



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E SCIENTIA HOMINIS SALUS "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA WI-FI CALLING EN UNA OPERADORA DE LA CIUDAD DE QUITO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

JORGE REINALDO MÉNDEZ ALMEIDA
siervojorge@gmail.com

DIRECTORA: ING. SILVIA DIANA MARTINEZ MOSQUERA, MSc.
diana.martinez.epn@gmail.com

CODIRECTOR: ING. JORGE EDUARDO CARVAJAL RODRIGUEZ, MSc.
jorge.carvajal@epn.edu.ec

Quito, agosto 2018

DECLARACIÓN

Yo, Jorge Reinaldo Méndez Almeida, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Jorge Reinaldo Méndez Almeida

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Jorge Reinaldo Méndez Almeida, bajo nuestra supervisión.

Ing. Diana Martínez, MSc.

DIRECTORA DEL PROYECTO

Ing. Jorge Carvajal, MSc.

CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Si cada canción tiene un compositor, cada libro tiene un autor, cada carro tiene un fabricante, cada pintura tiene un pintor y si cada construcción tiene un constructor, ¿No es irracional tomar esta simple lógica y concluir que, la naturaleza tiene un Creador? Gracias Dios por confiar en mí, a ti sea la gloria.

Al amor de mi vida, mi esposa, quien ha estado apoyándome y dándome ánimos todo el tiempo, ¡te amo Natalia Ruiz!

A mis padres, por todo el apoyo incondicional brindado en mi vida estudiantil, gracias por todo su amor.

A mi hermana Lisseth, por su cariño.

A la Ing. Diana Martínez por su guía y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A la Red Juvenil, por ser un manantial en medio del desierto.

A mis pastores y mentores, por guiarme, apoyarme y orar por mí.

A mis “ovejas”, gracias por permitirme ser parte de su vida.

A mis queridos amigos del colegio, por estar allí cuando los necesitaba.

A mis compañeros de la poli, por cada granito de arena que aportaron a mi formación.

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a Dios, a mi esposa Natalia y a mis padres Jorge y Carmen.

CONTENIDO

1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 REDES CELULARES.....	1
1.2.1 Primera Generación 1G	1
1.2.2 Segunda Generación 2G	1
1.2.3 Generación 2.5G	2
1.2.4 Tercera Generación 3G	3
1.2.5 Generación 3.5G	4
1.3 3GPP (3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT)	4
1.3.1 Arquitectura General de los sistemas 3GPP	4
1.4 REDES DE CUARTA GENERACIÓN 4G	6
1.4.1 Introducción	6
1.4.2 LTE (Long Term Evolution).....	6
1.4.3 Características LTE	7
1.4.4 Arquitectura de LTE.....	8
1.4.5 IMS (IP Multimedia Subsystem).....	13
1.4.6 Voz sobre LTE	16
1.4.7 LTE y redes no 3GPP.....	18
1.5 IEEE 802.11	20
1.5.1 Protocolos IEEE 802.11	20
1.6 WI-FI CALLING	21
1.6.1 Introducción	21
1.6.2 Desafíos de Voz sobre LTE (VoLTE).....	22
1.6.3 Aparición de Wi-Fi Calling	23
1.6.4 Definición de Wi-Fi Calling.....	23

1.6.5	Arquitectura y PROTOCOLOS de Wi-Fi Calling	24
1.6.6	Ampliación de la cobertura	26
1.6.7	Convergencia Fija Móvil	29
1.6.8	Aplicación en las oficinas pequeñas	29
1.6.9	Desventajas de Wi-Fi Calling.....	30
2.	CAPÍTULO II: SITUACIÓN ACTUAL	32
2.1	INTRODUCCIÓN	32
2.2	OPERADORAS DE TELEFONÍA MÓVIL EN EL ECUADOR.....	32
2.3	LÍNEAS ACTIVAS	33
2.4	USUARIOS CON <i>SMARTPHONE</i>	34
2.5	LTE EN EL ECUADOR	35
2.6	SITUACIÓN DE LAS LLAMADAS DE VOZ.....	37
2.7	COBERTURA CELULAR	37
2.7.1	Cobertura Celular en el Ecuador	38
2.7.2	Cobertura Claro Quito.....	39
2.7.3	Cobertura Movistar Quito.....	40
2.7.4	Cobertura CNT EP Quito	40
2.7.5	Problemas de Cobertura.....	42
2.8	SOLUCIONES AL PROBLEMA DE COBERTURA	43
2.8.1	Femtoceldas	43
2.8.2	Sistema de Antenas Distribuidas	44
2.8.3	Servicios OTT	46
2.9	TOPOLOGÍA DE UNA RED LTE EN EL PAÍS	47
2.9.1	Red de Acceso E-UTRAN de CNT EP	48
2.9.2	Red de Core EPC de CNT EP	48
2.9.3	Topología de la red LTE de CNT EP	51
2.9.4	Proceso de una llamada de voz en LTE de CNT EP	52

3.	CAPITULO III: FACTIBILIDAD TÉCNICA DE WI-FI CALLING	56
3.1	INTRODUCCIÓN	56
3.2	PROCESO DE UNA LLAMADA VoLTE	56
3.2.1	Procedimiento de conexión inicial.....	56
3.2.2	Procedimiento de llamada VoLTE sobre IMS	57
3.3	REQUERIMIENTOS PARA VoLTE.....	59
3.3.1	Requerimientos de los usuarios para VoLTE	59
3.3.2	Requerimientos de las operadoras celulares para VoLTE.....	60
3.4	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA WI-FI CALLING	61
3.4.1	Requerimientos de equipo de usuario	61
3.4.2	Requerimientos de la red de acceso	63
3.4.3	Requerimientos de la red troncal EPC.....	63
3.4.4	Requerimientos generales del operador móvil	64
3.5	PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WI-FI CALLING EN LA CIUDAD DE QUITO.....	65
3.5.1	Determinación del Área de Cobertura	65
3.5.2	Determinación de la cantidad de usuarios.....	66
3.5.3	Calidad de Servicio.....	68
3.5.4	Determinación de los elementos de la red.....	69
3.5.5	Procedimientos en Wi-Fi Calling.....	75
3.5.6	Equipamiento del diseño	86
3.5.7	Análisis y selección de la mejor alternativa	87
3.6	EVALUACIÓN DE WI-FI CALLING VERSUS OTRAS SOLUCIONES....	88
3.6.1	Wi-Fi Calling vs. Femtoceldas	88
3.6.2	Wi-Fi Calling vs. Sistema de Antenas Distribuidas	89
3.6.3	Wi-Fi Calling vs. <i>Over The Top</i>	89
4.	CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91

4.1	CONCLUSIONES.....	91
4.2	RECOMENDACIONES	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Arquitectura de alto nivel de los sistemas 3GPP [8].....	5
Figura 1.2 Arquitectura del sistema LTE [8]	8
Figura 1.3 Red de Acceso E-UTRAN [8].....	10
Figura 1.4 Arquitectura básica de la EPC [8].....	11
Figura 1.5 Modelo de provisión de servicios en base a IMS [8]	14
Figura 1.6 Arquitectura simplificada de IMS [8].....	15
Figura 1.7 Escenario de interworking entre LTE y Wi-Fi. [8]	19
Figura 1.8 Arquitectura Wi-fi Calling [11].....	24
Figura 1.9 Arquitectura Wi-fi Calling [9].....	25
Figura 1.10 Ampliación de la cobertura [9].....	27
Figura 2.1 Distribución Telefonía Móvil en el Ecuador [14]	33
Figura 2.2 Evolución: Líneas Activas – Densidad [14]	34
Figura 2.3 Evolución de usuarios con teléfono inteligente [16].....	35
Figura 2.4 Crecimiento LTE en Ecuador [15]	36
Figura 2.5 Estadística de las llamadas celulares [49].....	37
Figura 2.6 Cobertura Móvil en el Ecuador [17].....	38
Figura 2.7 Cobertura CLARO [17].....	39
Figura 2.8 Cobertura MOVISTAR [17].....	40
Figura 2.9 Cobertura CNT [17].....	41
Figura 2.10 Cobertura Centro de Quito [17].....	42
Figura 2.11 Arquitectura Femtocelda [19]	43
Figura 2.12 DAS en edificio [19].....	44
Figura 2.13 Componentes DAS [22].....	45
Figura 2.14 Aplicaciones OTT [24].....	46
Figura 2.15 Topología general de la Red Movil LTE de CNT [26]	47
Figura 2.16 Opciones de Implementación EPC [8].....	49
Figura 2.17 Equipos EPC [26].....	50
Figura 2.18 Red LTE 4G de CNT [27].....	51
Figura 2.19 Esquema general de CSFB [27].....	53
Figura 2.20 Procedimiento llamada de voz con CSFB [27].....	55

Figura 3.1 Flujo de la llamada en VoLTE sobre IMS [27]	59
Figura 3.2 Arquitectura de equipo de usuario [13].....	61
Figura 3.3 Configuración nativa de Wi-Fi Calling [47]	62
Figura 3.4 Mapa de la ciudad de Quito [48]	65
Figura 3.5 Crecimiento usuarios LTE de CNT	67
Figura 3.6 Diagrama general del core IMS [27].....	70
Figura 3.7 Arquitectura de red Wi-Fi Calling.....	74
Figura 3.8 Procedimiento de registro en Wi-Fi Calling [8]	79
Figura 3.9 Procedimiento general handover Wi-Fi y LTE [51].....	82
Figura 3.10 Procedimiento general handover LTE y Wi-Fi [51].....	83
Figura 3.11 Restricciones de <i>roaming</i> particulares [51]	84
Figura 3.12 Restricciones de <i>roaming</i> globales [51].....	85
Figura 3.13 ePDG modelo UGW9811 [52]	86
Figura 3.14 ePDG modelo ASR 5000 [53]	86
Figura 3.15 3GPP AAA modelo UIM [54]	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características Técnicas LTE [12].....	7
Tabla 1.2 Protocolos IEEE 802.11 [7]	21
Tabla 2.1 Distribución de LTE en las Operadoras [15].....	36
Tabla 2.2 Ubicación interfaces de EPC [27].....	52
Tabla 3.1 Evolución Usuarios LTE [15]	66
Tabla 3.2 Estimación de crecimiento.....	68
Tabla 3.3 Valores de QCI estandarizados [8].....	69
Tabla 3.4 Entidades a implementar	75
Tabla 3.5 Interfaces de Wi-Fi Calling	75
Tabla 3.6 Equipamiento seleccionado.....	88

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realiza un estudio acerca de la factibilidad técnica para la implementación del servicio de Wi-Fi Calling en una operadora celular de la ciudad de Quito. Wi-Fi Calling es un servicio que puede ofrecer las compañías de telefonía celular, que faculta a los usuarios poder realizar llamadas de voz, e inclusive enviar mensajes de texto desde sus teléfonos inteligentes utilizando una red Wi-Fi en lugar de la tradicional conexión telefónica. Permitiendo una extensión de la señal de cobertura celular, en lugares en donde los niveles de señal no son los adecuados para que la llamada se realice con normalidad.

En el primer capítulo se describen los diferentes tipos de tecnologías celulares desde sus inicios hasta la actualidad, para lo cual se realiza una amplia descripción de la tecnología celular de cuarta generación Long Term Evolution (LTE). Se expone los diferentes protocolos de la tecnología inalámbrica Wi-Fi, y especialmente se investiga los fundamentos teóricos de la tecnología Wi-Fi Calling, se presenta sus diferentes características, ventajas, desventajas, protocolos y requisitos para su funcionamiento.

En el segundo capítulo se analiza el estado actual de las operadoras de telefonía móvil, en especial al servicio de LTE en el país, se presenta detalles como el número de abonados y usuarios, número de líneas activas, porcentajes de llamadas caídas. Adicionalmente se analiza la cobertura y alcance de la señal celular de una operadora celular en la ciudad de Quito. Finalmente se describe la topología de la red LTE de una operadora móvil de la ciudad de Quito, y se muestra el procedimiento actual de realización de una llamada en LTE.

En el tercer capítulo se determinan los requisitos técnicos necesarios para poder implementar Wi-Fi Calling en una operadora, en donde se analiza el proceso de realización de una llamada de Voz sobre LTE. Se determina en qué sección de la red troncal EPC se debe realizar los cambios para que Wi-Fi Calling funcione correctamente. Posteriormente se realiza una propuesta para la implementación de Wi-Fi Calling en una operadora móvil de la ciudad de Quito. Finalmente se

analiza los resultados obtenidos en el estudio de factibilidad y se compara con otras alternativas de solución diferentes a Wi-Fi Calling.

En el cuarto capítulo se presenta las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

PRESENTACIÓN

Las redes Wi-Fi se las ha utilizado principalmente para transportar datos, aun cuando los teléfonos inteligentes tuvieron la posibilidad de conectarse a las mismas. Lo que surgía el inconveniente de no poder transportar lo más importante en los servicios celulares, la voz. Por lo que, las redes Wi-Fi eran incapaces de cubrir los huecos que deja la cobertura celular de una determinada operadora en ciertos lugares en donde el nivel de intensidad de la señal celular, no es el adecuado.

Aunque, posteriormente a través de los teléfonos inteligentes se logró tener acceso a realizar llamadas de voz por medio de la instalación y configuración de aplicaciones, las mismas todavía no brindan una satisfacción total de los usuarios, ya que el proceso para el usuario no es totalmente transparente, y además condiciona a que tanto el emisor como el receptor tengan configurada la misma aplicación, lo que imposibilita, por ejemplo, las llamadas entre un teléfono celular y un teléfono fijo.

Por lo que, hoy en día, se puede lograr la transmisión de llamadas de voz a través de Wi-fi Calling, presentándose como una alternativa para usuarios que poseen teléfonos inteligentes, debido a la problemática que se tiene con respecto a la baja señal de cobertura en ciertos lugares *indoor*, por lo que se pretende presentar una solución que sea transparente para el usuario, con la finalidad de que los índices de llamadas fallidas y caídas se reduzca considerablemente. Y, adicionalmente, sin importar si el emisor o el receptor es un teléfono fijo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza una descripción del desarrollo de las redes celulares, se muestra las principales características de LTE y sus componentes, además se presentan los fundamentos técnicos de la tecnología Wi-Fi Calling.

1.2 REDES CELULARES

La telefonía móvil ha tenido grandes avances desde su aparición, en parte debido al desarrollo de las tecnologías celulares, las cuales han permitido realizar llamadas de voz, envío de mensajes de texto, navegación *web*, video llamadas, entre otros beneficios al usuario.

Las redes celulares han evolucionado a través del tiempo, atravesando varias etapas o ciclos, categorizadas por generaciones, con el fin de separar una de la otra. Las generaciones son 1G, 2G, 2.5G, 3G, 3.5G y 4G, las cuáles se describirán a continuación [1].

1.2.1 PRIMERA GENERACIÓN 1G

Aparece en el año de 1979, se caracteriza principalmente por ser de tipo analógica y únicamente para voz. Su principal sistema es AMPS (Advance Mobile Phone System) el cual presenta una baja calidad de los enlaces de voz, transferencia entre celdas bastante imprecisas, bajas velocidades y problemas de seguridad. Usaba modulación por frecuencia para la voz, además de la técnica FDMA (Frequency Divison Multiple Access) para acceso al medio [1] [4].

1.2.2 SEGUNDA GENERACIÓN 2G

Realiza su entrada a inicios de los años '90, caracterizada principalmente por ser de tipo digital, a diferencia de su antecesor que era analógica.

Presenta mayores velocidades de transmisión, mejoras en la seguridad, la posibilidad de enviar mensajes de texto (SMS) y el servicio de *roaming*¹, entre otros servicios [1] [4].

Las principales tecnologías de esta generación son [4]:

- CDMA (Code Division Multiple Access). Cada llamada se codifica con una única clave, todas las llamadas se transmiten simultáneamente usando la misma frecuencia y al mismo tiempo.
- TDMA (Time Division Multiple Access). Permite la transmisión de las llamadas utilizando un mismo canal, pero en intervalos de tiempo diferentes. Las conversaciones no están codificadas.
- GSM (Global System for Mobile Communications). Funciona con principios similares a TDMA, utiliza las bandas de 800 Mhz y 1900 MHz y emplea la modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) para su funcionamiento. Permite velocidades de 9.6 Kbps. Aparecen por primera vez las tarjetas SIM² popularmente conocidas como chips.

1.2.3 GENERACIÓN 2.5G

Esta generación es una especie de transición hacia la siguiente, presenta características mejoradas y extendidas en relación a su predecesora, como por ejemplo una mayor velocidad y mayor ancho de banda, permitiendo el envío de mensajes multimedia MMS (Multimedia Messaging Service), acceso a Internet mediante WAP (Wireless Application Protocol) y correo electrónico [1] [4].

Hace su aparición en el año 2001, y las principales tecnologías móviles son las siguientes:

¹ Roaming: Tecnología que permite a los usuarios seguir utilizando sus servicios de la red celular cuando se encuentran fuera de la zona geográfica en la que contrataron el servicio.

² SIM: Subscriber Identity Module.

- GPRS (General Packet Radio System). Es una extensión de GSM para la transmisión de datos por paquetes. Permite velocidades de datos desde 56 Kbps³ hasta 114 Kbps [4].
- EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution). Conocida como EGPRS (Enhanced GPRS), presenta tasas de capacidad tres veces mayores que GPRS y un mayor rendimiento, sin embargo, con menor cobertura.
- HSCSD (High Speed Circuit Switched Data). Mejora el sistema de transmisión de datos de GSM. Presenta 57.6 Kbps de velocidad de transmisión gracias a que asigna hasta cuatro canales temporales al usuario y mejora en la corrección de errores.

1.2.4 TERCERA GENERACIÓN 3G

Realiza su aparición en el año 2002, ofreciendo mayores velocidades de transmisión de datos y conectividad multimedia, lo que permite un acceso más rápido a internet, realización de video llamadas y difusión de video. Se puede realizar una llamada de voz y transmitir datos de manera simultánea [1] [4].

Las redes 3G ofrecen velocidades de hasta 384 Kbps permitiendo una mayor movilidad a los usuarios, quienes pueden desplazarse hasta una rapidez de 120 Km/h alcanzando una velocidad máxima de 2 Mbps⁴ en exteriores [1] [4].

Las principales tecnologías usadas en esta etapa son:

- UMTS (Universal Mobile Telephone Service). Tecnología de datos de alta velocidad, presenta una arquitectura por capas, de servicio, de control y de conectividad; compatible con redes EDGE y GPRS. Utiliza la interfaz de radio W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) [4].
- CDMA 2000-1X. Utiliza CDMA como técnica de acceso al medio, soportando velocidades de hasta 2 Mbps.

³ Kbps: Kilobits por segundo.

⁴ Mbps: Megabits por segundo.

1.2.5 GENERACIÓN 3.5G

Lanzada a finales del año 2008, esta generación es una optimización de su predecesora. La principal tecnología usada es HSPA (High-Speed Packet Access) que amplía y mejora el rendimiento de las redes de tercera generación utilizando protocolos WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), su velocidad de transmisión llega hasta los 14 Mbps. Posteriormente apareció HSPA+, la misma que ofrece velocidades de bajada de hasta 168 Mbps y velocidad de subida hasta 23 Mbps [4]. Siendo una antesala para las redes de cuarta generación.

Sin embargo, antes de revisar las redes 4G, se analizará el proyecto 3GPP, el cual surge luego de la aparición de GSM, publicando documentos llamados *Release* respecto a la estandarización de las diferentes tecnologías celulares, en especial de su arquitectura [5].

1.3 3GPP (3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT)

El Proyecto de Asociación para la Tercera Generación (3GPP) es una organización mundial de comunicaciones inalámbricas que desarrolla estándares o especificaciones en colaboración para arquitecturas de radiocomunicaciones, redes centrales y servicios [5].

A continuación se describe la arquitectura de los sistemas 3GPP.

1.3.1 ARQUITECTURA GENERAL DE LOS SISTEMAS 3GPP

Los sistemas 3GPP están compuestos por tres componentes principales: el Equipo de Usuario, la Red de Acceso y la Red Troncal como se puede observar en la Figura 1.1.

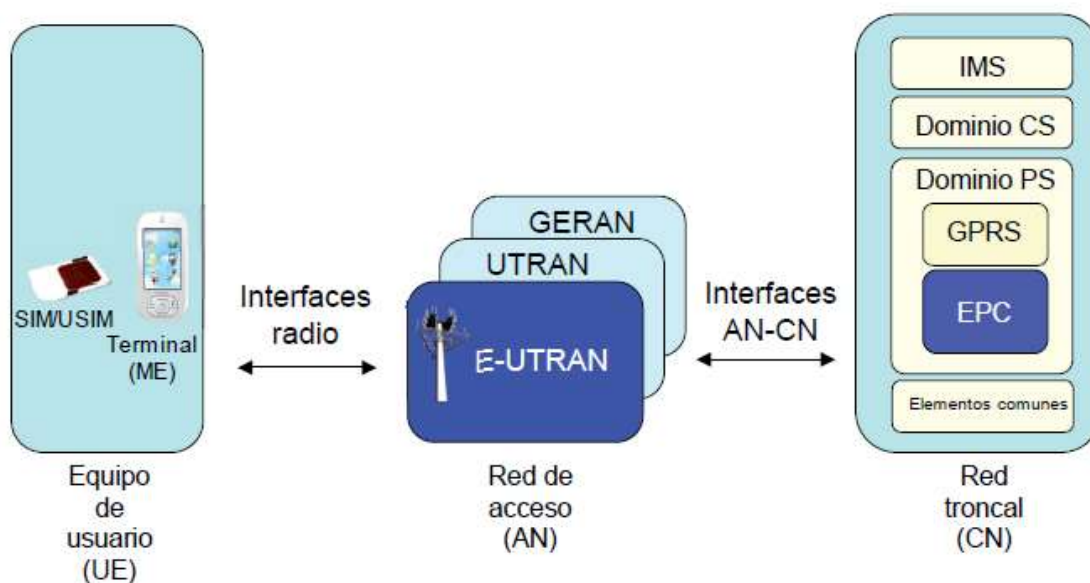


Figura 1.1 Arquitectura de alto nivel de los sistemas 3GPP [8]

Cabe destacar que en los sistemas 3GPP el equipo de usuario se compone de dos elementos básicos:

- Dispositivo móvil o terminal denominado *Mobile Equipment (ME)*.
- Tarjeta SIM en sistemas GSM y USIM (Universal SIM) en los sistemas UMTS y LTE⁵, la cual es la encargada de almacenar la información y sostener los procedimientos acerca de la suscripción del usuario a los servicios proporcionados por la red.

Mediante esta separación entre el terminal y la tarjeta se concede que un usuario pueda utilizar diferentes terminales con la misma SIM para acceder a la red [5].

Referente a la red de acceso, 3GPP ha especificado tres tipos de redes de acceso diferentes [5]:

- GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network).
- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network).
- E-UTRAN (Evolved UTRAN).

Las redes de acceso GERAN y UTRAN forman parte del sistema 3G UMTS mientras que E-UTRAN es la red de acceso para el sistema LTE. Cada red de acceso define su propia interfaz de radio para la comunicación con los equipos de

⁵ LTE: Long Term Evolution

usuario; GERAN utiliza un acceso basado en TDMA, mientras que UTRAN utiliza WCDMA y la red de acceso E-UTRAN lo realiza a través de la tecnología OFDMA⁶.

Además, la interconexión de las redes de acceso con la red troncal se realiza a través de interfaces AN-CN⁷ específicas [5].

Respecto a la red troncal o de *core*, ésta se divide de la siguiente manera:

- Dominio de circuitos (Circuit Switched ; CS Domain).
- Dominio de paquetes (Packet Switched; PS Domain).
- Subsistema IP Multimedia (IP Multimedia Subsystem; IMS).

1.4 REDES DE CUARTA GENERACIÓN 4G

1.4.1 INTRODUCCIÓN

Las redes de cuarta generación producirían grandes avances en las comunicaciones celulares, ya que ofrecen altas velocidades de transmisión de datos y mejor calidad de servicio. Su principal tecnología es la que se conoce como LTE, la cual se espera en un futuro reemplace a las redes GSM y UMTS de manera definitiva. El organismo 3GPP comenzó a trabajar en LTE en el año 2004, terminando en 2009 con una especificación completa en la *Release 8* de 3GPP [2].

1.4.2 LTE (LONG TERM EVOLUTION)

LTE o Evolución a Largo Plazo es la tecnología de cuarta generación desarrollada por el 3GPP. En su totalidad está basada en *Internet Protocol* (IP), ya que una vez que los datos pasan la celda telefónica todo es IP, siendo la primera arquitectura en transportar todos los datos por medio de la conmutación de paquetes. LTE prioriza el tráfico de datos permitiendo una mayor velocidad de los mismos. Además de un fortalecimiento de la calidad de servicio (QoS) y del *performance* de la red [2].

⁶ OFDMA: Orthogonal Frequency-Division Multiple Access

⁷ AN-CN: Access Network – Core Network

1.4.3 CARACTERÍSTICAS LTE

En la Tabla 1.1 se pueden observar las características técnicas más representativas de LTE, tales como las velocidades de bajada y subida, latencia, los métodos de acceso al medio, la amplitud del ancho de banda, y los tipos de modulación.

Tabla 1.1 Características Técnicas LTE [12]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS LTE	
Velocidad de Bajada	326 Mbps
Velocidad de Subida	86,4 Mbps
Latencia	10 ms
Método Acceso	OFDMA/SC-FDMA
Ancho de Banda	1,4 – 20 MHz
Tipos de Modulación	QPSK - 16 QAM – 64 QAM
Release 3GPP	Release 8

Adicionalmente, otras características representativas de LTE, se las describe a continuación [12]:

- Arquitectura IP plana, simple y con pocos elementos.
 - Todos los servicios en modo paquete.
 - No más circuitos, ni centrales, ni red de señalización SS7⁸.
- Transporte de datos de usuario mediante portadoras EPS⁹.
 - Circuitos virtuales implementados mediante túneles IP.
 - Soporte de calidad de servicio crucial.
- Procedimientos similares a servicios modo paquete de 2G/3G.
 - Gestión de recursos radio, de movilidad y de sesiones.

⁸ SS7: Signalling System No. 7

⁹ EPS: Enhanced Packet System

- Señalización basada en DIAMETER¹⁰ en vez de MAP/SS7¹¹.
- Seguridad mejorada mediante uso de jerarquía de claves.

1.4.4 ARQUITECTURA DE LTE

Como ya se ha descrito, en 3GPP, una red de telefonía celular debe tener al menos tres componentes generales:

- Equipo de Usuario (User Equipment; UE).
- Red de Acceso (Acces Network; AN).
- Red Troncal (Core Network; CN).

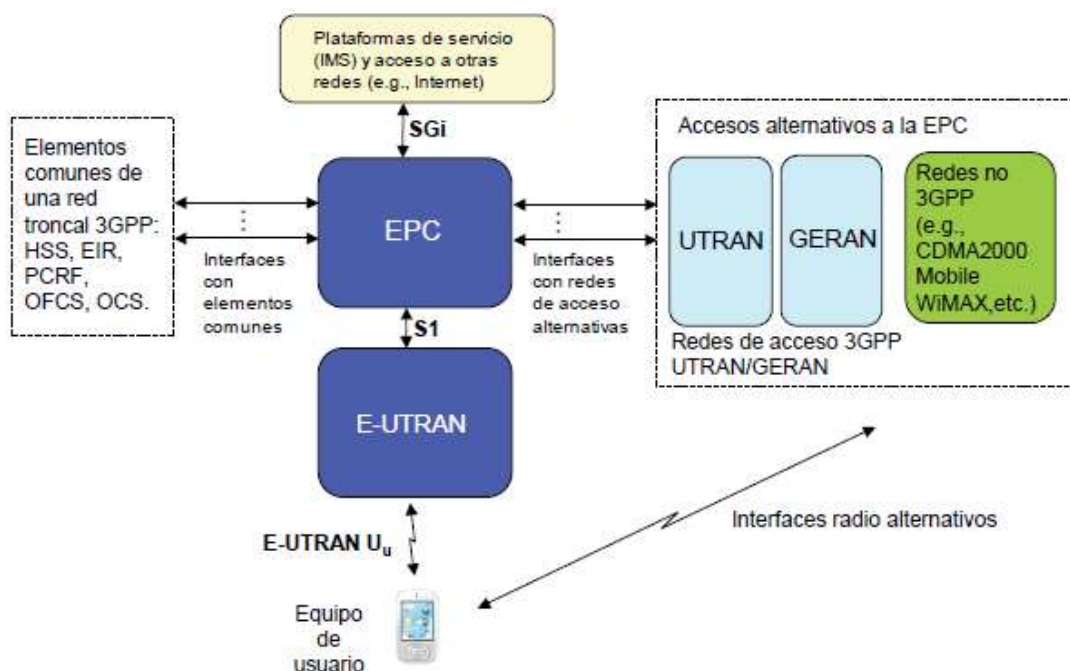


Figura 1.2 Arquitectura del sistema LTE [8]

Como se observa en la Figura 1.2 los principales elementos de la arquitectura LTE, son tres y consisten en:

- La red de acceso denominada E-UTRAN (Evolved Terrestrial Radio Access Network).
- La red troncal o de core llamada EPC (Evolved Packet Core).
- La evolución del subsistema IMS (IP Multimedia Subsystem).

¹⁰ DIAMETER: Protocolo de Red de Autenticación.

¹¹ MAP/SS7: Mobile Application Part de SS7.

Los distintos componentes han sido diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicaciones mediante mecanismos de conmutación de paquetes. La EPC se convierte en una versión evolucionada del sistema GPRS [8].

Una característica fundamental para este estudio es que el sistema LTE además de permitir el acceso a sus servicios a través de UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y GERAN (GSM EDGE Radio Access Network), contempla la utilización de otras redes de acceso que no pertenecen a la familia 3GPP como CDMA2000, Mobile WiMAX y redes Wi-Fi.

La interconexión de las redes de acceso alternativas, tanto las que son de 3GPP como las que no, se soporta a través de un conjunto de interfaces de la EPC.

La infraestructura de una red LTE también integra otros elementos propios de las redes IP tales como *routers*, servidores DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) para la configuración automática de las direcciones IP de los equipos de la red LTE y servidores DNS (Domain Name Server) para asociar los nombres de los equipos con sus direcciones IP [8].

1.4.4.1 E-UTRAN (Evolved Terrestrial Radio Access Network)

La red de acceso E-UTRAN está compuesta por varios nodos llamados evolved Node B (eNB), los mismos que proporcionan la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y el core de red EPC. El eNB integra todas las funciones de la red de acceso [8].

Un eNB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces:

- E-UTRAN Uu; entre el equipo de usuario y eNB.
- S1; entre el eNB y el EPC.
- X2; entre eNBs.

Entre las funciones del eNB se tienen las siguientes:

- Gestión de los recursos de radio.
- Administración de handover.¹²
- Control de scheduling.¹³
- Control de interferencias entre estaciones base.

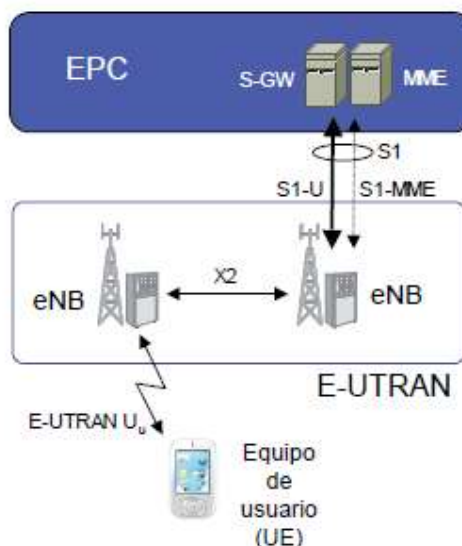


Figura 1.3 Red de Acceso E-UTRAN [8]

En la Figura 1.3 se puede observar los elementos de la red de acceso E-UTRAN antes mencionados, así como también las distintas interfaces para su funcionamiento.

1.4.4.2 EPC (Evolved Packet Core)

La EPC brinda un servicio de conectividad IP a través de una arquitectura de red optimizada que permite aprovechar al máximo las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso EUTRAN. Además, como se mencionó anteriormente, brinda la posibilidad de acceder a sus servicios a través de otras redes de acceso tanto 3GPP (UTRAN y GERAN) como fuera del ámbito del 3GPP (cdma2000, WiMAX, Wi-Fi) [8].

Como se puede observar en la Figura 1.4, la red troncal EPC está conformada principalmente por las siguientes entidades:

¹² Handover: Traspaso de una celda a otra sin perder el servicio.

¹³ Scheduling: Mecanismo de gestión para la asignación de los *slots* de cada trama a los distintos usuarios.

- Mobility Management Entity (MME).
- Serving Gateway (S-GW).
- Packet Data Network Gateway (P-GW).
- Home Subscriber Server (HSS).

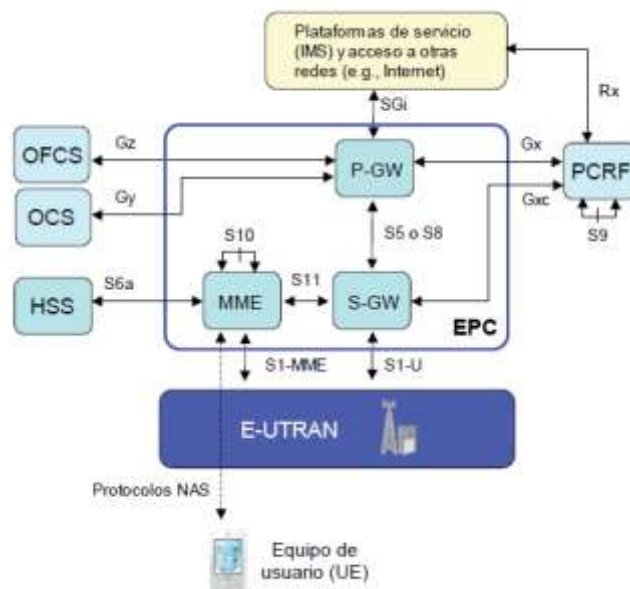


Figura 1.4 Arquitectura básica de la EPC [8]

1.4.4.3 MME (Mobility Management Entity)

La entidad MME constituye el principal componente del plano de control de LTE para officar el acceso de los equipos de usuario a través de E-UTRAN. Es decir, que todo equipo de usuario que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN, tiene una entidad MME asignada [8].

Las principales funciones [8] de la entidad MME son las siguientes:

- Autenticación y autorización del acceso de los usuarios a través de E-UTRAN.
- Gestión de los servicios portadores EPS.
- Gestión de movilidad de los usuarios en modo *idle*¹⁴.
- Señalización para el soporte de movilidad entre EPS y redes 3GPP.
- Terminación de los protocolos de señalización NAS (*Non Access Stratum*).

¹⁴ Modo Idle: Estado en que el equipo de usuario no posee una conexión activa con la red, y la transmisión de datos requerirá un restablecimiento de una conexión de control.

1.4.4.4 S-GW (Serving Gateway)

El S-GW actúa como una puerta de enlace entre la red de acceso E-UTRAN y la red de *core* EPC. Del mismo modo ocurre con la entidad MME, un usuario de la red LTE dispone de una entidad S-GW asignada en la red troncal EPC a través de la cual pasa su plano de usuario, es decir, la información de los servicios [8].

Entre las principales funciones [8] del S-GW podemos destacar:

- Brinda un soporte en la red troncal EPC referente a la movilidad del terminal entre eNBs.
- La funcionalidad de soporte, también se aplica a la gestión de movilidad con las otras redes de acceso 3GPP como son UTRAN y GERAN.
- Proporciona un almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo *idle*.
- Enrutamiento del tráfico de usuario.

1.4.4.5 P-GW (PDN Gateway)

La P-GW es la entidad que está encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas PDN¹⁵ como se las denomina en los *release* de 3GPP. Mediante la entidad P-GW, un usuario de LTE puede aparecer como visible en la red externa. De este modo todos los paquetes IP que son generados por el usuario, van hacia la red externa a través del P-GW y viceversa, todo el tráfico IP dirigido hacia un equipo de usuario LTE que proviene de una red externa va a ser dirigido hasta el P-GW [8].

Sus principales funciones [8] son:

- Aplicación de las reglas de uso de la red y control de tarificación¹⁶ a los servicios portadores que tenga establecidos el equipo de usuario.
- La asignación de la dirección IP de un equipo de usuario utilizado en una determinada red externa se realiza desde la compuerta P-GW correspondiente.

¹⁵ PDN: Packet Data Network

¹⁶ Tarificación: Proceso mediante el cual se determina el costo de los servicios de comunicación, en este caso, el de las llamadas de voz.

- La compuerta P-GW actúa como soporte para la gestión de movilidad entre LTE y redes no 3GPP.
- El tráfico IP que atraviesa por la compuerta P-GW es procesado a través de varios filtros que asocian los paquetes IP con el usuario y servicio portador correspondiente.

1.4.4.6 HSS (Home Subscriber Server)

La entidad HSS es la principal base de datos del sistema 3GPP en donde se almacena la información de los usuarios de la red. Dicha información es respecto a su perfil de suscripción, así como también información que necesita para la operación de la red. Las diferentes entidades de red pueden consultar y modificar los datos contenidos en HSS con el fin de proporcionar los servicios de conectividad o servicios finales [8].

1.4.4.7 UE (User Equipment)

El equipo de usuario, también conocido como teléfono móvil o celular, es el que permite a los usuarios del sistema LTE acceder a los servicios de la red LTE por medio de la interfaz radio. La arquitectura de funcionamiento de un equipo de usuario en el sistema LTE es la misma que arquitectura adaptada para UMTS de los sistemas GSM [8].

El equipo de usuario (*User Equipment*, UE) contiene dos elementos básicos: un módulo de suscripción del usuario (SIM/USIM) y el equipo móvil propiamente dicho (*Mobile Equipment*, ME) [8].

1.4.5 IMS (IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM)

El subsistema IMS otorga los diferentes mecanismos de control necesarios para brindar servicios de comunicación multimedia IP a los usuarios de la red LTE. El subsistema IMS posee una infraestructura constituida por una serie de elementos tales como servidores, bases de datos, *gateways*, los cuales se comunican entre sí a través de diferentes protocolos, principalmente estándares del IETF¹⁷, y que permiten gestionar la provisión de servicios tales como voz y video sobre IP,

¹⁷ IETF: Internet Engineering Task Force

mensajería instantánea, servicios de llamadas en grupo, entre otros. El acceso de los equipos de usuario a dicha infraestructura se realiza a través de los servicios de conectividad IP que proporciona la red LTE. El modelo de provisión de servicios respecto al subsistema IMS se compone de tres capas: Transporte, Control y Aplicación [8]. Como se ilustra en la Figura 1.5.

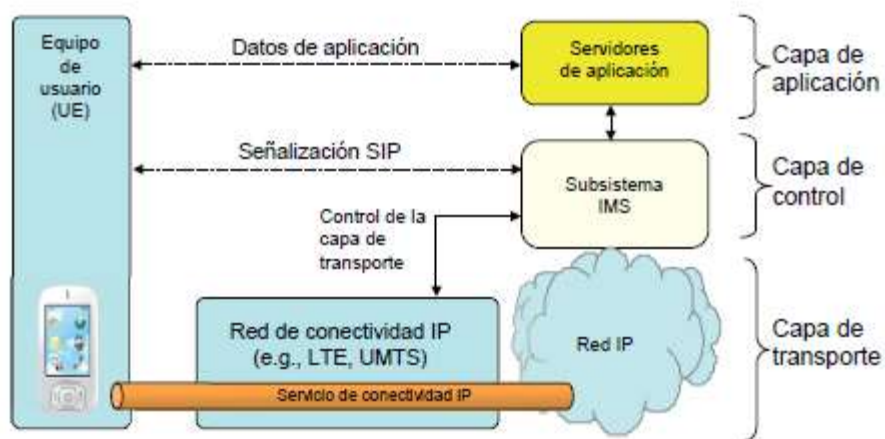


Figura 1.5 Modelo de provisión de servicios en base a IMS [8]

El establecimiento y liberación de sesiones a través del IMS se basa en el protocolo de señalización. SIP¹⁸ complementado con una serie de extensiones definidas por el 3GPP.

SIP es el protocolo utilizado para la interacción con IMS, el mismo que se desarrolló inicialmente para controlar el establecimiento y liberación de sesiones multimedia como telefonía, videoconferencia, entre otros, sobre redes IP entre dos o más participantes. Además de SIP, en el IMS se emplean otros protocolos de señalización, tales como Diameter. [8]

El protocolo Diameter es un perfeccionamiento del protocolo RADIUS¹⁹, el cual fue creado para sustentar funciones AAA²⁰. Diameter mejora las prestaciones de su antecesor, en lo referente a la seguridad, robustez a pérdidas de mensajes, así como también en su extensibilidad que permite el uso del protocolo para

¹⁸ SIP: Session Initiation Protocol

¹⁹ RADIUS: Remote Authentication Dial-In User Service

²⁰ AAA: Authentication, Authorization and Accounting

aplicaciones fuera del ámbito de AAA. Diameter se utiliza en un elevado número de interfaces del sistema LTE. [8]

El subsistema IMS contempla además mecanismos que permiten la interoperabilidad de los servicios IMS con servicios equivalentes ofrecidos a través de redes de conmutación de circuitos como la red telefónica convencional [8].

El núcleo del subsistema IMS lo forman las entidades denominadas CSCF (*Call Session Control Function*). Básicamente, se trata de servidores SIP que proporcionan las siguientes funciones [8]:

- El *Serving CSCF* (S-CSCF) actúa como el nodo central de la señalización en sesiones IMS.
- El *Proxy CSCF* (P-CSCF) es un servidor SIP que actúa como la puerta de entrada al subsistema IMS desde la red de conectividad IP.
- El *Interrogating CSCF* (I-CSCF) es un servidor SIP que actúa como puerta de entrada de la señalización SIP proveniente de redes externas.

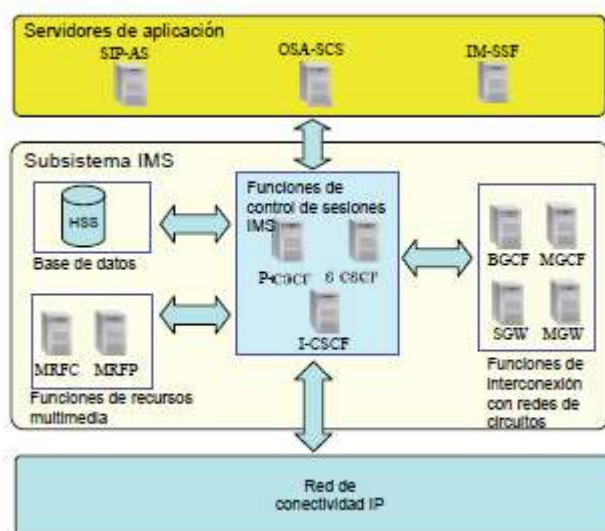


Figura 1.6 Arquitectura simplificada de IMS [8]

Se puede evidenciar en la Figura 1.6 los diferentes elementos que componen el subsistema IMS en donde se destaca las entidades que pertenecen a las

funciones de recursos multimedia, a las funciones de control de sesiones y a las funciones de interconexión de circuitos.

1.4.6 VOZ SOBRE LTE

La operadora móvil que desee ofrecer servicios de voz en 4G, necesariamente se enfrenta a un cambio de arquitectura en su red, la transición debe ser adecuada, tomando en cuenta que LTE es una plataforma basada totalmente en IP y las redes tradicionales de voz funcionan sobre conmutación de circuitos.

Actualmente existen tres formas principales de ofrecer llamadas de voz a un dispositivo móvil que funcione en LTE: *Circuit Switched Fallback*, *Over The Top* y mediante IP Multimedia Subsystem, los cuales se describirán a continuación.

1.4.6.1 Circuit Switched Fallback (CSFB)

Solución estandarizada por el 3GPP para poder ofrecer voz en las primeras etapas de establecimiento de LTE. Los datos se transmiten normalmente sin problemas a través de LTE, pero la voz no. Por lo que, mediante CSFB el terminal es redirigido a la red 2G/3G para realizar o recibir una llamada de voz, mientras dura la llamada, ésta “baja” y permanece en el dominio de la conmutación de circuitos. Lo que produce continuos *handovers* entre conmutación de paquetes²¹ y conmutación de circuitos²² [28].

Dado que CSFB solamente brinda los servicios de voz y SMS tradicionales, se lo considera como una fase intermedia o transitoria en la evolución hacia servicios de comunicaciones completamente multimedia como LTE [28].

1.4.6.2 Over The Top (OTT)

OTT se les denomina a las aplicaciones que se pueden instalar en los diferentes dispositivos móviles fácilmente, y en su mayoría de forma gratuita, pudiendo establecer llamadas de voz y video llamadas de manera gratuita o a su vez a un costo considerablemente bajo, como por ejemplo; Skype, Viber, WhatsApp,

²¹ Conmutación de paquetes: La información es ensamblada en paquetes, los cuales son transmitidos individualmente y siguiendo diferentes rutas hacia su destino, en donde son ensamblados de nuevo.

²² Conmutación de circuitos: Tipo de comunicación que establece un canal dedicado o circuito durante la duración de una sesión.

Google Voice, entre otras. La calidad de servicio brindado por las OTT no está garantizada, y es muy difícil ofrecer una experiencia de usuario satisfactoria, principalmente debido a la ausencia de un mecanismo de *handover* hacia la red de Circuitos Conmutados [28].

1.4.6.3 VoLTE sobre IMS

VoLTE se basa en las normas 3GPP existentes, básicamente es un servicio que está fundamentado en el sistema IMS (*IP Multimedia Subsystem*) MMTel²³, el cual, trata de establecer las mismas funcionalidades que ofrecían las redes 2G/3G de conmutación de circuitos, es decir que cumpla con los requisitos mínimos de las redes y servicios con el fin de proporcionar un servicio de alta calidad e interoperabilidad. Por lo que VoLTE brinda los servicios tradicionales con mejor calidad y tiene la posibilidad de crear nuevos servicios avanzados que facilitan la comunicación multimedia y la colaboración en tiempo real [28] [29].

Con VoLTE sobre IMS, los operadores pueden aprovechar las capacidades más amplias de las redes basadas en IP para ofrecer servicios de banda ancha móvil de alta capacidad y lanzar servicios de comunicación interoperables. VoLTE es una base para una experiencia de usuario moderna, incluyendo servicios como voz HD²⁴, video llamadas, conferencias HD, mensajería IP y gestión de contactos, así como nuevos servicios innovadores. Todo disponible en cualquier lugar, en cualquier dispositivo [29].

Algunas de características que posee VoLTE sobre IMS son las siguientes:

- Manejo de Calidad de Servicio (Quality of Service, QoS) para garantizar un servicio MMTel de alto nivel.
- Movilidad basada en procedimientos internos del EPC, los cuales son transparentes para las capas de aplicación.
- Características de radio avanzadas como el modo LTE DRX²⁵, para el ahorro de batería del dispositivo móvil.

²³ MMTel: Multimedia Telephony (Telefonía Multimedia), es el estándar de IMS.

²⁴ HD: High Definition

²⁵ DRX: Discontinuous Reception

- Técnicas de compresión para mejorar capacidad y cobertura como RoHC²⁶.

1.4.6.4 Single Radio Voice Call (SRVCC)

SRVCC es una técnica de transferencia de llamadas (*handover*), de manera simplificada y confiable, cuando un usuario LTE tiene una sesión de voz activa en IMS y se está moviendo a áreas sin cobertura LTE, pero con la cobertura heredada de 2G / 3G. Permitiendo que la llamada no se interrumpa sino que se transfiera al dominio de Conmutación de Circuitos de las redes heredadas. Este mecanismo emplea una sola tecnología de radio con el propósito de salvaguardar la batería del equipo móvil [30].

1.4.7 LTE Y REDES NO 3GPP

LTE ha sido diseñado para soportar que su red de acceso E-UTRAN coexista con otras redes de acceso radio, las que se conoce como redes heterogéneas. Es decir, el servicio de conectividad IP de la red troncal EPC puede ofrecerse también a través de las redes de acceso 3GPP anteriores a LTE, como son, UTRAN y GERAN. La interconexión de estas redes de acceso a una red LTE se realiza a través de interfaces específicas con la nueva red troncal EPC de forma que se garantiza la continuidad de los servicios cuando los terminales cambian de red de acceso. Además vale destacar que LTE permite utilizar redes de acceso no estandarizadas por 3GPP, conocidas como redes no 3GPP, para la provisión de los servicios de la red troncal EPC [8].

Para poder acceder a la red troncal de LTE mediante una red no 3GPP, se debe considerar que la infraestructura de LTE sustenta las funciones relacionadas con la gestión de usuarios como son almacenamiento y acceso a los datos de subscripción, así como también con las funciones de control de acceso, de control de QoS, tarificación del servicio de conectividad, y además del soporte de movilidad entre las diferentes redes de acceso, las mismas que deben obligatoriamente proporcionar un mecanismo de transferencia de paquetes IP [8].

²⁶ RoHC: Robust Header Compression, técnica de compresión de cabecera para LTE.

Para el *interworking*²⁷ entre las redes LTE y las no 3GPP, se puede considerar dos tipos de redes de acceso, según el grado de confianza:

- *Trusted*: Red de acceso que dispone de los mecanismos de seguridad apropiados que hacen que el operador de la red troncal EPC a la que se conecta la considere como tal, como mecanismos de autenticación del usuario, servicios de confidencialidad e integridad, etc. Ejemplos de red *trusted* pueden ser redes de acceso CDMA 2000 o Mobile WiMax [8].
- *Untrusted*: Red de acceso en la cual el operador de la red troncal no tiene garantías suficientes para considerarla como *trusted* y por tanto requiere de la introducción de medidas adicionales para garantizar el acceso al servicio proporcionado y evitar posibles vulnerabilidades o usos no autorizados. Como por ejemplo una red Wi-Fi de acceso público [8].

En la Figura 1.7 se puede observar el diagrama general de un escenario de *interworking* entre la red LTE y una red untrusted como Wi-Fi.

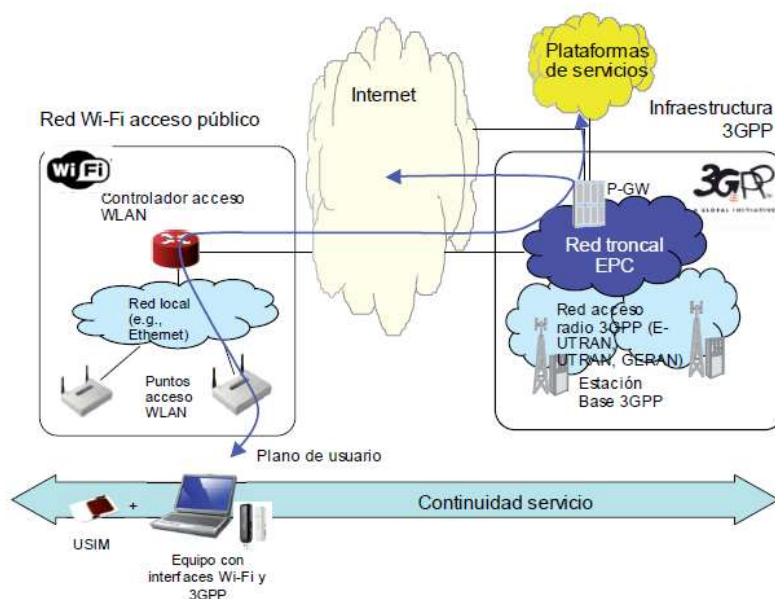


Figura 1.7 Escenario de interworking entre LTE y Wi-Fi [8]

Wi-Fi es la red de acceso *untrusted* que se describirá a continuación ya que es relevante para el presente estudio.

²⁷ Interworking: conjunto de funciones y mecanismos mediante los cuales se consigue un determinado nivel de interacción en la operación de dos o más redes de comunicaciones.

1.5 IEEE 802.11

En el año de 1999 se dió inicio a WECA (Wireless Ethernet Compability Alliance), con el fin de ofrecer interoperabilidad a productos IEEE 802.11 de diferentes proveedores. Ésta alianza desarrolla una prueba de interoperabilidad denominada Wireless-Fidelity (Wi-Fi), es por eso que actualmente Wi-Fi se ha convertido en sinónimo de IEEE 802.11 [6].

Gran parte de los dispositivos inalámbricos como la televisión, radio, o teléfonos celulares usan frecuencias de radio licenciadas, sin embargo Wi-Fi usa porciones del espectro radioeléctrico que no son licenciadas, tales como [6]:

- Bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical).
- Bandas UNII (Unlicensed National Information Infrastructure).

Las redes inalámbricas no reemplazan a las soluciones cableadas, sino que son un complemento, las mismas que poseen los siguientes componentes básicos:

- Access Point (AP) o punto de acceso; realiza la función de intermediario entre el equipo de usuario y la red externa.
- Antenas conectadas al Access Point.
- Equipo de usuario o terminal Wi-Fi.

Wi-Fi basado en 802.11 utiliza CSMA, Acceso Múltiple por Detección de Portadora, como tecnología de acceso al medio, con el fin de evitar las colisiones de transmisión.

1.5.1 PROTOCOLOS IEEE 802.11

Los diferentes grupos de trabajo de la IEEE han desarrollado varios protocolos respecto a las redes inalámbricas Wi-Fi, los mismos que han ido evolucionando a través del tiempo, en la Tabla 1.2 se destacan los protocolos más importantes, con sus principales características de frecuencia, tipo de señal, velocidad máxima y alcance en interiores.

Tabla 1.2 Protocolos IEEE 802.11 [7]

Protocolo	Frecuencia	Señal	Velocidad máxima de datos	Alcance en interiores
Legacy 802.11	2,4 GHz	FHSS o DSSS	2 Mbps	20 m
802. 11a	5 GHz	OFDM	54 Mbps	35 m
802. 11b.	2,4 GHz	DSSS	11 Mbps	35 m
802.11g	2,4 GHz	OFDM	54 Mbps	38 m
802. 11n	2.4 o 5 GHz	OFDM	600 Mbps	70 m
802. 11ac	5 GHz	256 QAM	1.3 Gbps	

1.6 WI-FI CALLING

1.6.1 INTRODUCCIÓN

Desde que Wi-Fi apareció por primera vez en los teléfonos inteligentes, hace aproximadamente diez años, los propietarios y administradores de lugares públicos como hospitales, campus universitarios y centros comerciales han esperado que Wi-Fi ofrezca un reemplazo al servicio de telefonía celular, especialmente en áreas en donde la cobertura celular no es la óptima [13].

Desde sus comienzos Wi-Fi se utilizaba para transportar datos, pero lastimosamente no podía transportar lo más importante en los servicios celulares, la voz y los mensajes de texto, por lo que no era capaz de cubrir los huecos y brechas que dejaba la cobertura celular [13].

Por otro lado, aunque la evolución de las redes celulares ha estado principalmente enfocada en el desarrollo de los datos, la voz sigue siendo un elemento central del negocio de las operadoras celulares. Esto es a pesar de que la voz móvil tiene una alta demanda por la competencia de servicios de Internet

como Skype por ejemplo, en donde se ofrece de forma ilimitada, o incluso gratuita, por muchos proveedores [11].

Aunque en los últimos dos años los ingresos económicos debido al consumo de datos móviles superaron a los de voz, la mayoría de los operadores móviles siguen buscando mejorar sus ofertas de voz a medida que amplían sus servicios 4G [11].

1.6.2 DESAFÍOS DE VOZ SOBRE LTE (VOLTE)

Como se mencionó anteriormente, cualquier proveedor que desee ofrecer servicios de voz se enfrenta a un cambio en la arquitectura. El reto adicional para las operadoras móviles en el mercado de voz ha llegado con la transición a LTE. Al ser una plataforma basada en IP, LTE no soporta las tradicionales redes de voz con conmutación de circuitos. Esto ha dejado a las operadoras celulares con varias opciones para migrar su base 2G / 3G a 4G [11].

Uno de los factores críticos, para el éxito de los servicios de voz, es el alcance de la cobertura celular, de modo que los usuarios no experimenten llamadas caídas, zonas sin cobertura o *handovers* defectuosos a través de las redes. La cobertura es particularmente importante y crucial dentro de los edificios, más aun cuando la competencia de la telefonía fija está presente [11].

Sin embargo, la mayoría de los operadores celulares no podrán alcanzar una cobertura total de LTE, aun después de algunos años, debido a que en las zonas rurales el extender la cobertura no es económicamente viable y en las zonas urbanas con mayor población, los edificios, obras de infraestructura e interferencia facultan las brechas en la cobertura. Aun así, se espera que las economías desarrolladas alcancen una cobertura de la población del 95%, en promedio, hasta el año 2020, y de las economías emergentes hasta el año 2029 [11].

Además, en muchas ocasiones la cobertura celular en el interior de los edificios es bastante pobre, incluso en donde la operadora móvil ha lanzado una significativa capacidad de LTE, por lo que la cobertura del mundo real, medida por la experiencia del usuario, es muy inferior a lo que sugieren las cifras oficiales. Un estudio encontró que el 87% de las empresas cambiarían de compañía celular

si se les prometiera una mejor cobertura, principalmente por razones de calidad de voz [11].

1.6.3 APARICIÓN DE WI-FI CALLING

Una nueva solución es Wi-Fi Calling, que al igual que VoLTE, es compatible con los estándares 3GPP y habilitado por un IMS. Los operadores móviles pueden utilizarlo para "llenar las lagunas" de cobertura celular que existen en LTE. Wi-Fi Calling es una extensión de la arquitectura de la red troncal *Evolved Packet Core* del 3GPP, ya que permite a cualquier red Wi-Fi acceder al EPC a través de un gateway en el borde entre el Internet y el dominio del operador [11].

El *gateway* de borde se le conoce como Evolved Packet Data Gateway (ePDG) que es parte de la plataforma 3GPP I-WLAN²⁸. El ePDG crea un túnel IPsec²⁹ seguro desde la troncal EPC hasta el dispositivo y ancla el tráfico en el P-GW, lo que significa que Wi-Fi puede ser tratado de la misma manera que una red de acceso celular [11].

1.6.4 DEFINICIÓN DE WI-FI CALLING

Wi-Fi Calling es un servicio que ofrecen varias operadoras de telefonía celular alrededor del mundo y que posibilita que los usuarios realicen llamadas de voz y envíen mensajes de texto desde sus *smartphones*³⁰ utilizando una red Wi-Fi en vez de la tradicional conexión celular telefónica. Esta alternativa garantiza una buena velocidad de respuesta y calidad de audio, además de permitir que se reciban y realicen llamadas desde lugares con poca o nula cobertura móvil. Es decir Wi-Fi Calling es una tecnología que permite a varios dispositivos móviles realizar llamadas a través de una red Wi-Fi en vez de la red celular [41].

Wi-Fi Calling está muy ligado con VoLTE, ya que utiliza el mismo cliente de telefonía IMS y soporta movilidad entre LTE y acceso Wi-Fi, haciendo que la experiencia del usuario sea la misma, sin problemas. La transferencia de las llamadas entre LTE y Wi-Fi se habilita mediante el enrutamiento del tráfico de

²⁸ I-WLAN: Wireless Local Area Network - Interworking

²⁹ IPsec: Internet Protocol security

³⁰ Smartphone: Teléfono Inteligente, capaz de comunicarse a través de Wi-Fi, e-mails, red de datos, etc.

Wi-Fi Calling hacia el IMS a través del Evolved Packet Core, lo que resulta en una oportunidad de implementación escalable para los operadores de red [9].

Wi-Fi Calling ofrece a los usuarios una solución sencilla para llamadas de voz y video, totalmente integrada con *smartphones* modernos sin el requerimiento de aplicaciones ni descargas adicionales. Como tal, se espera que la introducción de Wi-Fi Calling tenga un impacto en el uso de soluciones OTT, así como sobre las ofertas de telefonía fija [9].

Wi-Fi Calling ha surgido como una forma de extender la cobertura y mejorar la capacidad, especialmente en ambientes internos *indoor*, trasladando el tráfico inteligentemente entre LTE y la alta calidad de las conexiones Wi-Fi. Esto puede innovar la voz en 4G, ya que Wi-Fi Calling al igual que LTE, también funciona basado en IMS y puede ofrecer el mismo alcance de capacidades de VoLTE [9].

1.6.5 ARQUITECTURA Y PROTOCOLOS DE WI-FI CALLING

En la Figura 1.8 se puede observar el diagrama general de la arquitectura de Wi-Fi Calling. Se sigue el mismo modelo de arquitectura de VoLTE, excepto por la introducción de un nodo ePDG en el Evolved Packet Core (EPC). También son necesarias algunas modificaciones al IMS con el fin de manejar la naturaleza diferente de Wi-Fi en comparación con los accesos LTE y de Conmutación de Circuitos.

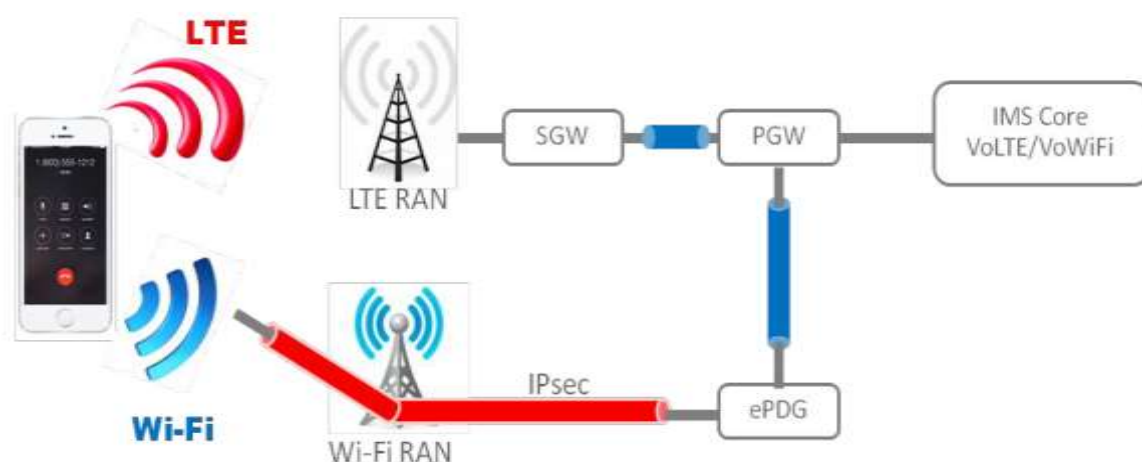


Figura 1.8 Arquitectura general de Wi-Fi Calling [11]

Wi-Fi Calling es una extensión de la arquitectura EPC y permite que cualquier red Wi-Fi sea utilizada para acceder al EPC, al que la norma 3GPP se refiere como accesos no confiables. El nodo ePDG en la frontera, que puede ser encontrado por un dispositivo a través de una búsqueda DNS, actúa como la puerta de enlace entre el Internet público y el resto del EPC del operador [9].

Para conectarse al ePDG a través de la conexión Wi-Fi un dispositivo utiliza los protocolos IETF IKEv2³¹ e IPsec. Estos protocolos proporcionan la conexión con integridad y confidencialidad, lo que implica que cualquier tipo de conexión a Internet, incluso un hotspot³² Wi-Fi abierto, puede ser seguro [9].

En la Figura 1.9 se presenta la arquitectura de Wi-Fi Calling de manera detallada.

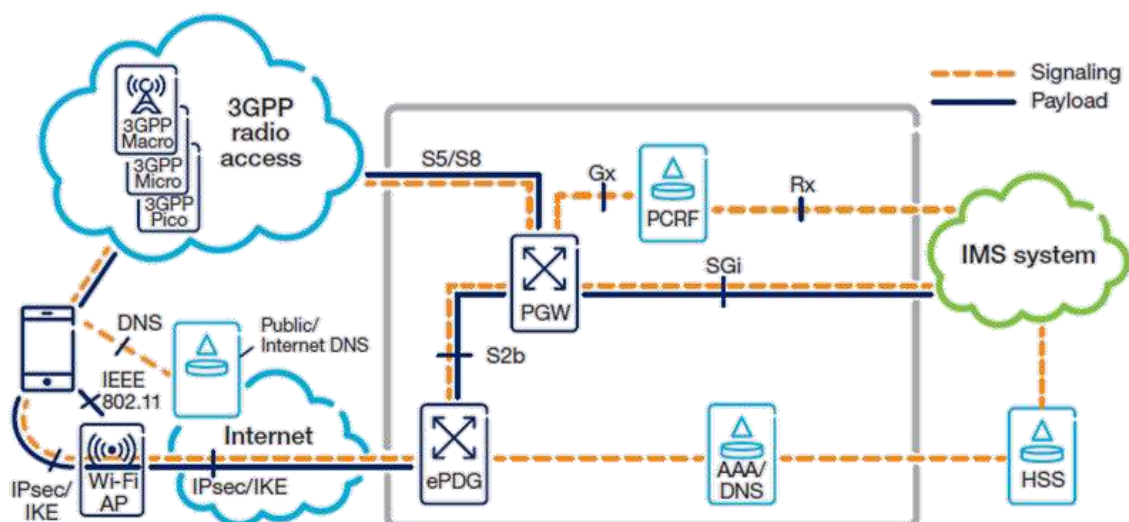


Figura 1.9 Arquitectura detallada de Wi-Fi Calling [9]

El protocolo IKEv2 utiliza las credenciales almacenadas en la tarjeta SIM para configurar automáticamente el túnel IPsec entre el dispositivo y el ePDG. Como resultado, no se requiere ninguna acción adicional por parte del usuario, lo que mejora la experiencia sin problemas. El *gateway* ePDG busca las claves o vectores de seguridad y la información de suscripción desde el HSS a través de un nodo AAA [9].

³¹ IKEv2: Internet Key Exchange Protocol Version 2

³² Hotspot: es un punto de acceso que permite conectarse a una red que utiliza Wi-Fi.

Durante la configuración del túnel IPsec, el *gateway* ePDG se conecta al PGW utilizando el protocolo GTPv2³³ a través de la interfaz S2b. Para obtener políticas estáticas y dinámicas, el PGW utiliza la señalización Diameter (sobre la interfaz Gx) al PCRF³⁴ de la misma manera que lo hace para los accesos 3GPP [9].

En consecuencia, aplicaciones como IMS pueden configurar políticas dinámicas (a través de la interfaz Rx) de la misma manera que lo hacen para el acceso LTE. Cuando se produce un traspaso entre LTE y Wi-Fi, el dispositivo conserva su dirección IP y las políticas asignadas a la conexión permanecerán intactas. Con esta solución, la elección de la tecnología de acceso (Wi-Fi o LTE) utilizada para llevar la llamada de voz es transparente tanto para el usuario como para el IMS, a excepción de algunas pequeñas diferencias en la forma en que se manejan los servicios de terminación de llamadas y de localización [9].

Para terminar una llamada, la red IMS aplica el proceso TADS³⁵ con el fin de establecer si se debe terminar una llamada en IMS o se debe salir a CS. Como los dispositivos que soportan Wi-Fi Calling tienen dos antenas de radio, una para celulares y otra para Wi-Fi, un dispositivo puede ser conectado simultáneamente a ambas redes, lo que hace que TADS sea más complejo. Para que la llamada permanezca en IMS, incluso cuando el acceso celular para llamadas VoLTE no esté disponible, el IMS debe realizar un seguimiento cuando el dispositivo este utilizando Wi-Fi Calling [9].

Como Wi-Fi es diferente de la red celular en el hecho que no utiliza un Cell-ID para ayudar en el posicionamiento, los servicios basados en ubicación, como los servicios de emergencia o de ubicación geográfica, no pueden funcionar de la misma manera a través de Wi-Fi como lo hacen con LTE, a menos que la información de posición sea adoptada o proporcionada por otros medios [9].

1.6.6 AMPLIACIÓN DE LA COBERTURA

En la actualidad, el principal motor para desplegar llamadas de voz y video a través de Wi-Fi es ampliar el alcance de los servicios VoLTE en situaciones en las

³³ GTPv2: GPRS Tunnelling Protocol version 2

³⁴ PCRF: Policy and Charging Rules Function

³⁵ TADS: Terminating Access Domain Selection

que hay vacíos en la cobertura celular. Como se muestra en la Figura 1.10, los huecos de señal celular pueden ocurrir en ambientes interiores como los hogares suburbanos, pero también surgen en áreas densamente pobladas donde, por ejemplo, el uso de ciertos materiales de construcción disminuye la cobertura en interiores [9].

Normalmente, Wi-Fi Calling utiliza un router o *access point* Wi-Fi existente en las instalaciones del cliente. Sin embargo, los principales fabricantes de teléfonos inteligentes han comenzado a incluir el soporte de dispositivos nativos para el uso de Wi-Fi no administrado, para acceder al mismo servicio de voz IMS que en LTE (VoLTE) [9].

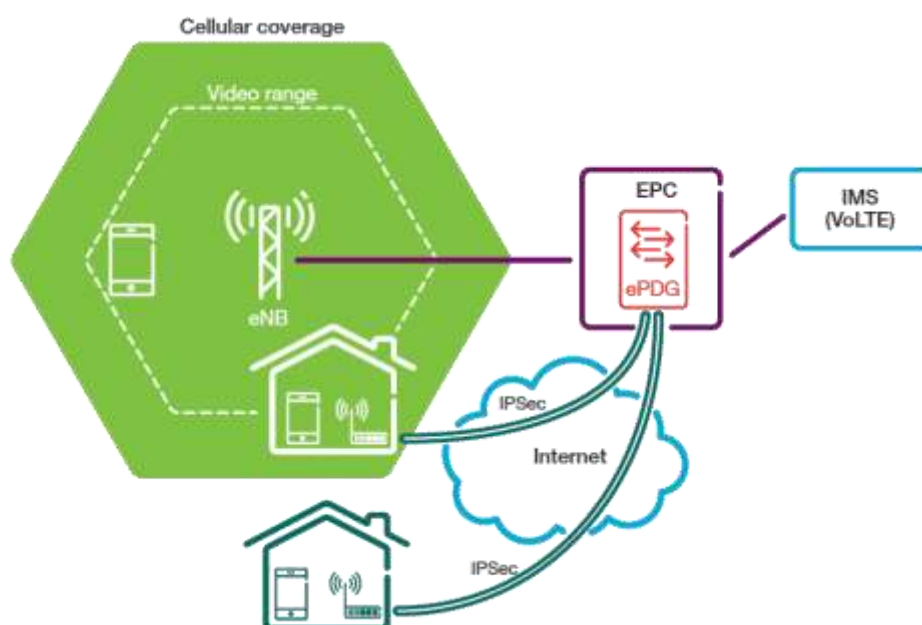


Figura 1.10 Ampliación de la cobertura [9]

Esto permite a los operadores ofrecer Wi-Fi Calling como complemento a VoLTE en ubicaciones con problemas de cobertura. Esta es una mejor opción que, por ejemplo, una femtocelda³⁶, que requeriría la instalación de una estación base femto dedicada, lo que supondría costes significativos de instalación y mantenimiento [9].

³⁶ Femtocelda: estación base pequeña en tamaño y potencia.

Para ViLTE (Video sobre LTE), la cobertura de la señal celular se vuelve más crítica, ya que la videollamada exige una mayor capacidad de red que la voz. En condiciones desfavorables, las videollamadas sólo pueden ser posibles a través de Wi-Fi (incluso si las llamadas de voz pueden transmitirse a través de la red LTE celular) [9].

Por lo tanto, Wi-Fi Calling puede utilizarse como complemento de VoLTE, lo que permite a los operadores lanzar videollamadas y llamadas de voz basadas en IMS, incluso en el proceso de creación de cobertura LTE, proporcionando una experiencia de usuario mejorada en comparación con CS *Fallback*, como se podrá observar en los siguientes capítulos. Los operadores móviles deben ser capaces de controlar el momento oportuno en el que un servicio de voz debe ser llevado por la red celular o ser proporcionado a través de Wi-Fi [9].

Como las conexiones de Wi-Fi Calling se enrutan a través del Internet, siempre que la conectividad esté disponible, los suscriptores pueden llegar a la red de su operador doméstico desde cualquier lugar. Esta capacidad proporciona a los operadores una solución para ofrecer servicios de voz fuera de la red doméstica sin cargos de itinerancia, utilizando el cliente de telefonía nativa de un dispositivo. En otras palabras, los usuarios no tendrán que instalar aplicaciones adicionales cuando viajen fuera del alcance de la red doméstica de su operador, y el uso de su dispositivo móvil no será diferente de si estuvieran a su alcance [9].

Los operadores también pueden gestionar el uso de Wi-Fi Calling en ciertos países para alinearse con las regulaciones locales. Sin embargo, las llamadas de emergencia nunca deben llevarse a través de la red doméstica, ya que estas llamadas deben ser encaminadas a los servicios de emergencia locales. También pueden entrar en juego aspectos legales relacionados con la interceptación de llamadas por parte de las autoridades nacionales, ya que todo el tráfico entre el dispositivo y el operador doméstico se cifrará [9].

1.6.7 CONVERGENCIA FIJA MÓVIL

Wi-Fi Calling ofrece a los operadores de FMC³⁷ nuevas oportunidades para crear paquetes más amplios e inteligentes para los suscriptores. Hoy en día, muchos hogares que utilizan servicios de banda ancha fija también tienen una extensión telefónica fija (número de casa) entregada como un servicio fijo de banda ancha de VoIP (Voz sobre IP) o como un POTS (Plain Old Telephone Service) tradicional. Con la introducción de Wi-Fi Calling, el número de casa podría ser complementado, de modo que las llamadas entrantes al número de casa se envíen a una serie de teléfonos móviles (utilizados por los ocupantes de la casa) [9].

Otros tipos de dispositivos combinados celulares y Wi-Fi, tales como tabletas y decodificadores (STB), también pueden ser utilizados por el cliente IMS y acceder al servicio VoLTE utilizando la integración EPC, también podrían recibir alertas sobre las llamadas al número de casa. Estas ofertas de hogar, en las que múltiples dispositivos y suscripciones se agrupan para cubrir las necesidades de todos los miembros del hogar, ayudarían a aumentar la adherencia del operador y reducir el cambio de operadora móvil [9].

1.6.8 APLICACIÓN EN LAS OFICINAS PEQUEÑAS

Las pequeñas empresas tienden a utilizar DSL³⁸ o fibra a través de un único punto de acceso para conectar la red interna a servicios de voz y datos administrados, utilizando una variedad de teléfonos SIP [9].

Wi-Fi Calling permite a los operadores móviles abordar el negocio fijo mediante una sustitución fijo-móvil. Con esta solución, los usuarios pueden conservar su bien conocida extensión fija, sin embargo, actualizar a Wi-Fi Calling y reemplazar sus teléfonos fijos existentes con teléfonos inteligentes que también se pueden utilizar fuera de la ubicación de la empresa [9].

Esta solución también permite que las numerosas funciones avanzadas de voz y video, como los números cortos, a través de IMS puedan ser directamente

³⁷ FMC: Fixed Mobile Convergence

³⁸ DSL: Digital Subscriber Line

aplicables a los usuarios empresariales, permitiéndoles disfrutar de la experiencia de un teléfono inteligente moderno en el contexto de la telefonía empresarial. Sin embargo, se debe tener especial cuidado, ya que la naturaleza sin licencia de Wi-Fi impone limitaciones en el número de dispositivos que pueden utilizar un solo punto de acceso Wi-Fi [9].

1.6.9 DESVENTAJAS DE WI-FI CALLING

Existen numerosos retos cuando se trata de ofrecer llamadas de voz y video de calidad a través de Wi-Fi. La capacidad de predecir o controlar el rendimiento de un servicio a través de Wi-Fi es limitada. Los usuarios instalan el punto de acceso Wi-Fi y la calidad del servicio de voz resultante depende del rendimiento de la red Wi-Fi. Wi-Fi Calling funcionan bien en condiciones favorables de Wi-Fi, pero pueden surgir problemas en situaciones con interferencias de puntos de acceso vecinos, si la red Wi-Fi ya está muy cargada o si el punto de acceso cubre un edificio grande. En estos casos, es posible que deba instalarse un mejor *router* o *acces point* Wi-Fi [9].

Si bien las últimas generaciones de tecnología Wi-Fi, como 802.11n o 802.11ac, permiten velocidades de transferencia de datos más altas, esto no necesariamente resuelve la cuestión de la calidad de la voz. La transmisión de voz por Wi-Fi depende menos del ancho de banda y más de una entrega de paquetes confiable y consistente entre el dispositivo y el punto de acceso. Las técnicas que pueden dar prioridad a los medios en tiempo real sobre datos ordinarios pueden marcar la diferencia, pero como los medios y la señalización están incrustados en una conexión IPsec, no es obvio que funcionen las técnicas estándar [9].

El traspaso o *handover* en Wi-Fi Calling sólo se admite entre la red Wi-Fi y la red LTE celular. Si varios puntos de acceso admiten una ubicación, la movilidad dentro de la ubicación está restringida por las capacidades del dispositivo y del punto de acceso. Las redes domésticas típicas de Wi-Fi tienden a mostrarse pegajosas: un dispositivo permanecerá en una conexión Wi-Fi débil incluso cuando se disponga de un enlace mejor a través de otro punto de acceso [9].

Dado que el acceso Wi-Fi no proporciona información sobre la ubicación de la red, la opción preferida para las llamadas de emergencia es llevarlas a través del acceso celular siempre que sea posible. Si se utiliza Wi-Fi donde no hay cobertura celular disponible, las llamadas de emergencia pueden ser realizadas como llamadas normales. La ubicación se puede obtener, por ejemplo, a través de la dirección registrada del punto de acceso Wi-Fi doméstico [9].

Las llamadas de emergencia presentan un escenario particularmente desafiante, si el dispositivo detecta el número de emergencia local, solicitará un APN³⁹ de emergencia que utilice la red celular visitada. Sin embargo, si el terminal no reconoce el número, es la tarea de la red doméstica IMS obligar al dispositivo a abandonar Wi-Fi y establecer la llamada de emergencia en la red visitada. Esto implica que la red IMS debe ser capaz de detectar números de emergencia para todas las ubicaciones en las que está habilitado el *roaming* utilizando Wi-Fi [9].

³⁹ APN: Access Point Name

CAPÍTULO II

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza un análisis de la situación actual de la telefonía móvil en el país, en especial se analiza el estado de la tecnología LTE ya que Wi-Fi Calling funciona para dispositivos que soportan dicha tecnología, primeramente se revisarán las operadoras de telefonía móvil presentes en el Ecuador, luego se revisarán las líneas activas, la cantidad de usuarios con teléfono inteligente, el avance de LTE en el país y la cobertura celular en el Ecuador, específicamente en la ciudad de Quito. Además se analizará las posibles soluciones al problema de cobertura y finalmente se revisará la topología de una red LTE en el Ecuador junto con las configuraciones de la red troncal EPC.

2.2 OPERADORAS DE TELEFONÍA MÓVIL EN EL ECUADOR

Las operadoras que actualmente brindan los servicios de telefonía móvil en el Ecuador son:

- Conecel S.A. (Claro).
- Otecel S.A. (Movistar).
- Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública (CNT EP).

De las cuales, Conecel con su marca Claro y Otecel con su marca Movistar son compañías privadas, mientras que CNT EP es la operadora celular perteneciente al Estado. En la Figura 2.1 se observa la distribución de usuarios para cada operadora, un 58,76% de los usuarios pertenecen a Conecel, un 30,86% a Otecel, mientras que un 10,38% corresponden a CNT EP [14].

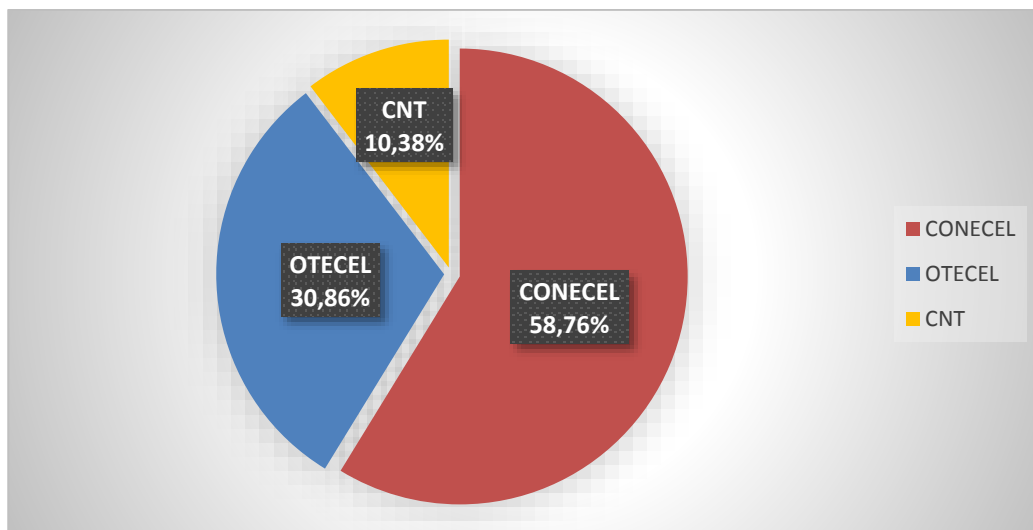


Figura 2.1 Distribución Telefonía Móvil en el Ecuador [14]

La mayoría de los abonados en el Ecuador pertenecen a la compañía Conecel, seguidos por la compañía Otecel y finalmente la menor parte pertenecen a la operadora móvil del estado CNT EP.

A continuación se revisará las líneas activas que posee cada operador móvil.

2.3 LÍNEAS ACTIVAS

La telefonía móvil aparece en el Ecuador en el año de 1994, desde ese entonces ha presentado un gran crecimiento respecto al número de usuarios suscritos a este servicio.

Según la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) hasta diciembre de 2016 el número total de líneas activas de las tres operadoras móviles que funcionan en el Ecuador es de 14 848 134 de un total de población nacional de 16 528 730, representando un valor del 89,83% de densidad nacional, lo que significa que cada persona en el país tiene 0,89 líneas en promedio. En la Figura 2.1 se puede apreciar la evolución de las líneas activas desde el año 2008, junto con su correspondiente densidad, para el año 2016 se presenta la estadística mes a mes [14].

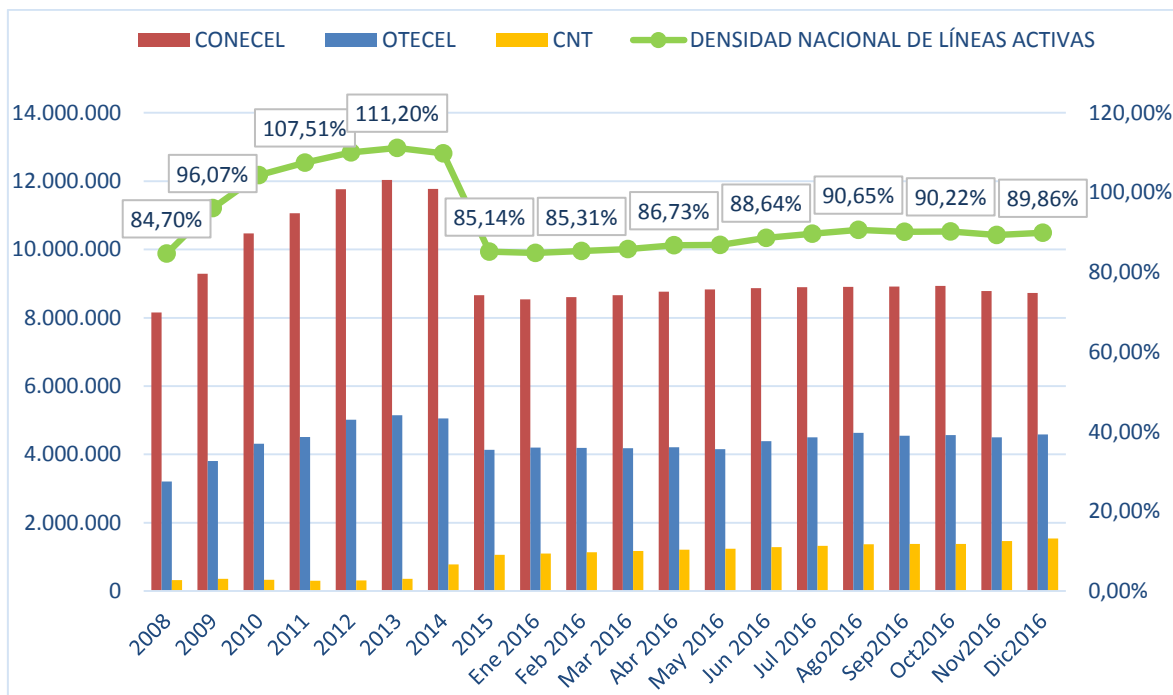


Figura 2.2 Evolución: Líneas Activas – Densidad [14]

Gran parte de la población ecuatoriana posee teléfonos inteligentes, como se detallará a continuación.

2.4 USUARIOS CON SMARTPHONE

Según el último estudio realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) para diciembre del 2016, el 90,1 %, es decir, 9 de cada 10 hogares en el Ecuador, posee al menos un teléfono celular, y el 52,9% de personas que tiene celular activado posee un *smartphone* o teléfono inteligente. [16]

En la Figura 2.3 se muestra el porcentaje de personas con teléfono celular activo y el índice de usuarios que poseen *smartphone* en los últimos 5 años en el Ecuador.

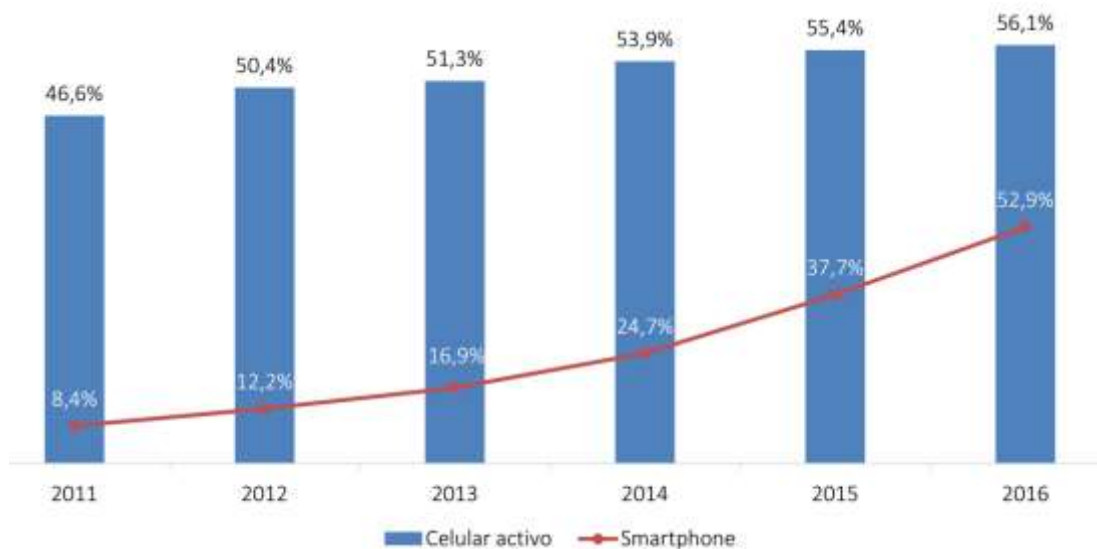


Figura 2.3 Evolución de usuarios con teléfono inteligente [16]

El número de usuarios de *smartphones* creció más de 700% en 5 años, al pasar de 522 mil personas a 4,5 millones. Desde diciembre del 2015 hasta diciembre del 2016, este número se incrementó en 45,3%, es decir, 1.4 millones de nuevos usuarios [16].

Varios de estos usuarios que poseen teléfono inteligente, tienen acceso a los servicios brindados por la red de cuarta generación LTE, lo que se profundizará a continuación.

2.5 LTE EN EL ECUADOR

Desde enero del 2014, LTE se introduce al Ecuador con la operadora estatal CNT EP, en las principales ciudades del país, posteriormente en mayo del 2015 la compañía Otecel con su marca Movistar lanza LTE al público y finalmente en octubre de 2015 la empresa Conecel con su marca Claro ofrece LTE a sus usuarios [15].

En la Figura 2.4 se muestra la evolución de líneas activas con LTE de las tres operadoras móviles del Ecuador desde el 2014 hasta diciembre del 2016, se puede observar un crecimiento notorio, en donde, se tiene alrededor de un 1 500 000 nuevos usuarios de LTE en el 2016.

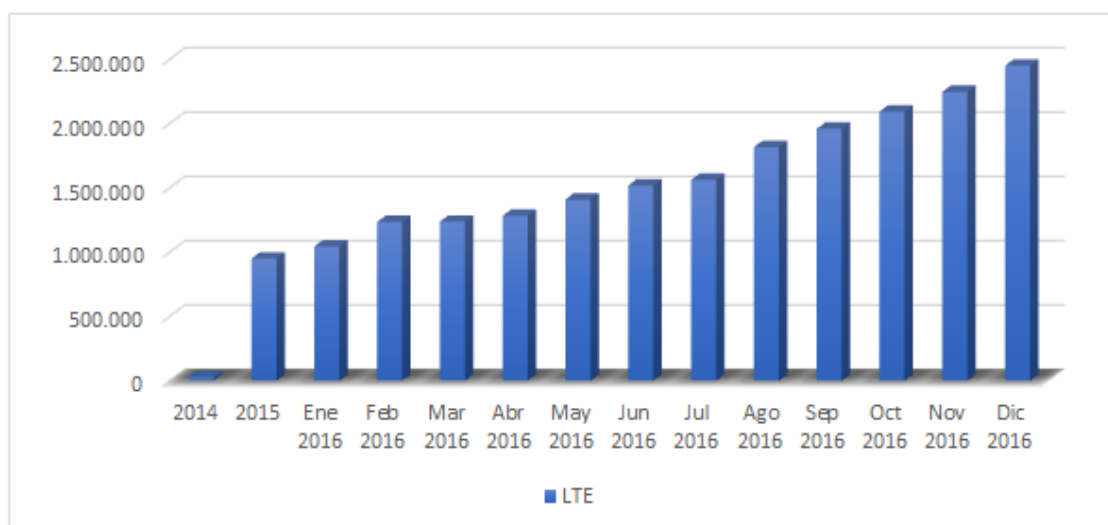


Figura 2.4 Crecimiento LTE en Ecuador [15]

Las líneas activas de LTE en el Ecuador se distribuyen en las tres operadoras como se muestra en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Distribución de LTE en las Operadoras [15]

Empresa	Líneas LTE	Porcentaje
Conecel	789.958	28,82 %
Otecel	747.925	27,29 %
CNT	1' 202.756	43,89 %
Total	2' 740.639	100 %

De acuerdo a la Tabla 2.1, el número total de abonados con tecnología LTE en sus dispositivos móviles es de 2' 740.639 hasta el mes de marzo del año 2017. Además se puede observar que la operadora CNT tiene la mayor cantidad de suscriptores en LTE con 1' 202.756 líneas activas, que representa el 43,89 % de la población con LTE.

Al aumentar el número de abonados se requiere que el alcance del servicio sea cada vez mayor, no solamente para LTE sino para cualquier tecnología celular

que ofrezca el operador móvil, con el fin de que las llamadas de voz se efectúen con normalidad.

2.6 SITUACIÓN DE LAS LLAMADAS DE VOZ

En la Figura 2.5 se muestran las estadísticas proporcionadas por la ARCOTEL, que indican los porcentajes de las llamadas que han sido exitosas, de las llamadas caídas y de las llamadas fallidas, correspondientes a las tres operadoras móviles del Ecuador.



Figura 2.5 Estadística de las llamadas celulares [49]

De manera general se puede observar que el porcentaje de llamadas fallidas es del 2.5 % aproximadamente y el porcentaje de llamadas caídas bordea el valor del 8%, es decir que se tiene un porcentaje aproximado del 10% de llamadas que no son exitosas, por tanto una de cada diez llamadas que se realizan en el Ecuador no pueden establecerse con normalidad. Y muchas de las llamadas que no han podido ser exitosas son debido a la falta de cobertura adecuada en ciertas zonas urbanas. Por lo que en la siguiente sección se analizará la cobertura en el Ecuador.

2.7 COBERTURA CELULAR

La cobertura celular es el área geográfica en la que se dispone del servicio de telefonía móvil. En esta sección se presentan cuatro mapas de cobertura, obtenidos con el *software OpenSignal*, los cuales se detallan como sigue.

2.7.1 COBERTURA CELULAR EN EL ECUADOR

En la Figura 2.6 se muestra el mapa de cobertura celular para todas las tecnologías celulares de las tres operadoras móviles en el país.

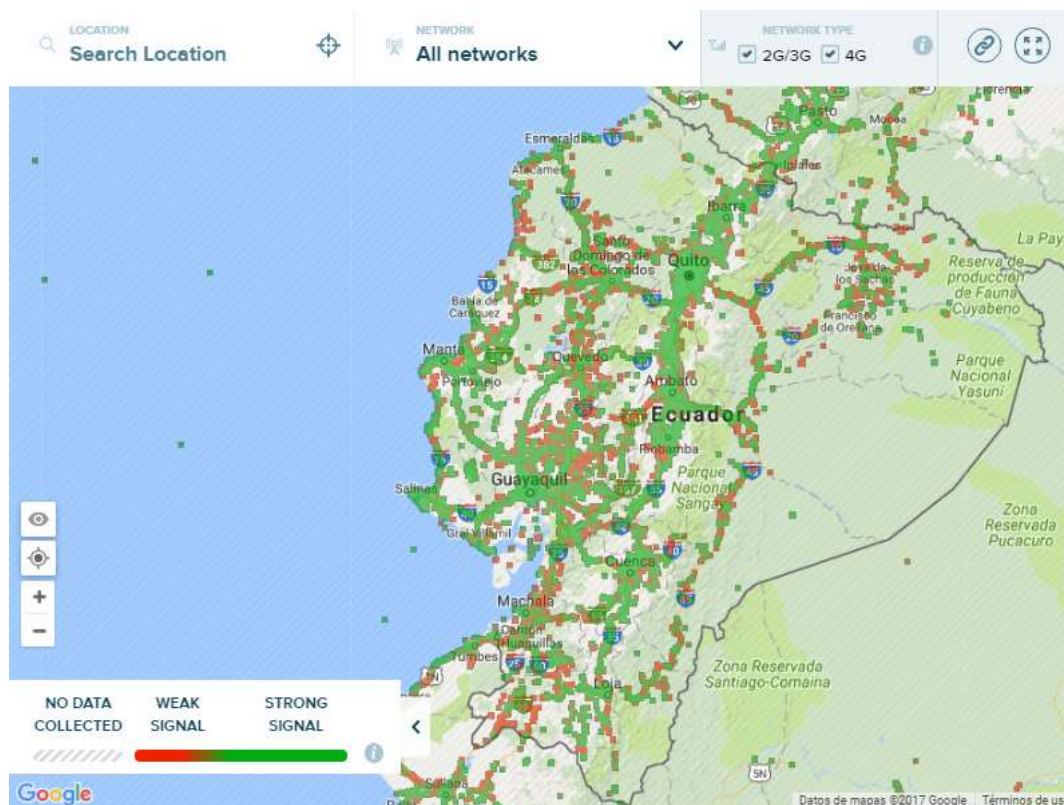


Figura 2.6 Cobertura Móvil en el Ecuador [17]

La señal fuerte está marcada en verde y corresponde a una cifra RSSI⁴⁰ mayor a -85 dB para 2G / 3G, y una cifra RSRP⁴¹ superior a -96 dB para 4G. La señal débil está representada por el color rojo sólido, el cual corresponde a una cifra RSSI menor a -99 dB para 2G / 3G, y una cifra RSRP inferior a -118 dB para 4G. Debajo de este valor puede experimentar velocidades de datos pobres y llamadas de baja calidad [17].

Se observa que la mayor parte de cobertura celular está centralizada en las ciudades, zonas urbanas y principales carreteras, que son los lugares de mayor demanda de uso de servicios celulares [17].

⁴⁰ RSSI: Received Signal Strength Indication

⁴¹ RSRP: Reference Signal Received Power

A continuación se analizará la cobertura celular de cada una de las operadoras móviles en la ciudad de Quito.

2.7.2 COBERTURA CLARO QUITO

En la Figura 2.7 se muestra el mapa de cobertura de la operadora celular Claro en la ciudad de Quito, en donde se observa que la mayor parte de la ciudad tiene una señal de cobertura fuerte (región verde), sin embargo existen lugares en donde la señal de cobertura es débil (región roja) e incluso se pueden observar huecos en lugares céntricos en donde no hay cobertura celular.

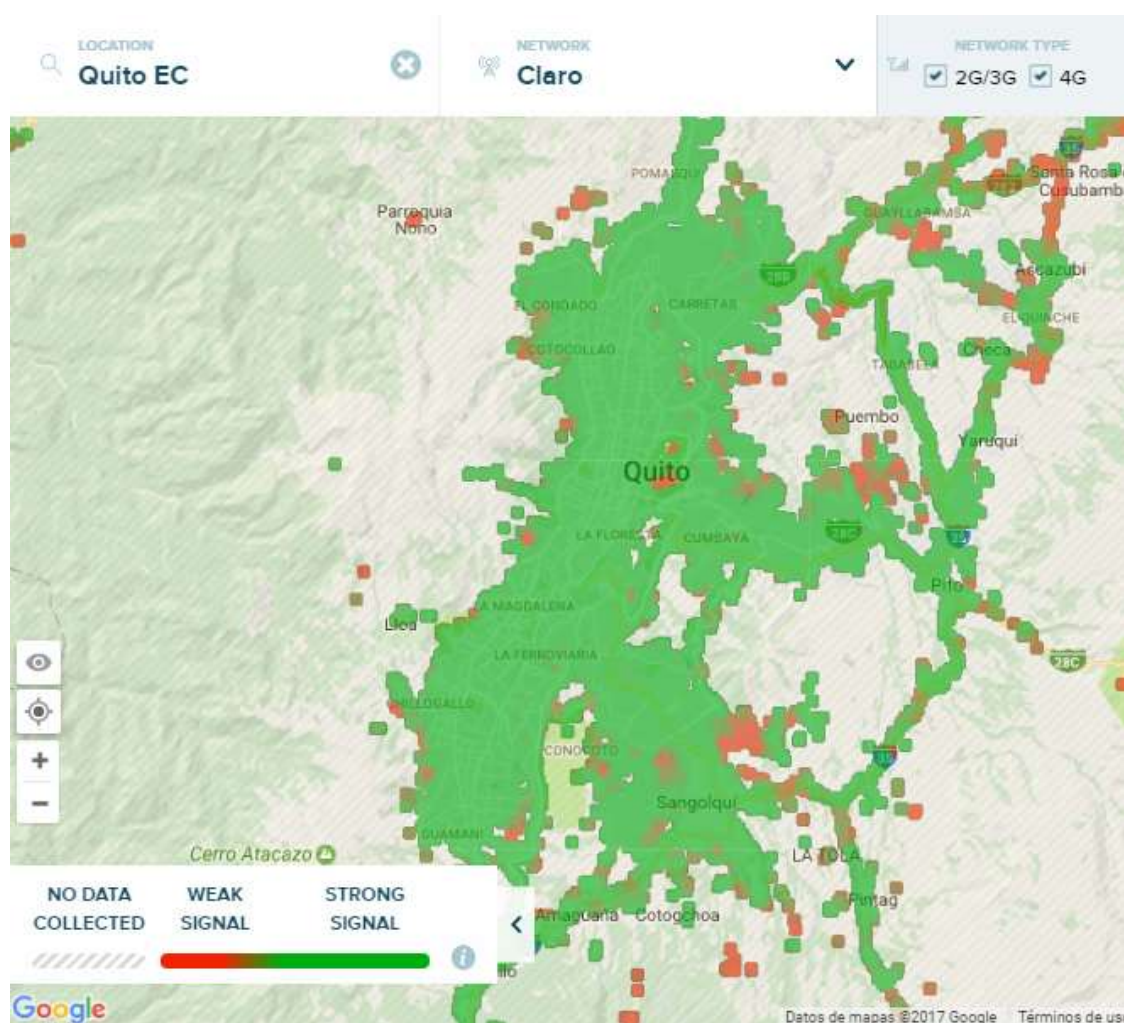


Figura 2.7 Cobertura CLARO [17]

2.7.3 COBERTURA MOVISTAR QUITO

En la Figura 2.8 se muestra el mapa de cobertura de la operadora celular Movistar en la ciudad de Quito, se observa que la mayor parte de la ciudad tiene una fuerte señal celular (zona verde), sin embargo existen algunos lugares dentro de la ciudad en donde la señal celular es débil (zona roja) y además todavía se puede observar huecos de la señal celular, aunque en menor cantidad comparados con la operadora Claro.

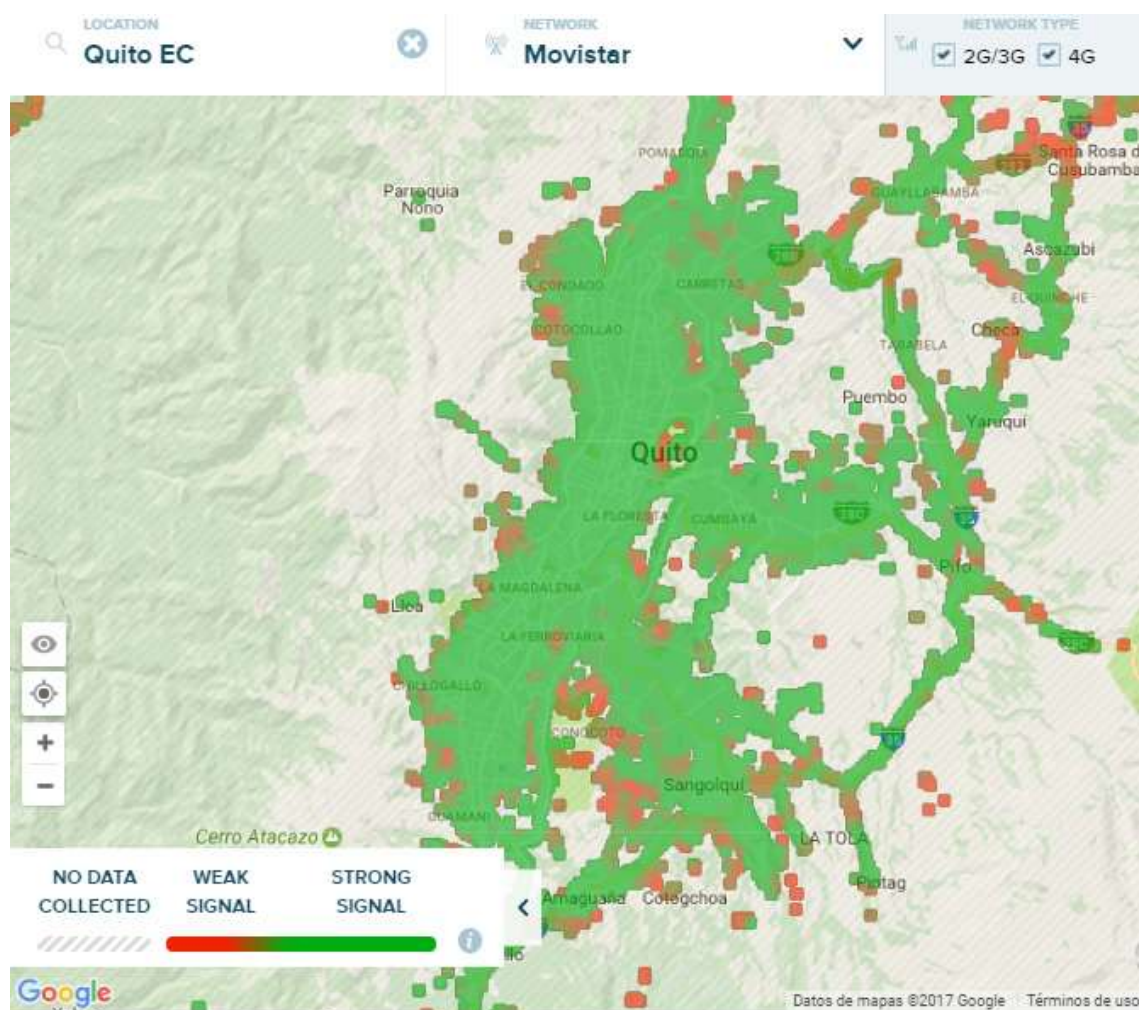


Figura 2.8 Cobertura MOVISTAR [17]

2.7.4 COBERTURA CNT EP QUITO

En la Figura 2.9 se muestra el mapa de cobertura de la operadora celular

ecuatoriana CNT en la ciudad de Quito, en donde se observa que la mayor parte de la ciudad tiene una fuerte señal de cobertura (zona verde), sin embargo, se observan lugares en donde hay una débil señal de cobertura (zona roja) y además aún existen huecos de cobertura en lugares céntricos en donde no hay cobertura celular, y en mayor cantidad comparados con las operadoras Movistar y Claro.

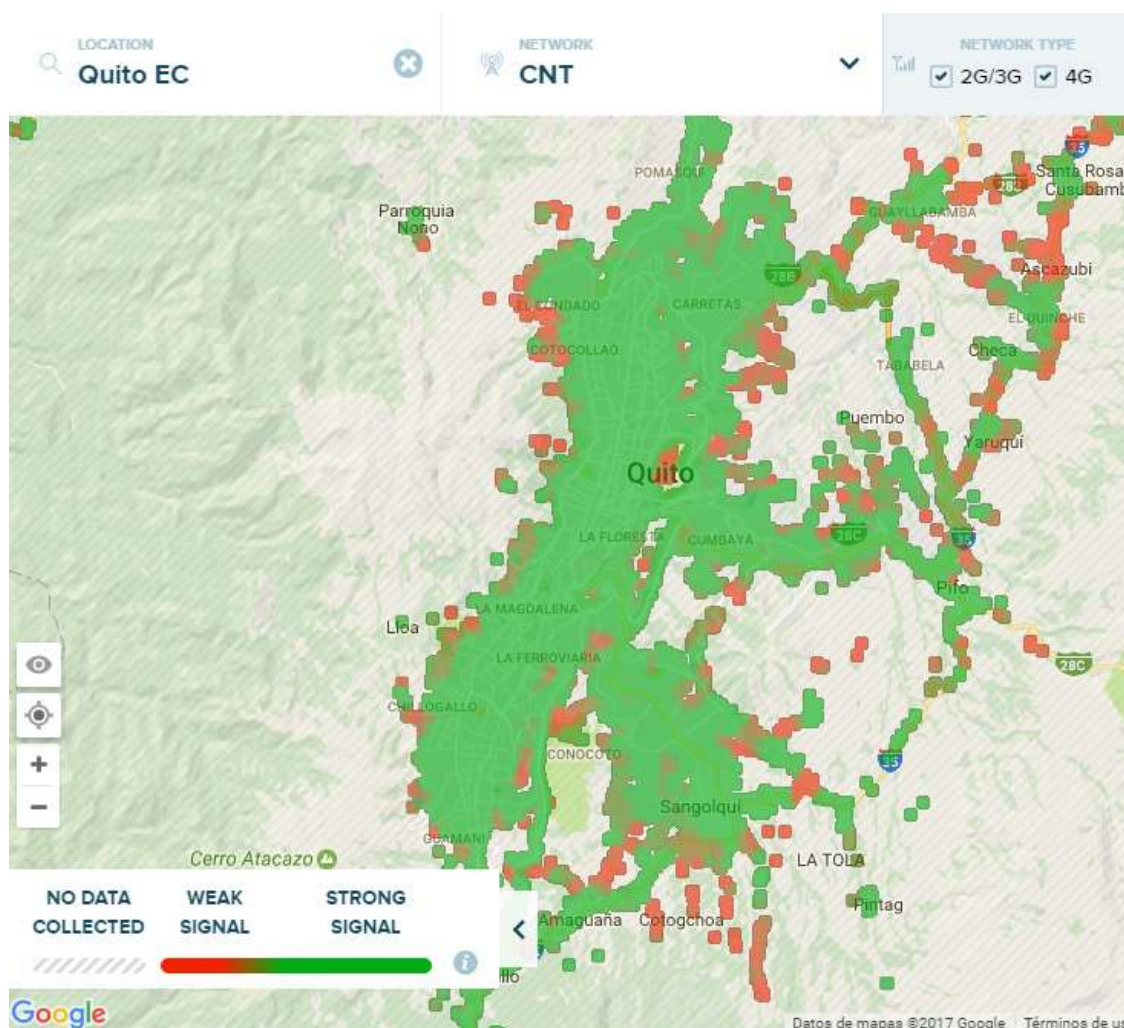


Figura 2.9 Cobertura CNT [17]

A continuación se mostrarán dos ejemplos en lugares del centro de la ciudad de Quito en donde se presentan zonas sin cobertura de señal celular para la operadora CNT EP, utilizando el *software* OpenSignal.

2.7.5 PROBLEMAS DE COBERTURA

En la Figura 2.10 se ha señalado con dos círculos negros de línea entrecortada la falta de cobertura celular en las zonas turísticas de la Basílica del Voto Nacional, así como también en el sector de la Iglesia de la Compañía, ambos lugares ubicados en pleno centro histórico de la ciudad, de igual manera existen varios casos dentro de la zona urbana en donde la señal celular es débil (zonas color rojo) o no existe (zonas sin colorear).

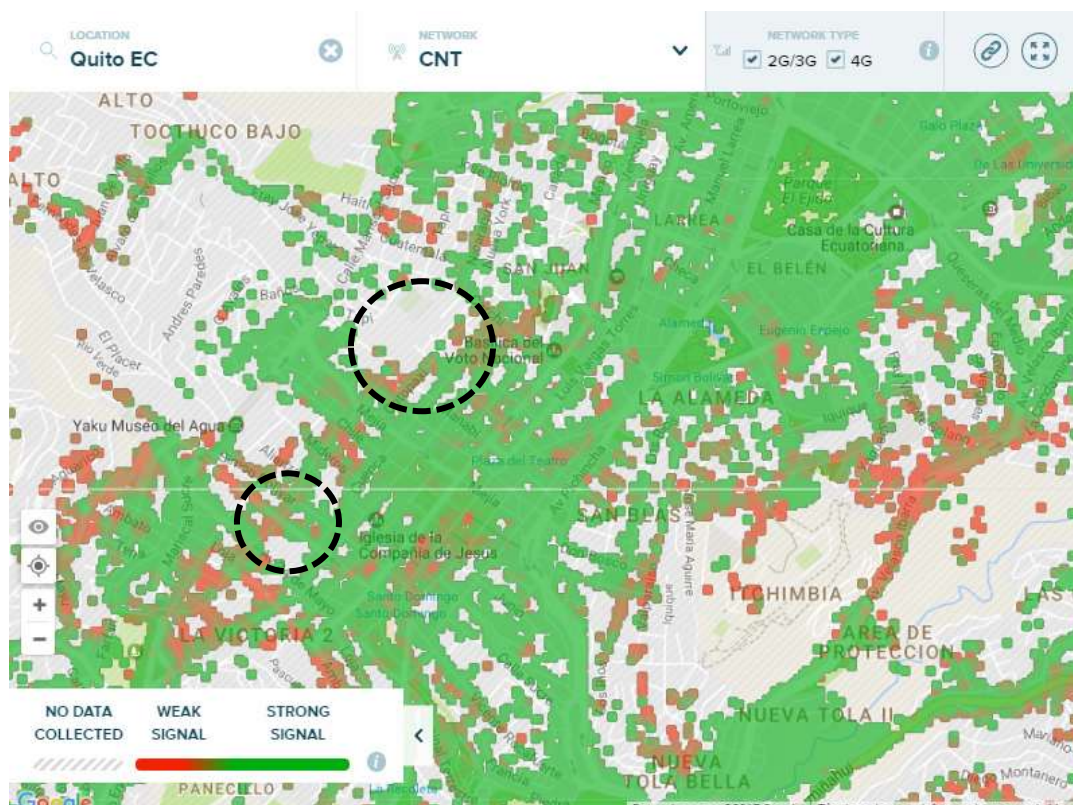


Figura 2.10 Cobertura Centro de Quito [17]

Sin embargo, cabe recalcar que incluso en los lugares donde se indica que si existe cobertura, es decir, en zonas donde se muestra que la señal celular es fuerte (zona verde), en realidad la señal celular puede ser mínima dentro de ciertas edificaciones, en los subsuelos, o ciertos lugares *indoor* ya que allí las llamadas telefónicas no se pueden desarrollar con normalidad [11].

Por esto, las operadoras de telefonía celular han buscado varias soluciones para resolver los problemas de cobertura, principalmente en la zona urbana, que se mencionan en la siguiente sección.

2.8 SOLUCIONES AL PROBLEMA DE COBERTURA

Hay varias soluciones alternativas al problema de cobertura en interiores, en especial para el servicio de llamadas de voz, las tres principales tenemos: Femtoceldas, Sistemas Distribuidos de Antenas y servicios OTT, los cuales se describirán a continuación.

2.8.1 FEMTOCELDAS

Las femtoceldas son estaciones base pequeñas que se conectan a la red celular a través de una conexión de banda ancha para poder ofrecer una extensión de cobertura a los teléfonos celulares en ambientes de interiores como las oficinas u hogares [18]. Las femtoceldas son utilizadas para ampliar la cobertura en áreas donde la señal celular es débil o nula, con el fin de proveer cobertura donde no existe, por lo que pueden ser instaladas en los hogares, oficinas, edificios, parques, aeropuertos, etc. En el Ecuador las femtoceldas pueden operar en las bandas de 850 MHz y 1900 MHz [20].

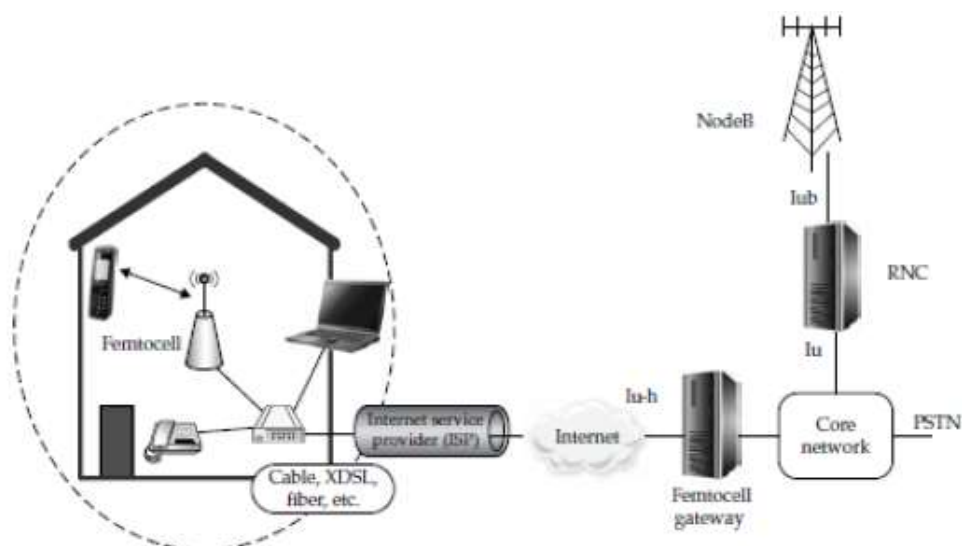


Figura 2.11 Arquitectura Femtocelda [19]

En la figura 2.11 se puede observar la arquitectura de una femtocelda. Su funcionamiento es sencillo, en el instante en que se realice una llamada dentro del

rango de cobertura de la femtocelda, la llamada no se conecta normalmente hacia la estación base macro de la operadora celular, sino que, se conecta directamente a través de la femtocelda [18], la misma que puede conectarse mediante la conexión a internet existente o a través de un enlace dedicado hasta un *gateway* específico quien posteriormente se conectará al *core* de la red celular [19].

Las principales características de las femtoceldas son [18]:

- Soporta hasta 30 usuarios
- Rango de cobertura alrededor de 100m
- Instalación y configuración sencillas.
- Potencia de transmisión 250 mW.
- Compatible con UMTS, GSM, CDMA-2000, LTE y WiMAX.

2.8.2 SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDAS

El Sistema de Antenas Distribuidas conocido como DAS por sus siglas en inglés, como su nombre lo indica es un grupo de antenas separadas y distribuidas en el espacio dentro de un área geográfica determinada con el fin de aumentar el servicio inalámbrico existente, en este caso la cobertura celular [21], como se observa en la Figura 2.12.

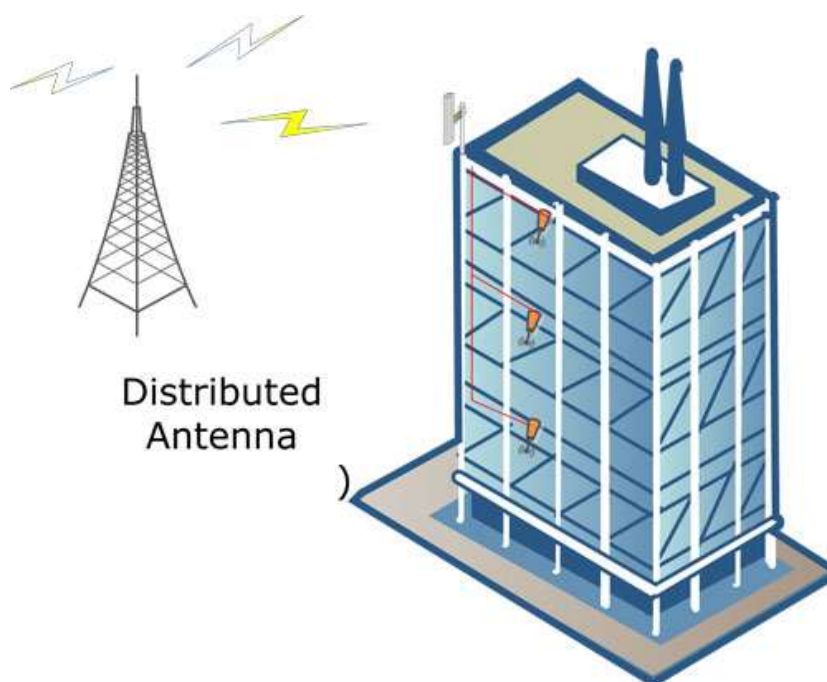


Figura 2.12 DAS en edificio [19]

Las señales de RF⁴² desde y hacia la estación base de los operadores móviles se combinan y canalizan a través de un sistema de antenas múltiples. Este sistema es capaz de reconocer una amplia variedad de tecnologías y frecuencias, como son, por supuesto, el 2G, el 3G y el 4G [22].

Se necesita de un transpondedor⁴³ intermedio entre los puntos de acceso y la estación base transceptora (BTS). Por lo general no soporta el sistema MIMO⁴⁴. En la Figura 2.13 se puede observar los siguientes elementos de la arquitectura de los sistemas DAS [22]:

- Antenas para interiores.
- Divisores de potencia (*splitters*).
- Acopladores (*tappers*).
- Cable Coaxial o Fibra Óptica.

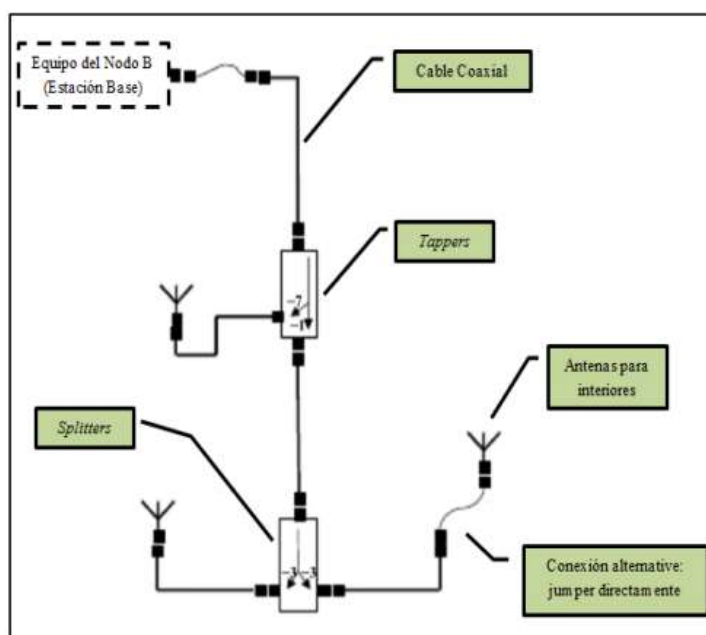


Figura 2.13 Componentes DAS [22]

⁴² RF: Radio Frecuencia

⁴³ Transpondedor: Dispositivo transmisor-respondedor que recibe señales en determinada frecuencia y las reenvía en una frecuencia diferente.

⁴⁴ MIMO: Multiple-input Multiple-output.

2.8.3 SERVICIOS OTT

Los servicios *Over The Top* (OTT) son aquellos que se brindan a los usuarios a través del Internet y no directamente por una operadora celular, como se lo hacía normalmente. Los servicios OTT se han convertido en una preocupación para los operadores de telecomunicaciones cuando empezaron a competir directamente con los servicios ofrecidos tradicionalmente por las compañías de telecomunicaciones como por ejemplo voz y mensajería [24].

Skype por ejemplo, es un *software* propietario perteneciente a Microsoft, creado en el año 2003 que en la actualidad cuenta con más de 250 millones de usuarios activos por mes, quienes hablan 100 minutos en promedio, disminuyendo de esta forma el uso de la telefonía tradicional [24]. En la Figura 2.14 se observan algunos ejemplos de aplicaciones OTT en el mundo.



Figura 2.14 Aplicaciones OTT [24]

En Latinoamérica las principales aplicaciones OTT son WhatsApp y Messenger de Facebook, las mismas que se pueden utilizar para realizar o recibir llamadas de voz [25].

Sin embargo, hay que considerar que para poder establecer una llamada de manera correcta, ambos usuarios, tanto el que realiza la llamada como el que la recibe, deben tener previamente instalada y configurada la aplicación

correctamente y además deben estar obligadamente conectados a Internet, ya sea por medio de los datos celulares de la operadora móvil o a través de una red Wi-Fi.

Luego de observar las soluciones alternativas al problema de cobertura celular, se continuará analizando la red LTE en el Ecuador, se describirá su topología, elementos, equipos, configuraciones y principios de funcionamiento.

2.9 TOPOLOGÍA DE UNA RED LTE EN EL PAÍS

Puesto que Wi-Fi Calling funciona solamente sobre redes LTE, se necesita conocer la topología de una red 4G LTE de una operadora móvil del país, por lo que se ha seleccionado a la operadora estatal CNT EP, se observa en la Figura 2.15 el diagrama general de la red LTE.

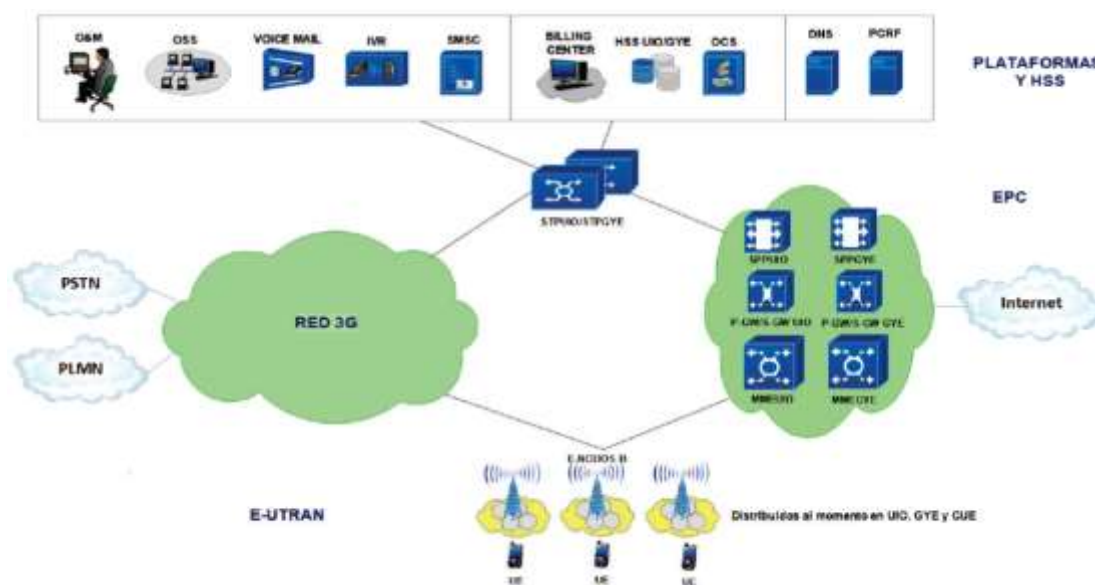


Figura 2.15 Topología general de la Red Movil LTE de CNT [26]

Se puede observar que la red LTE de CNT consta de los siguientes elementos principales que son: la red de acceso E-UTRAN, el core de la red denominado Evolved Packet Core (EPC), el cual consta de dos equipos MME y dos equipos de P-GW / S-GW para poder tener redundancia, y además se tiene las diferentes plataformas de servidores. A continuación se describirá cada una de sus elementos en la red.

2.9.1 RED DE ACCESO E-UTRAN DE CNT EP

Los equipos de usuario se conectan a través de la interfaz aire con las distintas radiobases llamadas eNB, las cuales operan en dos bandas, en la banda AWS⁴⁵ con frecuencias de 1700/2100 MHz y en la banda APT⁴⁶ de frecuencia 700 MHz. [43] La red de acceso E-UTRAN de CNT EP está compuesta por 694 radiobases localizadas en las ciudades de Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato, Riobamba, Baños, Santo Domingo, Salinas, Montañita, Manta, Portoviejo, Loja, Latacunga, Riobamba, Quevedo, Ibarra, Babahoyo, Milagro, y Esmeraldas [17] [42].

Los eNB se comunican entre sí y con la red EPC a través de anillos de fibra óptica. Los diferentes eNB se encuentran interconectados mediante la interfaz llamada X2 y la conexión entre eNB y la EPC es por medio de la interfaz S1 [26].

La E-UTRAN de CNT EP es la responsable de las siguientes funciones [26]:

- Gestión de recursos de radio.
- Compresión de la cabecera.
- Seguridad.
- Conectividad con la EPC.

2.9.2 RED DE CORE EPC DE CNT EP

Según 3GPP las entidades de red de LTE son entidades lógicas, por lo que varias entidades funcionales pueden residir en el mismo equipo.

⁴⁵ AWS: Advanced Wireless Services, nombre de la banda 4 asignada a LTE.

⁴⁶ APT: Asia Pacific Telecommunity, nombre de la banda 28 asignada a LTE.

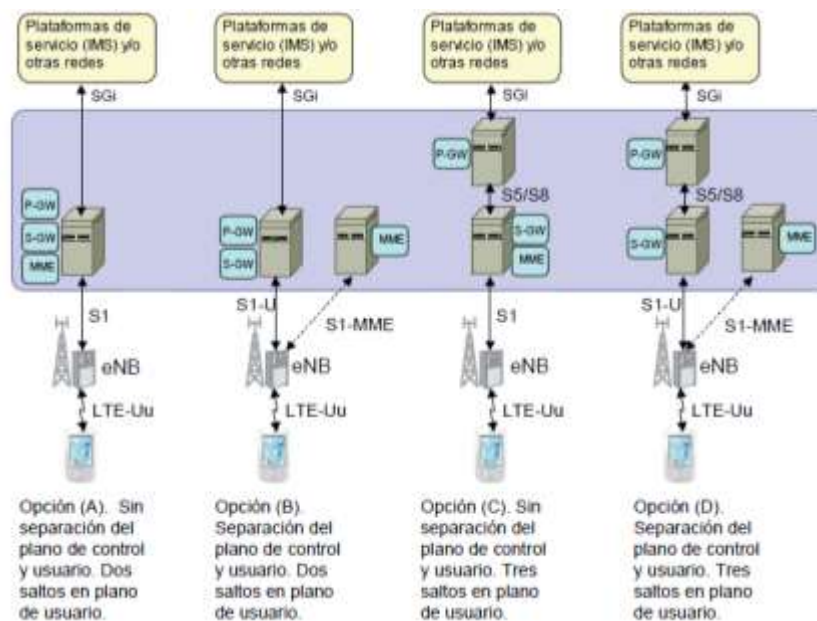


Figura 2.16 Opciones de Implementación EPC [8]

En la Figura 2.16 se muestran las cuatro opciones de implementación de la red EPC, con sus respectivas descripciones. La operadora celular CNT ha optado por la Opción (B), en donde en un solo equipo se tienen las entidades Packet Data Network Gateway y Serving Gateway mientras que en otro equipo se tiene la entidad Mobility Management Entity [26] [27]. Con esta configuración se logra separar el plano de control y el plano del usuario. En plano de control se encuentra la pila de protocolos necesarios para la gestión de las operaciones, es decir la señalización, mientras que en el plano de usuario se encuentran los protocolos para el envío de tráfico referente al usuario, es decir el *data*. En esta configuración el número de saltos⁴⁷ en plano de usuario es de dos.

En la Figura 2.17 se muestra el modelo de los equipos que conforman la red EPC.



⁴⁷ saltos: Puntos de procesamiento del plano de usuario en la red LTE

Figura 2.17 Equipos EPC [26]

Los dos equipos principales de la red EPC de CNT EP pertenecen a la marca Huawei, los cuales se describen a continuación, con sus respectivas entidades.

2.9.2.1 Modelo: UGW9811

En este equipo se tienen las siguientes entidades:

- Serving Gateway (S-GW).
- Packet Data Network Gateway (P-GW).
- Gateway GPRS Support Node (GGSN).

Este equipo cumple la función de puerta de enlace unificada para la transferencia de paquetes. Al disponer de varias entidades en un solo equipo el operador puede optimizar recursos de espacio físico, mejorar la capacidad de implementación y reducir los costos de operación. Se encuentran dos equipos instalados, uno en la ciudad de Quito y otro en la ciudad de Guayaquil [27].

2.9.2.2 Modelo: USN 9810

El equipo contiene las siguientes entidades:

- Mobility Management Entity (MME).
- Service GPRS Support Node (SGSN).

Este equipo es el responsable del estado de movilidad del usuario en el plano de control, teniendo como sus principales funciones, gestionar el estado del suscriptor y gestionar la lista de *tracking* área⁴⁸. La red de CNT EP opera con dos equipos, instalados en las ciudades de Quito y Guayaquil [27].

2.9.2.3 Modelo: HSS9860

El equipo tiene la siguiente entidad:

- Home Subscriber Server (HSS).

⁴⁸ Tracking área: Celdas de cobertura.

En este equipo se encuentra la base de datos de los suscriptores, donde se almacena información de los usuarios del sistema. Presenta las siguientes características [44]:

- Servidor de bases de datos.
- Repositorio de datos de suscripción.
- Almacena copia maestra del perfil de usuario.
- Almacena la localización del usuario.
- Almacena claves de cifrado.
- Interactúa con el MME.

La red de CNT EP consta con dos equipos de este modelo, uno en Quito y otro en Guayaquil [27].

2.9.3 TOPOLOGÍA DE LA RED LTE DE CNT EP

En la Figura 2.18 se puede observar el diagrama de red LTE 4G de CNT EP, con los respectivos modelos de los equipos mencionados anteriormente.

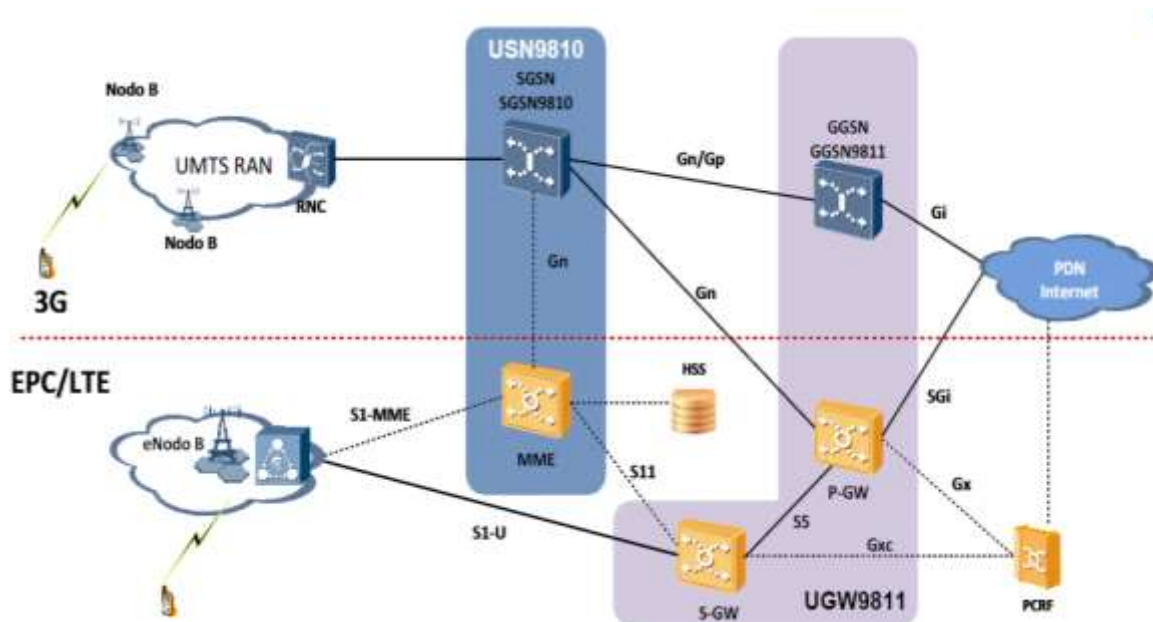


Figura 2.18 Red LTE 4G de CNT [27]

Se puede apreciar que existe una convergencia con la red 3G, la misma que consta de Nodos B que se conectan a través de la UMTS RAN a la entidad RNC⁴⁹ para luego enlazarse con el equipo USN9810 en donde se encuentra la entidad SGSN, el mismo que se conecta a través de las interfaces Gn y Gp con el equipo UGW9811 que contiene las entidades GSN y P-GW.

Mientras que en la red 4G los eNBs se conectan por medio de interfaces S1 con la entidad MME, contenida en el equipo USN9810, y a través de la interfaz S1-U con la entidad S-GW dispuesta en el equipo UGW9811, quien a su vez se conecta con la entidad PCRF para el establecimiento de políticas como la calidad de servicio.

A continuación en la Tabla 2.2 se muestra un resumen de las diferentes interfaces utilizadas en la EPC, indicando además entre que entidades se utiliza cada una.

Tabla 2.2 Ubicación interfaces de EPC [27]

NOMBRE INTERFAZ	CONEXIÓN
S1-MEE	eNode B – MME
S1-U	eNode B - S-GW
S11	MME- S-GW
S5	S-GW - P-GW
Gxc	S-GW – PCRF
Gx	P-GW – PCRF
Gn	P-GW – SGSN

2.9.4 PROCESO DE UNA LLAMADA DE VOZ EN LTE DE CNT EP

Aunque CNT EP dispone ya de una red LTE para la transmisión de datos, las llamadas de voz todavía no se pueden realizar sobre LTE como tal, por lo que

⁴⁹ RNC: Radio Network Controller.

CNT EP utiliza la técnica CSFB, la cual, como se mencionó en el capítulo 1, reutiliza el core de voz de conmutación de circuitos para cursar llamadas originadas desde terminales que soporten LTE. Así cuando el equipo de usuario realiza o recibe una llamada, deja el dominio de LTE y es redirigida al dominio UMTS o GSM, hasta que la llamada sea completada.

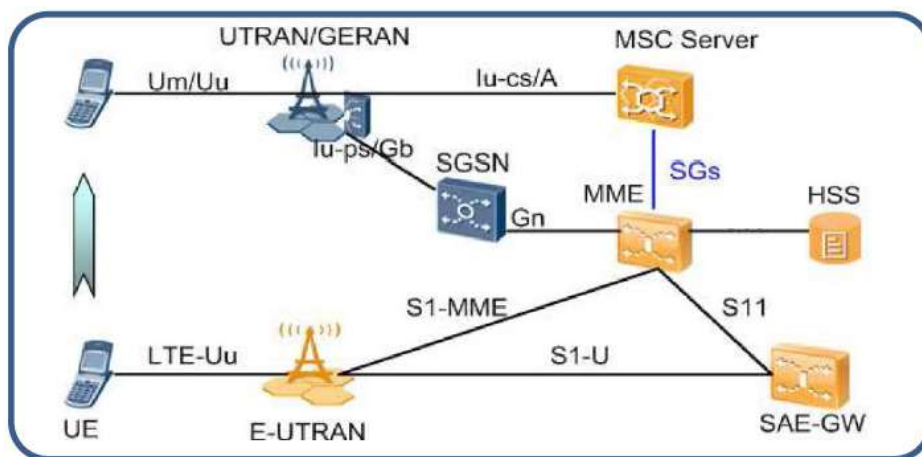


Figura 2.19 Esquema general de CSFB [27]

En la Figura 2.19 se muestra el esquema necesario para poder realizar CSFB al momento de una llamada de voz, en donde se destaca el uso de la interfaz SGs para la conexión entre las entidades MME y MSC Server con el propósito de establecer la conexión vía CSFB [27].

A continuación, se describe el proceso empleado para poder establecer una llamada de voz con la técnica CSFB, como es el caso de CNT EP, ilustrado en la Figura 2.20 [27].

1. El equipo de usuario, inicia una llamada de voz.
 - 1a. Envía un mensaje de solicitud de servicio extendido (Extended Service Request) para el MME, el mismo que contiene la información del tipo de servicio requerido CSFB.
 - 1b. El MME envía el mensaje "S1-AP"⁵⁰ al eNB señalando el requerimiento de CSFB. El mensaje indica al eNB, que el equipo de usuario necesita ser trasladado a la GERAN/UTRAN.
2. El eNB solicita información al equipo de usuario, del GERAN/UTRAN destino, a la que se desea trasladar.

⁵⁰ S1 – AP: S1 Application Protocol, Proporciona el servicio de señalización entre E-UTRAN y EPC.

3. El eNB libera el procedimiento de PS HO (Packet Switching Handover) hacia la celda GERAN/UTRAN destino, mediante el envío de un mensaje de requerimiento de handover al MME. Durante el PS HO, la E-UTRAN origen y la GERAN/UTRAN, negocian los recursos necesarios para la ejecución del handover hacia la red 3G, manteniendo el servicios de datos. Luego el equipo de usuario se conecta a la celda GERAN/UTRAN en función de los mensajes de información de handover enviados por la E-UTRAN.
4. El equipo de usuario envía un mensaje de solicitud de servicio de voz (CM Service Request), estableciendo una conexión con el servidor MSC.
5. Una vez establecida la conexión con el MSC vía la interfaz SGs, el equipo de usuario inicia el procedimiento para establecer e inicializar la llamada de voz.
6. Si previamente se tenía una llamada de datos en curso, el proceso de PS HO, debe mantener la sección establecida; para lo cual, el equipo de usuario libera el procedimiento de actualización de la información del área en la cual se encuentra actualmente registrado, RNC, y así poder ser atendido por la SGSN respectiva.

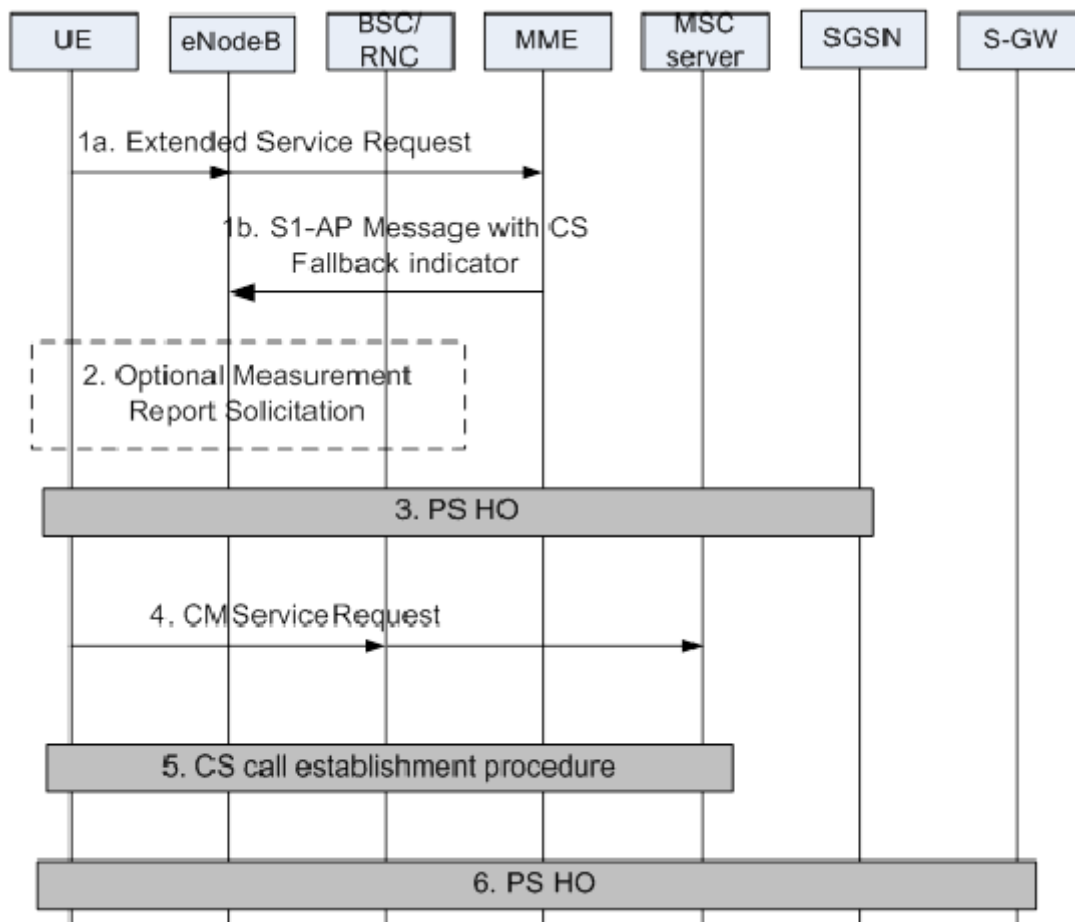


Figura 2.20 Procedimiento llamada de voz con CSFB [27]

Una vez analizada la situación actual de la telefonía móvil en el Ecuador, en especial del estado de la red LTE de CNT EP se procederá a realizar el estudio de factibilidad técnica como tal, en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO III

3. FACTIBILIDAD TÉCNICA DE WI-FI CALLING

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se determina la factibilidad técnica de la implementación de la tecnología Wi-Fi Calling en una operadora de la ciudad de Quito. Además se realizará un análisis de la solución Wi-Fi Calling frente a otras soluciones alternativas.

3.2 PROCESO DE UNA LLAMADA VoLTE

Debido a que Wi-Fi Calling funciona en redes LTE, es necesario analizar los diferentes procedimientos en la realización de una llamada de voz en LTE, tales como el proceso de conexión inicial, el procedimiento de llamada VoLTE y el proceso de control de las llamadas, como se lo describirá a continuación.

3.2.1 PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN INICIAL

El proceso que se sigue para que el equipo de usuario se conecte a la red, es el descrito a continuación [31]:

1. Se envía información del sistema desde el eNB hacia el equipo de usuario.
2. Se realiza un ingreso al RACH⁵¹ desde el eNB hacia el equipo de usuario.
3. Se inicia la conexión RCC⁵² realizando una petición de registro desde el equipo de usuario hacia el eNB.
4. Se envía un mensaje con la petición de registro desde el eNB hacia el MME.
5. Se envía la configuración de conexión RCC desde el eNB hasta el equipo de usuario.
6. El equipo de usuario envía el mensaje de configuración completa.
7. Se realizan las configuraciones de autenticación y seguridad entre el equipo de usuario y el core de la red.

⁵¹ RACH: Random Access Channel

⁵² RCC: Radio Resource Control

8. El MME envía una solicitud para actualizar la localización al HSS.
9. Entre el MME y el HSS se envían datos del usuario.
10. El HSS envía al MME la localización.
11. El MME envía una solicitud para establecer una conexión PDN al S-GW y el S-GW envía una solicitud al P-GW.
12. El P-GW establece conexión a Internet.
13. Se envía una respuesta desde el P-GW al S-GW y desde allí al MME con la información que se ha creado la conexión PDN.
14. Se crea una conexión en la E-UTRAN con la respuesta a la solicitud de registrarse.
15. Se acepta la conexión.
16. Se envía un mensaje con la configuración de los servicios portadores desde el eNB hacia el equipo de usuario.
17. El equipo de usuario envía al eNB un mensaje indicando que la reconfiguración RRC está completa.
18. El eNB envía un mensaje de conexión de red completo al MME.

3.2.2 PROCEDIMIENTO DE LLAMADA VOLTE SOBRE IMS

En una llamada VoLTE funcionan dos portadoras, una para señalización y otra para la red como tal, a continuación se describe el flujo de una llamada VoLTE que se muestra en la Figura 3.1. [27]:

1. El suscriptor⁵³ móvil inicia la llamada VoIP.
2. La red LTE identifica el P-GW, que permite la conexión con IMS.
3. La red LTE levanta una portadora SIP entre el suscriptor y el P-GW seleccionado. El portador LTE se establece con un valor de QCI⁵⁴ de 5 (valor de QCI en señalización SIP).
4. El equipo de usuario del suscriptor, envía el mensaje SIP "INVITE" hacia la red IMS, dentro del cual se encuentra contenido el valor del QoS. LTE desconoce el contenido del paquete SIP.
5. La red IMS, toma el mensaje SIP que la red LTE y analiza el QoS requerido.

⁵³ Suscriptor: Usuario de la red celular.

⁵⁴ QCI: QoS Class Identifier

6. El QoS requerido, es enviado al PCRF por la interfaz Rx⁵⁵ y mediante el uso del protocolo Diameter.
7. La PCRF, crea las reglas de QoS y tarificación que se aplicarán a la sesión establecida, envía estas reglas a la entidad PCEF⁵⁶ por medio de la interfaz Gx⁵⁷ para su posterior ejecución.
8. Posteriormente, la entidad P-GW, solicita al terminal de usuario el establecimiento de una portadora con QCI de 1.
9. El terminal de usuario confirma que la red tiene la capacidad para atender al nuevo portador dedicado, tras lo cual genera el mensaje SIP "UPDATE" a la red IMS.
10. Finalmente, la red IMS completa con éxito el establecimiento de la sesión de voz.
11. Los paquetes VoIP, fluyen dentro de la infraestructura LTE, entre el P-GW y el terminal de usuario.
12. Al finalizar la llamada de voz, el terminal de usuario, envía un mensaje SIP "BYE" a la red IMS.
13. IMS, genera el mensaje de finalización de la llamada hacia el PCRF.
14. A su vez, el PCRF solicita al PCEF, el cierre de la facturación LTE y al mismo tiempo solicita al P-GW, liberar los recursos previamente establecidos para la ejecución de la llamada VoIP.

⁵⁵ Rx: Interfaz localizada entre el PCRF y el AF (Application Function). Permite el intercambio de información de la sesión en la capa de aplicación. La información es requerida cuando el PCRF determina las políticas y las funciones de control de cobro.

⁵⁶ PCEF: Policy and Charging Enforcement Function

⁵⁷ Gx: Interfaz utilizada por el PCRF para instruir al PCEF sobre las políticas de facturación configuradas.

mantenimiento de la calidad de servicio en este sistema es altamente desafiante [32].

- Ubicuidad⁵⁸: Las expectativas de los suscriptores en cuanto a la ubicuidad del servicio son bastante altas. Es decir que la movilidad debe ser soportada de forma transparente por cualquier solución VoLTE. Técnicamente significa operaciones IRAT⁵⁹, así como *roaming* nacional e internacional [32].
- Batería: Para que una solución de VoLTE sea viable el consumo de batería no puede ser significativamente alto respecto al consumo en las generaciones anteriores [32].

3.3.2 REQUERIMIENTOS DE LAS OPERADORAS CELULARES PARA VOLTE

- Eficiencia: Cuanto más eficiente es una tecnología, mayor es la cantidad de tráfico que se puede manejar por nodos y además utiliza menor ancho de banda. Esto es particularmente importante en la interfaz aérea, ya que el espectro radioeléctrico es uno de los activos más preciados de la operadora móvil, ya que su adquisición, a diferencia de la adquisición de equipos, es costosa, regulada y requiere mucho tiempo [32].
- Complejidad: La reducción de la complejidad de la red fue un principio fundamental empleado durante el diseño de LTE. A medida que aumenta la complejidad, aumenta el *hardware* necesario y el esfuerzo de desarrollo de *software*, especialmente con dispositivos terminales. Por lo tanto, una solución de voz excesivamente compleja no es deseable [32].
- Reutilización: Son deseables las soluciones que permitan reutilizar la infraestructura existente hacia la evolución de nuevas tecnologías y además estén diseñadas para tener una larga vida útil [32].
- Costos: Entre menores sean los costos de implementación y mantenimiento, serán mayores los beneficios para la operadora móvil.

A continuación se analizará los requerimientos técnicos que se necesitan para la implementación de Wi-Fi Calling en una operadora móvil.

⁵⁸ Ubicuidad: Capacidad que tiene el servicio celular para estar disponible en todas partes al mismo tiempo.

⁵⁹ IRAT: Internet Radio Access Technology, interfaz aire móvil para obtener diversos servicios.

3.4 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA WI-FI CALLING

Wi-Fi Calling se puede habilitar solamente si el dispositivo de usuario, la red de acceso, y la red troncal lo admiten. Por lo que, para poder realizar el diseño de Wi-Fi Calling se tienen algunas áreas en las cuales se debe considerar ciertos requisitos fundamentales, que se describirán a continuación.

3.4.1 REQUERIMIENTOS DE EQUIPO DE USUARIO

El equipo de usuario que se requiere para Wi-Fi Calling es un *smartphone*, que soporte LTE a través de una SIM card, y que sea capaz de conectarse a redes Wi-Fi. En la Figura 3.2 se puede observar la arquitectura general del equipo de usuario, en donde se resalta las dos características mencionadas [13].

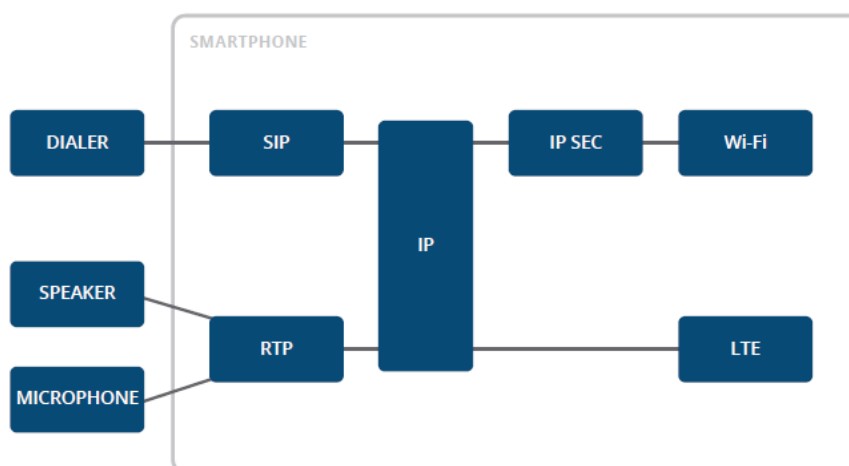


Figura 3.2 Arquitectura de equipo de usuario [13]

Los elementos que se destacan en la arquitectura del dispositivo de usuario son:

- RTP: Protocolo de Transporte en Tiempo Real.
- SIP: Protocolo de Inicio de Sesiones.
- IP: Protocolo de Internet.
- IPSEC: Protocolo de seguridad de Internet.
- Wi-Fi: Interfaz para la conexión inalámbrica Wi-Fi.
- LTE: Interfaz para la conexión celular LTE.

El equipo de usuario adicionalmente debe tener en cuenta, que para dispositivos Apple, la itinerancia⁶⁰ de celdas comienza en -70 decibeles por miliwatt (dBm), y debido a esto, debe reducir el límite de celda a -65 dBm para aplicaciones en tiempo real. La itinerancia de Android normalmente comienza alrededor de -75 dBm, lo que significa que la reducción del borde de la celda debe establecerse en -67 dBm para aplicaciones en tiempo real. Para una itinerancia mucho más eficiente, se debe considerar implementar una solución Wi-Fi que dispone de los estándares IEEE 802.11k y 802.11v [33].

Finalmente, el equipo de usuario debe ser compatible con Wi-Fi Calling por medio de una aplicación nativa, es decir a través de una configuración de fábrica del dispositivo. En la Figura 3.3 se puede observar como aparece la opción de configuración de Wi-Fi Calling, la misma que puede ser habilitada o deshabilitada [47].

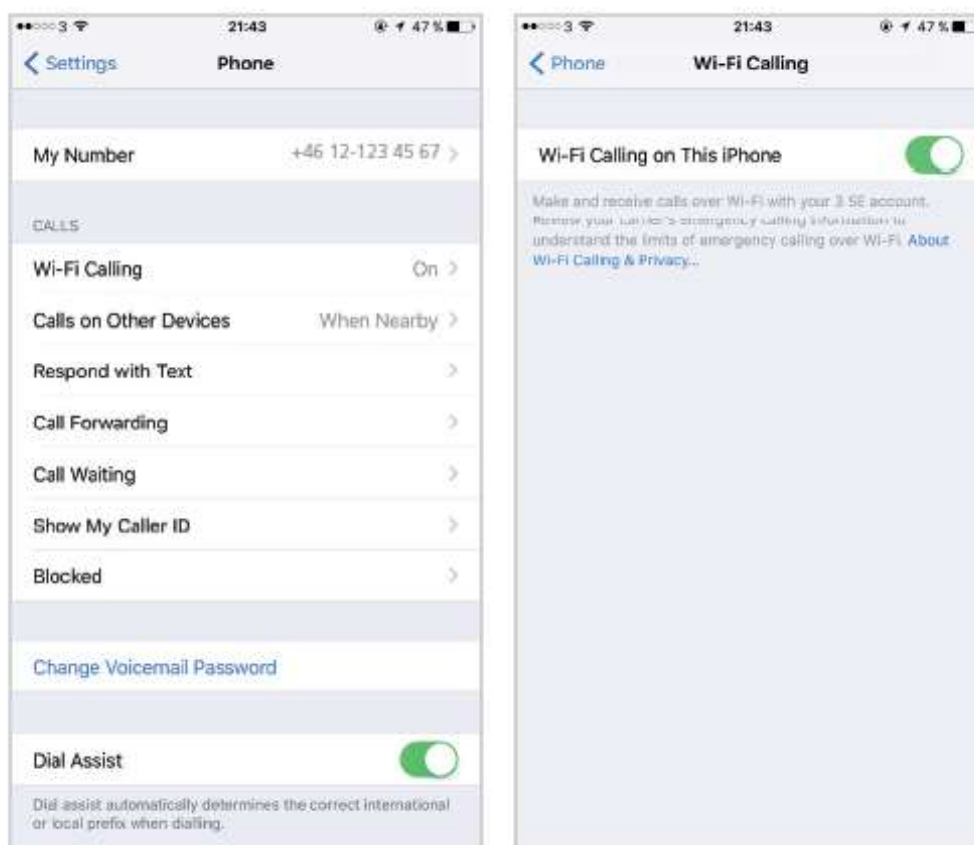


Figura 3.3 Configuración nativa de Wi-Fi Calling [47]

⁶⁰ Itinerancia: El equipo de usuario puede desplazarse entre los diferentes puntos de acceso sin perder la comunicación por lo que existe una superposición de coberturas, evitando que los usuarios se autentiquen cada vez que detecten un nuevo punto de acceso.

3.4.2 REQUERIMIENTOS DE LA RED DE ACCESO

Aunque la red troncal EPC ha sido diseñada para poder proporcionar sus servicios de conectividad IP a terminales que utilicen redes de acceso diferentes a las especificadas por el 3GPP, como es el caso de Wi-Fi. Existe un requisito fundamental para que las redes de acceso no 3GPP puedan ser consideradas, y es el hecho de que las redes de acceso deben proporcionar un mecanismo de transferencia de paquetes IP [8]. Por tanto se tienen dos opciones que la red de acceso Wi-Fi necesita para la implementación de Wi-Fi Calling:

- Deep Packet Inspection (DPI): Es una característica que permite a los APs identificar el tipo de tráfico proveniente desde el dispositivo móvil, diferenciando entre voz, datos o video. Así que en el caso es una llamada de voz, se puede dar el más alto nivel de prioridad. Si es un paquete de video, se le asigna el siguiente nivel de prioridad más alto o segundo. Y los datos serían últimos o lo que se conoce como el mejor esfuerzo. De esta manera, se puede garantizar el funcionamiento adecuado del servicio de voz [45].
- Wi-Fi Multimedia (WMM): Mantiene la prioridad de audio, video y voz, en comparación con otras aplicaciones que son menos críticas. Por ejemplo, las aplicaciones de video y audio tienen prioridad sobre aplicaciones como FTP. De esta manera, en una conversación telefónica, es menos probable que escuche los retrasos. Retrasando el tipo de tráfico de naturaleza menos crítica, como descargar archivos grandes, donde es aceptable un pequeño retardo de tiempo [46].

A partir del estándar IEEE 802.11 n se cumple con la especificación de WMM, la cual es suficiente para proveer la calidad de servicio adecuada para los paquetes de voz en Wi-Fi Calling.

3.4.3 REQUERIMIENTOS DE LA RED TRONCAL EPC

La red troncal, EPC requiere las siguientes funcionalidades para la implementación de Wi-Fi Calling [8].

- Gestionar el acceso de los usuarios a través de la red Wi-Fi.

- Posibilidad de acceder a los datos del perfil de suscripción de un usuario.
- Sustentar los procedimientos de control de acceso, como la autenticación y autorización de los usuarios en la red Wi-Fi.
- Dar soporte a las funciones de autenticación y autorización en la red de acceso.
- Proporcionar acceso a datos relativos a la suscripción de los usuarios a la entidad P-GW.
- Proporcionar el soporte necesario a la red de acceso Wi-Fi para llevar a cabo el control de acceso al servicio de conectividad IP de la red troncal EPC.
- Mantener la entidad P-GW como punto de anclaje del servicio de conectividad, junto con la utilización de un protocolo de movilidad en la capa de red a través de la red Wi-Fi.
- Proveer de un acceso seguro a los servicios de la red troncal EPC, dado que la red de acceso no 3GPP se considera que no proporciona las garantías de seguridad necesarias.
- Establecer llamadas de voz sobre LTE utilizando el núcleo de servicios IMS, es decir que es necesario que el proceso de las llamadas de voz sea solamente en VoIP, o en el dominio de conmutación de paquetes.

3.4.4 REQUERIMIENTOS GENERALES DEL OPERADOR MÓVIL

Los requisitos generales para la operadora de telefonía celular, son los siguientes [11]:

- Seguridad y privacidad, especialmente cuando se utiliza espectro sin licencia.
- Capacidad para diferenciarse de las soluciones OTT al ir más allá de la simple voz e innovar con nuevos servicios.
- Flexibilidad para apoyar los casos y servicios emergentes de negocio.
- Calidad de la experiencia permitida por una fuerte cobertura.
- Capacidad de escalar mientras que alinea el coste del despliegue a los beneficios económicos de la voz.

Una vez analizados los diferentes requerimientos del equipo de usuario, de la red de acceso, de la red troncal, necesarios para el funcionamiento de Wi-Fi Calling, se procederá a realizar el diseño de la red para poder habilitar dicha tecnología en la operadora celular.

3.5 PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WI-FI CALLING EN LA CIUDAD DE QUITO.

A continuación se desarrollará la propuesta técnica para que la operadora CNT EP pueda implementar Wi-Fi Calling en la ciudad de Quito.

3.5.1 DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA

Dado que Wi-Fi Calling solo puede funcionar a través de redes LTE, el área de cobertura se limita a las ciudades del país en las que el servicio LTE se encuentra disponible. Por lo que el presente estudio ha limitado su alcance a la ciudad de Quito.



Figura 3.4 Mapa de la ciudad de Quito [48]

En la Figura 3.4 se puede observar el alcance geográfico del Distrito Metropolitano de Quito, sin embargo, cabe recalcar que eso no significa que la cobertura de Wi-Fi Calling estará sobre toda la ciudad, ya que depende de la ubicación de los diferentes puntos de acceso Wi-Fi que se tenga en los hogares, oficinas, colegios, universidades, parques, hospitales, entre otros.

Adicionalmente se debe recordar que la tecnología Wi-Fi Calling permite una extensión al área de cobertura celular ya establecida por parte de la operadora celular.

3.5.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE USUARIOS

Dado que se plantea dar solución a los problemas de cobertura a la ciudad de Quito, es necesario considerar la población de la misma. Según el último censo oficial realizado por el INEC existen 2 239 191 habitantes en la ciudad de Quito, sin embargo la Población Económicamente Activa (PEA) para la capital ecuatoriana es de 1' 097.251 personas [16] [50].

Por otro lado, considerando que Wi-Fi Calling funciona solamente para suscriptores LTE, la cantidad de usuarios suscritos, hasta el mes de marzo de 2017, a la red LTE de CNT es de 1' 202.756. En la Tabla 3.1 se muestra la evolución del número de usuarios desde el mes de enero 2016 hasta el mes de marzo del año 2017.

Tabla 3.1 Evolución Usuarios LTE [15]

Año	Mes	Usuarios
2016	Enero	595.492
	Febrero	633.795
	Marzo	678.162
	Abril	720.323
	Mayo	753.158
	Junio	792.499
	Julio	841.023
	Agosto	894.645
	Septiembre	906.357

Año	Mes	Usuarios
2016	Octubre	910.408
	Noviembre	996.861
	Diciembre	1.075.501
2017	Enero	1.145.632
	Febrero	1.179.619
	Marzo	1.202.756

Utilizando los datos de Tabla 3.1 se realiza, mediante Microsoft Excel, la siguiente gráfica, en donde se puede visualizar el crecimiento que ha tenido el número de usuarios de LTE de CNT EP.

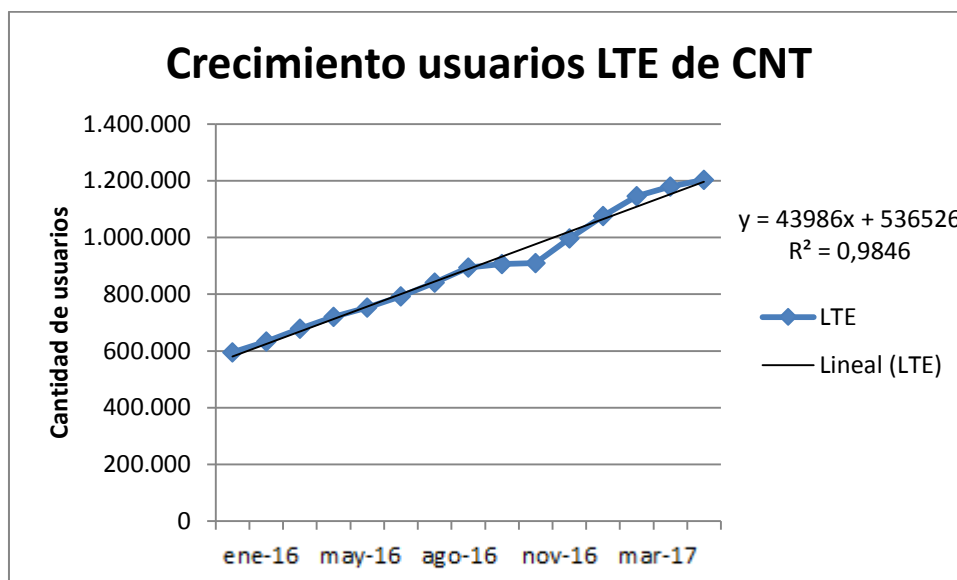


Figura 3.5 Crecimiento usuarios LTE de CNT⁶¹

Una vez realizada la gráfica, como se muestra en la Figura 3.5, se procede a calcular la ecuación lineal con el fin de realizar una estimación para los siguientes años.

$$y = 43986 x + 536526$$

⁶¹ Realizado por el autor de este proyecto.

En base a esta ecuación se realiza la extrapolación de los datos de los siguientes años hasta el 2020 como se muestra en la Tabla 3.2, cabe recalcar que el corte de la información se realiza en marzo de cada año.

Tabla 3.2 Estimación de crecimiento.

Año	Usuarios LTE
2017	1.202.756
2018	1.724.148
2019	2.251.980
2020	2.779.812

Una vez determinado el número de potenciales usuarios que utilizarían en un futuro Wi-Fi Calling, se procederá a analizar la Calidad de Servicio, con el fin de que las llamadas de voz puedan ejecutarse con éxito.

3.5.3 CALIDAD DE SERVICIO

Cabe señalar que mediante la implementación de una solución Wi-Fi Calling los operadores tienen que renunciar a cierto control sobre la calidad de servicio de la voz, ya que el tráfico pasará por redes que no administran completamente. Sin embargo, a través de la capacidad creciente de las redes Wi-Fi con el estándar IEEE 801.11ac, que proporciona velocidades de 1.3 Gbps y la capacidad mejorada para priorizar el tráfico multimedia con WMM, la QoS no será en la mayoría de los casos un desafío importante. Además, Wi-Fi Calling está ofreciendo una alternativa a la voz celular donde no se tiene cobertura de red LTE o su cobertura es de mala calidad [47].

Cada servicio portador EPS tiene asociado un QoS Class Identifier (QCI) que define sus características de calidad de servicio, tales como el caudal, el retardo, las pérdidas, entre otras [12]. En la Tabla 3.3 se puede observar los valores de QCI más representativos.

Para el caso de Wi-Fi Calling al ser una solución exclusiva para las llamadas de voz, el valor de QCI que se establecerá será de 1, con prioridad 2 y un retardo

máximo de 100 ms con una tasa de pérdida de paquetes de 10^{-2} . Cabe destacar la velocidad de transmisión para llamadas de voz de alta calidad es de 32 Kbps.

Tabla 3.3 Valores de QCI estandarizados [8]

QCI	PRIORIDAD	RETARDO PAQUETE	TASA DE PÉRDIDA DE PAQUETES	EJEMPLO DE SERVICIO
1	2	100 ms	10^{-2}	Voz
2	4	150 ms	10^{-3}	Videoconferencia
5	1	100 ms	10^{-6}	Señalización IMS
6	6	300 ms	10^{-6}	Videostreaming

3.5.4 DETERMINACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA RED

En esta sección se definirá cuáles son los elementos que se necesitan para poder implementar Wi-Fi Calling, se detallará los cambios en la estructura de la red de la operadora celular CNT EP.

3.5.4.1 Core IMS

Actualmente CNT utiliza para establecer las llamadas de voz en 4G la técnica anteriormente descrita conocida como CSFB, ya que todavía no realiza la implementación del core IMS para poder brindar VoLTE propiamente dicha. Cabe destacar que para la implementación de Wi-Fi Calling, la red de la operadora móvil CNT EP necesita brindar Voz sobre LTE necesariamente a través de IMS, con el fin de que sea todo IP y se pueda dar la convergencia de manera oportuna.

El diseño de la red IMS para la operadora CNT EP ya se lo ha realizado en trabajos de titulación desarrollados anteriormente [26] [27], y no está contemplado en el presente estudio.

Sin embargo, a continuación se presenta la topología de la red IMS en la Figura 3.6 en donde se muestran los equipos necesarios para la implementación de la arquitectura IMS y la forma como estos se interconectan a las distintas redes de CNT EP.

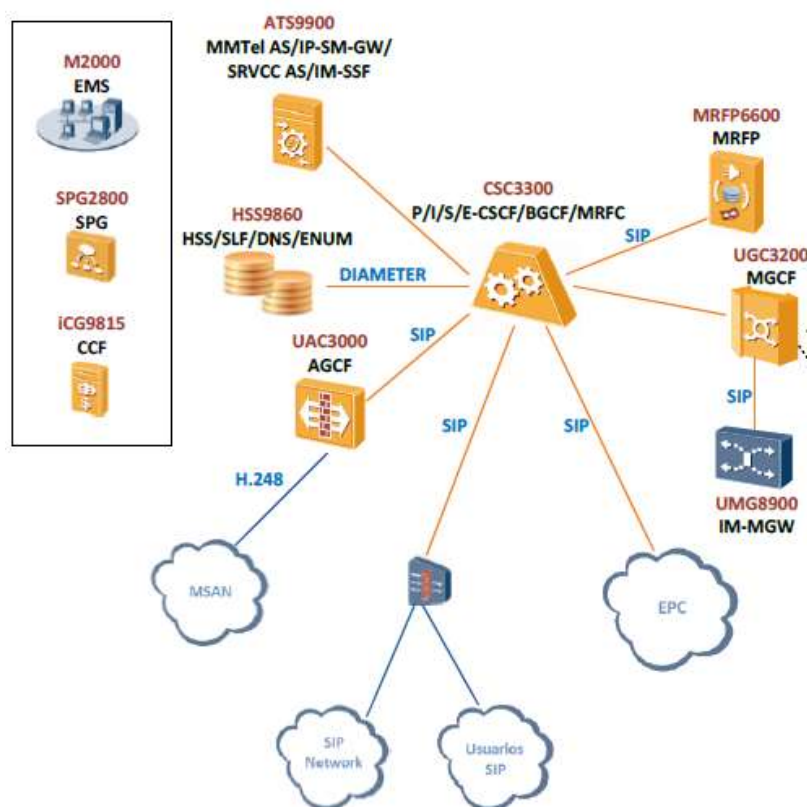


Figura 3.6 Diagrama general del core IMS [27]

Con la implementación de la plataforma VoLTE basado en IMS se permitirá el despliegue de servicios VoLTE de forma nativa.

En la red troncal EPC se necesita realizar dos grandes cambios para poder ofrecer Wi-Fi Calling a los usuarios, la principal modificación es la implementación de la entidad de red ePDG con sus respectivas interfaces en la troncal EPC de la red de CNT. Y la segunda modificación es la incorporación un servidor AAA.

3.5.4.2 Evolved Packet Data Gateway

El elemento crítico de la arquitectura Wi-Fi Calling es el ePDG porque es la puerta de enlace entre Internet y la red no confiable, y el *core* de la red móvil. Controla funciones clave como seguridad y autenticación, actuando como nodo de terminación seguro para túneles IPsec establecidos en el equipo de usuario. También soporta *roaming*, *hand-off*, cumplimiento de QoS y movilidad local [11].

Probablemente la elección más importante al desplegar un ePDG es si seleccionar uno que se implemente en una entidad autónoma en el borde de la red, o integrado en el PGW y el núcleo móvil. Hay algunas atracciones obvias para integrar tantas funciones como sea posible estrechamente dentro del núcleo del paquete, particularmente en términos de costo. Sin embargo la tendencia a nivel mundial está en confiar en una solución de *gateway* dedicado [11].

Los principales motivos para optar por un *gateway* independiente se relacionan con los siguientes factores:

- Seguridad y Privacidad: La seguridad es la preocupación más importante entre los operadores que adoptan LTE basado en IP en general y en especial Wi-Fi Calling. Un ePDG que se dedica a asegurar la frontera puede mejorar perceptiblemente las defensas del operador contra la marea creciente del *malware* y la piratería informática de sistemas de IP y por lo tanto mitigar el riesgo dominante al caso de negocio. Un ePDG protege las comunicaciones de los usuarios al mismo tiempo que optimiza la capacidad del núcleo móvil para resistir las sobrecargas y los ataques [11].
- Diferenciación de Servicios: Wi-Fi Calling para cumplir con su objetivo comercial, debe ser claramente superior sus competidores en términos de cobertura, calidad y eficiencia. Una parte de esta diferenciación se logra a través de las agregaciones de valor de IMS, pero otras dependen de la propia red, en particular, altos niveles de cobertura, mismo marcador nativo, misma identidad móvil, inicio de sesión, autenticación instantánea y niveles de QoS relacionados con sus respectivas políticas. Además, un sistema dedicado puede ofrecer niveles más altos de funcionalidad y

rendimiento al administrar la autenticación, la elección de conexión o la entrega [11].

- Escalabilidad: Muchos operadores están manejando a millones de suscriptores, haciendo miles de millones de llamadas al mes, por lo que sus plataformas de *gateway* y núcleo deben ser capaces de escalar hasta niveles de uso enormes. Los ePDG dedicados están diseñados específicamente para manejar y asegurar a los suscriptores en la frontera, por lo que han optimizado los niveles de rendimiento y la capacidad de escala. IPsec posee una gran cantidad de procesos y por lo tanto puede tener un impacto en la experiencia del usuario y el rendimiento del *core* si se lleva a cabo por una plataforma de propósito general. Cualquier ePDG debe combinar el soporte para interfaces de servicio de alta densidad con bajo consumo de energía. Además, el cifrado y el descifrado deberían tener un impacto mínimo sobre la latencia [11].
- Flexibilidad: Los servicios IP móviles están en desarrollo y las necesidades del operador y del suscriptor están cambiando rápidamente. Parte de la ventaja competitiva de un operador proviene de su capacidad para responder a los cambios de forma rápida y rentable, con el fin de mantener la experiencia de usuario actualizada, sin tener que hacer un cambio de red importante cada vez. Una puerta de enlace diseñada específicamente a menudo tiene una mejor capacidad para abordar los nuevos requisitos emergentes con flexibilidad, ya que puede realizar cambios en el borde, sin tener que afectar a toda la puerta de enlace de paquetes en cada ocasión. El ePDG dedicado tiene la facultad necesaria para ofrecer una gama de funciones de valor añadido, tales como entrega de vídeo seguro y llamadas y para apoyar un amplio y creciente conjunto de servicios de una manera ágil. Puede aprovechar el servicio integrado y la inteligencia de aplicaciones para permitir al operador desplegar nuevos servicios de forma rápida y flexible [11].

3.5.4.3 Servidor 3GPP AAA

Se define una nueva entidad de red denominada Servidor 3GPP AAA, la cual interactúa con la base de datos HSS a través de una interfaz denominada SWx basada en el protocolo *Diameter*. Mediante la interfaz SWx, el servidor AAA accede a los datos del perfil de suscripción de un usuario, tales como vectores de autenticación, identificadores APN, parámetros de QoS, parámetros de tarificación, direcciones IP asignadas, entre otros, con el fin de gestionar el acceso de los usuarios a través de la red Wi-Fi [8].

El servidor AAA también proporciona acceso a datos relativos a la suscripción de los usuarios a la entidad P-GW, los cuales son necesarios para gestionar el servicio de conectividad IP. La comunicación entre ambas entidades de red se realiza mediante la interfaz S6b basada en *Diameter*. Mediante esta interfaz, la entidad P-GW también indica al servidor AAA su identidad y la identidad de la red externa APN a la que se haya conectado un usuario, esta información se almacena en el HSS para sustentar el mecanismo de *handover* entre redes de acceso [8].

3.5.4.4 Arquitectura de Red

Luego de analizar todas las consideraciones necesarias para poder implementar Wi-Fi Calling en la ciudad de Quito, como una alternativa a la ampliación de la cobertura celular, se ha realizado en el diagrama de la Figura 3.7, la arquitectura de la red con sus diferentes interfaces, con el fin de ofrecer el servicio de Wi-Fi Calling en la operadora móvil CNT EP.

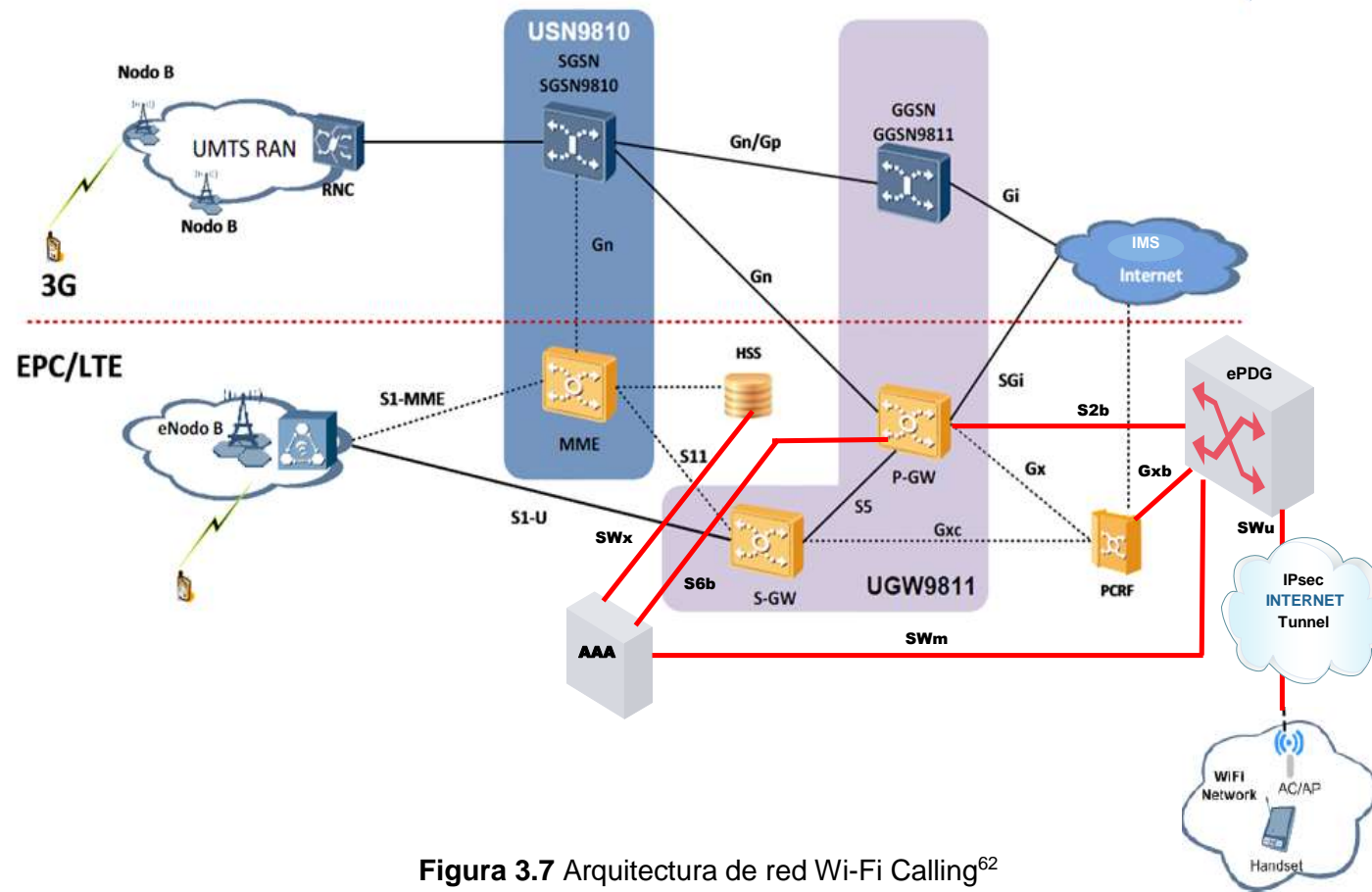


Figura 3.7 Arquitectura de red Wi-Fi Calling⁶²

⁶² Diseño propuesto por el autor de este proyecto.

Como se puede observar en la arquitectura de la red diseñada, existen dos entidades claves que se debe añadir a la red troncal EPC para que Wi-Fi Calling pueda entrar en funcionamiento, las cuales se las describe brevemente en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Entidades a implementar

ENTIDADES	DESCRIPCIÓN
ePDG	Permite a los operadores móviles proporcionar acceso seguro a la red troncal EPC, desde redes de acceso no confiables como Wi-Fi.
AAA	Proporciona autenticación, autorización, control de políticas e información de enrutamiento.

Las diferentes interfaces utilizadas en la arquitectura de Wi-Fi Calling se encuentran registradas en la Tabla 3.5, con sus respectivas entidades a las cuales interconecta.

Tabla 3.5 Interfaces de Wi-Fi Calling

INTERFAZ	ELEMENTOS CONECTADOS	
S2b	ePDG	P-GW
SWu	ePDG	UE
SWm	ePDG	AAA
Gxb	ePDG	PCRF
SWx	AAA	HSS
S6b	AAA	P-GW

3.5.4.5 Descripción de las Interfaces

A continuación se describirá la funcionalidad principal de cada interfaz, también conocidas como puntos de referencia, que se utilizan en Wi-Fi Calling, tomando en cuenta la información proporcionada por 3GPP en el *Release 15* [56].

- S2b
Proporciona al usuario un plano con control y soporte de movilidad entre ePDG y PGW. La interfaz S2b se basa en los protocolos GTP⁶³ o Proxy Mobile IP versión 6.
- SWu
Éste es el punto de referencia entre el equipo de usuario y el ePDG, ya que soporta el manejo de túneles IPSec. La funcionalidad de SWu incluye establecimiento del túnel iniciado por el equipo de usuario, transmisión de paquetes de datos de usuario dentro del túnel IPSec, desmontaje del túnel y soporte para la rápida actualización de túneles IPSec durante el traspaso entre dos accesos IP no 3GPP no confiables.
- SWm
Esta interfaz se encuentra entre el Servidor / Proxy 3GPP AAA y el ePDG, se utiliza para la señalización AAA (transporte de parámetros de movilidad, autenticación de túnel y datos de autorización).
- Gxb
Proporciona la transferencia de las políticas de calidad de servicio, QoS, entre el ePDG y la entidad PCRF.
- SWx
Este punto de referencia se encuentra entre el servidor 3GPP AAA y HSS, se utiliza para el transporte de datos relacionados con la conexión de autenticación, suscripción y PDN.
- S6b
Es la interfaz entre PDN Gateway y el servidor / proxy 3GPP AAA para la autenticación relacionada con la movilidad, si es necesario. Este punto de referencia también se puede utilizar para recuperar y solicitar el

⁶³ GTP: GPRS Tunneling Protocol

almacenamiento de parámetros de movilidad. También puede usarse para recuperar el perfil de QoS estático para un equipo de usuario de acceso no 3GPP en caso de que el PCC dinámico no esté soportado.

3.5.4.6 Descripción de las principales entidades de la red

Aunque previamente ya se ha realizado una descripción de las distintas entidades de red involucradas en Wi-Fi Calling, a continuación se revisará las diferentes funcionalidades de cada entidad de red necesaria para el funcionamiento de Wi-Fi Calling, considerando el *Release* 15 de 3GPP [56].

- **MME**
Realiza la transferencia de mensajes de señalización de HRPD⁶⁴, y además ejecuta la transferencia de información de estado entre E-UTRAN y acceso a HRPD. Permite el reenvío de la clave GRE⁶⁵ para el tráfico de enlace ascendente al objetivo S-GW en caso de reubicación del nodo de la red de Core. Transfiere información SON⁶⁶ entre E-UTRAN y HRPD, de manera transparente.
- **Serving GW**
Actúa como un ancla local no 3GPP para el caso de *roaming*. Realiza la notificación de eventos al PCRF. Controla los enlaces ascendente y descendente hacia los accesos 3GPP. Decide si los paquetes deben ser reenviados (enlace ascendente hacia PDN o enlace descendente hacia UE) o si están destinados localmente a la S-GW. Se incluye funcionalidad para enlazar el plano de usuario del túnel PMIPv6 hacia el PDN GW y el plano de usuario del túnel PMIPv6 hacia la función MAG⁶⁷ del ePDG.
- **PDN Gateway**

⁶⁴ HRPD: High-Rate Packet Data Services

⁶⁵ GRE: Generic Routing Encapsulation, protocolo para el establecimiento de túneles a través de Internet.

⁶⁶ SON: Self Organizing Network

⁶⁷ MAG: Mobile Access Gateway

El PDN GW trabaja en el plano de usuario con el fin de asistir la movilidad entre el acceso 3GPP y el acceso Wi-Fi. Para ello, el PDN GW incluye las siguientes funcionalidades:

Una función LMA⁶⁸ capaz de aceptar paquetes de cualquier MAG de confianza sin la necesidad de que la dirección IP de origen coincida con la CoA⁶⁹. Asignación de la clave GRE de enlace ascendente para cada conexión PDN dentro del PDN GW, que se utiliza para encapsular el tráfico de enlace ascendente al PDN GW. Protocolo de Túnel GPRS para el plano de control y el plano de usuario para proporcionar conectividad PDN a equipos de usuario que usan accesos Wi-Fi.

- ePDG

El ePDG realiza las siguientes funciones:

Transporte de una dirección IP remota como dirección IP específica de un PDN cuando se utiliza S2b. Enrutamiento de paquetes entre PDN GW y el equipo de usuario; si se utiliza S2b basado en GTP y si se establece una única SA⁷⁰ IPsec para la conexión PDN, esto incluye el enrutamiento de paquetes de enlace ascendente basados en los filtros de paquetes de enlace ascendente en los TFT⁷¹ asignados a los portadores S2b de la conexión PDN. Adicionalmente si se establecen varias SA de IPsec para la conexión de PDN, el enrutamiento del paquete de enlace ascendente se basa en la correlación entre la SA de IPsec y el portador de S2b correspondiente. Enrutamiento de paquetes de enlace descendente hacia la SA de IPsec asociada a la conexión de PDN.

Encapsulación de paquetes para IPsec y, si se utiliza la movilidad basada en red (S2b), para los túneles GTP o PMIPv6. Autenticación y autorización de túneles (terminación de señalización IKEv2 y retransmisión vía mensajes AAA). Anclaje de la movilidad local dentro de las redes de acceso no 3GPP no confiables. Aplicación de las políticas de QoS basadas en la información recibida a través de la infraestructura AAA.

⁶⁸ LMA: Local Mobility Anchor

⁶⁹ CoA: Care of Address

⁷⁰ SA: Security Association

⁷¹ TFT: Traffic Flow Template

Contabilización de la tarificación entre operadores de acuerdo con los principios de tarificación especificados.

3.5.5 PROCEDIMIENTOS EN WI-FI CALLING

Existen cuatro procesos principales en Wi-Fi Calling, el primero es el acceso al servicio desde un equipo móvil, el segundo se refiere a los procesos de *handover*, el tercero tiene que ver con los procesos de *roaming* y el cuarto proceso es relativo al cobro de las llamadas de voz. Los mismos que se describirán a continuación.

3.5.5.1 Procedimiento de registro en Wi-Fi Calling

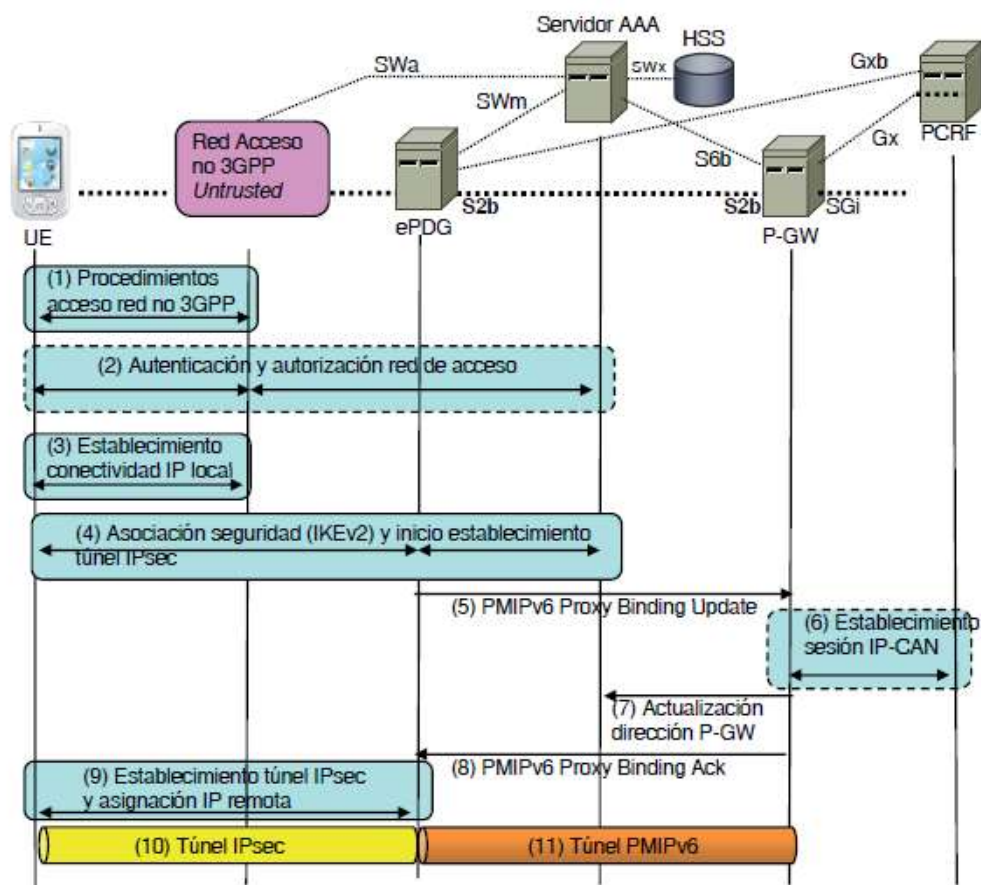


Figura 3.8 Procedimiento de registro en Wi-Fi Calling [8]

De acuerdo a la Figura 3.8 el procedimiento que se debe seguir para que un equipo de usuario pueda registrarse en Wi-Fi Calling es el siguiente:

- Acceso a la red no 3GPP. Paso (1)
El equipo terminal se conecta a la red de acceso Wi-Fi a través de los mecanismos específicos de esta red.
- Autenticación y autorización. Paso (2)
La autenticación del usuario en la red de acceso Wi-Fi es opcional ya que en esta solución la autenticación y autorización de acceso al servicio de conectividad se realiza durante el establecimiento de la asociación de seguridad entre el terminal y el ePDG. La autenticación y autorización del usuario se realiza mediante el protocolo EAP-AKA⁷² permitiendo que un terminal con una tarjeta USIM sea autenticado por el Servidor AAA de la red troncal EPC mediante la señalización EAP intercambiada a través de la red de acceso Wi-Fi [8].
- Establecimiento de la conectividad IP local. Paso (3)
El establecimiento de la conectividad IP local se realiza de forma previa a la señalización PMIPv6⁷³ ya que es necesario disponer de una dirección IP válida con la que el usuario inicie el establecimiento de la asociación de seguridad IPsec con ePDG. Esta dirección va a ser la utilizada como dirección externa del túnel IPsec [8].
- Establecimiento de asociación de seguridad. Paso (4)
El establecimiento de la asociación de seguridad se sustenta en el protocolo IKEv2. Durante este procedimiento, el *gateway* ePDG recibe desde el servidor AAA la dirección del *gateway* P-GW al que se quiere realizar la asociación de movilidad [8].
- *Binding update* y establecimiento del túnel PMIPv6. Pasos (5), (6), (7) y (8)
El establecimiento de la asociación PMIPv6 entre el equipo de la red de acceso Wi-Fi y el *gateway* P-GW, empieza mediante el envío del mensaje “*PMIPv6 Proxy Binding Update*” que contiene, entre otros, un identificador

⁷² EAP-AKA: Extensible Authentication Protocol – Authentication and Key Agreement

⁷³ PMIPv6: Proxy Mobile IPv6, protocolo de gestión de movilidad basado en red.

de usuario y el identificador APN de la red externa a la que debe proporcionarse el acceso [8].

En este momento, el *gateway* P-GW puede empezar el establecimiento de la sesión IP-CAN⁷⁴. De esta forma, la entidad PCRF conoce tanto el *gateway* P-GW asociado a una sesión IP-CAN como el *gateway* correspondiente de la red de acceso Wi-Fi [8].

También, antes de responder a la red de acceso, el *gateway* P-GW informa al servidor AAA de su identidad y la de la red externa a la que se conectará al usuario. Esto permite que la base de datos HSS contenga siempre información de cuál es la entidad P-GW que está dando servicio a un usuario [8].

P-GW determina la dirección IPv4 y/o IPv6 que va a asignarse al terminal y responde a la solicitud de *Binding Update* de la red de acceso Wi-Fi. En el intercambio de mensajes se transporta la información necesaria para que pueda quedar establecido un túnel GRE entre ambos extremos [8].

- Establecimiento túnel IPsec y asignación IP remota. Pasos (9), (10) y (11). Finalmente, la red de acceso procede a asignar la dirección IP enviada desde el P-GW al terminal. Esta dirección es la dirección HoA⁷⁵ que el terminal puede utilizar sin ningún tipo de encapsulado en la red de acceso gracias al esquema de funcionamiento de PMIPv6. La asignación de la dirección IP HoA se realiza en paralelo a la finalización del establecimiento del túnel IPsec [8].

Una vez que el equipo de usuario se ha registrado en la red, ya puede realizar o recibir llamadas usando el servicio de Wi-Fi Calling. Adicionalmente existen procesos de *handover* entre Wi-Fi y LTE dependiendo del nivel de intensidad de las señales de cobertura de cada una de ellas, con el fin de que el equipo de usuario siempre esté conectado a la señal que le ofrezca el mayor nivel de intensidad. Los diferentes procesos de *handover* se los describirá a continuación.

⁷⁴ IP-CAN: IP-Connectivity Access Network, asociación entre la red que proporciona el servicio de conectividad IP y el sistema PCC (Policy Charging Control) en base a una dirección IP, una identidad de usuario y un identificador de red PDN como APN.

⁷⁵ HoA: Home Address

- Los portadores se vuelven a configurar entre el P-GW y el UE para los servicios VoLTE.
- El P-GW libera los portadores Wi-Fi configurados con el UE, completando el traspaso.

3.5.5.3 Procedimiento de *handover* entre LTE y Wi-Fi.

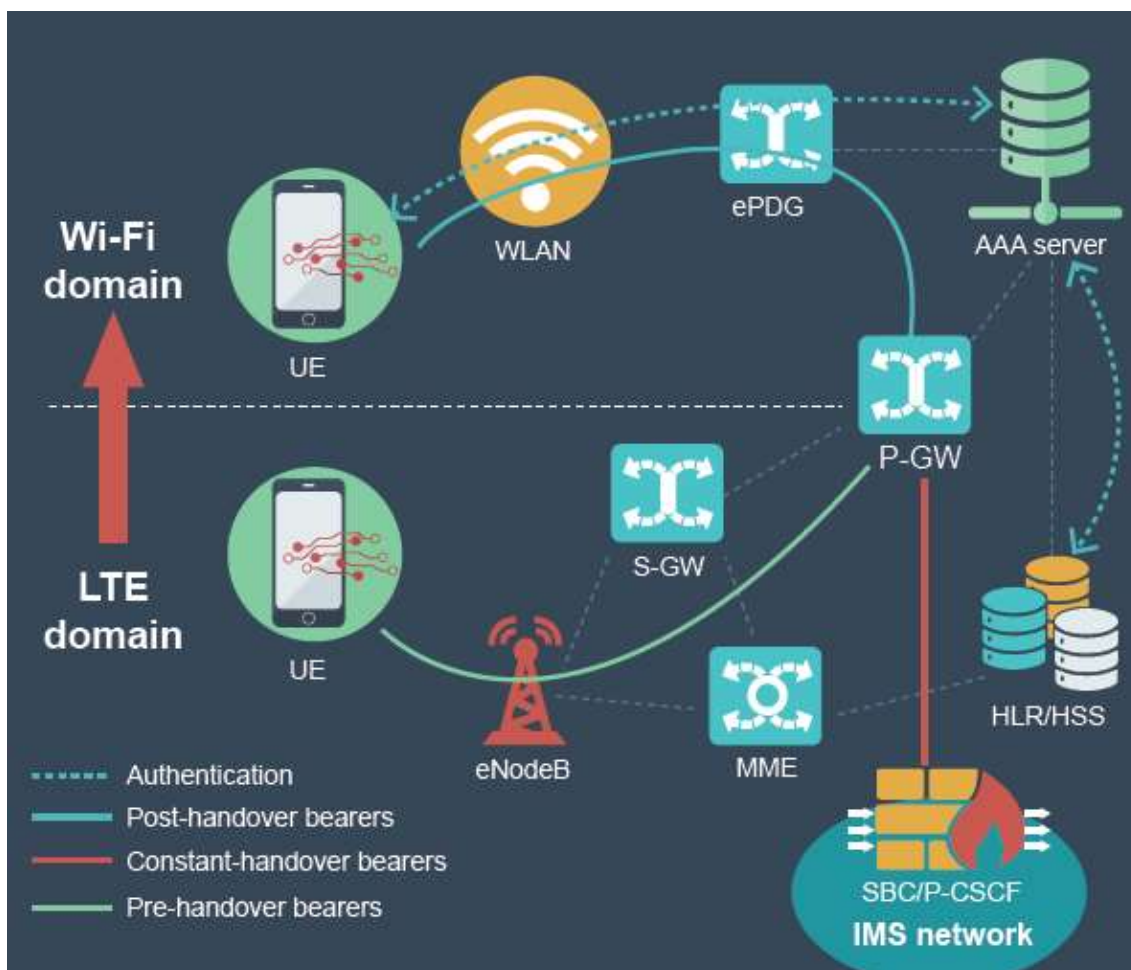


Figura 3.10 Procedimiento general handover LTE y Wi-Fi [51]

Como se puede apreciar en la Figura 3.10, cuando un UE detecta que la señal Wi-Fi es más fuerte que el umbral, solicita *handover* a la red.

- La transferencia se inicia enviando un mensaje adjunto al ePDG.
- Los servidores ePDG y AAA interactúan con los HLR / HSS convergentes para la autenticación entre el UE y la red.

Se establecen nuevos portadores Wi-Fi y se liberan los soportes LTE existentes.

- Después de que la autenticación de ePDG tenga éxito, el ePDG solicita la configuración del portador al LTE Dirección P-GW registrada.
- Los portadores se vuelven a configurar entre el P-GW y el UE para los servicios VoWi-Fi.
- El P-GW libera los portadores LTE configurados con el UE, completando el traspaso.

3.5.5.4 Procedimientos de *Roaming*

Los operadores celulares pueden establecer ciertas condiciones de *roaming*, al momento de utilizar los servicios de Wi-Fi Calling, los cuales se los describe a continuación.

- Restringir un suscriptor específico basado en información de suscripción y país en el que se encuentre.



Figura 3.11 Restricciones de *roaming* particulares [51]

Se puede observar en la Figura 3.11 que de manera general existen dos procesos o pasos a realizar. Paso 1: Durante el registro, un UE envía la información de HSS sobre el país visitado a través del I-CSCF. Paso 2: La información de suscripción alerta al HSS para bloquear las llamadas internacionales de *roaming* y responde que dichas llamadas están restringidas [51].

- Restringir a todos los suscriptores mediante la regla de filtrado de campos de encabezado SIP.



Figura 3.12 Restricciones de *roaming* globales [51]

Como se aprecia en la Figura 3.12 existen dos pasos para aplicar las restricciones de *roaming*. Paso 1: Durante el registro, un UE envía la información de SBC⁷⁶ sobre el país visitado. Paso 2: Esta información alerta al SBC de que la llamada no se está iniciando en el país local. Por lo tanto, se rechaza la solicitud de registro [51].

3.5.5.5 Procedimientos de Tarificación

Dado que en Wi-Fi Calling se continúa usando prácticamente el mismo *core* de la red LTE, el procedimiento para la tarificación de las llamadas de voz, se mantiene de la misma manera que en las redes LTE, ya que, como se ha analizado anteriormente, el único cambio fundamental es que ahora el acceso es a través de una red Wi-Fi.

La entidad PCEF proporciona información del usuario e información correspondiente a la red Wi-Fi utilizada, a la entidad PCRF; encargándose además, de realizar medidas del tráfico cursado y de enviar la información concerniente al uso de los recursos a las entidades que están a cargo de las funciones de tarificación como son OFCS⁷⁷ y OCS⁷⁸, las cuales componen el núcleo del sistema de tarificación de la red. Las dos entidades interactúan directamente con el *gateway* P-GW a través de la interfaz Gz, para OFCS, y mediante Gy, para OCS. [8]

⁷⁶ SBC: Session Border Controller

⁷⁷ OFCS: Offline Charging System

⁷⁸ OCS: Online Charging System

3.5.6 EQUIPAMIENTO DEL DISEÑO

Para la implementación de la entidad de red ePDG se ha tomado en cuenta dos opciones disponibles en el mercado, una de la marca HUAWEI y otra de la marca CISCO, descritas a continuación.

- **MODELO: UGW9811 de HUAWEI.**

Este modelo, mostrado en la Figura 3.13, integra principalmente las funciones de las siguientes entidades: GGSN, S-GW, P-GW y ePDG [52].



Figura 3.13 ePDG modelo UGW9811 [52]

- **MODELO: ASR 5000 de CISCO.**

Este modelo, mostrado en la Figura 3.14, integra principalmente las funciones de las siguientes entidades: ePDG, S-GW, P-GW y MME [53].



Figura 3.14 ePDG modelo ASR 5000 [53]

Para la implementación del servidor 3GPP AAA se ha tomado en cuenta dos opciones disponibles en el mercado, una de la marca HUAWEI y otra de la marca CISCO, descritas a continuación.

- **MODELO: UIM de HUAWEI.**

Este modelo, mostrado en la Figura 3.15, utiliza protocolos que incluyen el RADIUS y el Diámetro para trabajar en conjunto con dispositivos de acceso a la red en varias redes para controlar el permiso de acceso a la red de abonados y gestionar la autenticación, la autorización y la carga [54].



Figura 3.15 3GPP AAA modelo UIM [54]

- **MODELO: Prime Access Registrar de CISCO**

Este modelo es un servidor AAA compatible con 3GPP que ofrece escalabilidad y extensibilidad en su complejo entorno de proveedores de servicios. Utilizando una plataforma común, puede atender eficazmente una gama cada vez más amplia de tecnologías de acceso, usuarios y socios de *roaming*, y ofrecer rápidamente nuevos servicios de suscripción [55].

3.5.7 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Para poder realizar una selección de equipos adecuada, es conveniente tomar en cuenta que los equipos con los que ya cuenta la red troncal EPC de CNT EP pertenecen a la marca Huawei, además es importante destacar que CNT EP ya cuenta con el equipo UGW9811, el mismo que podría usarse también como ePDG. Es por ese motivo que se selecciona los dos equipos de la marca Huawei con el fin de que exista una convergencia con todos los elementos de la red. En la Tabla 3.6 se detalla la alternativa seleccionada.

Tabla 3.6 Equipamiento seleccionado

MARCA	ENTIDAD	MODELO
HUAWEI	ePDG	UGW9811
	3GPPP AAA	UIM

3.6 EVALUACIÓN DE WI-FI CALLING VERSUS OTRAS SOLUCIONES

A continuación se realizará un análisis de la solución Wi-Fi Calling en comparación con otras soluciones alternativas.

3.6.1 WI-FI CALLING VS. FEMTOCELDAS

Las tres ventajas principales de trabajar utilizar Femtoceldas sobre Wi-Fi Calling son las siguientes:

- Trabaja con teléfonos existentes.
- Prolonga la duración de la batería del teléfono celular.
- Calidad de servicio no depende de terceros.

Sin embargo, las femtoceldas siguen siendo dispositivos caros porque el mercado sigue siendo pequeño y su despliegue es mucho más complicado debido al espectro licenciado, la transferencia, las normas de la FCC⁷⁹, entre otros. Además, la implementación de femtoceldas carece de un amplio apoyo entre los fabricantes de teléfonos [35] [36].

Por otro lado, Wi-Fi Calling permite reutilizar la cobertura Wi-Fi existente en los hogares, oficinas, subsuelos, en lugar de implementar la costosa cobertura de femtoceldas, ya que la mayoría de los lugares donde las personas se encuentran ya están cubiertos por el acceso Wi-Fi [9].

Una gran ventaja del servicio es que se puede utilizar en cualquier lugar que el usuario puede acceder a WiFi, por lo que no está vinculado a un punto de acceso

⁷⁹ FCC: Federal Communications Commission

particular. Por lo tanto Wi-Fi Calling permite un despliegue rentable de la cobertura de voz extendida y un rápido desarrollo en el mercado [37].

3.6.2 WI-FI CALLING VS. SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDAS

El Sistema distribuido de antenas no es muy atractivo para las operadoras celulares debido al alto costo que implica su implementación, además de que es una solución sectorizada, es decir solo brinda solución parcial en los lugares donde es instalado el sistema, a diferencia de Wi-Fi Calling, en donde los cambios principales se los realiza en la red troncal de la operadora, ya que puede funcionar con las redes Wi-Fi ya existentes, permitiendo que, con pocos cambios se solucione el problema de cobertura a mayor cantidad de personas [38].

DAS presenta dificultades de interferencia debido a las ondas de radio frecuencia presentes, que necesita superar para su debido funcionamiento. Además, su implementación requiere mayor cantidad de tiempo y esfuerzo en comparación con Wi-Fi Calling [38].

3.6.3 WI-FI CALLING VS. *OVER THE TOP*

Algunos operadores celulares también podrían ofrecer servicios de voz a través de LTE con socios externos. Sin embargo, hay dos desventajas técnicas de asociarse con proveedores externos de servicios de voz [39].

La primera es que los proveedores externos de servicios de voz no tienen control sobre la calidad del servicio en la red inalámbrica y por lo tanto no pueden garantizar una buena experiencia en todas las llamadas [39].

El segundo problema con *Over The Top* es que las llamadas no pueden ser entregadas a un circuito conmutado de red 2G/3G cuando un usuario abandona el área de cobertura LTE. Esto ocurre porque las aplicaciones externas no se pueden conectar fácilmente a la infraestructura de red inalámbrica. Esta es una grave desventaja, ya que las redes LTE tienen una cobertura de red inferior a la GSM [39].

Wi-Fi Calling no necesita instalar ninguna aplicación en el teléfono celular del usuario, a diferencia de OTT, en tanto se necesita que ambos usuarios, tanto el emisor como el receptor de la llamada instalen y configuren la misma aplicación.

Wi-Fi Calling, desde la perspectiva del usuario, es completamente transparente al momento de realizar o recibir llamadas. Por lo que con Wi-Fi Calling un usuario puede recibir una llamada desde otro número que no disponga de ésta tecnología, por ejemplo desde un teléfono fijo, o desde teléfonos con redes celulares como 3G o HSPA. Así mismo, un usuario que realice una llamada a través de Wi-Fi Calling lo puede hacer hacia usuarios que no dispongan de dicha solución, como a aquellos que tienen telefonía fija, o 3G, HSPA y LTE.

Debido a que las aplicaciones OTT utilizan "el mejor esfuerzo" de ancho de banda para soportar sus servicios, la experiencia del usuario puede ser insatisfactoria y a veces no óptima. VoWi-Fi permite que los servicios de itinerancia sean soportados a un menor costo unitario y con un servicio de voz consistente y transparente [10].

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Al finalizar el estudio de factibilidad técnica para la implementación de Wi-Fi Calling en una operadora de la ciudad de Quito, se concluye que el despliegue de dicho servicio es totalmente factible, siempre y cuando se implemente IMS, como requisito previo, para poder transmitir la voz de forma nativa sobre LTE.
- Actualmente en la ciudad de Quito la operadora celular CNT EP todavía no ofrece el servicio de VoLTE sobre IMS, sino que lo hace a través de CSFB, por lo que el primer paso previo a la implementación de Wi-Fi Calling será la implementación de IMS a su red. Además el operador móvil requiere añadir dos entidades principales en la red troncal EPC para la implementación de Wi-Fi Calling, la entidad e-PDG y un servidor AAA de 3GPPP. La entidad e-PDG es el elemento crítico en la arquitectura de Wi-Fi Calling ya que es la puerta de enlace entre Internet y el *core* de la red de la operadora móvil.
- Wi-Fi Calling es una tecnología que permite realizar o recibir llamadas a través de la red inalámbrica Wi-Fi, sin necesidad de instalar ninguna aplicación en el dispositivo móvil, propicio para lugares en donde la señal celular es mala o nula, pero sí se cuenta con acceso Wi-Fi. Funciona solamente sobre redes LTE, que provean voz nativa a través de IMS, ya que LTE permite la conexión con redes heterogéneas.
- Wi-Fi Calling es una alternativa rentable para solucionar los problemas de cobertura de señal celular en lugares *indoor* como por ejemplo los subsuelos de los edificios, hogares, entre otros. Permitiendo utilizar las redes Wi-Fi que ya están establecidas en los hogares y oficinas, sin

embargo la operadora móvil pudiere instalar sus propios puntos de acceso, si así cree conveniente.

- A través de Wi-Fi Calling las compañías celulares pueden extender su cobertura de manera considerable, sin la necesidad de instalar nuevas radio bases, o eNBs, ya que el acceso a la red celular se lo puede realizar por medio de los *Access Point* de Wi-Fi ya disponibles en cada lugar.
- La facultad que poseen las redes LTE de permitir el acceso a través de otras redes diferentes a las celulares, conocidas como redes heterogéneas no 3GPPP, es un factor clave para el surgimiento de Wi-Fi Calling, ya que de esta manera, se puede utilizar las redes Wi-Fi como redes de acceso alternativas para la comunicación celular en LTE.
- Cuando se realicen llamadas a través de Wi-Fi Calling, los operadores celulares tienen que renunciar a cierto control sobre la calidad de servicio de la voz, ya que el tráfico pasará por redes que no las administren completamente. Sin embargo debido a la alta capacidad de las redes Wi-Fi a partir del estándar IEEE 801.11 n la Calidad de Servicio no será en la mayoría de los casos un desafío importante.
- No todos los teléfonos celulares pueden acceder a los servicios de Wi-Fi Calling, sino solamente aquellos *smartphones* que soporten LTE, y que adicionalmente tengan incorporados desde fábrica la opción de acceder a Wi-Fi Calling, como una aplicación nativa propia del dispositivo.
- El protocolo IEEE 802.11 ac, correspondiente a redes de acceso Wi-Fi, permite una mayor calidad de servicio, debido a que presenta la funcionalidad WMM, la cual faculta clasificar el tráfico de voz, asignándole una prioridad adecuada.
- Debido a que en Wi-Fi Calling se continúa usando la misma red troncal EPC, los procesos para la tarificación de las llamadas, se mantienen de la

misma manera que lo hacían en las redes LTE, ya que el único cambio fundamental está en que se accede a la red celular a través de Wi-Fi.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para un mejor funcionamiento de Wi-Fi Calling se recomienda la implementación de puntos de acceso propios de cada operadora celular, por lo que sería conveniente hacer una investigación acerca del impacto que tendría usar puntos de acceso propios en lugar de los ya establecidos por cualquier proveedora de servicios de Internet.
- Se recomienda que las operadoras celulares que brindan sus servicios en la ciudad de Quito pongan un especial énfasis en desarrollar Voz sobre LTE nativa a través de IMS, prescindiendo del procedimiento Circuit Switched FallBack, con la finalidad de que todo el proceso se dé por medio de la Conmutación de Paquetes.
- Los equipos de usuario necesitan estar previamente configurados para la utilización de Wi-Fi Calling, dicha configuración debe venir de fábrica.
- Se recomienda desarrollar estudios acerca de la influencia de Wi-Fi Calling en la convergencia Fijo – Movil de la telefonía del país.
- Se recomienda a futuro, realizar estudios de factibilidad económica y financiera para la implementación de Wi-Fi Calling.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Martínez, “La evolución de la telefonía móvil”. Revista Red, 2014. [Online] Disponible:<http://www.eveliux.com/mx/La-evolucion-de-la-telefonía-movil.html>
- [2] Iquall Networks, “White Paper: LTE”, 2014 [Online] Disponible: <http://www.iquall.net/doc/ES/whitepapers/LTE%20Whitepaper.pdf>
- [3] Qualcomm, “The Evolution of Mobile Technologies”, 2014. [Online] Disponible: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/the-evolution-of-mobile-technologies-1g-to-2g-to-3g-to-4g-lte.pdf>
- [4] V. Reyes, “Desarrollo de las tecnologías de cuarta generación en las comunicaciones móviles 4g”. Revista Científica, 2012. [Online] Disponible: <http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/11715/340/1/Desarrollo%20de%20las%20tecnologías%20de%20cuarta%20generación%20en%20las%20comunicaciones%20móviles%204g.pdf>
- [5] Rysavy Research for 4G Americas, “Mobile Broadband Explosion: The 3GPP Wireless Evolution”, 2013. [Online] Disponible: http://www.4gamericas.org/files/7214/0759/2052/4G_Americas_Mobile_Broadband_Explosion_August_2013_9_5_13_R1.pdf
- [6] J. Butler “Redes inalámbricas en los países en desarrollo”, 2013.
- [7] Intel Corporation, “Los protocolos de diferentes Wi-Fi y velocidades de datos”, 2017. [Online] Disponible: <http://www.intel.la/content/www/xl/es/support/network-and-i-o/wireless-networking/000005725.html>
- [8] R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrus, J. Pérez-Romero y O. Sallent, “LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles”. 1era ed. Fundación Vodafone España, 2010.
- [9] L. Norell, A. Lundstrom, H. Osterlund, H. Johansson y D. Nilsson, “Wi-Fi calling - extending the reach of VoLTE to Wi-Fi”. 1era ed. Ericsson, 2015.
- [10] Cisco, “White Paper: Wi-Fi Calling”, 2015 [Online] Disponible: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/enterprise-networks/802-11ac-solution/white-paper-c11-735826.pdf>

- [11] C. Gabriel, "WiFi Calling and the ePDG: The continuing importance of voice in the carrier model", 1era ed. Oracle White Paper, 2016 [Online]. Disponible: <http://www.oracle.com/us/industries/communications/wifi-calling-epdg-wp-2874668.pdf> [Acceso: 12- Mar- 2017]
- [12] M. Alvarez-Campana, "Curso LTE: Arquitectura funcional y protocolos", 2015. Universidad Politécnica de Madrid.
- [13] Aruba, "White Paper: Wifi Calling", 2016 [Online] Disponible: www.arubanetworks.com/assets/wp/WP_WiFiCalling.pdf
- [14] ARCOTEL. "Servicio Móvil Avanzado: Densidad de Líneas Activas y participación de mercado." 2017. [Online] Disponible: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>
- [15] ARCOTEL. "Servicio Móvil Avanzado: Líneas Activas por Tecnología." 2017 [Online] Disponible: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>
- [16] INEC. "Tecnologías de la Información y Comunicaciones TIC'S", 2016 [Online] Disponible: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2016/170125.Presentacion_Tics_2016.pdf
- [17] OpenSignal. Software de Cobertura móvil, 2017 [Online] Disponible: <https://opensignal.com/networks/ecuador/cnt-cobertura>
<https://opensignal.com/?z=11&minLat=-0.433&maxLat=-0.021&minLng=-78.836&maxLng=-78.080&s=7401&t=4-2-3>
- [18] J. Maugard, "¿Qué son las estaciones base Femtocell?", KillMyBill Espagne, 2017. [Online]. Disponible: <http://www.killmybill.es/estaciones-base-femtocell/>. [Acceido: 10- Abr- 2017].
- [19] A. Vera, "Diseño e implementación de una red RF indoor en el Hospital de Emergencias Pediátricas para mejora de cobertura", 2013. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú.
- [20] R. Morales "Estudio técnico y análisis del desempeño de Small Cells para solventar problemas de capacidad, cobertura y calidad dentro de una red de telefonía móvil 4G LTE" ESPE. Quito – Ecuador, 2015.

- [21] ANSI/BICSI “Óptimas prácticas de diseño e implementación del sistema de antenas distribuidas DAS”, 2015. [Online] Disponible: https://www.bicsi.org/pdf/standards/BICSI_006_ESP-Sample.pdf
- [22] M. Taibe “Análisis y diseño del sistema de comunicación móvil UMTS en el interior del Centro Comercial Iñaquito” ESPE. Quito – Ecuador, 2012.
- [23] Alcatel Lucent “White Paper: Small Cells and Distributed Antenna Systems” 2013 [Online] Disponible: <http://www.stjohnpatrick.com/12/ec/2Small-Cells-DAS.pdf>
- [24] G. Lopasso “Como lidiar con servicios Over-The-Top”, 2013. [Online] Disponible: https://www.ericsson.com/res/region_RLAM/press-release/2013/ott-es.pdf4
- [25] M. Estavillo “Los servicios OTT: provisión de contenidos vs televisión abierta y de paga” 2014. Gaceta IFT. [Online] Disponible: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/ott_pdf_0.pdf
- [26] G. Luna, C. Navarrete, “Diseño de la plataforma VoLTE basado en IMS Core para la red de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT-EP”. Escuela Politécnica Nacional. Quito – Ecuador, 2015.
- [27] J. Morales “Estudio de factibilidad técnica para el despliegue de servicios VoLTE nativo sobre una red basada en arquitectura IMS, caso CNT EP”. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito – Ecuador, 2015
- [28] R. Millán, “Qué es VoLTE (Voice over Long Term Evolution)”, 1era. ed. 2012 [Online]. Disponible: <http://www.ramonmillan.com/documentos/volte.pdf>. [Acceso: 08- Mar- 2017]
- [29] Ericsson, “Voice and video calling over LTE”, 1era ed. Ericsson White Paper, 2014 [Online]. Disponible: <https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-voice-and-video-calling-over-lte.pdf>. [Acceso: 10- Mar- 2017]
- [30] L. Pedrini, “¿Qué es CSFB y SRVCC en LTE?”, telecomHall ES, 2015. [Online]. Disponible: <http://www.telecomhall.com/ES/que-es-csfb-y-srvcc-en-lte.aspx>. [Acceso: 10- Mar- 2017]

- [31] L. Alvarado & A. Ojeda, "Análisis e implementación de cambios físicos y de parámetros lógicos para la optimización outdoor del cluster 5 de la ciudad de Quito en la red comercial de acceso inalámbrica 4G LTE de la empresa CNT EP", Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [32] "Voice Over LTE", 1era ed. Anritsu White Paper, 2012 [Online]. Disponible: <http://dataedge.ie/wp-content/uploads/2013/07/Network-Testing-VoLTE-WP.pdf>. [Acceso: 12- Mar- 2017]
- [33] "Wi-Fi Calling", 1era ed. CISCO, 2015 [Online]. Disponible: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/enterprise-networks/802-11ac-solution/white-paper-c11-735826.pdf>. [Acceso: 08- Mar- 2017]
- [34] ARCOTEL. Abonados y usuarios de internet fijo y móvil. 2017 <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-acceso-internet/>
- [35] A. Okmians, "Service Provider Mobility: WiFi vs. Femtocell | Cisco Communities", Communities.cisco.com, 2009. [Online]. Disponible: <https://communities.cisco.com/community/solutions/sp/mobility/blog/2009/08/11/wi-fi-vs-femtocell>. [Acceso: 20- Mar- 2017].
- [36] "What is Wi-Fi Calling? What are the benefits? | Aptilo", Aptilo Networks, 2017. [Online]. Disponible: <https://www.aptilo.com/wi-fi-calling/what-is-wi-fi-calling-vowifi>. [Acceso: 20- Mar- 2017].
- [37] A. Brydon, "Critical flaw in femtocells versus WiFi", Unwiredinsight.com, 2011. [Online]. Disponible: <http://www.unwiredinsight.com/2011/femtocells-versus-wifi>. [Acceso: 20- Mar- 2017].
- [38] J. DaSilva, "Spot On Networks: WiFi Calling Makes DAS Obsolete in The Multifamily and Student Housing Industries", Spotonnetworks.com, 2016. [Online]. Disponible: <http://www.spotonnetworks.com/wifi-calling-makes-das-obsolete-in-the-multifamily-and-student-housing-industries/>. [Acceso: 20- Mar- 2017].
- [39] D. Gandhi, J. Karmarkar, A. Jalundhwala y S. Battacharjee, "Wi-Fi Calling", International Journal of Computers Applications, vol. 108, no. 1, pp. 14-17, 2014.
- [40] "Wi-Fi Calling for Costumer Retention", 1era ed. Aptilo Networks, 2016.

- [41] Ericsson, “Un 88% de los usuarios de smartphones se conecta solo a Wi-Fi durante sus viajes”, Press Release, 2015. [Online] Disponible: https://www.ericsson.com/res/region_RLAM/press-release/2015/2015-10-14-wifi-es.pdf
- [42] ARCOTEL. “Servicio Móvil Avanzado: Radiobases por prestador y tecnología”, 2017. [Online] Disponible: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>
- [43] “El 4G LTE en Ecuador: Todo lo que debes saber”, Android Jefe, 2016. [Online] Disponible: <http://www.androidjefe.com/4g-lte-ecuador/>
- [44] C. Hernández y V. Quintero, “Capítulo 2: Arquitectura y Protocolos LTE”, Universidad del Cauca, 2009. [Online] Disponible: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~vflorez/LTE/Capitulo%202.pdf>
- [45] M. MacNamee, “Whiteboard Wednesday: Wi-Fi Calling & your wireless network”, Securedge Networks, 2017. [Online] Disponible: <http://www.securedgenetworks.com/blog/whiteboard-wednesday-wi-fi-calling-your-wireless-network-part-2>
- [46] NETGEAR, “WMM WiFi Multimedia”, Suport, 2016. [Online] Disponible: <https://kb.netgear.com/221/WMM-WiFi-Multimedia>
- [47] A. Greve, “Seamless next generation Wi-Fi Calling”, APTILO, 2016.
- [48] Google Maps [Online] Disponible: <https://www.google.com.ec/maps/place/Quito/@-0.1865938,-78.570625,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91d59a4002427c9f:0x44b991e158ef5572!8m2!3d-0.1806532!4d-78.4678382>
- [49] ARCOTEL. “Señal Móvil Ecuador App” [Online] Disponible: <http://www.arcotel.gob.ec/control-ciudadano-a-la-telefonía-celular-con-la-aplicación-senal-movil-ecuador/>
- [50] SECRETARIA GENERAL DE PLANIFICACION, ALCALDIA DE QUITO, 2017. [Online] Disponible: <http://datos.quito.gob.ec/datastreams/163/poblacion-economicamente-activa/>
- [51] Z. Xi, y T. Suwen, “The Huawei VoWiFi Solution: A Technology Trend Leader”, Huawei, 2015

[52] HUAWEI, Datasheet UGW 9811, 2017. [Online] Disponible: <http://carrier.huawei.com/en/products/core-network/Packet-Core/UGW>

[53] CISCO, Datasheet ASR 5000, 2017. [Online] Disponible: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/epdg-evolved-packet-data-gateway/index.html>

[54] HUAWEI, Datasheet UIM, 2017. [Online] Disponible: <http://carrier.huawei.com/en/products/core-network/convergent-data/UIM>

[55] CISCO, Datasheet Prime Access Registrar, 2015. [Online] Disponible: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/cloud-systems-management/prime-access-registrar/index.html>