



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WI-FI CALLING EN UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR

Samuel Orlando Sacbajá Chex

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, enero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WI-FI CALLING EN UNA RED
DE TELEFONÍA CELULAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SAMUEL ORLANDO SACBAJÁ CHEX

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMÁN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, ENERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzalez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. Walter Giovanni Álvarez Marroquín
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WI-FI CALLING EN UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 21 de octubre de 2020.



Samuel Orlando Sacbajá Chex

Guatemala, 8 de agosto de 2021

Ingeniero

Julio César Solares Peñate

Coordinador Área de Electrónica

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

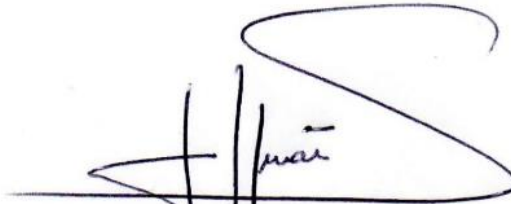
Estimado ingeniero Solares:

Hago de su conocimiento que he terminado la revisión del trabajo de graduación del estudiante de ingeniería electrónica, **SAMUEL ORLANDO SACBAJÁ CHEX**, titulado:

**ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WI-FI CALLING EN UNA RED DE TELEFONÍA
CELULAR**

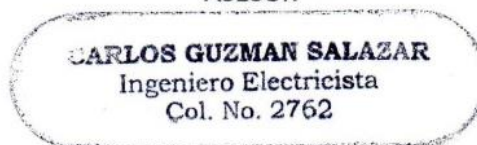
El cual cumple con los propósitos que se plantearon en el protocolo respectivo para su autorización. Por lo que, doy mi **APROBACIÓN** al mismo. Pudiendo el estudiante Sacbajá Chex continuar con el trámite que exige la Universidad de San Carlos.

Reciba un cordial saludo.



Carlos Guzmán Salazar

ASESOR



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 30 de agosto de 2021

Señor director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Señor director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WI-FI CALLING EN UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR**, desarrollado por el estudiante **Samuel Orlando Sachajá Chex**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Julio César Solares Peñate'.

Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



REF. EIME 160 2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; SAMUEL ORLANDO SACBAJÁ CHEX titulado: ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WI-FI CALLING EN UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR, procede a la autorización del mismo.


Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 2 DE NOVIEMBRE 2,021.

Facultad de Ingeniería

Decanato
24189101-
24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.037.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE WI-FI CALLING EN UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR**, presentado por: **Samuel Orlando Sacbajá Chex**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, enero de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Creador del Universo, fuente única de sabiduría.
- Mi madre** Lidia Nicolasa Chex Xocop, que en su paso por la tierra cumplió su misión de madre y hoy en presencia de Dios sonrío al verme alcanzar lo que soñamos juntos.
- Mi padre** Samuel Obispo Sacbajá Cojtí, cuyos ideales me mostraron el camino correcto y hoy que me observa desde el cielo, su determinación e inteligencia me acompañan.
- Mi esposa** Lourdes Tucubal Coló, por ser mi apoyo incondicional y mi fuente de inspiración para alcanzar nuestras metas.
- Mi hijo** Samuel Antonio Sacbajá Tucubal, mi campeón, por ser la razón de levantarme ante los golpes de la vida.
- Mi hermano** Patrik Samuel Sacbajá Chex, por acompañarme y guiarme en la vida.

Mis hermanas

Flor de María Sacbajá Chex y Esmeralda Sacbajá Chex, por sus palabras de motivación y por siempre creer en mí.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Mi *Alma mater*.

Facultad de Ingeniería

Por ser parte importante de mi formación académica.

**Escuela de Mecánica
Eléctrica**

A todos sus catedráticos que comparten el pan del saber.

Mi asesor de tesis

Ing. Carlos Guzmán, por el tiempo y apoyo a lo largo de mi formación académica y profesional.

**Mis amigos de la
Facultad**

Nelson Cifuentes, Norberto Amézquita, William Batz, J. César García, David Echeverría y Marco Juárez, por el apoyo y momentos compartidos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. REDES CELULARES.....	1
1.1. Primera generación 1G.....	1
1.2. Segunda generación 2G	2
1.3. Tercera generación 3G	3
1.3.1. HSPA 3,5G	4
1.3.2. HSPA+	4
1.4. Cuarta generación 4G/LTE- <i>Advance</i>	5
1.4.1. Arquitectura LTE	6
1.4.1.1. <i>User equipment</i> UE.....	7
1.4.1.2. E-UTRAN	7
1.4.1.3. Red Núcleo EPC.....	9
1.5. Quinta generación 5G.....	10
1.5.1. Arquitectura no independiente con división de datos en BTS 5G	12
1.5.1.1. División de datos en LTE Enb.....	13
1.5.1.2. 3A División de datos en EPC	13
1.5.1.3. 3X con división de datos en gNB 5G	13
1.5.2. Arquitectura autónoma con <i>Core</i> 5G	14

2.	PROTOCOLOS EN REDES DE COMUNICACIÓN	15
2.1.	3GPP.....	15
2.1.1.	Arquitectura de un sistema 3GPP	16
2.2.	IMS.....	17
2.2.1.	Capas de la arquitectura IMS	18
2.3.	IEEE 802.11	19
2.4.	Wifi	21
2.4.1.	Frecuencia de funcionamiento de una red wifi	21
2.4.2.	Seguridad en una red wifi.....	22
3.	WI-FI CALLING.....	23
3.1.	Descripción general.....	23
3.2.	Voz sobre LTE.....	24
3.2.2.	OTT	25
3.2.3.	VoLTE sobre IMS	25
3.3.	Arquitectura y protocolos en la tecnología Wi-Fi calling	25
3.3.1.	Protocolo IKEv2.....	27
3.4.	Escenarios para implementación de Wi-Fi calling	29
3.4.1.	Ampliación de cobertura	29
3.4.2.	Sustitución del <i>roaming</i>	31
3.4.3.	Aplicación en PYMES.....	32
3.5.	Ventajas de Wi-fi calling	32
3.6.	Desventajas al utilizar Wi-Fi calling	33
4.	TELEFONÍA MÓVIL EN GUATEMALA.....	35
4.1.	Usuarios de telefonía móvil por operador y tecnología.....	36
4.2.	Cobertura celular por operador	39
5.	ASPECTOS TÉCNICOS PARA IMPLEMENTAR WI-FI CALLING	43

5.1.	Requisitos en equipo de usuario.....	43
5.2.	Requisitos fundamentales en la red de acceso	45
5.2.2.	Wifi multimedia.....	46
5.3.	Aspectos principales del EPC.....	47
5.4.	Costos aproximados para implementar Wi-Fi calling	48
5.4.1.	Presupuesto estimado por la empresa HUAWEI TECHNOLOGIES CO. LTD.	48
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	53
	BIBLIOGRAFÍA	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema general de una red 2g	2
2.	Arquitectura ran umts	3
3.	Arquitectura y componentes de un sistema lte.....	6
4.	Arquitectura e-utran.....	8
5.	<i>System architecture evolution</i>	9
6.	Arquitectura autónoma con core 5g	11
7.	Arquitectura no independiente con división de datos en bts 5g.....	12
8.	Variantes de arquitecturas 5g no independientes	14
9.	Arquitectura de la red central 5g (simplificada)	14
10.	Arquitectura de un sistema 3gpp.....	16
11.	Capas del subsistema ims.....	19
12.	Versiones del protocolo ieee802,11	20
13.	Arquitectura ims de wi-fi calling	26
14.	Arquitectura de la tecnología wi-fi calling	27
15.	Escenario de aplicación de cobertura	30
16.	Porcentaje de utilización por tecnología usuarios claro.....	38
17.	Porcentaje de utilización por tecnología usuarios tigo.....	38
18.	Mapa de cobertura claro por tecnología	40
19.	Mapa de cobertura tigo por tecnología	41
20.	Diagrama básico de un smartphone.....	43
21.	Función wi-fi calling en <i>smartphone</i> android	45

TABLAS

I.	Evolución de hspa en los diferentes <i>releases</i>	4
II.	Comparación entre lte y lte- <i>advanced</i>	5
III.	Distribución de líneas en operación por operador.....	36
IV.	Cotización de expansiones y <i>upgrade</i> del proveedor huawei technologies co. Ltd.....	49
V.	Cotización de servicios del proveedor huawei technologies co. Ltd.	49
VI.	Cotización final del proveedor huawei technologies co. Ltd.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dB	Decibel o decibelio
dBm	Decibelio-milivatio
dB_i	Decibelio isotrópico
Hz	Hercio
Kbps	Kilobits por segundo
Km	Kilómetros
Mbps	Megabits por segundo
MHz	Megahercio
m	Metro
W	Vatio
V	Voltio

GLOSARIO

Ancho de banda	Intervalo de frecuencias del espectro electromagnético disponible para transmitir información.
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i> . Sistema de telefonía móvil avanzado.
Banda B	Intervalo de frecuencias centrada en 850Mhz.
CDMA	Método de multiplexación basado en el acceso múltiple por división por código.
Core	Parte central de una red de telefonía celular en ella convergen varios servicios y varía de acuerdo con cada tecnología.
DHCP	Protocolo de asignación automática y dinámica de direcciones IP.
DNS	Sistema de nombres de dominio.
<i>Downlink</i>	Enlace de bajada en un sistema de comunicación electrónica.
<i>Dual Carrier</i>	Tecnología que permite utilizar 2 portadoras.

<i>EDGE</i>	Protocolo de asignación automática y dinámica de direcciones IP.
eNodo B	Estación base de E-UTRAN, elemento de una red LTE.
FDMA	Acceso múltiple por división de frecuencia.
Frecuencia	Número de veces que cambia de sentido de un campo electromagnético en la unidad de tiempo.
gNB	Estación base de una red 5G.
Google Hangouts	Aplicación de mensajería instantánea y llamadas telefónicas.
GPRS	Servicio general de paquetes vía radio, utilizado para la transferencia de datos en las redes de telefonía móvil 2G.
GSM	Sistema global para las comunicaciones móviles utilizada en la segunda generación de redes de telefonía celular la cual incluye transmisión de voz y datos.
<i>Handover</i>	Procedimiento por medio del cual un usuario de telefonía móvil pasa de una radio base a otra geográficamente adyacente.

HSPA	<i>High speed packet access.</i> Acceso de paquetes de alta velocidad.
HSPA+	Mejora aplicada a HSPA.
HSS	<i>Home Subscriber Server.</i> Servidor de abonado doméstico.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers.</i> Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
IETF IKE	Protocolo de intercambio de claves de internet.
IP	<i>Internet Protocol.</i> Protocolo de internet.
IPsec	<i>Internet Protocol Security.</i> Seguridad del protocolo de internet.
IPv4	<i>Internet Protocol</i> versión 4.
IPv6	<i>Internet Protocol</i> versión 6.
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical.</i> Industrial científico y médico.
Itinerancia	Servicio mediante el cual es posible utilizar una red móvil extranjera para hacer uso de servicios de voz y datos.

LTE	<i>Long Term Ecolution.</i> Evolución a largo plazo.
LTE <i>Advanced</i>	Mejora aplicada a LTE de acuerdo con el 3GPP Release 10.
MAC	<i>Media Access Control.</i> Control de acceso a medios.
MIMO	<i>Múltiple input múltiple output.</i> Múltiple entrada, múltiple salida.
MME	<i>Mobility Management Entity.</i> Entidad de gestión de la movilidad.
NMT	<i>Nordic Mobile Telephony.</i> Telefonía móvil nórdica.
Node B	Estación base que forma parte de una red UMTS.
OSI	Modelo de interconexión para los protocolos de red.
OTT	<i>Over the top.</i> Por encima de.
PDN	<i>Public Data Network.</i> Red de datos públicos.
PGW	<i>Packet Data Network Gateway.</i> Puerta de enlace de red de paquetes de datos.
PYMES	Pequeñas y medianas empresas.

QUAM	<i>Quadrature amplitude modulation.</i> Modulación de amplitud en cuadratura.
RAN	<i>Radio Access Network.</i> Red de acceso por radio.
RBS	<i>Radio Base Station.</i> Estación base de radio.
Release	Nueva versión de un sistema.
Roaming	Itinerancia de datos.
Router	Dispositivo encargado de establecer la ruta de cada paquete de datos en una red informática.
SAE	<i>System Architecture Evolution.</i> Evolución de la arquitectura del sistema.
SGW	<i>Security Gateway.</i> Puerta de enlace de servicio.
SIM	<i>Subscriber Identity Module.</i> Módulo de identidad del suscriptor.
Skype	Aplicación que ofrece el servicio de llamadas, video llamadas y mensajería.
SMS	<i>Short Message Service.</i> Servicio de mensajes cortos.
UE	<i>User Equipment.</i> Equipo de usuario.

UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System.</i> Sistema universal de telecomunicaciones móviles.
Uplink	Enlace de subida de datos.
UTRAN	UMTS Terrestrial <i>Radio Access Network</i> . Red de acceso de radio terrestre UMTS.
VoIP	<i>Voice over IP</i> . Voz sobre IP.
VoLTE	<i>Voice over LTE</i> . Voz sobre LTE.
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i> . Acceso múltiple por división de código de banda ancha.
WhatsApp	Aplicación de chat, llamadas y videollamadas.
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i> . Fidelidad inalámbrica.
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> . Interoperabilidad mundial para acceso por microondas.
1G	Primera generación de redes de telecomunicaciones.
2G	Segunda generación de redes de telecomunicaciones.
3G	Tercera generación de redes de telecomunicaciones.
3,5G	Mejora a la tercera generación de redes de telecomunicaciones.

3,9G	Generación de redes de telecomunicaciones previa a 4G.
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i> . Proyecto de colaboración de tercera generación.
4G	Cuarta generación de redes de telecomunicaciones.

RESUMEN

En la actualidad la cobertura celular es el parámetro principal que determina la presencia de una empresa de telefonía en una determinada región. Los servicios básicos de la telefonía celular comprenden principalmente servicio de llamadas de voz, datos móviles y mensajería de tipo SMS y debido a que estos utilizan exclusivamente la red propia de la compañía celular se ven directamente afectados por los agujeros de cobertura provocados por diferentes factores, principalmente la poca o nula presencia de celdas celulares, la alta densidad de estructuras con infraestructura robusta, entre otros.

Wi-fi calling es una tecnología que utiliza una red wifi como medio para hacer uso de los servicios de voz y mensajes SMS en áreas donde los niveles de cobertura del operador son nulos o muy bajos. Debido a que este servicio debe ser transparente al momento de usarlo., se debe abarcar todos los aspectos técnicos de acceso y sistemas de registro comprendido en la red troncal del operador ya que la red wifi se utilizará únicamente como medio de salida hacia la red y servicios del operador.

Al utilizar Wi-fi Calling los usuarios utilizan el servicio de voz y mensajes SMS independientemente de la conexión de usuario destino, ya que prácticamente está utilizando la red del operador con la diferencia de que no utiliza la etapa de acceso (RAN) del operador sino la conexión wifi para pasar a la etapa de registro y validaciones.

OBJETIVOS

General

Analizar todos los aspectos técnicos que intervienen en la implementación de Wi-Fi calling como una alternativa para ampliar el área de cobertura de los servicios de voz y mensajería SMS de un operador de telefonía móvil en lugares donde la cobertura es baja o incluso llegar a ser nula.

Específicos

1. Describir los cambios principales que se ha tenido en las redes de telefonía móvil, desde la primera hasta la quinta generación abarcando protocolos y topología de cada generación.
2. Identificar las principales diferencias entre el servicio de voz sobre LTE (VoLTE) y el servicio de voz sobre wifi (Wi-Fi calling).
3. Presentar los aspectos más importantes por considerar en el proceso de implementación de la tecnología Wi-Fi calling para proveer los servicios de voz y mensajería de tipo SMS.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el servicio de telefonía celular depende de distintas variables para ofrecer un servicio óptimo al usuario final, uno de los factores determinantes para garantizar una buena experiencia de usuario es la cobertura que el operador pueda ofrecer. De acuerdo con el óptimo despliegue de sitios nuevos y su topología, la cobertura de un operador de telefonía celular está relacionada a la cantidad de RBS (*Radio Base Station*) en un área determinada, es importante considerar también otros factores como el tipo de infraestructura de edificios, los ambientes que se tienen dentro de los mismo ya que la calidad de servicio se ve afectada por estos factores.

En el presente análisis se abarcan los aspectos más importantes que intervienen en la implementación de la tecnología *Wi-Fi calling* como una alternativa económica y de rápida aplicación para un operador de telefonía móvil convencional, esto para brindar tanto el servicio de llamadas de voz como el de mensajería de texto, únicamente utilizando una red inalámbrica wifi en lugares donde los niveles de señal son bajos o nulos.

Llamar usando wifi no es algo nuevo, aplicaciones tales como *Skype*, *Google Hangouts* y *WhatsApp* son aplicaciones en las cuales los usuarios tienen la posibilidad de realizar, llamadas haciendo uso de una conexión a internet y de esa manera establecer comunicaciones, pero esta comunicación está limitada para dispositivos que tengan configuradas las mismas aplicaciones y, a su vez, estén conectados a internet.

A diferencia tanto del servicio de voz como el servicio de mensajería que ofrecen las distintas aplicaciones, Wi-Fi calling provee de un servicio prácticamente invisible para usuarios de los servicios mencionados, esto se debe a que no es una aplicación en sí, sino una función que puede venir preinstalada en teléfono inteligente o con la posibilidad de ser instalada en futuro mediante la actualización del sistema operativo del dispositivo.

Mediante la utilización de esta tecnología el usuario podría utilizar el servicio de llamadas de voz, tanto de llamadas entrantes como salientes, incluyendo a los teléfonos fijos como origen y destino, enviar o recibir mensajes cortos de texto, todo mediante una red wifi. El único identificador que se podría mostrar es un icono asignado por los operadores mostrándose cuando se utiliza la tecnología Wi-Fi calling.

1. REDES CELULARES

1.1. Primera generación 1G

Se pueden considerar los primeros servicios de telefonía celular lanzados comercialmente aproximadamente en la década de 1980 el sistema NMT 450 y 900 (*Nordic Mobile Telephone, telefonía móvil nórdica*) en Europa y el sistema AMPS en Estados Unidos, ambos sistemas utilizaban una transferencia analógica dedicada únicamente a la voz. Los proveedores ofrecían áreas de cobertura y continuidad de comunicación.

La primera generación de redes de telefonía móvil utilizaba la técnica de acceso múltiple por división de frecuencias FDMA como método de acceso, dicha técnica asigna una frecuencia específica a cada canal utilizado.

A continuación, se listan las características principales de la primera generación:

- Lanzamiento entre 1970 y 1980.
- Voz único servicio.
- Conmutación de circuitos.
- Tecnología analógica.
- Estándares principales AMPS (*Advance Mobile Phones System, sistema avanzado de teléfonos móviles*) y NMT (*Nordic Mobile Telephone*).
- *Multiplexación* FDMA (*Frequency Division Multiple Access*).
- Ancho de banda RF 30Khz .

1.2. Segunda generación 2G

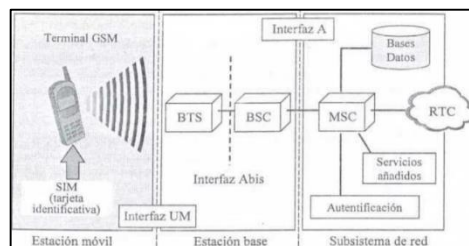
Comercialmente lanzada en los inicios de la década de 1990, con esta generación se implementa el primero protocolo estándar con el objetivo de que las terminales tengan la posibilidad de conectarse a distintas redes y es la primera vez que aparece el *roaming*.

El protocolo utilizado es conocido como GSM, ofrece una mejor calidad de voz, velocidades considerables para transmitir datos, transmisión de faxes y por primera vez se implementa el servicio de mensajería corta SMS (*Short Message Service*).

Posteriormente se mejoró el servicio de transmisión de datos con la implementación de la tecnología GPRS (*General Packet Radio Service*) esto permitió alcanzar velocidades de hasta 115 Kbits, con lo cual fue posible navegar en internet mediante teléfonos inteligentes.

Después, se implementó la tecnología GPRS (que permite velocidades de 115 kbits y finalmente la tecnología EDGE que permite hasta 384 kbits.

Figura 1. Esquema general de una red 2G



Fuente: HUIDOBRO MOYA, José Manuel. *Comunicaciones Móviles Sistemas GSM, UMTS y LTE*. p. 98.

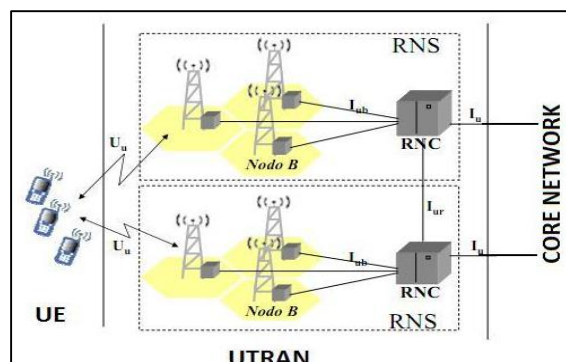
1.3. Tercera generación 3G

Esta generación de telecomunicaciones móviles es representada principalmente por el estándar UMTS que ofrece a usuarios mayor calidad en servicios multimedia pero principalmente proporciona tanto el servicio de voz como el de datos simultáneamente. El servicio de internet principalmente pasó a considerarse como servicio que ofrecía banda ancha ya que alcanzaba velocidades de 2Mbps en condiciones óptimas.

Uno de los principales cambios implementados en UMTS es la nueva interfaz de radio con un ancho de banda más amplio y nuevas frecuencias, siendo WCDMA la interfaz utilizada es también conocida como UTRA (UMTS *Terrestrial Radio Access*).

La técnica que utiliza WCDMA se caracteriza por utilizar canales de 5MHz, codificación de tramas digitales que se pueden reconstruir únicamente con las terminales con el código con el cual se codificaron, otra característica es que se basa en la técnica CDMA que le agrega una expansión de espectro.

Figura 2. **Arquitectura RAN UMTS**



Fuente: *Arquitectura ran umts*. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:UTRAN1.jpg>.

Consulta: febrero de 2021.

1.3.1. HSPA 3,5G

HSPA es una mejora al estándar UMTS específicamente en lo que corresponde a conexiones de internet móvil, HSPA incluye tanto a HSUPA como a HSDPA. De acuerdo con *Release 5 y 6* elaborado por el 3GPP se obtienen velocidades de descarga de hasta 14Mbps y de subida de 5Mbps.

Tabla I. **Evolución de HSPA en los diferentes *releases***

Nombre	<i>Release</i> 3GGPP	Velocidad de descarga	Velocidad de subida
HSPA	<i>Release 5</i>	14.4 Mbps	384 Kbps
HSPA	<i>Release 6</i>	14.4 Mbps	5.76 Mbps
HSPA+	<i>Release 7</i>	28 Mbps	11.5Mbps
HSPA+	<i>Release 8</i>	42 Mbps	11.5Mbps

Fuente: HUIDOBRO MOYA, José Manuel. *Comunicaciones Móviles Sistemas GSM, UMTS y LTE*. p. 98

1.3.2. HSPA+

HSPA+ o HSPA *Evolved* es una mejora a HSPA presentada por el 3GPP en el *release 7* tiene como principal característica el aumento en la velocidad modulando datos con 64 QAM en condiciones RF óptimas, alcanzando velocidades de hasta 28 Mbps de descarga y 11,5 Mbps de subida.

En las últimas mejoras se implementó la tecnología *Dual Carrier* permitiendo a los usuarios velocidades de hasta 42Mbps de descarga.

1.4. Cuarta generación 4G/LTE-Advance

Es importante identificar las tecnologías LTE y WiMAX 802,16e en el grupo 3,9G y propiamente en el grupo de tecnologías de cuarta generación o 4G a LTE-Advanced y WiMAX802.16m.

LTE es el proyecto que desarrolló el 3GPP con el propósito de mejorar el estándar denominado UMTS, este establece las características mínimas para servicios de cuarta generación principalmente los cuales enfatizan la conmutación de paquetes utilizando el protocolo IP, otra característica principal contempla la velocidad de descarga que va de 100 Mbps a 1Gbps, se muestran en la tabla II las características y comparación de LTE y LTE-Advanced.

Tabla II. **Comparación entre LTE y LTE-Advanced**

	LTE	LTE-Advanced
Velocidad de descarga	10 - 100 Mbps	1 Gbps
Velocidad de carga	5 - 50 Mbps	500 Mbps
Latencia	10 ms	< 5 ms
Método de acceso	OFDMA/SC-FDMA	OFDMA/SC-FDMA
Ancho de banda	1,4 – 20 MHz	1,4 – 20 MHz
Modulación	QPSK – 16QAM - 64QAM	QPSK – 16QAM -64QAM
Release 3GPP	Release 8	Release 10

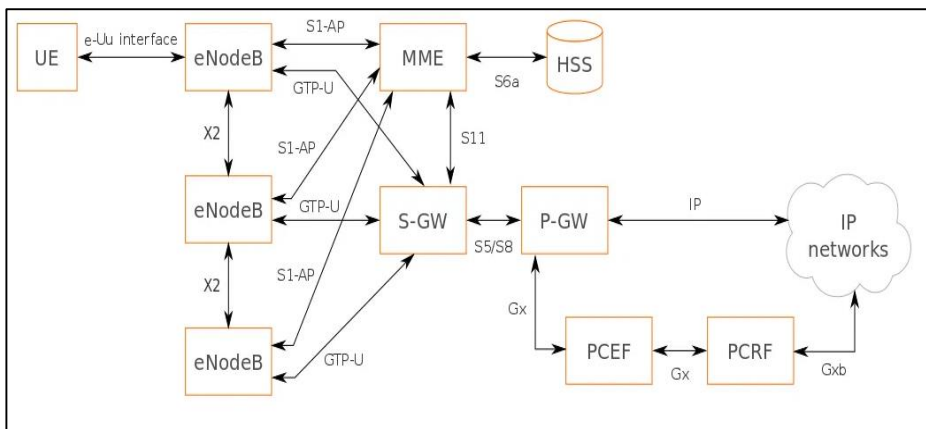
Fuente: Comparación entre LTE y LTE Advance. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-lte-a>. Consulta: febrero de 2021.

En general se identifican las características mejoradas en LTE- Advance que iniciaron en el *release* 9 del 3GPP, siendo principalmente adición de portadoras, un enlace descendente mejorado y técnica MIMO avanzada.

1.4.1. Arquitectura LTE

LTE posee una arquitectura estándar la cual está conformada fundamentalmente por un EPC, una renovada red de acceso radio conocida comúnmente como e-UTRAN y, por último, pero no menos importante, el equipo de usuario.

Figura 3. **Arquitectura y componentes de un sistema LTE**



Fuente: *Arquitectura y componentes de un sistema LTE.*

<https://yatebts.com/documentation/concepts/lte-concepts/>. Consulta: febrero de 2021.

Es importante considerar que existen elementos adicionales en la infraestructura de una red LTE siendo estos propios de una red IP dentro de los cuales se pueden mencionar los servidores DHCP utilizados para configurar en forma automática el direccionamiento IP de los equipos que interactúan en una red LTE. Los servidores DNS también forman parte importante de la red ya que son los encargados de asociar el nombre de los diferentes equipos con la dirección IP asignada. Se detallan a continuación los elementos señalados en la figura 3.

1.4.1.1. User equipment UE

En español equipo del usuario en su mayoría teléfono celular o teléfono móvil, es el elemento que mediante el cual los usuarios acceden a una red de telefonía móvil tanto 2G, 3G como LTE, permitiendo que los usuarios utilicen los diferentes servicios que el proveedor disponga, dicho acceso se logra mediante una interfaz radio.

El equipo del usuario integra principalmente dos elementos los cuales son:

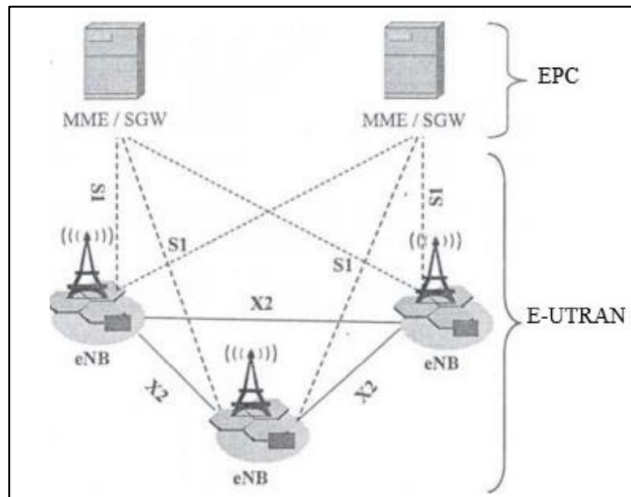
- Módulo de suscripción de usuario SIM o USIM
- Equipo móvil

1.4.1.2. E-UTRAN

LTE utiliza la red de acceso que se denomina E-UTRAN la cual se conforma por nodos llamados *evolved-NodeB* comúnmente llamados eNodeB, son los encargados de interconectar a los UE con el EPC.

En una red LTE todos los eNode B están interconectados facilitando así el intercambio tanto de información como de señalización permitiendo el *handover* de los servicios entre los mismos, también existe la conexión entre los eNode B y el EPC mediante la interfaz S1 proveyendo así la conexión con dos elementos fundamentales de la red, la entidad de gestión de la movilidad y el *Gateway* servidor.

Figura 4. **Arquitectura E-UTRAN**



Fuente: HUIDOBRO MOYA, José Manuel. *Comunicaciones móviles sistemas GSM, UMTS y LTE*. p. 227.

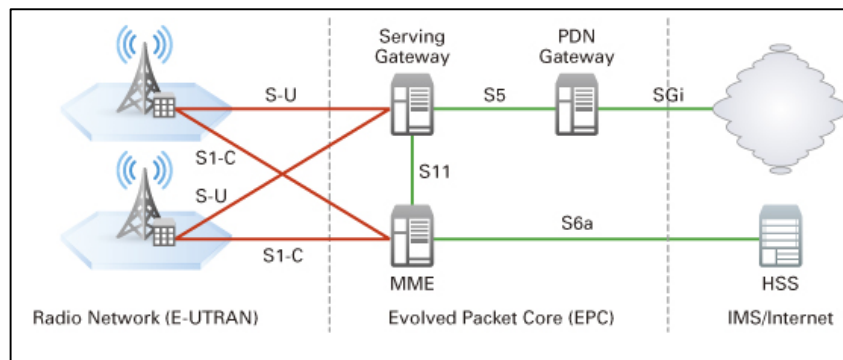
En la Arquitectura de E-UTRAN el eNode B es el equivalente al Node B en UMTS pero con características evolucionadas con el fin de soportar las funcionalidades de LTE. Se listan a continuación las funciones principales de este elemento.

- Gestionar recursos de radio frecuencia.
- Enrutar datos de usuarios hacia el SGW.
- Configuración y transmisión de mensajería de control de llamadas de voz e información de señalización.
- Control de movilidad para usuarios.
- Control de interfaces.

1.4.1.3. Red Núcleo EPC

Básicamente es una red donde se manejan paquetes cuya base para el transporte es IP de forma optimizado de tal manera que se aprovechan las características de la denominada red de acceso llamada EUTRAN dividiendo las diferentes funciones del *Gateway* de control en la parte netamente de control atribuida al MME y lo referente al usuario correspondiente al SGW.

Figura 5. **System Architecture Evolution**



Fuente: *Sistema architecture evolution*. https://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/sae_tec.html. Consulta: febrero de 2021.

Se detallan a continuación las funciones principales de las entidades lógicas más importantes dentro del *Evolved Packet Core* (EPC).

- **MME:** obtiene datos del usuario a través de la información almacenada en el HSS, autentica, autoriza y selecciona la red de datos externa apropiada. Proporciona conectividad entre el Nodo B y la red UMTS, administra la movilidad y recolecta información de facturación.

- SGW: es controlado por el MME funciona como punto de monitoreo de las políticas de conexión y servicios.
- PDN: controla la movilidad y asigna direcciones IP a UE.
- HSS: almacena y administra datos referentes a la suscripción de todos los usuarios.

Para la interconexión de todos los elementos dentro del *Evolved Packet Core* (EPC) se utilizan diferentes interfaces, que se detallan a continuación.

- S1-MME: interfaz utilizada para comunicar E-UTRAN con el MME.
- S1-U: interfaz entre EUTRAN y el SGW.
- S5: Interfaz entre el SGW y el PGW.
- S6a: Interfaz que transfiere la información de usuarios almacenada en el HSS para que posteriormente sea autenticado y autorizado.
- SGi: Interfaz entre el PGW y la PDN.

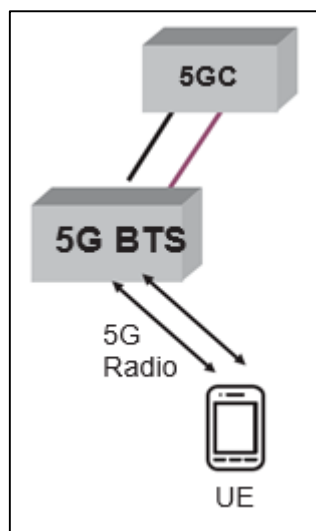
1.5. Quinta generación 5G

La quinta generación está basada originalmente en implementaciones en la nube con el objetivo de alcanzar velocidades superiores en la transmisión, tanto de subida como de bajada de datos, así también lograr menos latencia.

Todas las posibilidades que se abren en esta nueva generación deben tener la capacidad de interactuar con LTE y debido a la modernización de la tecnología de radio también se agregan nuevos elementos a la red central del 5G.

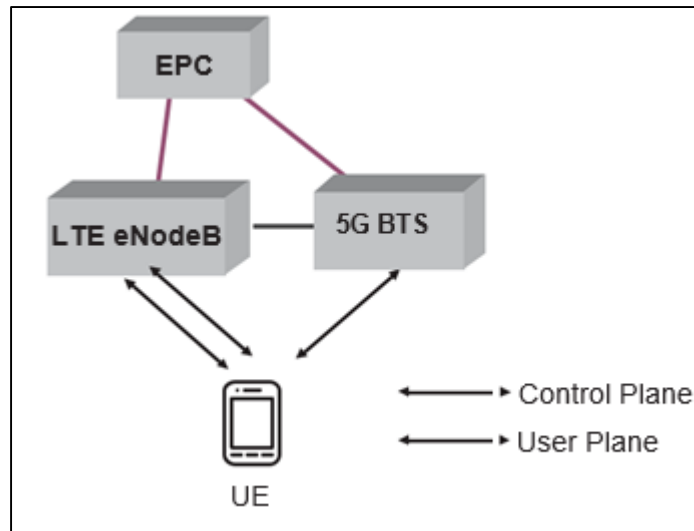
Actualmente se tienen principalmente dos opciones de arquitectura para implementar 5G en una red de telefonía celular, las cuales se muestran a continuación.

Figura 6. **Arquitectura autónoma con Core 5G**



Fuente: HOLMA, Harri. TOSKALA, Antti y TAKEIRO, Nakamura. *5G Technology 3GPP New Radio*. p. 68.

Figura 7. **Arquitectura no independiente con división de datos en BTS 5G**



Fuente: HOLMA, Harri. TOSKALA, Antti; TAKEIRO, Nakamura. *5G Technology 3GPP New Radio* p. 68

1.5.1. **Arquitectura no independiente con división de datos en BTS 5G**

En esta opción de arquitectura se utiliza LTE como ancla para la conexión y conexiones a través de CORE existente. 5G está en el plano del usuario en la parte de radio, que luego se usa con conectividad dual con LTE.

A continuación, se presentan algunas variantes para el enrutamiento de datos en el plano de usuario.

1.5.1.1. División de datos en LTE Enb

Los datos del plano de usuario recibidos del CORE LTE están divididos por el eNB LTE entre el radio LTE y el gNB 5G, esto permite que un solo servicio se transmita desde ambos el gNB y el eNB y respectivamente recibidos en ambos lados en el enlace ascendente.

1.5.1.2. 3A División de datos en EPC

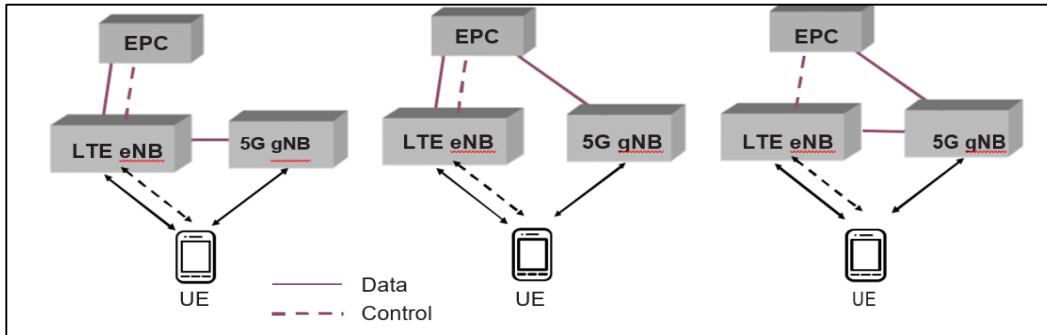
Esta opción no permite la agregación de velocidad de datos para un solo servicio, pero un solo servicio es atendido por un eNB LTE o un gNB 5G. Se puede anticipar para algunos servicios de baja velocidad de datos como VoLTE, esto podría usarse mientras la banda ancha utilizaría una de las otras soluciones que permitan la agregación de velocidad en datos.

1.5.1.3. 3X con división de datos en gNB 5G

En esta opción los datos recibidos del CORE de LTE se dividen por gNB 5g entre los radios LTE y 5G esto minimiza la carga de LTE, ya que normalmente El eNB LTE no ha sido dimensionado originalmente para manejar velocidades de datos tan altas. Además, la latencia reduce si la mayoría de los paquetes pasan por 5G.

A continuación, se ilustran las variantes de la arquitectura no independiente

Figura 8. **Variantes de arquitecturas 5G no independientes**

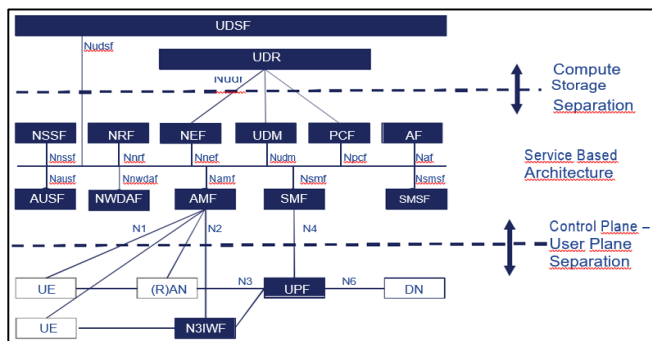


Fuente: Fuente: HOLMA, Harri. TOSKALA, Antti; TAKEIRO, Nakamura. *5G Technology 3GPP New Radio* p. 68.

1.5.2. **Arquitectura autónoma con Core 5G**

Esta es la opción que comprende la modernización no solo de la parte de acceso sino también el Core de la red 5G. Vale la pena resaltar que señalar que esta nueva generación mantiene el modelo punto a punto en algunas interfaces de 5G.

Figura 9. **Arquitectura de la red central 5G (simplificada)**



Fuente: HOLMA, Harri. TOSKALA, Antti; TAKEIRO, Nakamura. *5G Technology 3GPP New Radio*. p. 71.

2. PROTOCOLOS EN REDES DE COMUNICACIÓN

2.1. 3GPP

El 3GPP es un proyecto de asociación de organizaciones dedicadas al desarrollo de estándares en el área de las telecomunicaciones inalámbricas, a continuación, se listan las organizaciones que intervienen en el 3GPP.

- ARIB
- ATIS
- CCSA
- ETSI
- TSDSI
- TTA
- TTC

Este proyecto abarca tecnologías de telecomunicaciones celulares, incluido el acceso por radio, la red central y las capacidades de servicios que proporcionan.

Las especificaciones y los estudios del 3GPP son el producto de contribuciones de las empresas miembros del proyecto, para esto están formados grupos responsables de generar especificaciones técnicas, dichos grupos son:

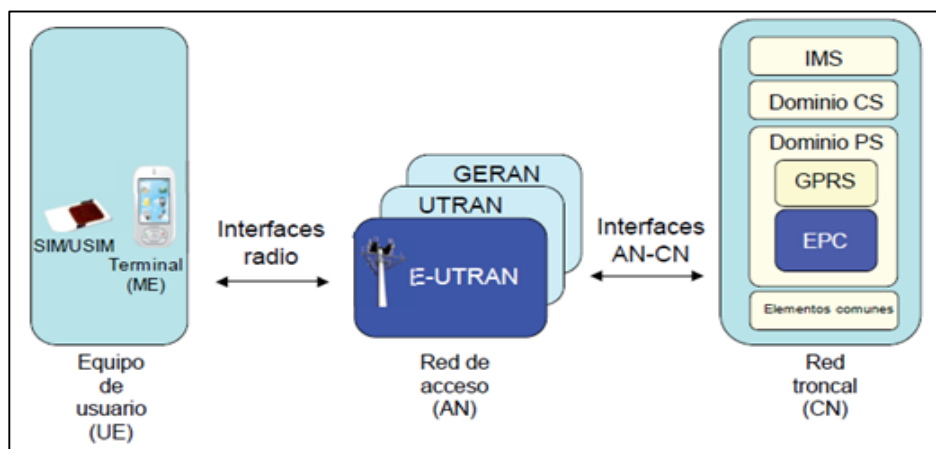
- Redes de acceso por radio (RAN)
- Aspectos de servicios y sistemas (SA)

- Red central y terminales

2.1.1. Arquitectura de un sistema 3GPP

Los sistemas que se basan en los conceptos del estándar denominado 3GPP se componen por tres elementos fundamentales que interactúan en dicha arquitectura como se muestra a continuación.

Figura 10. **Arquitectura de un sistema 3GPP**



Fuente: *Arquitectura de un sistema 3gpp*. <http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>. Consulta: febrero de 2021.

- UE

Este elemento se compone por la terminal o dispositivo físico y la tarjeta denominada SIM para sistemas GSM/UMTS y USIM para sistemas UMTS/LTE en este último elemento se almacena la información completa del usuario la cual es necesaria para acceder a la red mediante procedimientos de autenticación y validación de suscripciones a los servicios que ofrece el operador.

- Red de Acceso Radio (RAN)

Comprende la interfaz física radio utilizada por el UE, especificando canales físicos, monitoreo de la disponibilidad de canales de transporte, multiplexación de la capa física, codificación de canales, difusión y modulación de las ondas de radio frecuencia, entre otros. Actualmente se han desarrollado tres generaciones diferentes de redes de acceso.

- GERAN para GSM
- UTRAN para UMTS
- E-UTRAN para LTE

- Red central (CN)

Cumple diversas funciones tales como control de llamadas, gestión de sesiones, gestión de movilidad de usuarios, así como el perfil, señalización entre los nodos y la red central, interconexión con redes externas. En este elemento de la arquitectura 3GPP se divide en tres partes principales.

- CS
- PS
- IMS

2.2. IMS

El Subsistema Multimedia IP (IMS) aportó un cambio fundamental a las redes de telecomunicaciones fijas, así como también para las redes móviles, las cuales ofrecían el servicio de voz principalmente.

Las nuevas características de las redes y de las terminales impulsaron la integración de internet y voz, el contenido multimedia y la movilidad, surgiendo nuevos modelos de redes que ampliaban su catálogo de servicios principalmente la posibilidad de establecer sesiones multimedia usando un tipo de acceso de alta velocidad y na comunicación de paquetes basada en IP (Internet Protocol).

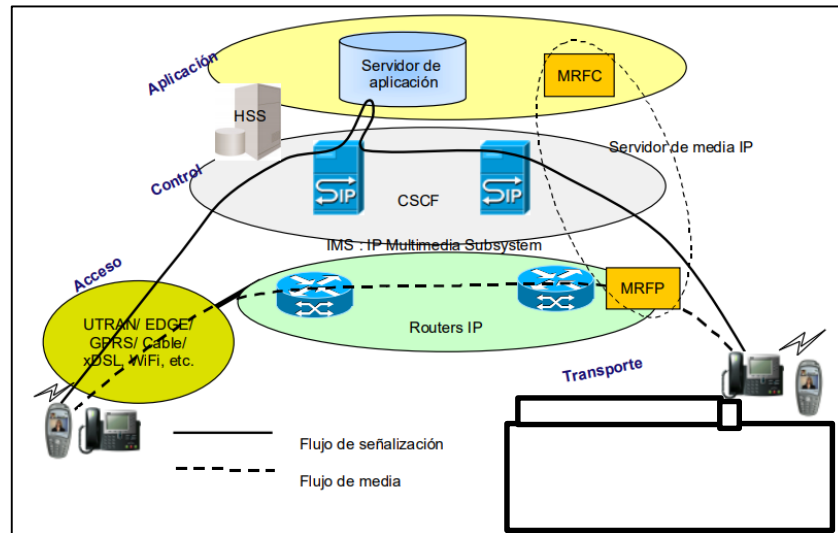
El IMS permitió la interoperabilidad de diferentes redes como resultado de acuerdos de *roaming* creando así nuevos entornos de comunicación fijo-fijo, fijo-móvil y móvil-móvil.

2.2.1. Capas de la arquitectura IMS

El IMS lo comprenden principalmente cuatro capas.

- Capa de acceso, en esta capa se incluyen las conexiones de alta velocidad como UTRAN, EUTRAN, CDMA2000, DSL, wifi, entre otros.
- Capa de transporte: es básicamente una red IP compuesta principalmente por enrutadores conectados mediante una red de transmisión.
- Capa de control: la comprenden elementos de control de sesión que son responsables de encaminamiento de la señalización entre usuarios y las peticiones de servicios, introduciendo de esta manera un ámbito de control de sesiones sobre el campo de paquetes.
- Capa de aplicación: utilizada por el operador para posicionarse como integrador de servicios (servicios de valor agregado) que el mismo operador ofrece u ofrecidos por terceros. Para tal fin los operadores cuentan con servidores de media IP (IP media Server)

Figura 11. Capas del subsistema IMS



Fuente: LÓPEZ, Ronald. *Capas del subsistema IMS*. http://www.efort.com/media_pdf/IMS_ESP.pdf. Consulta: febrero de 2021.

Existen tres elementos fundamentales que conforman el IMS:

- Serving CSCF
- Proxy CSCF
- Interrogating CSCF

2.3. IEEE 802.11

Originalmente las soluciones WLAN obedecían a creaciones propias y únicas de los diferentes fabricantes esto hacía nula la compatibilidad entre productos de diferentes fabricantes, esta situación dio origen a la creación de un grupo de estándares denominado 802,11 que es parte de la familia de estándares IEE 802 que básicamente establece las especificaciones para las redes de área local.

El conjunto de especificaciones descritas por el estándar IEEE 802 abarca dos capas inferiores del modelo OSI el cual es usado como referencia. Las redes especificadas en la familia 802 cuentan con las capas MAC y física en dichas capas se determina las reglas de acceso al medio y los detalles de la transmisión y recepción respectivamente.

El estándar IEEE 802,11 fue definido por el *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), actualmente es un estándar en constante evolución esto gracias a la participación de diversos grupos de trabajo en diversos países. Inicialmente pensado como una solución inalámbrica para pequeños ambientes de trabajo, pero la necesidad de conexiones que ofrezcan velocidades cada vez mayores ha generado distintas versiones las cuales se detallan a continuación con los aspectos más relevantes.

Figura 12. **Versiones del protocolo IEEE802,11**

Estándar IEEE	Velocidad máxima	Frecuencia	Compatibilidad con versiones anteriores
802.11	2 Mb/s	2,4 GHz	–
802.11a	54 Mb/s	5 GHz	–
802.11b	11 Mb/s	2,4 GHz	–
802.11g	54 Mb/s	2,4 GHz	802.11b
802.11n	600 Mb/s	2,4 GHz y 5 GHz	802.11a/b/g
802.11ac	1,3 Gb/s (1300 Mb/s)	5 GHz	802.11a/n
802.11ad	7 Gb/s (7000 Mb/s)	2,4 GHz, 5 GHz y 60 GHz	802.11a/b/g/n/ac

Fuente: Conceptos de LAN Inalámbrica (WLAN) - CCNA desde Cero.

<https://ccnadesdecero.es/conceptos-lan-inalambrica-wlan/>. Consulta: abril de 2021.

2.4. Wifi

Wifi es el nombre dado por *Wi-Fi Alliance* al conjunto de estándares IEEE 802.11 que inició con la versión 802,11 y con el pasar del tiempo ha implementado diferentes versiones que incluyen mejoras que ofrecen principalmente mayores velocidades de transmisión de datos.

Básicamente wifi está basado en la transmisión de señales de radio, mediante las cuales establece protocolos para la transmisión de información y gestiona el acceso a la red independiente de la ubicación física de los usuarios.

2.4.1. Frecuencia de funcionamiento de una red wifi

A continuación, se detallan las frecuencias de operación para señalización, así como especificaciones técnicas.

- Frecuencia 2,5Ghz en esta banda se cuenta con 14 canales con un ancho de banda entre 20 y 22 MHz siendo esta la banda ISM.

Este espectro es ampliamente utilizado por varios fabricantes para diversos dispositivos de uso común.

- Frecuencia 5Ghz, en esta banda se cuenta con 13 canales con un ancho de banda de 20MHz siendo esta la banda U-NII, este espectro es de menor uso por lo que se encuentra más libre en comparación con la frecuencia 2,5 GHz.

2.4.2. Seguridad en una red wifi

En una red inalámbrica, en general se deben cumplir 3 objetivos principales de seguridad.

- Autenticación mutua
- Comunicación privada
- Integridad de datos

El cumplimiento de estos tres puntos fortalece el desafío de enviar información a través del espacio abierto en el que la información está disponible para todos por igual, a esto se suman sólidos algoritmos de cifrado, estrategias de derivación de claves dinámicas.

3. WI-FI CALLING

3.1. Descripción general

La implementación de wifi en los teléfonos inteligentes abrió múltiples opciones de servicios que puedan reemplazar los propios servicios de un operador de telefonía móvil, principalmente en lugares donde la cobertura de los operadores es precaria o incluso nula.

El servicio de voz, a pesar de representar un menor ingreso económico a los operadores en comparación con el servicio de datos móviles, sigue siendo parte fundamental de las operaciones debido a que los usuarios lo utilizan como un medio inmediato y directo de comunicación con otros usuarios.

La diversidad de aplicaciones que utilizan una conexión a internet para ofrecer un servicio de voz no ha podido superar al ofrecido por el operador debido a la limitante de enlazar llamadas de voz con diferentes aplicaciones de origen y destino.

Wi-Fi calling es un servicio propio de los operadores de telefonía móvil, el cual consiste básicamente en poner a disposición de los usuarios la posibilidad de realizar llamadas de voz, enviar o recibir mensajería corta utilizando una conexión wifi sustituyendo así una conexión celular como se conoce tradicionalmente. Esta solución es simple de utilizar para los usuarios ya que no está sujeta a la utilización de aplicaciones adicionales para su funcionamiento, se puede considerar integrada en su totalidad a los dispositivos.

Wi-Fi calling está relacionada directamente con VoLTE debido a la utilización del mismo cliente IMS de telefonía y maneja el *handover* entre LTE y wifi haciendo de este un servicio transparente e imperceptible para los abonados, esto marca la diferencia respecto de las diferentes soluciones OTT disponibles actualmente.

3.2. Voz sobre LTE

En la actualidad, cuando un terminal está enganchado a LTE el servicio de voz se puede ofrecer mediante una de las siguientes opciones:

- CSFB
- OTT
- VoLTE sobre IMS

3.2.1. *Circuit Switched Fallback*

Es el procedimiento estandarizado por el 3GPP en los inicios de LTE, siendo LTE una red netamente basada en transmisión de paquetes de datos mediante este procedimiento las terminales son redireccionadas a una red 3G o 2G para realizar llamadas de voz y siendo este un servicio que funciona basado en conmutación de circuitos.

Considerando que la utilización de CSFB exige la utilización de tecnologías anteriores a LTE se puede tomar como una etapa transitoria previo a la migración de los servicios a un escenario completamente multimedia como es LTE.

3.2.2. OTT

Este concepto engloba todas las aplicaciones complementarias que ofrecen servicios de voz y mensajería, generalmente desarrolladas y puestas a disposición de los usuarios en forma gratuita, pero con dos grandes limitantes, primero es la restricción de utilizar la misma aplicación en ambos lados de una conversación y la segunda es que ninguna ofrece la posibilidad de hacer *handover* entre la aplicación y la propia red del operador.

3.2.3. VoLTE sobre IMS

Esta solución está normalizada por la 3GPP y se basa en el servicio de telefonía multimedia (MMTEL Multimedia *Telephony*) una solución de VoIP estandarizada por IMS (IP Multimedia *Subsystem*), el cual ofrece servicios similares a los ofrecidos por las redes 3G y 2G.

Al tener VoLTE en IMS se identifican las siguientes características:

- Control en la calidad del servicio.
- Movilidad e interoperabilidad gestionados por el EPC.
- Técnicas de compresión en el manejo de información con el propósito de optimizar la capacidad de red.

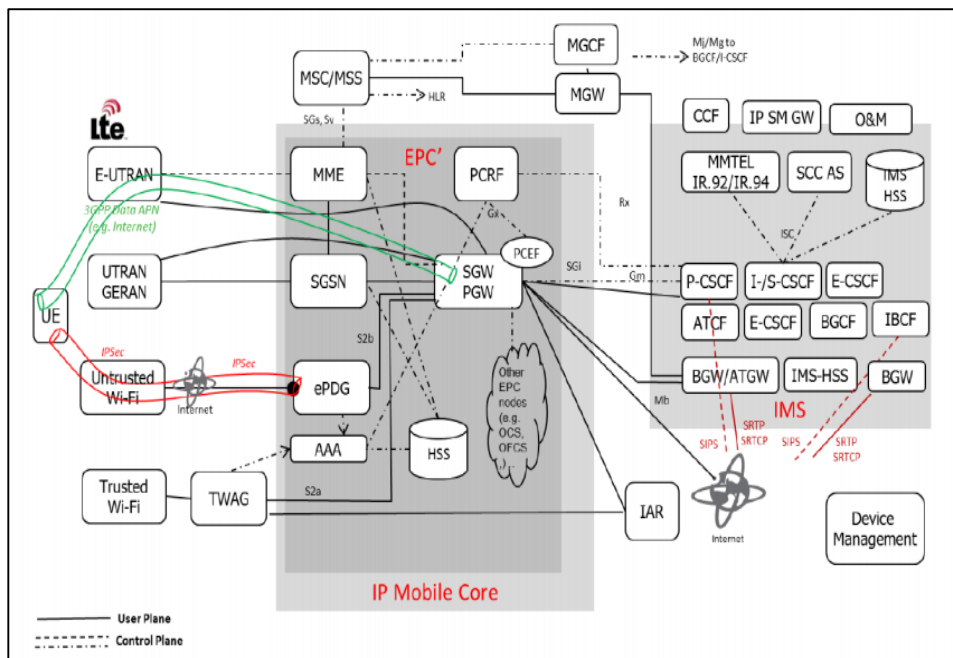
3.3. Arquitectura y protocolos en la tecnología Wi-Fi calling

La arquitectura de la tecnología Wi-Fi calling básicamente mantiene el modelo en la arquitectura para VoLTE con la variante de un elemento adicional

en el EPC a este elemento se le denomina ePDG, a esto se suman modificaciones importantes al IMS todo con el objetivo de adecuar las características de wifi.

En la figura 12 se observa el diagrama de los elementos que intervienen en una arquitectura típica de Wi-Fi calling.

Figura 13. **Arquitectura IMS de Wi-fi calling**



Fuente: TOMAS, Bruno. *Arquitectura IMS de wi-fi calling*. <https://telecomwebinar.com/wp-content/uploads/2016/11/WBA-Wi-Fi-Calling-Webinar-Telesemana-BCT-v1.0.pdf>. Consulta: abril de 2012.

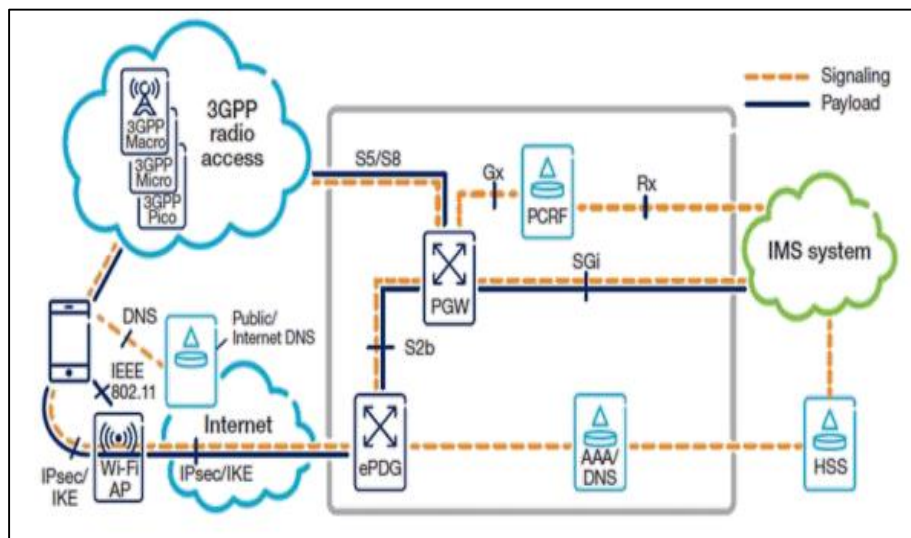
Como se puede observar Wi-Fi calling agrega un elemento más a la arquitectura del EPC permitiendo de esta manera el acceso al EPC desde cualquier red wifi siendo este un acceso denominado no confiable por el 3GPP. El elemento ePDG implementado en la frontera de la topología es encontrado

mediante una búsqueda DNS por lo que es considerado como un puesto de enlace entre el internet público y el EPC del operador.

La conexión al ePDG desde una red wifi los dispositivos utilizan los protocolos IETF IKE v2 y el IPsec, ambos protocolos proporcionan una conexión con integridad y confidencialidad independientemente del origen de la red wifi.

En la figura 13 que se muestra un diagrama de arquitectura de Wi-Fi calling.

Figura 14. **Arquitectura de la tecnología Wi-fi calling**



Fuente: NORELL, Lennart. et al. Wi-Fi calling-extending the reach of VoLTE to Wi-Fi.. Sweden: Ericsson, 2015

3.3.1. Protocolo IKEv2

Este protocolo crea automáticamente un túnel IPsec que interconecta el dispositivo con el ePDG mediante el uso de las credenciales de autenticación que

están contenidas dentro de la tarjeta SIM de cada usuario. Esto garantiza un proceso transparente para los usuarios ya que no precisa que el usuario realice un procedimiento o acción para utilizar el servicio.

El ePDG ejecuta una búsqueda de vectores de seguridad, así como de la información completa de suscripción de cada usuario desde el denominado HSS mediante un nodo denominado AAA/DNS.

Durante el proceso de configuración del denominado túnel IPsec, el ePDG establece una conexión con el PGW que utiliza el protocolo GTPv2 mediante la interfaz llamada S2b. En este punto el PGW obtiene las políticas estáticas y dinámicas utilizando la señalización Diameter al PCFR de igual manera lo hace en los accesos estandarizados por el 3GPP.

Cuando se efectúa un cambio de LTE a wifi las terminales conservan la misma dirección IP manteniendo intactas todas las políticas que fueron aplicadas, en consecuencia, la elección del acceso para una llamada netamente de voz puede ser LTE o wifi siendo esta elección totalmente transparente para los diferentes elementos. Es importante considerar que por la naturaleza de la conexión afecta directamente el manejo de control de finalización de llamadas así como la localización de cada usuario.

El procedimiento para finalizar una llamada en una red IMS implica utilizar el proceso *Terminating Access Domain Selection* con la finalidad de establecer si se debe finalizar una llamada o se traslada a CS. Debido a que un dispositivo que soporta Wi-Fi calling posee la capacidad de conectarse simultáneamente a una red wifi y a una red de telefonía celular, esto debido a que cuenta con dos antenas radio, esto hace del proceso TADS algo más complejo.

Considerando que cuando se utiliza la tecnología Wi-Fi calling para hacer uso del servicio de voz este no registra un *Cell-ID* el registro de ubicación útil en diversos servicios como lo es el de llamada de emergencia o geolocalización no podrían funcionar como tradicionalmente lo hacen, es necesario, por ende, contar con otros medios para obtener esta información.

3.4. Escenarios para implementación de Wi-Fi calling

A continuación, se realiza la descripción de escenarios para implementación de Wi-Fi calling.

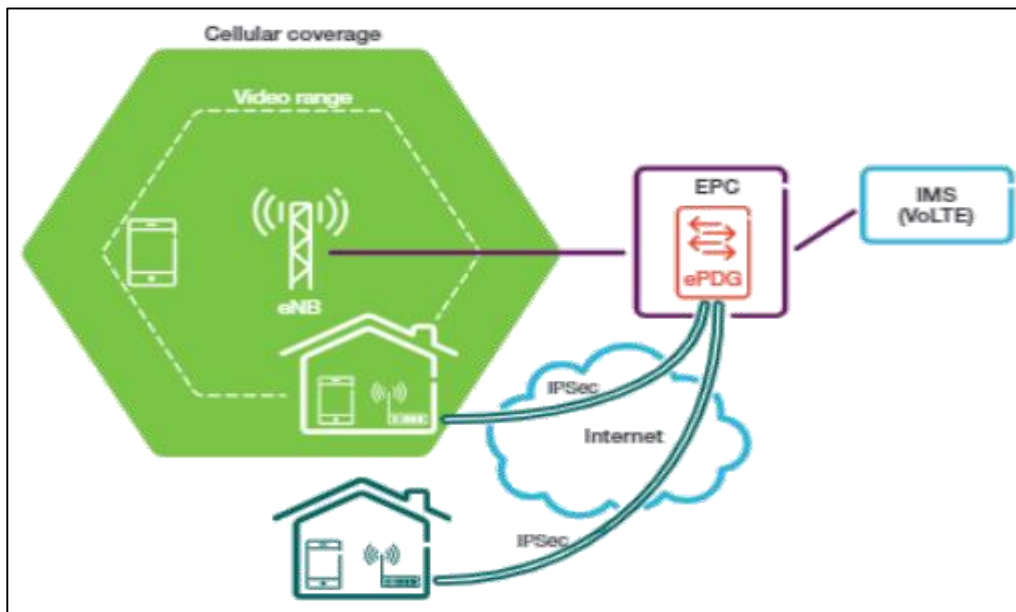
3.4.1. Ampliación de cobertura

Actualmente los huecos de cobertura se dan por diversos factores y la única solución de los operadores es la implementación de radio bases nuevas para ampliar la cobertura, principalmente 3G y LTE. Uno de los ambientes más afectados es el interior de los hogares principalmente en áreas suburbanas y densamente pobladas en dichas áreas el uso de algunos materiales de construcción atenúa las señales de RF.

En la actualidad disponer de un servicio de internet de tipo fijo en los hogares se ha constituido en un servicio básico, esto permite ofrecer el servicio de Wi-Fi calling como solución a la problemática de cobertura en estos espacios al contar con un *router wi-fi* brindando acceso a internet en estos ambientes, a esto se suma la iniciativa de diversos fabricantes *Smartphone* de incluir soporte a los problemas de utilizar wifi de tipo no administrado, esto para acceder a un servicio de voz IMS tal como sucede en VoLTE.

Se muestra la ilustración de un escenario común en el cual la cobertura del operador no cubre un área, pero mediante una conexión Wi-Fi calling logra acceder a servicios de voz y mensajes cortos de texto.

Figura 15. Escenario de aplicación de cobertura



Fuente: NORELL, Lennart; LUNDSTRÖM, Anders. *Wi-Fi calling - extending the reach of VoLTE to Wi-Fi*. p. 25.

Básicamente Wi-Fi calling funciona como una extensión de VoLTE con la ventaja de cubrir áreas con problemas de cobertura y al necesitar únicamente una conexión a internet hace de esta solución una mejor opción en comparación de otras que conllevan costos adicionales de instalación y mantenimiento.

Otro servicio que el operador puede agregar al implementando Wi-Fi calling son las videollamadas basadas en IMS siendo este un servicio que exige mayor capacidad y calidad de red en comparación a una llamada de voz, pero el operador debe tener la capacidad de monitorear las condiciones de la conexión

para definir si el servicio se llevará sobre la red celular propia del operador o sobre la conexión wifi disponible.

3.4.2. Sustitución del *roaming*

La itinerancia es un servicio que representa un costo adicional a los usuarios debido a que es utilizado para disponer, tanto del servicio de datos como de voz dentro una red diferente a la del operador matriz. Generalmente es un servicio utilizado cuando se pierde cobertura por desplazamiento entre países o incluso entre ciudades.

Wi-Fi calling posee la capacidad de permitir el enrutamiento de usuarios a la red del operador nativo independientemente de la posición geográfica de la conexión a la internet, esto posibilita a operadores ofrecer servicios tanto de voz como SMS mediante la utilización de la tecnología Wi-Fi calling particularmente en áreas en donde la única solución es utilizar el *roaming*.

Wi-Fi calling como sustitución del *roaming* actual no precisa utilizar aplicaciones adicionales para utilizar SMS o el servicio de voz siendo estos los servicios nativos de la telefonía móvil. El usuario tampoco necesita habilitar ninguna característica adicional en la configuración del dispositivo, por ende, la experiencia de uso es como si los usuarios estuvieran bajo la cobertura normal de su operador, siempre que la conexión wifi se mantenga.

Es importante señalar que el operador debe administrar la utilización de *Wi-Fi calling* debido a posibles variantes en lo referente a regulaciones de telecomunicaciones propias de cada país, un punto a considerar en este escenario es el servicio de llamadas de emergencia ya que por norma estas no deben salir utilizando la red propia del operador local. Estas llamadas se deben

llevar a servicios del área de emergencia propios del lugar donde se ubique el dispositivo.

3.4.3. Aplicación en PYMES

Un servicio ampliamente utilizado por las pequeñas y medianas empresas es la fibra óptica como medio de acceso para proveer a su red interna los servicios totos de voz, utilizando teléfonos IP, como de datos administrados.

Wi-Fi calling abre la posibilidad a que operadores de telefonía celular incursionen en el negocio de telefonía de tipo fijo con la opción híbrida de telefonía fija móvil, ya que los usuarios de los servicios fijos pueden mantener las extensiones fijas al migrar sus servicios a la tecnología *Wi-Fi calling*, esto implica el cambio de los tradicionales teléfonos fijos por teléfonos móviles inteligentes y con esto se posibilita el utilizarlos en cualquier ubicación.

Una de las características principales del servicio de telefonía empresarial es el uso de números cortos, esta característica se puede mantener mediante el uso de IMS, de igual manera es posible aplicar otras funciones avanzadas en voz directamente enfocadas sus usuarios.

3.5. Ventajas de Wi-fi calling

A nivel de infraestructura el operador de telefonía móvil encuentra en la utilización de la tecnología Wi-Fi calling una solución rápida, práctica y económica a los desafíos que presenta una red de telefonía móvil, siendo la calidad de servicio un aspecto impactado por factores de naturaleza diversa. Se solucionan problemas desde la baja o nula cobertura hasta problemas asociados a la

capacidad tanto de recursos de RAN (*Radio Access Network*) como del medio de transmisión.

La simplicidad al utilizar Wi-Fi calling desde el plano de los usuarios hacen de esta función una solución amigable y transparente para el usuario, incluso permitiendo prescindir de la instalación de aplicaciones adicionales para utilizar servicios, tanto de voz como mensajería de texto instantánea.

Wi-Fi calling permite disponer de servicios basados en IP complementando con esto la diversidad en la demanda de los usuarios, con esto los proveedores de telefonía móvil tienen la posibilidad de ampliar la cobertura LTE principalmente por su servicio VoLTE debido a la compatibilidad que existe entre los servicios basados en IP y LTE.

3.6. Desventajas al utilizar Wi-Fi calling

Las condiciones de recepción de la red wifi a donde se enganchan los usuarios al utilizar Wi-Fi calling es un aspecto difícil de monitorear por los operadores, quienes son los responsables de garantizar la calidad en los servicios, la alta utilización en una redes wifi generalmente se percibe en la disminución de la calidad de conexión degradando así los servicios que se utilicen, la interferencia y el cambio sucesivo de la conexión al estar en un espacio con múltiples redes disponibles también pueden degradar los servicios utilizando Wi-Fi calling.

Si bien la utilización de las llamadas de voz no precisa de un gran ancho de banda grande, en una conexión wifi para utilizar eficazmente los servicios tanto de voz como de mensajes mediante Wi-Fi calling se debe considerar el impacto de la pérdida de paquetes con el *router*. Este parámetro debe ser bajo, casi nulo,

con una latencia mínima y principalmente la mínima variación de latencia, considerando que es una comunicación bidireccional en tiempo real.

Actualmente en las últimas actualizaciones del estándar IEEE 802,11n y 802,11ac incorpora técnicas que priorizan los servicios en tiempo real, sin embargo, debido a que en la topología de Wi-Fi calling se hace uso de la conexión IPsec para la señalización dichas técnicas no representan ningún beneficio.

El *Handover* cuando se utiliza Wi-Fi calling solo es posible hacerlo hacia LTE y esto representa un inconveniente cuando la cobertura de dicha tecnología es nula ya que inevitablemente se experimentará un *drop call* o llamada caída. A pesar de existir la posibilidad de hacer el traspaso entre *Wi-Fi* y LTE los dispositivos están diseñados para mantener una conexión wifi sin importar lo débil que esta sea incluso en un ambiente donde existe cobertura de otro punto de acceso con mejores condiciones o incluso exista cobertura de alguna tecnología de telefonía móvil.

El no disponer de la ubicación geográfica al utilizar wifi representa un problema principalmente cuando se utilizan los servicios de emergencia, como una alternativa el operador puede optar por implementar la preferencia de red cuando se utilicen dichos servicios y llevar la llamada al acceso celular, esta función recae sobre la red IMS que debe identificar los números de emergencia no solo los locales sino también los existentes en las áreas donde se desee utilizar la itinerancia de datos mediante *Wi-Fi calling*.

4. TELEFONÍA MÓVIL EN GUATEMALA

En Guatemala la telefonía móvil inició en 1989 cuando el Estado concesionó la banda B5 (850MHz) a la empresa Comunicaciones Celulares S.A. (COMCEL) por un período de 20 años, posteriormente COMCEL tomó el nombre de TIGO. En años posteriores se incorporaron otros operadores al mercado, tales como Telecomunicaciones de Guatemala, Telefónica y Bellsouth.

Con el paso del tiempo los proveedores de servicios de telefonía móvil han atravesado diferentes procesos que han provocado importantes cambios en el escenario de las telecomunicaciones, el cambio más reciente sucedió en 2019 con la compra del 100 % de las operaciones de Telefónica Movistar Guatemala S.A. (Movistar) por parte de América Móvil S.A. (Claro).

Posterior a la adquisición de Movistar por parte de Claro en Guatemala el mercado de Telefonía Móvil queda distribuido en dos operadores principales, Claro y Tigo, es importante destacar que tanto Claro Guatemala como Telecomunicaciones de Guatemala S.A., son propiedad de América Móvil S.A. y por su parte Comunicaciones Celulares S.A opera con la marca comercial Tigo.

En la actualidad en Guatemala el desarrollo de la telefonía móvil ha tenido importantes avances tanto en la implementación de nuevas tecnologías como en el aumento de área de cobertura. En Guatemala la red 2G aún está vigente y se maneja un considerable uso tanto en voz como en servicios de mensajería, la red 3G se puede considerar la de mayor penetración a nivel de cobertura, la red 4G actualmente se encuentra en un proceso de despliegue por parte de los 2 operadores, recientemente ambos operadores iniciaron pruebas para la

implementación de 5G pero debido a la pandemia del COVID -19 se ha retrasado el proceso de lanzamiento comercial.

4.1. Usuarios de telefonía móvil por operador y tecnología

En la tabla IV se observa la distribución de usuarios de servicios móviles activos al cierre del primer semestre de 2020, se considera tanto los usuarios en modalidad postpago como prepago, se detalla de la misma manera el porcentaje de la proporción de usuarios por operador sobre la totalidad de usuarios activos.

Tabla III. **Distribución de líneas en operación por operador**

Operador	Usuarios por operador	Proporción por compañía
Claro Guatemala S.A.	2 283,565	11,20 %
Comunicaciones Celulares S.A.	11 397,364	55,89 %
Telecomunicaciones de Guatemala S.A.	6 709,742	32,91 %
TOTAL	20 390,671	100,00 %

Fuente: <https://sit.gob.gt/gerencia-de-telefonía/estadísticas-de-telefonía/boletín-estadístico-2do-2014/>. Consulta: abril de 2021.

Como se puede observar actualmente el parque de abonados de telefonía móvil, tanto prepago como postpago, se encuentra distribuido en forma equitativa entre los dos proveedores, esto ha creado la necesidad de ampliar los servicios en diversidad, innovación, calidad y principalmente en áreas de cobertura.

Actualmente los usuarios de telefonía móvil cuentan con diversas opciones para adquirir terminales de diferentes fabricantes, principalmente por el auge del comercio internacional, esto no permite a los operadores controlar de manera exacta la homologación de los dispositivos que se enganchan a su red.

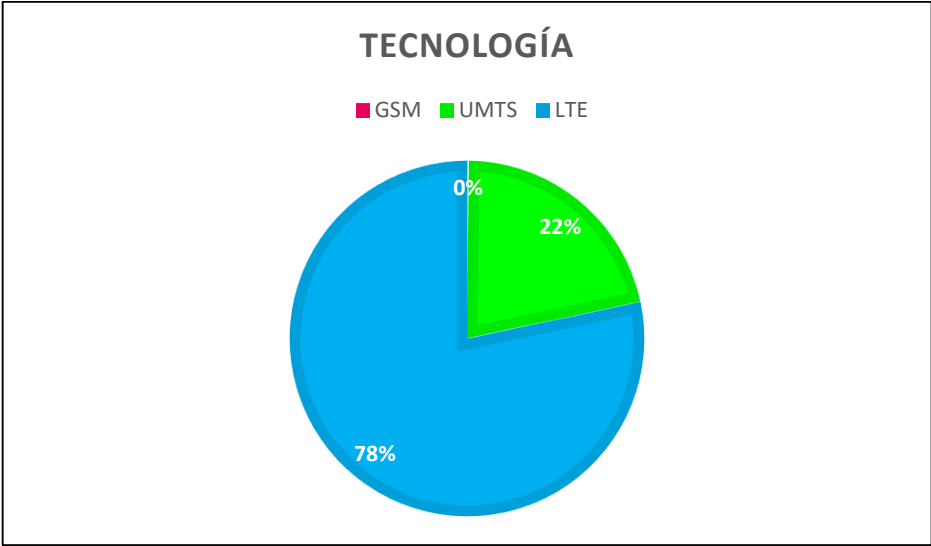
En una red de telefonía móvil los usuarios generalmente pueden elegir utilizar cualquier tecnología que el operador tenga disponible en el lugar donde se encuentre el usuario en determinado momento, se debe considerar la capacidad del dispositivo y el aprovisionamiento que el operador configura en la SIM al momento de intentar utilizar una tecnología disponible.

Cuando se habla de la cantidad de usuarios por tecnología no es posible obtener un dato consistente debido a la constante movilidad de los usuarios tanto a nivel físico como a nivel de utilización de servicios, provocando constantes cambios en la tecnología que se utiliza.

Una forma de medir la utilización de las diferentes tecnologías por parte de los usuarios es obtener los registros directamente de las terminales en cuanto a los tiempos que el teléfono ha permanecido acampado en alguna determinada tecnología, para esto varias aplicaciones en teléfonos inteligentes ofrecen información de esta índole.

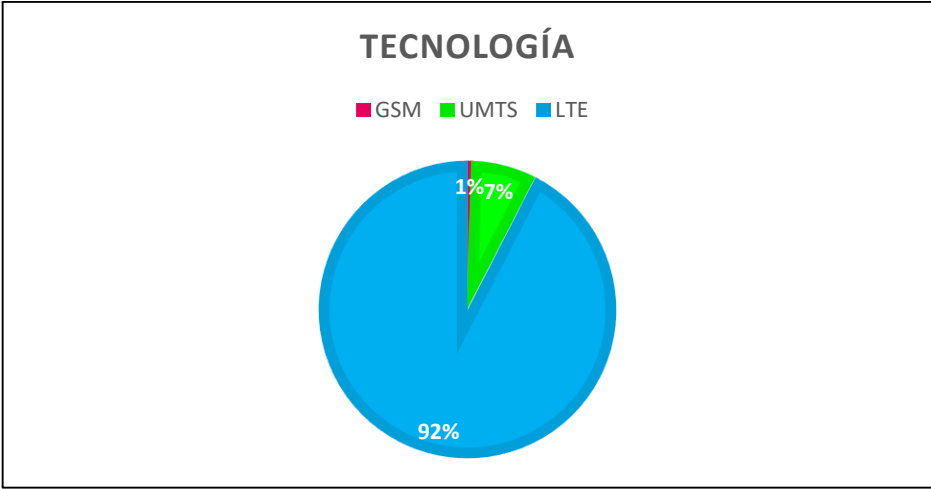
En las figuras 15 y 16, se muestran los datos estadísticos del porcentaje de utilización de las diferentes tecnologías de un segmento de terminales tomando el tiempo registrado en la red del operador al que pertenecen.

Figura 16. **Porcentaje de utilización por tecnología usuarios CLARO**



Fuente: información proporcionada por la herramienta *Market Insights*.
<https://www.einforma.com/soluciones-y-herramientas/market-insight>. Consulta: abril de 2021.

Figura 17. **Porcentaje de utilización por tecnología usuarios TIGO**



Fuente: información proporcionada por la *herramienta Market Insights*.
<https://www.einforma.com/soluciones-y-herramientas/market-insight>. Consulta: abril de 2021.

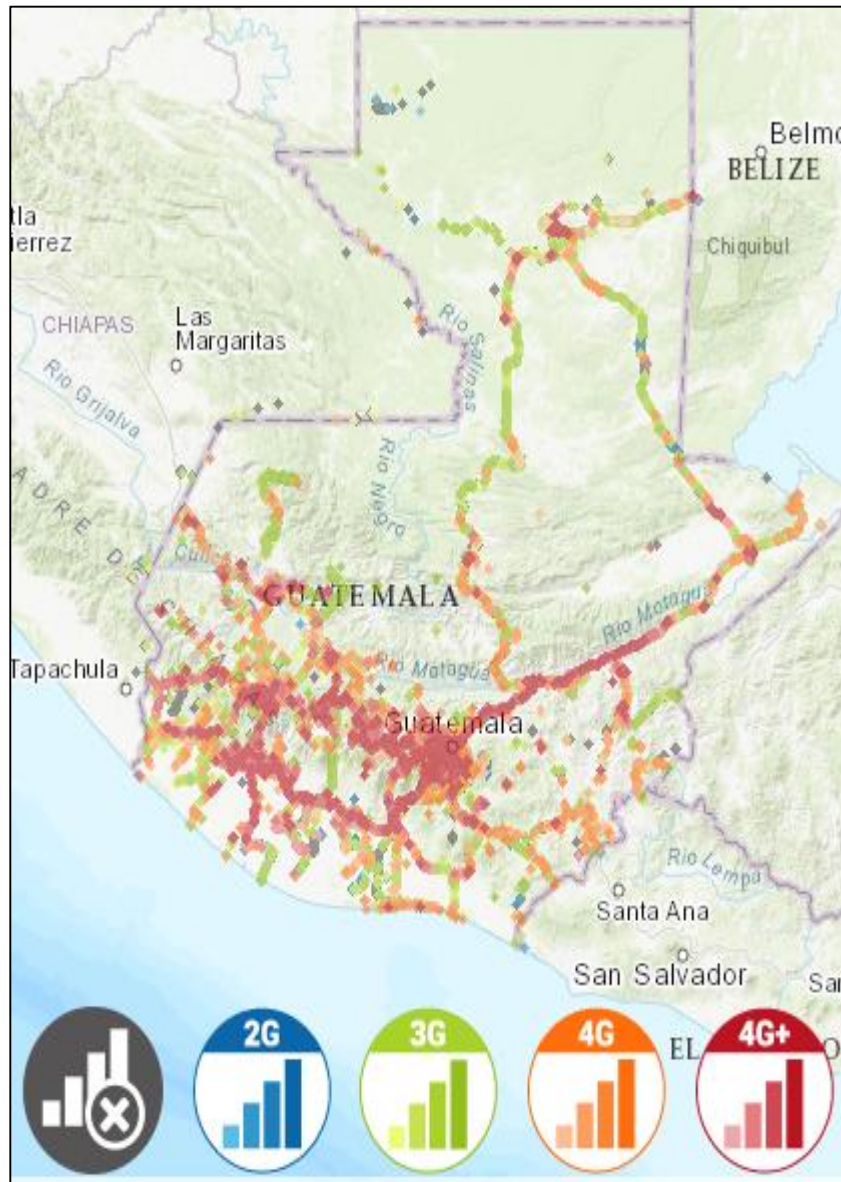
Lo anterior indica el porcentaje de tiempo que los usuarios pasan enganchados a una tecnología sin considerar el evento que provocó su uso, que puede ser la utilización de un determinado servicio, el cambio de tecnología por falta de cobertura, la configuración forzada de un dispositivo por utilizar una determinada tecnología, entre otros.

Es importante considerar que, debido a que la fuente de la información es una aplicación disponible para teléfonos inteligentes los datos reflejan el comportamiento de este segmento de dispositivos que normalmente prefieren utilizar UMTS o LTE.

4.2. Cobertura celular por operador

Los dos operadores existentes actualmente en Guatemala presentan un desarrollo importante tanto en modernización de hardware como en ampliación de cobertura.

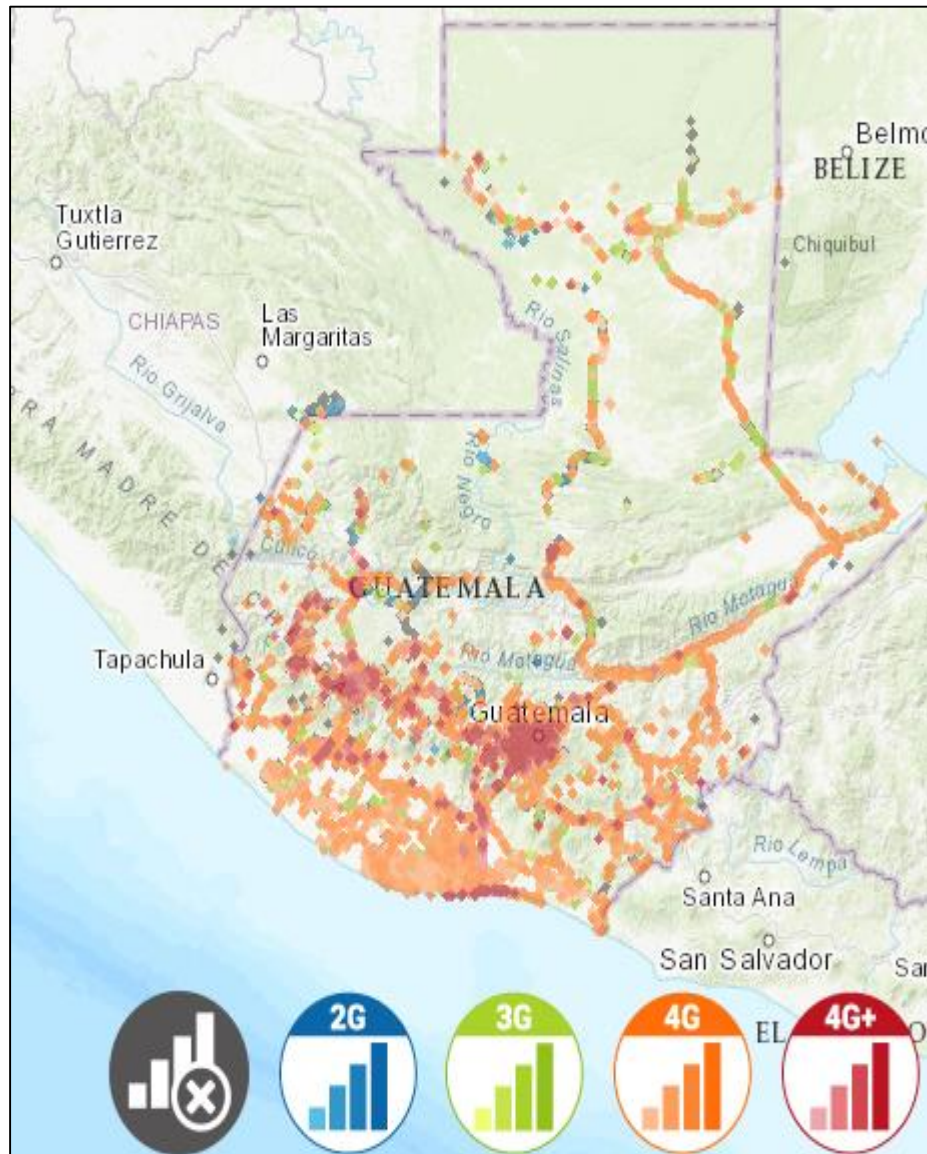
Figura 18. **Mapa de cobertura CLARO por tecnología**



Fuente: <https://www.nperf.com/es/map/GT/3598132.Guatemala-City/198153.Tigo-Mobile/signal/?ll=15.559544421458103&lg=-93.25195312500001&zoom=7>.

Consulta: abril de 2021.

Figura 19. Mapa de cobertura TIGO por tecnología



Fuente: <https://www.nperf.com/es/map/GT/3598132.Guatemala-City/198153.Tigo-Mobile/signal/?ll=15.559544421458103&lg=-93.25195312500001&zoom=7>.

Consulta: abril de 2021.

5. ASPECTOS TÉCNICOS PARA IMPLEMENTAR WI-FI CALLING

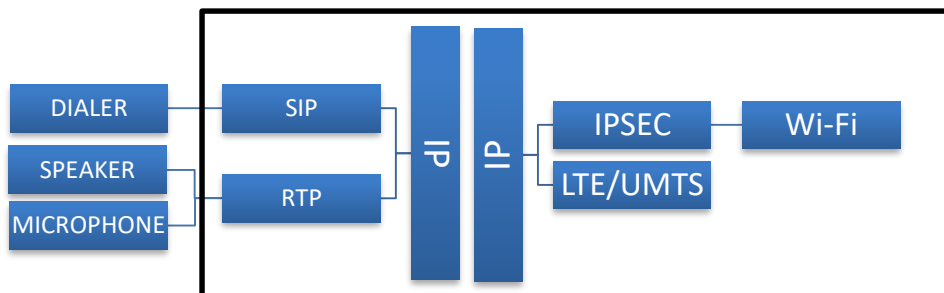
El servicio de Wi-Fi calling exige el cumplimiento de requisitos en tres escenarios puntuales, la terminal o dispositivo de usuario, la red para el acceso y el Core de la red nativa.

Se detallan a continuación los requisitos en cada escenario mencionado anteriormente.

5.1. Requisitos en equipo de usuario

Inicialmente se debe mencionar que los usuarios que utilizarán el servicio de Wi-fi calling cuentan con un *Smartphone* que soporte la tecnología LTE mediante la utilización de una SIM provisionada con este servicio, el dispositivo debe poder conectarse a redes wifi. Se ilustra en la figura 20 el diagrama de bloques básico de un *Smartphone*.

Figura 20. Diagrama básico de un Smartphone



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Los bloques del diagrama anterior se listan a continuación:

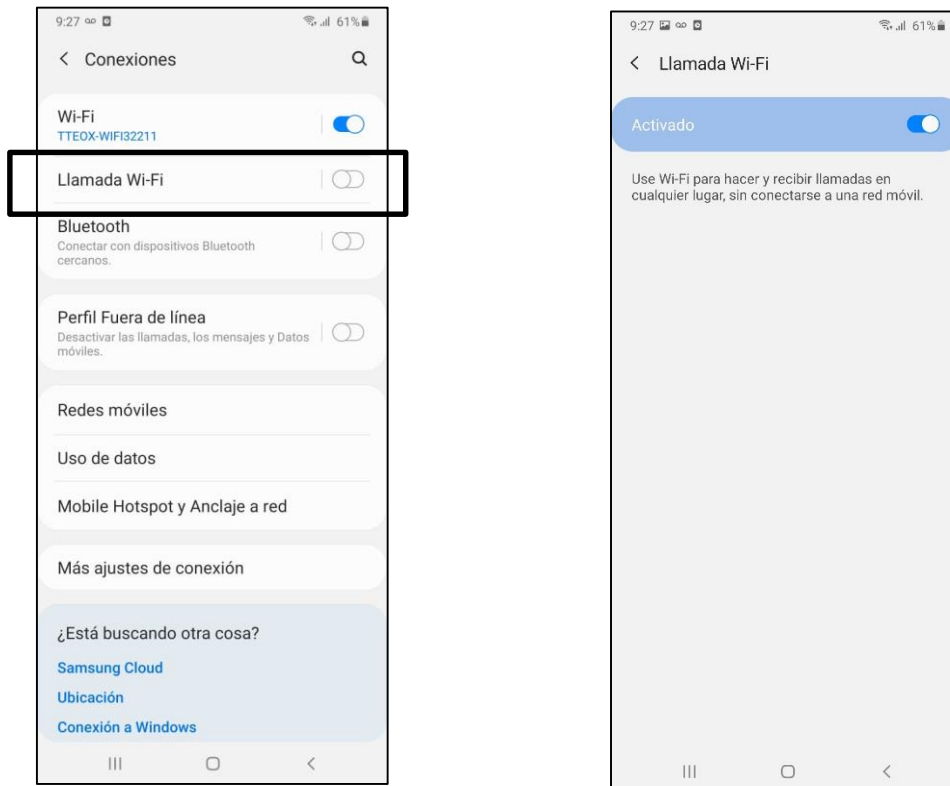
- SIP protocolo de inicio de sesiones
- RTP protocolo de transporte en tiempo real
- IP protocolo de internet
- IPSEC protocolo de seguridad de internet
- Wifi interfaz de conexión inalámbrica wifi
- LTE/UMTS interfaz de conexión celular

Un aspecto importante por considerar son los umbrales de desplazamiento entre diferentes puntos de acceso los cuales son establecidos por los fabricantes de las terminales.

Actualmente el umbral está entre -70 dBm y -75 dBm para aplicaciones en tiempo real en dispositivos administrados por iOS y Android, siendo estos los sistemas operativos con mayores porcentajes de utilización. Esto sugiere que se debe reducir dicho umbral entre -65 dBm y -67 dBm para garantizar desplazamientos más eficientes. Se debe considerar que la implementación de wifi que contenga los estándares IEEE802,11k e IEEE802,11v.

Para finalizar se debe considerar la compatibilidad de los dispositivos con Wi-Fi calling, esto lo determina la implementación de una funcionalidad nativa en el dispositivo. Debido a la naturaleza de esta funcionalidad es incluida por el fabricante del dispositivo.

Figura 21. **Función Wi-fi calling en Smartphone Android**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

5.2. Requisitos fundamentales en la red de acceso

Considerando que wifi, de acuerdo con el 3GPP, no figura como red de acceso es importante considerar que el EPC debe diseñarse con la importante capacidad de proporcionar conectividad basada en IP a dispositivos que los soliciten desde cualquier red para el acceso que no especificada por el 3GPP.

La red de acceso por utilizar en este caso es una red wifi la cual debe cumplir fundamentalmente con la posibilidad de transferir paquetes mediante IP, debido a esto se tiene dos opciones para cumplir con esta característica.

- *Deep Packet Inspection*
- Wifi Multimedia

5.2.1. *Deep Packet Inspection*

Esta función proporciona la capacidad de identificar y clasificar el tráfico que generan los dispositivos conectados a este, siendo tráfico de voz, video y datos de navegación, esto permite asignar la máxima prioridad al tráfico de una llamada de voz, al tráfico generado por video se le asigna la segunda posición en prioridad y, por último, se considera el tráfico generado los datos de navegación.

Esto garantiza que el servicio de voz podrá ser identificado y tratado con alta prioridad para mantener la calidad que se maneja en una red de acceso tradicional.

5.2.2. Wifi multimedia

Esta característica mantiene prioridad sobre tráfico de voz, audio y video en comparación a otros servicios, la clasificación del tráfico se realiza mediante la validación del origen, es decir, la asignación de prioridad se basa en el tipo de aplicación que se utiliza la cual puede ser aplicaciones de audio, video, voz, ftp, entre otros.

El mantener la prioridad sobre algunas aplicaciones permite retrasar el tráfico en aplicaciones donde es aceptable retardos ya que son poco perceptibles por el usuario, logrando con esto disminuir a niveles casi nulos los retrasos en aplicaciones determinadas.

5.3. Aspectos principales del EPC

En el caso del Core o red troncal EPC se listan las características para habilitar el servicio de Wi-Fi calling.

- Permitir y gestionar acceso de usuarios provenientes de wifi.
- Acceso al perfil de suscripción de usuarios conectados mediante wifi tanto de la entidad PGW como al VLR.
- Mantener el control de acceso mediante los procedimientos convencionales tanto autenticación como autorización.
- Brindar soporte en lo referente al acceso mediante wifi para completar el acceso a servicios de tipo IP de la red troncal.
- Mantener el P-GW como único punto de enlace para servicios de conectividad.
- Mantener altos niveles de seguridad al utilizar servicios del EPC considerando que se está utilizando una red de acceso fuera del 3GPP y, por ende, no se garantiza la seguridad necesaria.
- Habilitar el servicio VoLTE debido a la compatibilidad con Wi-Fi calling al tratarse de servicios VoIP.

5.4. Costos aproximados para implementar Wi-Fi calling

El presente estudio se enfoca en habilitar Wi-Fi calling en la topología IMS de una red de telefonía, cuyo modelo es el utilizado actualmente por los dos operadores de telefonía celular en Guatemala.

Se detalla a continuación una propuesta económica del proveedor de equipo de telecomunicaciones Huawei Technologies CO.LTD., el cual cumple fielmente los estándares establecidos en el 3GPP y es poseedor de una trayectoria reconocida mundialmente en soluciones dedicadas a la telefonía celular.

5.4.1. Presupuesto estimado por la empresa HUAWEI TECHNOLOGIES CO. LTD.

El presupuesto del fabricante Huawei Technologies CO. LTD. presentado a continuación se basa en un CORE construido con elementos del mismo fabricante, esto garantiza que la propuesta será totalmente compatible y un aspecto también importante es que no requiere incorporar a la red elementos nuevos sino únicamente la expansión y actualizaciones de software de los equipos en producción.

Es importante considerar las ventajas de elegir al mismo fabricante de los equipos que conforman el CORE de una red por las razones descritas anteriormente ya que de lo contrario se corre el riesgo de que al cambiar de proveedor la compatibilidad no se logre y esto represente costes elevados tras requerir *upgrade* de los equipos de los fabricantes que interactúen. Así también se debe considerar que inevitablemente se deberá adquirir nuevos equipos para completar la implementación de Wi-Fi calling.

Es importante aclarar que los precios detallados a continuación son estimados y, por confidencialidad han sido modificados por un factor a discreción de Huawei Technologies CO. LTD.

Tabla IV. **Cotización de expansiones y *upgrade* del proveedor Huawei Technologies CO. LTD.**

Equipo	Precio
HSS 9860 Expansión	\$ 425 928,00
USN 9810 Expansión	\$ 122 890,00
UGW 9811 Expansión	\$ 922 360,00
CSC 3300 Expansión	\$ 25 128,00
UPCC 9810 Expansión	\$ 103 786,00
ATS 9900 Expansión	\$ 62 821,00
OCS Expansión	\$ 105 300,00
iManager U2020 Expansión	\$ 7 484,00
TOTAL	\$ 1 775 697,00

Fuente: información proporcionada por la empresa HUAWEI TECHNOLOGIES CO. LTD.

Adicional a lo referente a *Upgrade* y hardware de expansión se consideran los servicios de implementación que se detallan a continuación.

Tabla V. **Cotización de servicios del proveedor HUAWEI TECHNOLOGIES CO. LTD.**

Servicio	Precio
Instalación, configuración, comisionamiento, actualización e interconexiones	\$ 1 427 824,00
Capacitación y soporte	\$ 120 000,00
TOTAL	\$ 1 547 824,00

Fuente: información proporcionada por la empresa HUAWEI TECHNOLOGIES CO. LTD.

Por último, se muestra el coste total de implementación de la tecnología Wi-Fi Calling según Huawei Technologies CO. LTD.

Tabla VI. **Cotización final del proveedor Huawei Technologies CO. LTD**

Item	Precio
Expansión de equipos y Upgrade	\$ 1 775 697,00
Servicios	\$ 1 547 824,00
TOTAL	\$ 3 323. 521,00

Fuente: información proporcionada por la empresa HUAWEI TECHNOLOGIES CO. LTD.

CONCLUSIONES

1. Wi-Fi calling es una alternativa rápida y rentable para la solución de deficiencia de cobertura debido a que no implica instalar nuevas radio-bases.
2. La rápida evolución en el área de telefonía celular se hace más evidente en la mejoría de las velocidades de transmisión de paquetes debido a la exigencia de un alto ancho de banda en servicios que incluyen cantidades grandes de contenido en su mayoría multimedia.
3. El servicio VoLTE precisa disponer de cobertura de la RAN para ser utilizado mientras la tecnología Wi-Fi calling precisa únicamente de una conexión a internet vía wifi para utilizar el servicio tanto de voz como mensajería de tipo SMS propios de la red nativa del usuario.
4. La tecnología Wi-Fi calling precisa utilizar una red basada en IMS y disponer de VoLTE, en la de topología se debe agregar el ePDG siendo este el anclaje entre el core e internet.
5. En Guatemala es viable la implementación de Wi-Fi calling debido a la alta utilización de *Smartphones* y la preferencia de utilizar la tecnología 3G y/o LTE.

RECOMENDACIONES

1. Disponer de una red IMS con el servicio VoLTE habilitado para implementar la tecnología Wi-Fi calling.
2. Homologar con los operadores las terminales que comercializan, en conjunto con sus proveedores para definir la configuración de Wi-Fi calling de fábrica.
3. Homogenizar el proveedor de equipos que componen la red del operador tanto de acceso como del core debido a la compatibilidad que el servicio de Wi-Fi calling exige al tratarse de una conexión catalogada como no confiable por el 3GPP.
4. Realizar un estudio referente a la utilización de wifi de los usuarios activos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALMANSA LÓPEZ, Leticia. *LTE para principiantes, Día 2: Breve descripción de la arquitectura de red de LTE*. [en línea]. <<http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>>. [Consulta: 30 de mayo de 2021].
2. Artiza Networks. *System Architecture Evolution (SAE) and the Evolved Packet Core (EPC)*. [en línea]. <https://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/sae_tec.html>. [Consulta: 10 de mayo de 2021].
3. CCNA. *Conceptos de LAN Inalámbrica (WLAN)*. [en línea]. <<https://ccnadesdecero.es/conceptos-lan-inalambrica-wlan/>>. [Consulta: 5 de febrero de 2021].
4. COMES, Ramon; et al. *LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles*. España: Fundación Vodafone España, 2010. 431 p.
5. Efort. *IMS Architecture* [en línea]. <http://www.efort.com/media_pdf/IMS_ESP.pdf>. [Consulta: 10 de marzo de 2021].
6. Everything RF. *LTE-A or LTE Advanced*. [en línea]. <<https://www.everythingrf.com/community/what-is-lte-a>>. [Consulta: 30 de abril de 2021].

7. GSMA Association. VoLTE Service Description and Implementation Guidelines. [en línea]. < <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2014/05/FCM.01-v1.1.pdf> >. [Consulta: 22 de mayo de 2021].
8. HOLMA, Harri, TOSKALA, Antti., NAKAMURA, Taqueiro. *5G Technology 3GPP New Radio*. John Wiley & Sons Ltd, 2020. 505 p.
9. HUIDOBRO MOYA, José Manuel. *Comunicaciones móviles sistemas GSM, UMTS y LTE*. México: Alfaomega, 2012. 428 p.
10. LÓPEZ, Ronald. *Capas del subsistema IMS*. http://www.efort.com/media_pdf/IMS_ESP.pdf. Consulta: febrero de 2021
11. NORELL, Lennart. *et al. Wi-Fi calling-extending the reach of VoLTE to Wi-Fi*. Sweden: Ericsson, 2015.
12. Nperf. Mapa de cobertura 3G / 4G / 5G Claro Guatemala. [en línea]. <<https://www.nperf.com/es/map/GT/-/198155.Claro-Mobile/signal/?ll=15.712950725807477&lg=-90.17852783203126&zoom=7>>. [Consulta: 20 de julio de 2021].
13. Nperf. Mapa de cobertura 3G / 4G / 5G Tigo Guatemala. [en línea]. <<https://www.nperf.com/es/map/GT/-/198153.Tigo-Mobile/signal/?ll=15.28948391914881&lg=-90.99151611328126&zoom=6>>. [Consulta: 20 de julio de 2021].
14. Superintendencia de telecomunicaciones de Guatemala. *Boletín Estadístico de Telefonía*. [en línea]. <<https://sit.gob.gt/gerencia-de->

telefonía/estadísticas-de-telefonía/boletín-estadístico-2do-2014>.
[Consulta: 25 de julio de 2021].

15. TOMAS, Bruno. *Arquitectura IMS de wi-fi calling*. <https://telecomwebinar.com/wp-content/uploads/2016/11/WBA-Wi-Fi-Calling-Webinar-Telesemana-BCT-v1.0.pdf>. Consulta: abril de 2012.
16. Wikimedia Commons. *Esquema arquitectura de UTRAN*. [en línea]. <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:UTRAN1.jpg>>. [Consulta: 10 de abril de 2021].
17. Wireless Broadband Alliance. *Wi-Fi Calling Overview Opportunities and challenges towards 5G*. [en línea]. <<https://telecomwebinar.com/wp-content/uploads/2016/11/WBA-Wi-Fi-Calling-Webinar-Telesemana-BCT-v1.0.pdf>>. [Consulta: 25 de junio de 2021].
18. Yate BTS. *LTE Architecture Concepts*. [en línea]. <Full LTE architecture and components (yatebts.com)>. [Consulta: 15 de mayo de 2021].