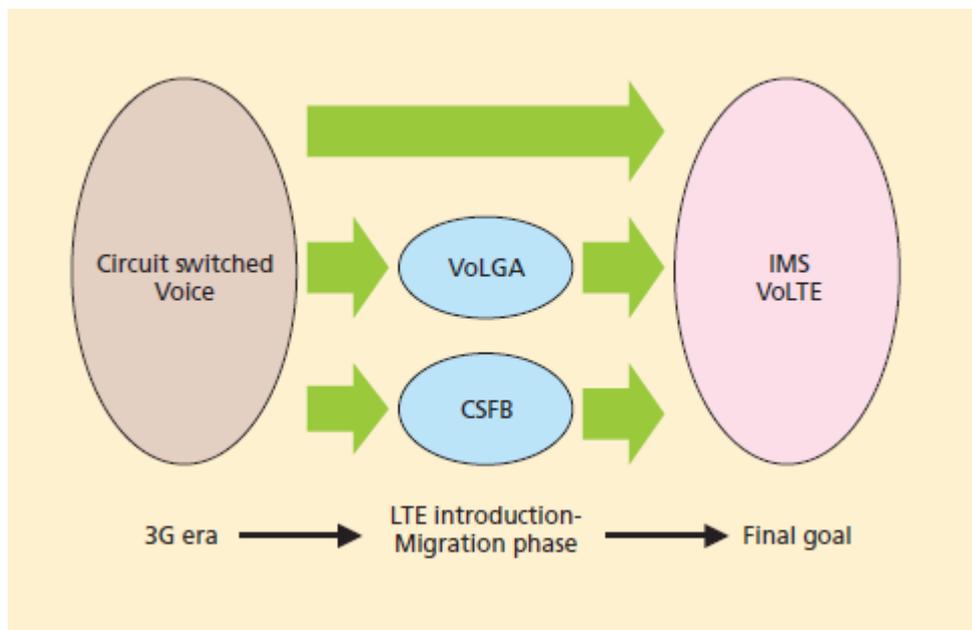


Figura 4. 1: Migración del servicio de voz
Fuente: (Tanaka & Koshimizu, 2012)

4.3.1 VoLTE Profile descripción

La Figura 4.2 muestra las especificaciones mínimas para la configuración de la interface entre el terminal móvil y el núcleo de la red (*User Network Interface, UNI*) en las redes *VoLTE* descritas en el *VoLTE Profile*. La *3GPP* mediante el *VoLTE Profile* especifica cada una de las funcionalidades básicas o servicios provistos por el *IMS*, como por ejemplo para el servicio de voz los códec necesarios.

VoLTE Profile está basado en la versión 8 de la *3GPP*, pero además las funciones que se estandarizaron en las versiones 9 y 10, también fueron adoptadas. Es importante recalcar que las especificaciones para la interface Red-Red (*Network-Network Interface*) la cual es indispensable para interoperabilidad y los servicios de

roaming, no formaron parte del alcance del *VoLTE Profile*, sin embargo, su estudio esta descrito en otras especificaciones.

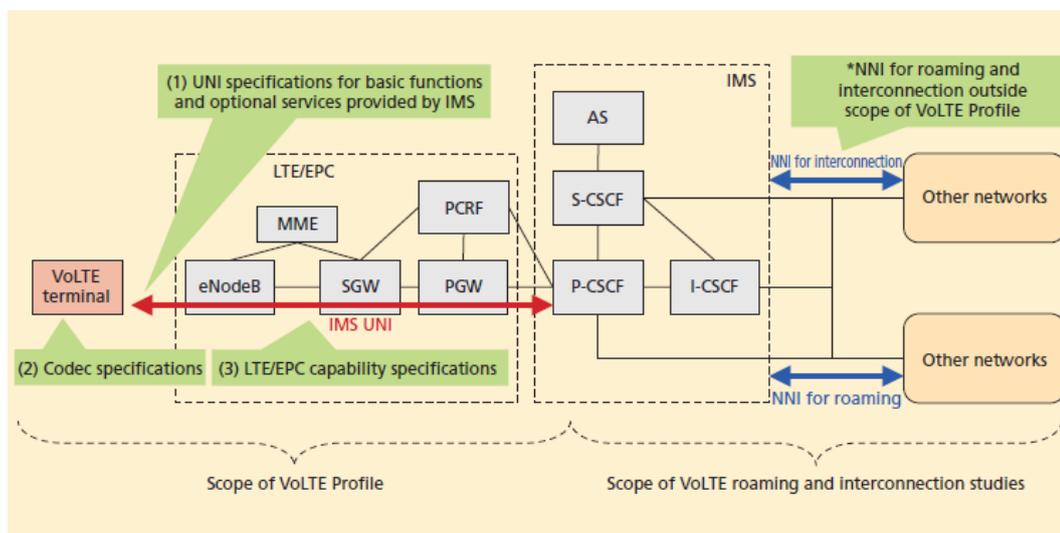


Figura 4. 2: Configuración de red VoLTE

Fuente: (Tanaka & Koshimizu, 2012)

4.3.2 Configuración de Red y funciones básicas VoLTE

La Figura 4.2 muestra las tres áreas que conforman una red *VoLTE*, terminales, *LTE/EPC* y el *IMS*. El *LTE/EPC* está compuesto por cinco módulos para la administración de la movilidad y la calidad de servicio (*QoS*): *eNodeB*, *MME*, *S-GW*, *P-GW* y el *PCRF*. El *IMS* está compuesto por cuatro módulos para el control de las sesiones de voz: el *Proxy Call/Session Control Function (P-CSCF)*, el *Serving Call/Session Control Function (S-CSCF)*, el *Interrogating Call Session Control Function (I-CSCF)* y el *Application Server (AS)*.

Entre las funciones básicas que desempeña el *IMS* se encuentra el control de registro para el establecimiento de las transmisiones entre el terminal y el *IMS*, funciones de seguridad para las autenticaciones de usuarios y la función de origen y terminación de las llamadas. Todas estas funciones son controladas por medio del protocolo *SIP (Session Initiation Protocol)*.

4.4 Controles Básicos en VoLTE

4.4.1 Proceso de Registro en el IMS

En la Figura 4.3 se ilustra el proceso de control desde el momento en que un terminal *VoLTE* es encendido hasta que está habilitado para poder hacer uso de los servicios de voz.

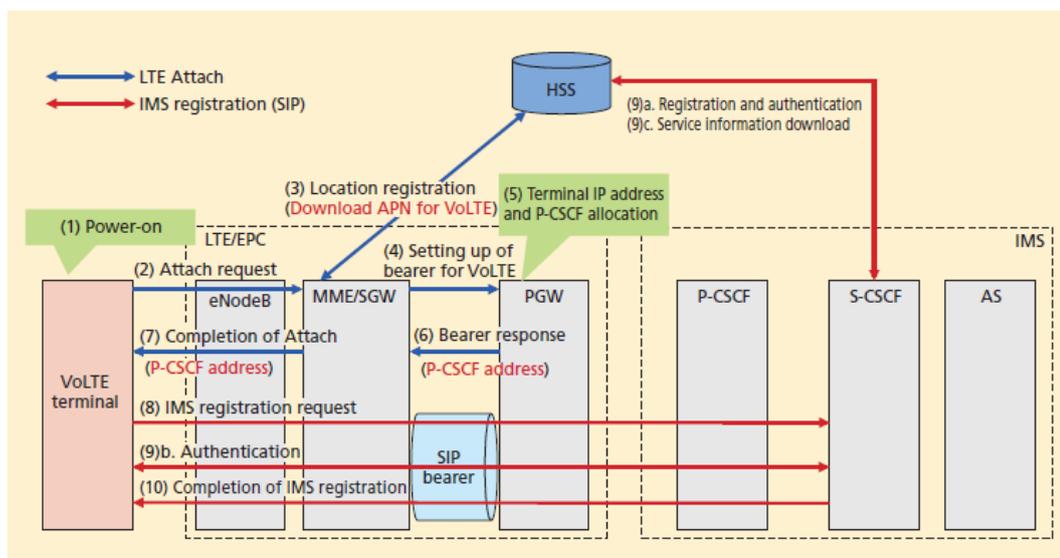


Figura 4. 3: Proceso de control de registro en el IMS

Fuente: (Tanaka & Koshimizu, 2012)

Antes que los servicios de voz estén disponibles, es necesario realizar los procedimientos de *LTE Attach* e *IMS registration*. En el momento que el terminal es encendido (1), este envía un mensaje de *attach request* hacia el *MME* (2), el *MME* recibe esta solicitud y la renvía hacia el *HSS* (3) procede a descargar la información del perfil del suscriptor, incluyendo el *APN* para *VoLTE*.

El *MME* decide el destino del *P-GW* en base a la información del *APN* y realiza la solicitud de establecimiento de comunicación entre el *S-GW* y *P-GW* (4). Una vez que se ha establecido esta comunicación el *P-GW* asigna al terminal una dirección *IP* y al mismo tiempo identifica la dirección del *P-CSCF* con el que será conectado (5). El *P-GW* configura esta dirección en el *PCO* (*Protocol Configuration Option*) y la envía al *MME* por medio del *S-GW* (6). El *MME* envía al terminal por medio del

attach completion message, el PCO con la dirección P-CSCF, de esta forma se completa el procedimiento de *attach LTE/EPC* (7).

Una vez concluido el *attach LTE/EPC*, el terminal inicia el proceso de *IMS registration* (8), en este proceso el terminal debe establecer el *IMEI (International Mobile Equipment Identifier)* para la identificación del mismo y el *IMS Communication Service Identifier (ICSI)* declarando un servicio de voz de *IMS* para que la pieza de la información pueda realizar los servicios de control y otros propósitos.

Cuando la solicitud de registro *IMS* llega desde el terminal por medio de *P-CSCF*, el *S-CSCF* realiza el procedimiento de registro con el *HSS* (9a), al mismo tiempo el *S-CSCF* adquiere la información necesaria para la autenticación del usuario y los procesos para la autenticación del terminal (9b). Una vez que la autenticación ha sido realizada, el *S-CSCF* descarga y almacena la información de servicios de control del usuario desde el *HSS* (9c). Al final el *S-CSCF* notifica al terminal que la autenticación ha sido completada, finalizando de esta manera el proceso de *IMS registration*.

4.4.2 Llamadas de voz originadas.

El proceso para las llamadas originadas se muestra en la Figura 4.4. En el *VoLTE Profile* se describe un esquema de precondition mediante la cual se establece una sesión después de los portadores de voz para el establecimiento de las llamadas originadas y terminadas.

Cuando un usuario inicia una llamada de voz (1) el mensaje de invite es enviado desde el terminal origen hacia el terminal destino por medio del *P-CSCF* y el *AS* (2). Este mensaje de *invite* sirve por ejemplo para los terminales de origen y fin, la precondition para utilizar el códec para el terminal de origen.

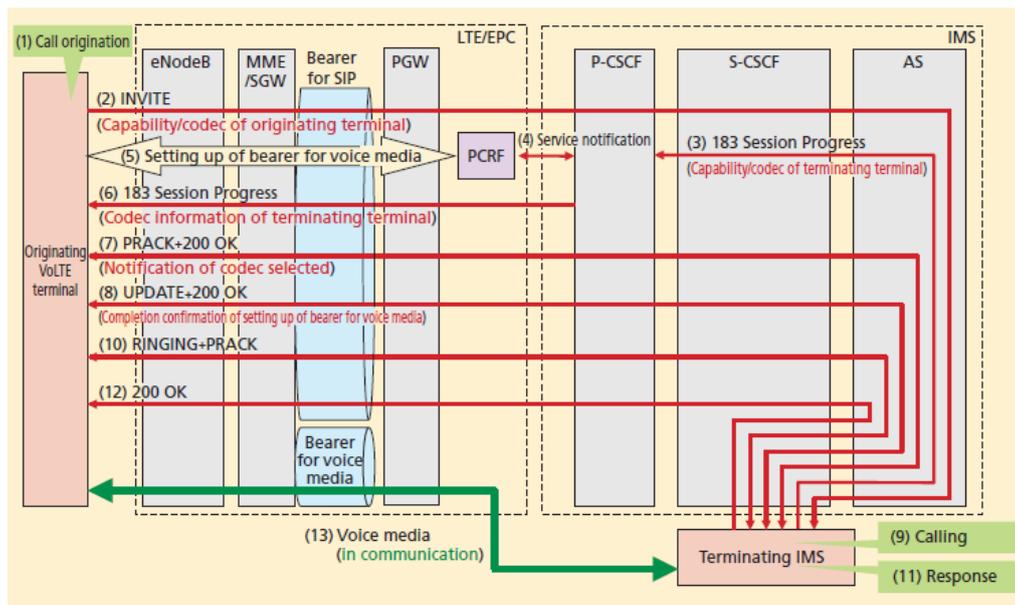


Figura 4. 4: Llamada de voz originada

Fuente: (Tanaka & Koshimizu, 2012)

La red de destino responde con el mensaje “183 Session Progress” con la información de los *codecs* para el terminal de destino. Cuando el mensaje es recibido por el *P-CSCF*, este envía una orden al *PCRF* para configurar un portador dedicado para voz (4). El *PCRF* en coordinación con otros equipos en el *EPC* como el *P-GW* y *S-GW* establece el servicio portador con un apropiado *QoS* (5).

El *P-CSCF* al mismo tiempo envía un mensaje “183 session progress” al terminal de origen. Una vez que se recibe el mensaje el terminal de origen compara con la capacidad del terminal destino consigo mismo para determinar el código que se utilizara. Luego el terminal de origen notifica al terminal de destino enviando el mensaje *PRACK* el código que ha sido elegido y el mensaje “200 OK” es recibido desde el terminal destino (7).

Luego de esto cuando los dos terminales han confirmado el establecimiento de los servicios portadores para la transmisión de voz con *QoS* basado en el mensaje de *UPDATE* desde el terminal de origen y el mensaje de “200 OK” como respuesta al mensaje de *UPDATE* (8),

el terminal móvil notifica al usuario el ingreso de una llamada mediante el *ringtone* (10).

Cuando el usuario en el lado de la terminación de la llamada responde el mensaje “200 OK” (11) recibido desde el terminal de origen, la sesión de voz es establecida (12).

Capítulo 5: Análisis comparativo entre redes LTE y LTE Advanced a nivel de CORE de voz

Este capítulo tiene por objeto realizar una comparación entre las tecnologías *LTE versión 8* y *LTE-Advanced versión 10*. Esta comparación será realizada en función de la arquitectura de red y el servicio de voz.

5.1 Arquitectura de Red.

Tanto *LTE* como *LTE-Advanced* se basan en una arquitectura basada netamente en *IP*, que abarca desde el *eNB* hasta el núcleo de la red. Ambas tecnologías presentan cuatro bloques funcionales: el equipo de usuario, la red de acceso *E-UTRAN*, el núcleo de la red *EPC* y los servicios brindados por medio del *IMS*.

El acceso a la red está conformado por los *eNB's* que es la nueva denominación para las radio estaciones, y cuyo rol dentro de la arquitectura es muy importante debido a que su función disminuye el trabajo del *EPC*, ejecutando procedimientos de tratamiento y administración de la información para realizar una gestión eficiente de los recursos de radio disponibles. El *eNB* es el elemento más importante de la red *E-UTRAN* gestiona y permite la conectividad entre el equipo de usuario y los elementos del *EPC*.

La conexión del equipo de usuario con los *eNB's* es mediante la interfaz *Uu*, la interfaz *S1*, es la interface entre el *eNB's* y el *EPC* y finalmente la conexión entre *eNB's* se la realiza con la interfaz *X2*. El *EPC* o núcleo de la red para *LTE* y *LTE-Advanced* son idénticos, están conformados por tres elementos: *MME*, *SG-W* y *PG-W*, todos estos equipos están basados en el manejo del tráfico netamente *IP*.

El *MME* es el equipo que se encarga de manejar la señalización, mientras que los *gateways SG-W* y *PG-W* se utilizan para el plano de

usuario. La interfaz *S1* sirve de conexión entre el *EPC* y la red de acceso *E-UTRAN* de la siguiente forma: el *eNB* se conecta con el *MME* mediante la interfaz *S1-MME* y a través de la interfaz *S1-U* con el *SG-W*. Los dos *gateways* conforman el *SAE Gateway*.

El elemento de red *P-GW* mediante la interfaz *SGi* conecta el *EPC* con redes externas como el *IMS* o el internet, este elemento es el punto de entrada o salida del tráfico hacia o desde el usuario. Es el encargado de la asignación de *IP*'s a los equipos de usuarios y el control del *QoS* en las sesiones de datos que se establecen. La interconexión con el *SG-W* es por la interfaz *S5* cuando ambos equipos pertenecen a una misma red, y por la interfaz *S8* cuando se encuentran en redes de diferentes operadores y se está brindando el servicio de *roaming*.

El *PCRF* es el elemento de red que controla los servicios portadores que se ofrecen en *LTE* y *LTE Advanced* por ejemplo, activar parámetros de *QoS* asociados a cada servicio portador, control en los mecanismos de tarificación, medición en tráfico de datos, entre otras.

La interfaz *Gx* es el medio por el cual el *PCRF* procede a realizar el control de la velocidad de transmisión de los servicios portadores. Por la interfaz *Rx* se tiene conexión con las plataformas de servicios externos como el *IMS*, esta interfaz brinda el control necesario para que los servidores de aplicaciones externos proporcionen información relacionada a los servicios finales a los que el usuario está accediendo junto con las características y requerimientos de *QoS*.

El *MME* establece su conexión con el *SG-W* mediante la interfaz *S11* y hacia el *HSS* con la interfaz *S6a*, para acceder a la información asociada a cada usuario. La interconexión de *MME*'s se la realiza a través de la interfaz *S10*.

5.2 Servicio de Voz

El servicio de voz es uno de los servicios más importantes que se ofrecen a través de las redes de comunicaciones móviles, desde un inicio la concepción de las tecnologías de telefonías móviles fue para permitir a los usuarios tener una libre movilidad sin la necesidad de estar conectados por un cable para poder hacer uso de servicios de voz.

Con la llegada de *LTE* y la evolución del núcleo de red hacia el *EPC* y todos sus equipos orientados al tráfico netamente *IP*, los operadores pudieron brindar la posibilidad a los usuarios de acceder a nuevas velocidades de transmisión, mejor calidad de servicio en cuanto al servicio de transmisión de datos, sin embargo al continuar siendo la voz un servicio indispensable y al no poder soportar las redes actuales los servicios de voz sobre *IP*, se vio la necesidad de desarrollar mecanismos por los cuales la voz continuará siendo administrada por las redes antecesoras *3G*, es aquí cuando la *3GPP* se ve en la obligación de estandarizar dichos mecanismos, de esta manera se realiza la homologación de la funcionalidad denominada *CS Fallback*, que es el método por el cual las redes *LTE* pueden continuar ofreciendo los servicios de voz desde el dominio de *CS*.

Además del *CS Fallback*, existe un método que no ha sido estandarizado de manera internacional y se lo conoce como *VoLGA*. Al no existir una tecnología adoptada uniformemente por los operadores a nivel mundial, y a pesar de los estudios realizados para lograr la interoperabilidad de las redes, se dieron casos en los cuales al tratar de realizar dichas interconexiones no se lograban concretar o se concretaban con fallos.

Debido a estos motivos la *GSMA* se propuso estandarizar el servicio de voz sobre *IP* soportado en las redes móviles. Esta estandarización se enfoca principalmente en que el elemento de red conocido como *IMS* sea el encargado de la administración de los

procesos necesarios para poder ofrecer los servicios de voz y establece los mecanismos de *CS Fallback* y *VoLGA* como el paso previo para ofrecer los servicios de *VoIP* en redes de comunicaciones móviles.

A pesar que las arquitecturas de red para *LTE* y *LTE-Advanced* son similares, la principal diferencia es la funcionalidad del *IMS* en las redes *LTE-Advanced*. Este equipo ya no solo es el servidor de aplicaciones externas, sino que ahora ofrece todo el proceso necesario para la administración y establecimiento de las llamadas de voz. Poder realizar la migración de los servicios de voz desde el dominio del *CS* en las redes *3G*, hacia el dominio de *PS* traerá beneficios como:

- Voz en alta definición
- Reducción en el establecimiento de las llamadas
- Comunicaciones enriquecidas permitiendo el intercambio de imágenes o videos de forma segura y privada.

La Tabla 5.1 expone una comparativa entre las redes *LTE* y *LTE Advanced* y sus valores de velocidades pico, eficiencia espectral, ancho de banda y latencias para user y control plane.

Tabla 5. 1: Comparativa entre *LTE* y *LTE Advanced*

Parámetro			LTE	LTE Advanced
Velocidades pico	DL		327.6 Mbps	1 Gbps
	UL		86.4 Mbps	500 Mbps
Ancho de banda soportado			hasta 20 Mhz	hasta 100 Mhz
Eficiencia espectral	Pico	DL	15 bps/Hz	30 bps/Hz
		UL	3.75 bps/Hz	15 bps/Hz
	Promedio	DL	1.87 bps/Hz	3.7 bps/Hz
		UL		2.0 bps/Hz
	Borde de celda	DL	0.06 bps/Hz	0.12 bps/Hz
		UL	0.03 bps/Hz	0.07 bps/Hz
Latencia User Plane			menor a 30ms	menor a 10ms
Latencia Control Plane			menor a 100ms	menor a 50 ms

Fuente: (España, 2010)

Elaborado por: Autor

En la Tabla 5.2 se muestra una comparativa indicando quienes son las entidades que administran la movilidad, los servicios de voz, la función del IMS y cuáles son las entidades que conforman el EPC para ambas tecnologías.

Tabla 5. 2: Comparativa entre entidades y servicios de voz entre LTE y LTE Advanced

	LTE	LTE Advanced
Movilidad	Administrada por el MME, tiene conexión con el MSC en la red 3G	Administrada por el MME
Voz	Gestionado y administrado por la red 3G mediante el mecanismo CS Fallback. Dominio CS	Gestionado y administrado por el IMS. VoIP. Dominio PS
IMS	Gestiona y administra los recursos para el establecimiento de las sesiones de datos (internet)	Gestiona y administra los recursos para el establecimiento de las sesiones de datos (internet) y los servicios de VoIP
Entidades CORE	MME, S-GW, P-GW, HSS, IMS, PCRF	MME, S-GW, P-GW, HSS, IMS, PCRF

Elaborado por: Autor

Conclusiones

Se ha definido erróneamente a LTE como una tecnología 4G, en realidad debería ser considerada como la antesala del 4G o denominarla 3.9G, ya que no cumple con los parámetros del 4G como el ancho de banda de hasta 100Mhz, las velocidades de transmisión pico en Uplink como en downlink, la eficiencia espectral, pico, promedio y por usuario en los bordes de la celda, pero sobre todo el no poder usar el servicio de voz sobre el protocolo IP (VoIP). Sin embargo, LTE-Advanced si es una tecnología 4G ya que cumple con todos los requisitos antes mencionados y definidos por la ITU-R.

La arquitectura de las redes LTE y LTE Advanced son prácticamente iguales para ambas tecnologías, integradas por la E-UTRAN, EPC e IMS. La diferencia radica en la importancia del subsistema IMS para administrar las llamadas de voz, ya que es este elemento el llamado a ser quien administre los recursos para establecer y mantener las llamadas VoIP.

En los capítulos anteriores se ha descrito los métodos mediante los cuales, los terminales móviles realizan las tareas cotidianas como la administración de la movilidad, llamadas originadas y llamadas terminadas, también se ha abordado una problemática existente para las llamadas de voz que cursan en las redes híbridas, a pesar que al momento en el país no existe un operador que ofrezca los servicios de LTE Advanced o VoLTE, se concluye que en la redes VoLTE nativas al ser el IMS el encargado de manejar todos los procesos de los usuarios, la problemática descrita con el mecanismo de CS Fallback, en donde el terminal no responde la solicitud de acknowledge el eNB, no tiene lugar, por lo tanto los usuarios tendrán un mayor porcentaje de éxito en el tráfico de voz cursado y los operadores verán reflejado este incremento en la eficiencia de tráfico de voz, en su recaudación, debido a que se minimiza las llamadas perdidas por problemas concernientes al mecanismo de CS Fallback. Al mismo tiempo que se elimina la

mensajería para realizar los procesos de CS Fallback, disminuye la carga en las interfaces SGs y S4.

Las funcionalidades como CS Fallback o VoLGA ayudan a los operadores de red a brindar servicios de transmisión de datos con velocidades en el orden de los 100 Mbps para downlink y 50Mbps para Uplink, solo con la actualización de los equipos de Packet Core para continuar brindando los servicios de voz mediante la red 3G, esto significa un ahorro significativo a las empresas operadoras y posibilita el acceso de sus clientes mediante las nuevas velocidades de transmisión de datos a las nuevas aplicaciones y servicios.

Recomendaciones

Previo al despliegue de las redes LTE Advanced en el Ecuador, es necesario realizar un plan en el cual se tenga como meta la implementación de la nueva tecnología en el corto tiempo, en este plan se debería de incluir la importación y venta de terminales con la capacidad de la utilización de esta nueva red, esto independientemente en qué fase se encuentre el proyecto de despliegue de red, de esta manera se ayudara a tener un parque de clientes listos para disfrutar las bondades de la nueva tecnología y por otra parte, los operadores arrancaran con un tráfico mayor, al que si deciden ofertar los terminales a último momento, aumentando así su rentabilidad inicial.

Dentro del plan de despliegue de LTE Advanced en el país, los operadores deben de tener un enfoque hacia el futuro próximo de la tecnología, es así como esta nueva red debe de estar pensada o dimensionada en poder soportar las aplicaciones del IoT (Internet of Things) o el internet de las cosas, que es el próximo paso en cuanto a tecnología se refiere y a lo cual se le denomina 5G, y ya se encuentra en fase de estandarización, esto con la finalidad que las telefónicas puedan proveer los servicios a los cuales la nueva red tendrá que hacer frente.

A pesar que el ingreso per cápita de nuestro país no llega a los niveles de las grandes naciones y por lo tanto, realizar el despliegue de esta tecnología, no esté al alcance de la mayoría de la población, por consiguiente, no sería una idea muy rentable para las operadoras, se deben de encontrar los mecanismos gubernamentales para incentivarlas a realizar esta inversión, así mismo estimular a los abonados a renovar los terminales, al no ser de esta manera, nuestro país se verá relegado de la nueva tecnología y sus bondades.

Glosario

1G	Primera Generación Celular
2G	Segunda Generación Celular
2.5G	Generación 2.5 Celular
3G	Tercera Generación Celular
3GPP	3er Generation Partnership Project
4G	Cuarta Generación Celular
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AN-CN	Access Network – Core Network
AP	Access Point
APN	Access Point Name
AS	Application Server
ASP	Application Service Providers
CDMA	Code Division Multiple Access
CS	Call Switched
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DSL	Digital Subscriber Line
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
eNB	e Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved UTRAN
EV-DO	Evolution Data Only
EV-DV	Evolution Data and Voice
FDD	Frequency Division Duplex
FO	Fibra Óptica
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network
GHz	Giga Hertz
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HD	High Definition
HSS	Home Subscriber Server

HTTP	Hypertext Transfer Protocol
I-CSCF	Interrogating Call Session Control Function
ICSI	IMS Communication Service Identifier
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
ISIM	IP Multimedia Service Identity Module
ITU	International Telecommunications Union
Kbps	Kilobits por segundo
Khz	Kilohertz
Km	Kilo metros
LA	Location Area
LAN	Local Area Network
LAU	Location Area Update
LMDS	Local Multipoint Distribution Service
LTE	Long Term Evolution
MAN	Metropolitan Area Network
Mbps	Megabits por segundo
ME	Mobile Equipment
MHz	Mega Hertz
MMDS	Microwave Multipoint Distribution Service
MME	Mobility Management Entity
MSC	Mobile Switching Center
MT	Mobile Terminal
NAS	Network Attached Storage
NMT	Nordic Mobile Telephone
OCS	Online Charging System
OFCS	Offline Charging System
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open System Interconnection

PC	Personal Computer
PCC	Policy and Charging Control
PCO	Protocol Configuration Option
PCRF	Policy and Charging Rules Function
P-CSCF	Proxy Call/Session Control Function
PDA	Personal Digital Assistant
PDC	Personal Digital Communicatios
P-GW	Packet Data Network Gateway
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
PS	Packet Switched
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frecuencia
S-CSCF	Serving CSCF
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SiO ₂	Dióxido de Silicio
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message Service
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
TA	Tracking Area
TACS	Total Access Communications System
TAU	Tracking Area Update
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TD-SCDMA	Time Division Synchronous CDMA
TE	Terminal Equipment
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network

VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoLGA	Voice over LTE via Generic Access
VoLTE	Voice over LTE
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave
WLAN	Wireless Local Area Network

Referencias Bibliográficas

- 3GPP, T. 36. 91. (2017a). TR36.912 Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced), 14.
- 3GPP, T. 36. 91. (2017b). TR36.913 Requirements for further advancements for E-UTRA, 14.
- Agustí Comes, R., & Bernardo Alvarez, Francisco. (2010). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Mviles*. Madrid: Fundación Vodafone España.
- Alonso Vargas, I. (2015). *Sistemas de Fibra Optica*.
- Andrews, J. G., Ghosh, A., & Muhamed, R. (2007). *Fundamentals of WiMAX: understanding broadband wireless networking*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Chomycz, Bob. (1998). *Instalaciones de Fibra Optica*. Mc Graw Hill.
- España, R. & S. (2010). LTE (Long Term Evolution): El siguiente nivel.
- IEEE Computer Society, LAN/MAN Standards Committee, IEEE Microwave Theory and Techniques Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, & IEEE-SA Standards Board. (2004). *IEEE standard for local and metropolitan area networks. Part 16, Part 16,*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers. Recuperado a partir de <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=9349>
- Inzaurrealde, M., & Isi, J. (2010). *Telefonia Celular*.

Pietrosemoli, E. (2008). *Redes inalámbricas en los países en desarrollo: una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo*. S.I.: Hacker Friendly.

Rodriguez, R., & Hernandez, P. (2005). *Telefonía móvil celular: origen, evolución, perspectivas*.

Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y redes de computadores*.

Tanaka, I., & Koshimizu, T. (2009). *CS Fallback Function for Combined LTE and 3G Circuit Switched Services*.

Tanaka, I., & Koshimizu, T. (2012). *Overview of GSMA VoLTE Profile*.

Tomasi, W. (2010). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson Educación.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Castillo Contreras, David Oswaldo** con C.C: # 092140528-8 autor del trabajo de titulación: Estudio comparativo entre redes LTE Advanced y LTE a nivel de CORE, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 25 de agosto de 2017

f. _____

Nombre: **Castillo Contreras, David Oswaldo**

C.C: 092140528-8

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio comparativo entre redes LTE Advanced y LTE a nivel de CORE		
AUTOR(ES)	Castillo Contreras, David Oswaldo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; MSc. Philco Asqui, Luis Orlando / MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	25 de agosto de 2017	No. DE PÁGINAS:	95
ÁREAS TEMÁTICAS:	Comunicaciones Inalámbricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	LTE, LTE Advanced, CS Fallback, CORE, 3G, Comunicaciones inalámbricas móviles		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo de titulación contiene un estudio y análisis de las tecnologías LTE y LTE-Advanced a nivel de CORE de voz. Mediante la metodología de investigación descriptiva, se expondrán profundamente las principales características tecnológicas de las redes LTE y LTE Advanced, haciendo un enfoque hacia la arquitectura del CORE de voz y sus principales procesos para la administración de la movilidad, llamadas originadas y llamadas terminadas. Se detallará paso a paso el mecanismo denominado CS Fallback, mediante el cual las llamadas de voz de una red LTE cursan en las redes 3G, y a través de pruebas realizadas en campo se evidenciará el escenario en el cual este mecanismo falla. Se realizará una comparación de las principales diferencias entre ambas tecnologías a nivel de CORE de voz para determinar que los problemas existentes en las redes híbridas y al mecanismo de CS Fallback no están presentes en las redes LTE Advanced nativas. Previo al despliegue de la tecnología LTE Advanced en el Ecuador, se harán ciertas recomendaciones sobre el enfoque que deben de tener las compañías proveedoras de los servicios celulares y la importancia del gobierno al momento de incentivar a la industria con la finalidad de que el país no se quede rezagado tecnológicamente.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0987171857	E-mail: dcasti81@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: mrromeropaz@yahoo.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			