



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DE LA COEXISTENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS 4G Y 5G EN
EL ECUADOR

AUTOR

Andrés Darío Villacís Valarezo

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DE LA COEXISTENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS 4G Y 5G EN EL
ECUADOR.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Redes y
Telecomunicaciones.

Profesor Guía

PhD. Nathaly Verónica Orozco Garzón

Autor

Andrés Darío Villacís Valarezo

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Análisis de la coexistencia de las tecnologías 4G y 5G en el Ecuador a través de reuniones periódicas con el estudiante Andrés Darío Villacís Valarezo, en el semestre 202020, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



Nathaly Verónica Orozco Garzón

Doctora en ingeniería eléctrica en el área de telecomunicaciones y telemática

C.I. 172093858-6

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Análisis de la coexistencia de las tecnologías 4G y 5G en el Ecuador a través de reuniones periódicas con el estudiante Andrés Darío Villacís Valarezo, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



Carlos Enrique Carrión Betancourt
Magister en Telecomunicaciones y Telemática

C.I. 110373807-4

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.



Andrés Darío Villacís Valarezo

C.I. 172487847-3

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí, a mis padres quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional en todo momento.

A mis profesores, en especial a la PhD. Nathaly Verónica Orozco Garzón y al Msc. Carlos Enrique Carrión Betancourt quienes con su conocimiento y guía hicieron posible la culminación de este trabajo de manera exitosa.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Rubén y Cecilia, a mi hermano Sebastián, a mi abuelito José y a mi novia Daniela, quienes con sus consejos, con su amor y paciencia hicieron posible que yo llegue hasta aquí, todo es para ustedes.

RESUMEN

La telefonía celular ha ido evolucionando a lo largo de todos estos años debido a la creciente demanda por parte de los usuarios y la necesidad de usarla para diversas aplicaciones. Esta evolución ha pasado por diferentes tecnologías, empezando desde la primera generación (1G), hasta la cuarta generación (4G). Actualmente, en varios países del mundo existe la tecnología 5G, sin embargo, en Ecuador todavía no ha sido implementada y las operadoras móviles se encuentran en fases de análisis y prueba.

Las tecnologías 4G y 5G se encuentran coexistiendo actualmente, alrededor de todo el mundo debido a que 4G ha servido como base para el despliegue de esta nueva tecnología en países como China, Corea del Sur, Estados Unidos, entre otros, y se espera que en los próximos años vaya expandiéndose por los demás países.

El presente proyecto analiza la coexistencia de las tecnologías 4G y 5G en el Ecuador. Este análisis se realizará con base en los indicadores de desempeño de las tecnologías establecidas, lo que nos permitirá tener un panorama claro de cómo se desarrollará la coexistencia de estas tecnologías en Ecuador. Así, también se presentará la evolución de las tecnologías móviles desde la 1G a 4G y como la velocidad de transmisión, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura han ido evolucionando a lo largo del tiempo.

Posteriormente, se describirá cómo se encuentran actualmente la tecnología 4G y 5G y cómo las dos tecnologías van a coexistir en el Ecuador.

Finalmente, se analizará el impacto de la tecnología 5G en un ambiente económico, social y tecnológico.

ABSTRACT

Cellular telephony has been evolving throughout all these years due to the increasing demand by users and the need to use it for various applications. This evolution has gone through different technologies, starting from the first generation (1G), to the fourth generation (4G). Currently, in several countries of the world there is 5G technology, however, in Ecuador, it has not yet been implemented and mobile operators are in the analysis and testing phases.

4G and 5G technologies are currently coexisting, around the world because 4G has served as the basis for the deployment of this new technology in countries such as China, South Korea, the United States, among others, and it is expected that in the coming years it will expand in other countries.

This project analyzes the coexistence of 4G and 5G technologies in Ecuador. This analysis will be carried out based on the performance indicators of the established technologies, which will allow us to have a clear overview of how the coexistence of these technologies will develop in Ecuador. Thus, the evolution of mobile technologies from 1G to 4G will also be presented, and how transmission speed, latency, access techniques, modulation and infrastructure have evolved over time.

Subsequently, it describes how 4G and 5G technology are currently found and how the two technologies will coexist in Ecuador.

Finally, analyze the impact of 5G technology in an economic, social, and technological environment.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Alcance.....	2
Justificación	2
Objetivo General.....	3
Objetivos específicos	3
1. Capítulo I. Conceptos básicos	4
1.1.Comunicaciones inalámbricas.....	4
1.2.Telefonía celular	4
1.2.1.Redes celulares.....	4
1.2.1.1.Características de las redes celulares.....	5
1.2.1.1.1. Ventajas de las redes celulares	6
1.2.1.1.2. Desventajas de las redes celulares.....	6
1.2.1.2.Arquitectura de las redes celulares	7
1.3.Generaciones celulares	9
1.3.1.Primera generación (1G)	9
1.3.2.Segunda generación (2G)	10
1.3.3.Tercera generación (3G)	11
1.3.4.Cuarta generación (4G).....	13
1.3.5.Quinta generación (5G)	14
1.4.Indicadores de desempeño.....	16
1.4.1.Velocidad de transmisión de datos.....	16
1.4.2.Latencia.....	17
1.4.3.Técnicas de acceso.....	17
1.4.3.1.Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)	18
1.4.3.2.Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	20
1.4.3.3.Acceso múltiple por división de código (CDMA).....	21
1.4.3.4.Acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA).....	23
1.4.3.5.Acceso Múltiple por división de frecuencias ortogonales	

(OFDMA).....	24
1.4.3.6. Acceso Múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA).....	25
1.4.3.7. Acceso múltiple no ortogonal (NOMA)	27
1.4.4. Modulación	28
1.4.4.1. Modulación analógica.....	29
1.4.4.1.1. Modulación de amplitud	29
1.4.4.1.2. Modulación de frecuencia	29
1.4.4.1.3. Modulación de fase	29
1.4.4.2. Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano (GMSK) ..	29
1.4.4.3. Modulación por desplazamiento de fase binario (BPSK)	31
1.4.4.4. Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK) .	32
1.4.4.5. Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM).....	32
1.4.5. Infraestructura	33
1.4.5.1. Tecnología PSTN.....	34
1.4.5.2. Tecnología GSM	35
1.4.5.3. Tecnología UMTS	36
1.4.5.4. Tecnología LTE	37
2. Capitulo II. Evolución de las tecnologías móviles ...	38
2.1. Primera generación (1G)	38
2.2. Segunda generación (2G)	43
2.3. Tercera generación (3G)	47
2.4. Cuarta generación (4G).....	51
2.5. Las generaciones celulares y los indicadores de desempeño.....	55
3. Capitulo III. Estado actual de la tecnología 4G, la aparición del 5G y la coexistencia de las dos tecnologías	57
3.1. Avance de la tecnología 4G	57
3.2. Tecnología 4G	57
3.2.1. Evolución.....	57
3.2.2. Infraestructura	59
3.2.3. Características de LTE	60

3.2.4.La eficiencia espectral en la red celular.....	60
3.3.4G en el Ecuador	61
3.4.La tecnología 5G a detalle	63
3.4.1.Evolución.....	63
3.4.2.Casos de uso y retos de 5G	65
3.4.3.La infraestructura en 5G.....	69
3.4.4.Servicios posibles en 5G	70
3.5.5G en el Ecuador	71
3.6.Coexistencia de 4G y 5G	72
3.6.1.Coexistencia de LTE eMTC y tecnología 5G New Radio	74
3.6.2.Una visión de New Radio	75
3.6.3.Coexistencia con 5G New Radio.....	76
3.6.4.Coexistencia entre LTE <i>uplink</i> y 5G <i>New Radio</i>	77
3.6.4.1.Escenarios de coexistencia.....	77
3.6.5.Arquitectura NSA vs arquitectura SA.....	79
4. Capitulo IV. Impacto de la tecnología 5G en el Ecuador	80
4.1.La tecnología 5G y su impacto tecnológico.....	80
4.2.La tecnología 5G y su impacto económico.....	81
4.3.La tecnología 5G y su impacto social.....	82
4.4.El internet de las cosas	83
4.5.La industria 4.0	85
4.6.Requerimientos en la era de la Industria 4.0.....	87
4.7.La actualidad en Ecuador	88
5. Conclusiones y recomendaciones	90
5.1.Conclusiones	90
5.2.Recomendaciones.....	92
REFERENCIAS	94
ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Red Celular	5
Figura 2. Arquitectura de redes celulares.....	7
Figura 3. 3GPP, organización que define UMTA.....	12
Figura 4. Logo de Long term evolution (LTE), utilizada en la cuarta generación	14
Figura 5. Arreglo de antenas utilizadas en la 5G.....	15
Figura 6. Evolución de velocidad en redes celulares	16
Figura 7. Técnicas de acceso múltiple utilizadas en la 4G	18
Figura 8. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)	19
Figura 9. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	21
Figura 10. Acceso Múltiple por división de código (CDMA).....	22
Figura 11. Acceso Múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) 24	
Figura 12. Acceso Múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA) 25	
Figura 13. Acceso Múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC- FDMA).....	26
Figura 14. Acceso Múltiple no ortogonal (NOMA)	28
Figura 15. Modulación QPSK utilizada en 3G y 4G.....	28
Figura 16. Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano (GMSK)	30
Figura 17. Representación de símbolos en BPSK	31
Figura 18. Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)	33
Figura 19. Arquitectura de red PSTN	34
Figura 20. Arquitectura de red GSM.....	35
Figura 21. Arquitectura de red UMTS.....	36
Figura 22. Arquitectura de red LTE	38
Figura 23. Velocidad en la primera generación celular	40
Figura 24. Latencia en la primera generación celular.....	40
Figura 25. Modulación en amplitud	41
Figura 26. Modulación en frecuencia	42
Figura 27. Modulación en fase	42
Figura 28. Red telefónica conmutada pública	43
Figura 29. Velocidad en la segunda generación celular	44
Figura 30. Latencia en la segunda generación celular	45
Figura 31. Señal modulada, utilizando GMSK.....	46
Figura 32. Arquitectura de red GSM, utilizada en la 2G	46
Figura 33. Unión internacional de telecomunicaciones	48
Figura 34. Velocidad en la tercera generación celular	48
Figura 35. Latencia en la tercera generación celular.....	49
Figura 36. Señal modulada BPSK.....	50
Figura 37. Señal modulada QPSK	50
Figura 38. Arquitectura de red UMTS, utilizada en la 3G	51
Figura 39. Velocidad en la cuarta generación celular.....	52
Figura 40. Latencia en la cuarta generación celular	53
Figura 41. Señal modulada QAM	54
Figura 42. Arquitectura de red LTE, utilizada en la 4G.....	55
Figura 43. Migración de tecnologías móviles en Ecuador	59

Figura 44. Arquitectura de red de acceso LTE	60
Figura 45. Asignación de bandas de frecuencia por operadora móvil	61
Figura 46. Radio bases instaladas por operador y tecnología	62
Figura 47. Distribución de radio bases en el Ecuador	63
Figura 48. Visión general de 5G	66
Figura 49. Crecimiento de número de dispositivos conectados 2010-2030	67
Figura 50. Arquitectura 5G	70
Figura 51. Servicios y escenario de requerimientos en 5G	71
Figura 52. Ecosistema de 5G en Ecuador	72
Figura 53. LTE refarming con New Radio	76
Figura 54. Compartición de canal entre LTE y 5G New Radio	77
Figura 55. Señal QPSK modulada	78
Figura 56. Señal 16-QAM modulada (LTE) es interferida por 5G New radio ...	78
Figura 57. Arquitectura NSA.....	79
Figura 58. Arquitectura SA	80
Figura 59. Escenario genérico del IoT.....	83
Figura 60. Red básica de IOT	84
Figura 61. Capas de la industria 4.0.....	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Latencia en las generaciones celulares.....	17
Tabla 2. Técnica de acceso utilizada en la primera generación.....	41
Tabla 3. Técnicas de acceso utilizadas en la segunda generación.....	45
Tabla 4. Técnicas de acceso utilizadas en la tercera generación.....	49
Tabla 5. Técnicas de acceso utilizadas en la cuarta generación.....	53
Tabla 6. Generaciones y sus indicadores de desempeño.....	56
Tabla 7. Factores claves y los requerimientos de la quinta generación celular	65
Tabla 8. Rango de frecuencias soportado en New Radio.....	75
Tabla 9. Requerimientos de 5G, aplicables en la industria 4.0.....	88

Introducción

La evolución de la telefonía celular ha crecido exponencialmente en los últimos años en el mundo y en el Ecuador, esta evolución comienza con la primera generación (1G) en el año de 1993 con el sistema telefónico móvil avanzado (AMPS). Es el primer sistema de telefonía móvil, con la limitante de no poder enviar datos. Más adelante en el año 2003 comienza la segunda generación (2G) con la aparición del sistema global para las comunicaciones móviles (GSM) el cual permitió el paso de las comunicaciones analógicas a digitales, con la novedad de la introducción de un chip integrado que es el módulo de identificación del abonado donde se almacena toda la información del teléfono móvil (SIM). Después se tiene una evolución al 2,5G bajo la tecnología de *Enhanced Data Rates for GSM* (EDGE) que es un puente entre las tecnologías 2G y 3G. En el año 2008 aparece la tercera generación (3G) de la mano del sistema universal de telecomunicaciones móviles, que usa una interfaz de radio para realizar la comunicación terrestre (UMTS/W-CDMA), con una mejora en el 2012 con *la high speed packet access* (HSPA+) en la 3.5 G.

Uno de los aspectos más significativos en la evolución de estas tecnologías es la velocidad de navegación donde ha ido evolucionando desde la 1G donde se tenía velocidades de 1kbps a 2,4 kbps, luego en la 2G se tiene velocidades de 14 kbps a 64 kbps, en la 3G se tiene velocidades desde los 384 kbps hasta los 2Mbps, en 4G se tiene velocidades de hasta 100 Mbps, por último, en 5G se estima que se alcanzará velocidades de 10 Gbps. Actualmente, Ecuador se destaca en tercer lugar en este apartado en toda América, la velocidad de descarga es de 25 Mbps y gracias a un trabajo de CNT, Claro y Movistar actualmente alrededor del 50% del Ecuador tiene acceso a la tecnología 4G. (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2019)

Actualmente en el Ecuador existen 3 operadoras móviles, Claro, CNT y Movistar. Las tres operadoras antes mencionadas prestan los servicios de telefonía y banda ancha móvil. La participación en el mercado de las operadoras móviles en el Ecuador se distribuye como sigue: Claro que abarca el 54,3%, seguido por CNT con un 31,1% para finalmente cerrar con Movistar con apenas un 14,6%. (Telesemana, 2019)

Alcance

Realizar el estudio del arte de la coexistencia de las tecnologías 4G y 5G en el Ecuador para eso se identificará el marco teórico donde se considerará indicadores de desempeño como: velocidad, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura. Posteriormente se efectuará una comparación entre las tecnologías 4G y 5G con los parámetros antes indicados. Para establecer lineamientos claros en la coexistencia entre estas dos tecnologías.

En este trabajo se analizará el impacto que tendrá en la sociedad ecuatoriana la introducción de la tecnología 5G, y como esto significará un avance tecnológico bastante sofisticado.

Justificación

El análisis de la coexistencia de las tecnologías 4G y 5G, permitirá analizar el impacto directo de la tecnología 5G en la sociedad ya que se podrá utilizar varias aplicaciones, descarga de videos, música, juegos, interacción por medio de video llamadas, y a nivel industrial permitirá automatizar procesos, también se podrá aprovechar al máximo el concepto de latencia el mismo que se define como: “el tiempo que transcurre entre un estímulo y la respuesta que produce”. (DPL News, 2019)

En el Ecuador se prevé que la inserción de la tecnología 5G sea de forma paulatina, con la finalidad de tener un enfoque tecnológico con la irrupción del IoT, y la interacción entre usuarios, artefactos y dispositivos por lo que permitirá poder desarrollar progresivamente ciudades inteligentes en el mediano plazo, además para analizar la coexistencia de 4G y 5G, a nivel de país permitir una serie de requisitos como es la liberación de bandas del espectro radioeléctrico, realizar una serie de pruebas, saber que empresas están en la capacidad de fabricar equipos 5G. Se estima que sea 100 veces más rápida que la actual tecnología 4G, para lo cual será posible descargar películas en tiempos reducidos, tener control en tiempo real de dispositivos, desarrollo de vehículos autónomos y ciudades inteligentes, permitirá la masificación de la inteligencia artificial y la realidad aumentada (Primicias, 2019), por último es importante analizar como el 4G va a contribuir para el despliegue de 5G.

El 4G y el 5G van a tener que coexistir durante algún tiempo debido a que en algunos países en vías de desarrollo de regiones como América Latina y el Caribe se siguen desplegando redes 4G, esto ocurre en zonas rurales mientras que el 5G se estima que sea una tecnología que se va ir introduciendo en zonas urbanas poco a poco en el mediano y largo plazo. (Brecha Cero, 2020)

Objetivo General

Analizar la coexistencia de las tecnologías 4G y 5G en el Ecuador mediante el análisis de indicadores de desempeño de estas dos tecnologías

Objetivos específicos

- Definir conceptos básicos de las tecnologías 4G y 5G como velocidad, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura para un mejor entendimiento del documento.
- Comparar la evolución de tecnologías móviles en aspectos como velocidad, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura.
- Analizar el estado actual de la tecnología 4G y la tecnología 5G y cómo estas dos tecnologías van a coexistir en el Ecuador.
- Analizar el impacto que tendrá la inmersión de la tecnología 5G en la sociedad ecuatoriana

1. Capítulo I. Conceptos básicos

1.1. Comunicaciones inalámbricas

La comunicación inalámbrica es aquella que entre el emisor y el receptor no se necesita de un medio físico como puede ser un cable para realizar la transferencia de la información, sino que se lo hace por medio de ondas electromagnéticas que se propagan en el aire. La comunicación inalámbrica, está basada en ondas de radio lo que provee flexibilidad y movilidad en comparación a las comunicaciones que utilizan cable, sin embargo, la velocidad es menor respecto a las comunicaciones cableadas.

Entre los dispositivos más conocidos que usan este tipo de comunicación se encuentran computadoras portátiles, antenas, teléfonos móviles.

Los fenómenos más comunes que afectan a las comunicaciones inalámbricas son: ruido, desvanecimiento e interferencia.

- Ruido: El ruido es un fenómeno no deseado que es mezclado con la señal útil que se va a transmitir.
- Desvanecimiento: Es un fenómeno también conocido como *fading* donde se varia la atenuación que tiene una señal.
- Interferencia: Es un fenómeno donde ocurre la superposición de dos o más señales, lo que conlleva a tener una nueva señal resultante.

1.2. Telefonía celular

1.2.1. 1.2.1. Redes celulares

La telefonía celular ha ido evolucionando a lo largo del tiempo en sus indicadores de desempeño como son la velocidad, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura en cada una de sus generaciones comenzando por la primera generación (1G) hasta llegar actualmente a la quinta generación (5G).

Para entender de mejor manera esta evolución es importante conocer lo que es un sistema celular también llamado red celular, siendo una red que permite las comunicaciones teniendo un enlace de última milla y este se caracteriza por ser de tipo inalámbrico, es decir, carece de conexiones por medio de cables para

realizar la comunicación entre emisor y receptor.

Es importante recalcar que una red celular se distribuye en lugares geográficos que se denominan células y estos a su vez son atendidos por medio de una estación base.

La estación base es aquella que provee la cobertura a un clúster, por medio de esta es posible realizar la transmisión de los diferentes servicios como son los de datos y de voz, entre otros, por otra parte la célula transmite la información con una frecuencia diferente a la de la célula vecina con la finalidad de evitar la interferencia.

La unión de varios clústeres es lo que permite tener una gran área de cobertura y que dispositivos como teléfonos móviles, tabletas, laptops se conecten y se comuniquen entre si utilizando la estación base.

En la figura 1 se observa que se tiene la estación base, que se compone del clúster y de varias células mismas que forman la red celular.

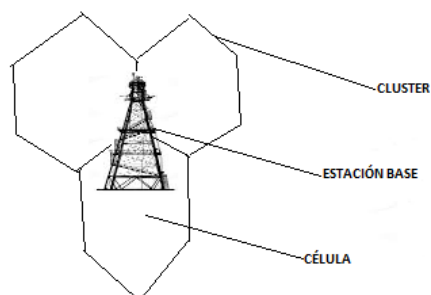


Figura 1. Red Celular

1.2.1.1. Características de las redes celulares

Las redes celulares tienen algunas características como son las siguientes:

1. Permite tener una gran área de cobertura. Eso depende de una serie de estudios previos para poder implementar radio bases, y para poder aumentar sin problema torres de comunicaciones móviles se debe tener previa aprobación del ente regulador.

2. Al tener torres de comunicaciones móviles mucho más cercanas, los teléfonos celulares gastan una menor cantidad de energía, eso se debe gracias a la distancia mínima que deben recorrer para recibir la señal.

3. Se ofrece una mayor capacidad con respecto a transmisores de gran tamaño ya que es posible utilizar la misma frecuencia para realizar varios enlaces a la vez, con la única condición de que se deben encontrar ubicados en células diferentes y con una distancia apropiada. Esta técnica es conocida como reuso de frecuencia.

4. Las redes celulares han sido ubicadas a lo largo de toda la superficie de la Tierra. Existen redes celulares públicas mismas las que tienen acceso todas las personas y redes celulares privadas, donde el acceso es permitido solo a determinadas personas.

1.2.1.1.1. Ventajas de las redes celulares

Las redes celulares tienen algunas ventajas que se mencionan a continuación:

- Área de cobertura extensa por lo se pueden tener más cantidad de usuarios.
- Los teléfonos móviles gastan una menor cantidad de energía debido a que la señal recibida se hace utilizando la torre más cercana a los dispositivos que se encuentren dentro de la red.
- Se asegura la conexión entre el usuario con el dispositivo móvil y la red fija.
- Las redes celulares han ido evolucionando a tal punto de ofrecer alta seguridad y confiabilidad para los usuarios.

1.2.1.1.2 Desventajas de las redes celulares

Las desventajas de las redes celulares son las siguientes:

- Algunas redes celulares solo permiten el acceso a personas autorizadas.
- Cuando se pierde la conexión toca volver a conectarse a la red de forma manual.

- Se necesita de tener seguridad en la red para garantizar la confidencialidad de los datos que viajan a través de la red.
- Algunas redes celulares tienen la información compartida y puede ser vista por todas las personas.

1.2.1.2. Arquitectura de las redes celulares

La arquitectura de redes celulares comprende de una serie de componentes entre los que se encuentran los siguientes:

La estación móvil, estación base, *mobile switching center*, *visitor location register*, *home location register*, *gateway*, *service control point*, *service transfer point*.

Cada uno de los componentes mencionados cumple funciones específicas que se detallan a continuación:

En la figura 2, se observa la arquitectura de una red celular donde se tiene la estación base (BS), que se compone de la *base transceiver station* (BTS) que es conectada a la *base station controller* (BSC), por otra parte se comunica al *mobile switching center* (MSC), se tiene como base de datos al *visitor location register* (VLR), a la vez se interconecta con el gateway (GTW), y este con el *service transfer point* (STP) que tiene dos partes: *Service control point* (SCP) y del *Home location register* (HLR).

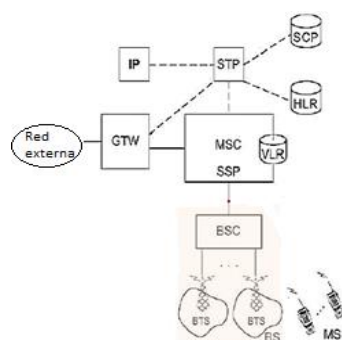


Figura 2. Arquitectura de redes celulares

Adaptado de: (Carvajal, 2019)

Estación móvil (MS)

La estación móvil es que la hace posible que el usuario acceda a los servicios de la red, la misma tiene varias funciones que son de brindar una interfaz al usuario, radio y de control.

La estación móvil se divide en lo siguiente:

- Terminación móvil
- Equipo terminal
- Adaptador de terminal

Estación base (BS)

La estación base es la que permite que la estación móvil se conecte a la red y se compone de dos elementos que son:

- *Base transceiver station (BTS)*
 - Es un equipo de radio que tiene un transmisor y un receptor, y es el que brinda la cobertura de radio para un sector específico o para la celda.
- *Base station controller (BSC)*
 - Es aquel que controla y realiza el monitoreo de las estaciones base, este elemento puede ser colocado de forma independiente o por otro lado, junto a una *base transceiver station (BTS)*.

Mobile Switching center (MSC)

El *mobile switching center* es el que realiza de manera automática la conmutación de usuarios en la misma red, encargándose de la coordinación de procedimientos de enrutamiento y también de llamadas.

Visitor location register (VLR)

Es un registro que contiene todos los suscriptores que están relacionados con un visitante.

Home location register (HLR)

Es la base de datos que contienen todos los registros y la información tal como la ubicación de los suscriptores, número de serie, identificación de la estación móvil, entre otros.

Gateway (GTW)

El *gateway* es conocido porque es la interfaz entre la red externa y la red inalámbrica.

Service control point (SCP)

Es el elemento que centraliza toda la información y es el que controla que se entregue de manera adecuada el servicio a los suscriptores.

Service transfer point (STP)

Es el dispositivo de conmutación de paquetes que permite el manejo de la distribución de señales de control en toda la red.

1.3. Generaciones celulares

Los sistemas celulares han ido evolucionando a lo largo de la historia por medio de generaciones las cuales se han ido conociendo como la 1G, 2G, 3G, 4G hasta la 5G que es lo que se está desarrollando en la actualidad.

Los cambios que han surgido a lo largo de las generaciones han sido en los servicios que se han ofrecido, las bandas de frecuencias que se han utilizado, y la tecnología que se ha empleado en cada generación y entre otras cosas.

1.3.1. Primera generación (1G)

La primera generación mejor conocida como la 1G, aparece a finales de los años 70's, tiene las siguientes características:

- Esta primera generación surge en el año de 1979 por la Corporación nipona de telegrafía y telefonía (NTT) en Japón, posteriormente se lanza el sistema de telefonía móvil nórdico (NMT) que usa la tecnología de tipo analógica tiene frecuencias de 450 MHz y 900 MHz en países como Finlandia, Suecia, Noruega y Dinamarca en 1981.
- El primer teléfono móvil fue fabricado por la empresa Motorola en manos del Dr. Martin Cooper.
- La velocidad es de 1 kbps para el *uplink* y 2,4 kbps para el *downlink*.
- Utiliza la modulación analógica en frecuencia FM para transmitir voz y utiliza FDMA para así asignar los canales a diferentes usuarios. (Sun, 2018)
- Uno de los estándares utilizados es el *Advanced Mobile Phone System (AMPS)*, la banda en la que trabaja es de 850 MHz.
- En Europa se usó lo que se conoce como el *Extended Total Access Communications System (ETACS)*, que es un sistema que tenía la característica de añadir canales de radio suplementarios y su banda de operación es 900 MHz.
- En 1983 se asignó 333 pares de canales, para aumentar la capacidad y tener más usuarios que puedan atenderse.
- Para el *uplink* la banda utilizada es de 824MHz a 829 MHz, por otro lado para el *downlink* la banda utilizada es de 869MHz a 894 MHz.
- Las células utilizan canales diferentes con la finalidad de disminuir la interferencia.
- Cada uno de los canales tenían un ancho de banda de 30 kHz.

1.3.2. Segunda generación (2G)

La segunda generación, conocida como la 2G, se da a conocer a finales de los años 80 e inicios de los años 90, aquí a más de ofrecer el servicio de voz, ya es posible también ofrecer el servicio de datos, tiene las siguientes características:

- La segunda generación, utiliza la modulación digital, utiliza algoritmos de compresión por lo que posee mayor eficiencia espectral por lo que es posible aprovechar al máximo la banda de frecuencias y así transmitir los datos.
- En esta generación las comunicaciones tienen mayor robustez ya que es posible aplicar encriptación, códigos correctores de errores, entre otras técnicas.
- La velocidad es de 14 kbps para el *uplink* y 64 kbps para el *downlink*.
- Los estándares que aparecen en esta generación son el *global system for mobile communications (GSM)*, la técnica de acceso utilizada es TDMA, por otra parte está el estándar Digital AMPS (D-AMPS). (Carreño, 2013)
- Las bandas de frecuencias utilizadas en GSM, varían dependiendo de la región, entre los que podemos encontrar: GSM-850 que es utilizado en Asia, Estados Unidos y Sudamérica, el estándar GSM-900 es utilizado en Europa, por último el estándar GSM-1800 y GSM-1900 es utilizado en Norteamérica.
- Aparece la 2,5 G como una evolución al 2G, donde se utiliza el *General Packet Radio Service (GPRS)* para poder transmitir los datos, la velocidad es de 56 kbps para el *uplink* y 144 kbps para el *downlink*. El estándar es el IS-95 y se utiliza la técnica de acceso CDMA. (Carreño, 2013)
- Esta segunda generación utiliza la modulación *Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK)* por lo que es posible tener velocidades de 270 kbps por cada una de las portadoras, por lo tanto esta velocidad es dividida para ocho usuarios. (Poirier, 2015)

1.3.3. Tercera generación (3G)

La tercera generación conocida como la 3G, aparece por los años 2000, aquí se ofrecen servicios de voz y datos a una mayor capacidad, a más de soportar aplicaciones a un costo más bajo y tiene las siguientes características:

- Los datos son enviados utilizando la tecnología *Packet Switching*, para las llamadas de voz en cambio utiliza lo que se conoce como conmutación de

circuitos.

- El concepto como tal de una red 3G se define por la *International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000)*, mismo que es un estándar universal que fue establecido por la UIT.
- Los estándares que rigen en esta generación han sido realizados en conjunto por varias organizaciones como la *Third Generation Partnership Project (3GPP)*, la figura 3 muestra, el logo de esta organización.
- La velocidad es de 384 kbps para el *uplink* y 2 Mbps para el *downlink*, La técnica de acceso múltiple es WCDMA que se basa en CDMA.
- Aparece en 3.5G la *High Speed Packet Access (HSPA)* como la evolución de WCDMA, con velocidades de 14,4 Mbps en el *downlink* y 5,76 Mbps en el *uplink*. (Panigrahi, 2009)
- Tiempo después nace lo que es la *High Speed Packet Access Plus (HSPA+)*, que es la evolución de HSPA, donde se tienen velocidades de 168 Mbps en el *downlink* y 22 Mbps en el *uplink*.
- Se puede brindar una gran cantidad de servicios como son el internet de alta velocidad, videoconferencias, chat, mapas de navegación, música, juegos, correo electrónico, servicios multimedia, entre otros.



Figura 3. 3GPP, organización que define UMTA

Tomado de: (Goel, 2018)

1.3.4. Cuarta generación (4G)

La cuarta generación conocida como la 4G, da inicio en el año 2010 donde se pretende tener aplicaciones como juegos en línea, internet móvil, telefonía IP móvil, entre otros, las características son las siguientes:

- El estándar que lo representa es el *Long Term Evolution (LTE)* que tiene las siguientes características: es una red que se puede desplegar de manera sencilla, la velocidad de carga y descarga es mucho más rápida, se tienen costos reducidos por parte de los fabricantes, la figura 4 muestra, el logo de esta organización.
- LTE permite tener flexibilidad en el uso del espectro como tal.
- El ancho de banda va desde los 5 MHz hasta los 20 MHz.
- Se usa una gran cantidad de banda de frecuencias como son: " En América del Norte se utilizan 700, 750, 800, 850, 1900, 1700/2100 (AWS), 2300 (WCS) 2500 y 2600 MHz (bandas 2, 4, 5, 7, 12, 13, 17, 25, 26 , 30, 41); 2500 MHz en América del Sur; 700, 800, 900, 1800, 2600 MHz en Europa (bandas 3, 7, 20); 800, 1800 y 2600 MHz en Asia (bandas 1, 3, 5, 7, 8, 11, 13, 40) 1800 MHz y 2300 MHz en Australia y Nueva Zelanda (bandas 3, 40)" (Universidad Internacional de Valencia, 2018)
- En el Ecuador, se tiene la banda 2 utilizada por Movistar y Tuenti con una frecuencia de 1900 MHz, la banda 4 utilizada por Claro y CNT con una frecuencia de 1700/2100 MHz, y por último la banda 28 utilizada por CNT con una frecuencia de 700 MHz.
- Para el *downlink* se utiliza Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA) mientras que para el *uplink* se utiliza Acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA). (González & Majano, 2015)
- Las técnicas de acceso OFDMA y SC-FDMA permite reducir la

interferencia y de igual forma mejora la capacidad de la red debido a la asignación de sub portadoras para cada usuario de forma rápida.

- La tasa de transmisión llega hasta 100 Mbps por célula y puede ser aumentada utilizando la técnica de Múltiple entrada múltiple salida (MIMO).
- Las aplicaciones que utilizan el 4G, son varias entre las que se encuentran las siguientes: telefonía IP, juegos en línea, televisión en alta definición, videoconferencias, cómputo en la nube, entre otros.



Figura 4. Logo de Long term evolution (LTE), utilizada en la cuarta generación

Tomado de: (Mcleod, 2016)

1.3.5. Quinta generación (5G)

La quinta generación conocida como la 5G, ya existe en países como Corea del Sur, parte de Estados Unidos. En el Ecuador se pretende tener esta tecnología para 2021 en el mejor de los casos, esto se da por la necesidad de mejorar las prestaciones y estar a la vanguardia de la tecnología. Las características son:

- Se estima que se lleguen a alcanzar velocidades de 1 Gbps para el *uplink* y 10 Gbps para el *downlink*.
- Se pretende que se llegue a tener una latencia de 1 ms.
- Se prevé que se tenga 10 a 100 veces más de dispositivos conectados.

- Se bajará el uso de la energía y las baterías tendrán una duración de hasta 10 años.
- Se tendrá una percepción muy alta de disponibilidad y de cobertura.
- Se tendrá una infraestructura virtualizada y por ende permitirá la reducción de costos.
- Las técnicas de acceso propuestas para esta tecnología son las siguientes: Acceso múltiple no ortogonal (NOMA) y Acceso múltiple con escucha de error (CSMA). Además, se espera utilizar MIMO como se lo hizo en la cuarta generación.
- Las personas y dispositivos podrán estar conectados a la red 5G, desde cualquier lugar y todo el tiempo.

En la figura 5, se observa un arreglo de antenas cuya característica es tener varias antenas de transmisión y recepción (MIMO) tal como se utilizó en la cuarta generación.

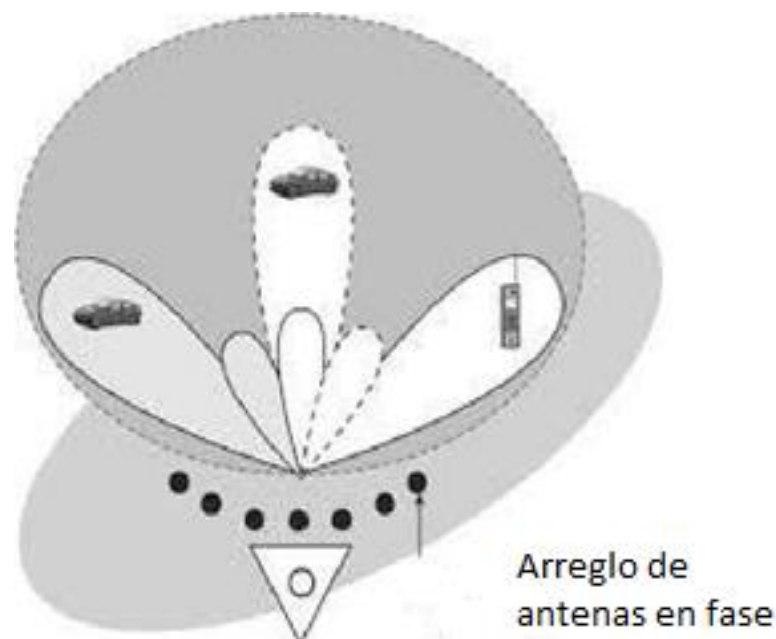


Figura 5. Arreglo de antenas utilizadas en la 5G

Adaptado de: (Bhave, Kumar, Vipin, & Yadav, 2018)

1.4. Indicadores de desempeño

Los indicadores de desempeño han ido cambiando a lo largo del tiempo en las diferentes generaciones de telefonía móvil comenzando por la 1G, hasta llegar a la 4G, y la posible llegada de la 5G, en este punto se hablará de velocidad de transmisión, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura, que son indicadores que abordaremos en el presente documento.

1.4.1. Velocidad de transmisión de datos

La velocidad de transmisión de datos ha ido incrementando a lo largo del paso de las generaciones celulares comenzado por la 1G, pasando por la 2G, 3G, 4G hasta llegar a la 5G, y esta se define como: “La rapidez con la que se baja la información de Internet hacia un dispositivo electrónico, y su unidad de medida es por Kilobytes por segundo” (Tigo, 2018).

Al tener una mayor velocidad de transmisión de datos conforme han ido evolucionando las redes celulares, es posible tener la carga o descarga de archivos en un menor tiempo posible.

En la figura 6, se observa la evolución de la velocidad a lo largo de las generaciones celulares, empezando por la 1G es de 50 kbps, en la 2G, es de 100 kbps, en la 3G, es de 1 Mb, y en la 4G es de 60 Mbps.

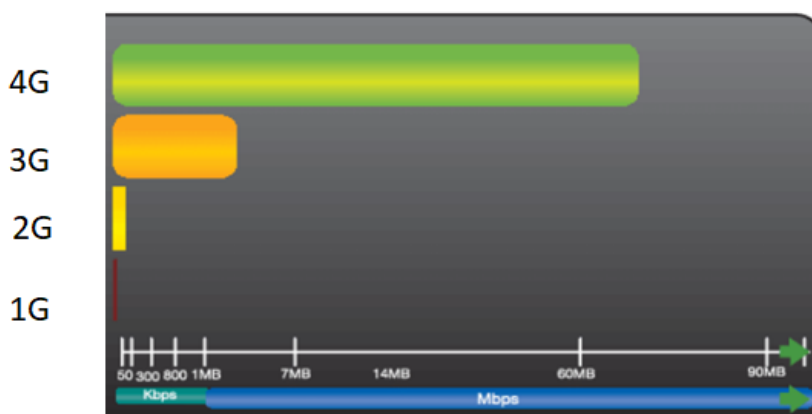


Figura 6. Evolución de velocidad en redes celulares

Adaptado de: (Inga, Velocidad en generaciones celulares, 2010)

1.4.2. Latencia

El tiempo de latencia ha ido disminuyendo conforme han ido pasando las generaciones celulares, y la misma se define como: “El tiempo que tardan los datos de su dispositivo en cargarse y alcanzar su objetivo. Mide el tiempo que tardan los datos en pasar de la fuente al destino en milisegundos (ms)” (Tecnología-5G, 2019)

En la tabla 1, se observa la evolución de la latencia desde la primera generación celular hasta la cuarta generación celular que es lo que tenemos hoy en día.

Tabla 1. Latencia en las generaciones celulares

Generación celular	Latencia	
Primera generación	500 ms	1500 ms
Segunda generación	300 ms	1000 ms
Tercera generación	100 ms	500 ms
Cuarta generación	10 ms	30 ms

1.4.3. Técnicas de acceso

Las técnicas de acceso en las diferentes generaciones han ido evolucionando, en la 1G se utilizó la técnica de acceso FDMA, en la 2G se tiene la técnica de acceso TDMA, por otra parte se tiene el estándar Digital AMPS, y su técnica de acceso es CDMA, en la 3G el estándar es IS-95 con la técnica de acceso WCDMA, en la 4G aparece OFDMA para el *downlink*, mientras que para el *uplink* se utiliza SC-FDMA, en la 5G, se espera utilizar NOMA y CSMA.

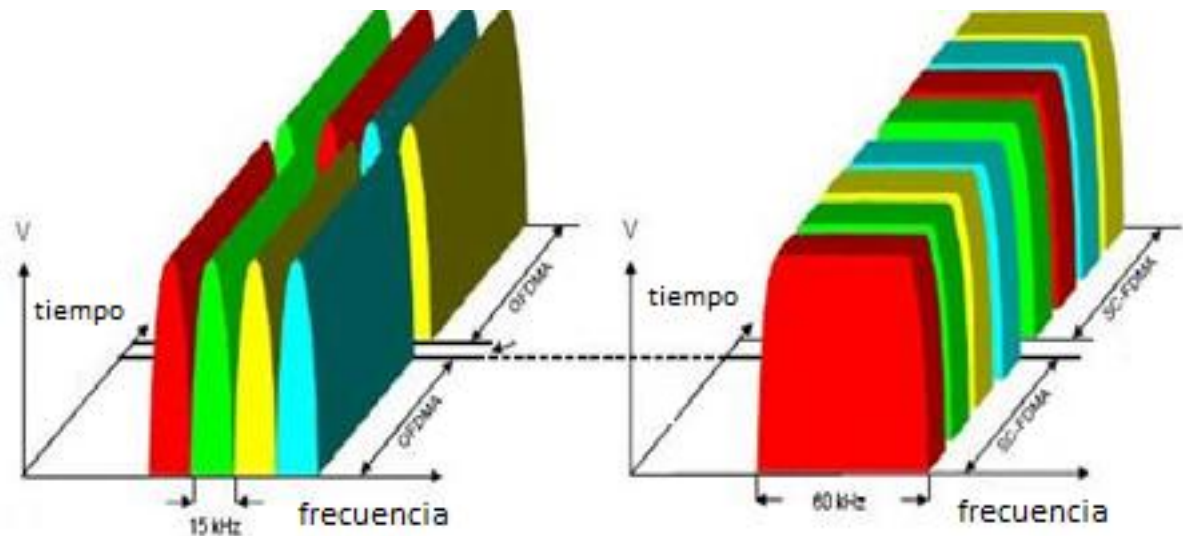


Figura 7. Técnicas de acceso múltiple utilizadas en la 4G

Adaptado de: (Roumane, 2018)

1.4.3.1. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

El principio de funcionamiento de FDMA, es el de realizar la división del espectro de frecuencias utilizando el canal de transmisión realizando el desplazamiento de la señal dentro del espectro que corresponda por medio de modulaciones.

Las características de FDMA son las siguientes:

- Es una tecnología de fácil implementación ya que tiene varias topologías que pueden ser utilizadas.
- Esquema que junta dos o más canales que son independientes en el dominio de la frecuencia y los modula con una portadora de alta frecuencia.
- Es muy utilizado en sistemas de radio como son los celulares, móviles y satelitales.
- Se tiene una estación base para poder realizar el control de funcionamiento.

- El ancho de banda total se distribuye para el número de canales existentes.
- Los canales son asignados de acuerdo a la demanda existente, eso se lo realiza por medio de un canal de señalización, a su vez aumenta la eficiencia de esta técnica.
- El utilizar bandas de guarda es un intervalo de seguridad que evita la interferencia entre varias transmisiones, esto conlleva a tener un desperdicio en el ancho de banda.
- Es una técnica que sirve bastante bien para ser utilizada en sistemas analógicos.
- Existe ruido inter modulación que es cuando varias señales que tienen frecuencias distintas utilizan el mismo medio de transmisión, por lo que es una limitación para la capacidad del sistema.

En la figura 8, se observa a FDMA donde se tiene frecuencia y tiempo, para lo que se observan usuario 1, usuario 2 y usuario 3.

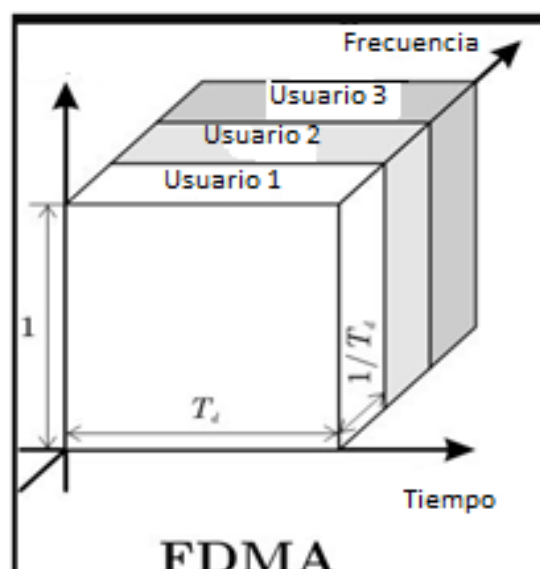


Figura 8. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

Adaptado de: (Sun, 2018)

1.4.3.2. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

Es una tecnología digital que permite el acceso a un único canal de Radiofrecuencia (RF) con la particularidad de no tener interferencias utilizando una ranura de tiempo por cada usuario. Las características son las siguientes:

- Este esquema al ser digital, realiza la multiplexación de tres señales sobre el mismo canal.
- En la actualidad se divide un canal en seis ranuras, de tiempo, por lo que cada señal utiliza dos ranuras.
- A cada uno de los usuarios se les asigna una ranura para que puedan transmitir.
- Se emplea una sola portadora que es la señal de interés, para brindar servicio a varios canales, y eso se lo realiza por medio de compartición temporal.
- Es una tecnología adecuada para utilizarla en la conmutación de paquetes que es la transmisión de pequeños bits a través de distintas redes.
- Se necesita de una sincronización estricta entre el emisor y el receptor para que pueda haber una concordancia en cómo se transmiten los datos.
- Esta tecnología surge de la necesidad de mejora de utilización de recursos de frecuencia.
- Puede ser utilizado para realizar la transmisión de voz y de datos, y oscila velocidades que van desde 64 kbps hasta los 120 kbps.
- Se divide los usuarios en el dominio del tiempo, se garantiza que no exista interferencia con otros.
- Se genera un ahorro de recursos económicos eso se debe a la aparición de la producción en masa, y es posible realizar la actualización de sistemas analógicos a digitales.

- El tamaño de las celdas en TDMA es cada vez menor.
- El acceso múltiple por división de tiempo se divide en: sincrónico y estadístico.
- El acceso múltiple por división de tiempo sincrónico, es el que permite la combinación de diferentes canales que tienen distintas velocidades en un ciclo y eso hace que el canal sea utilizado en su totalidad.
- El acceso múltiple por división de tiempo estadístico, es aquel que transmite la información solo de los canales que la tengan, en intervalos de tiempo que son diferentes.

En la figura 9, se observa las diferentes ranuras apiladas una encima de la otra, con un determinado ancho de banda, y estas se visualizan en el dominio de la frecuencia vs tiempo.

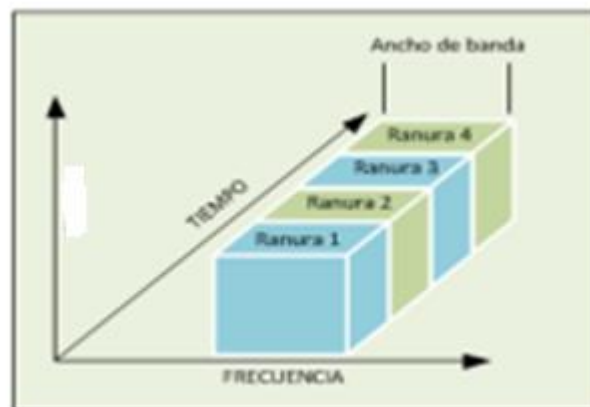


Figura 9. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

Adaptado de: (Peñarrieta, 2019)

1.4.3.3. Acceso múltiple por división de código (CDMA)

Es la tecnología que posee de un amplio espectro y el esquema de codificación es especial, y permite a los usuarios la conexión en un momento determinado, esos se debe a que están disponibles todas las bandas, las características son:

- Esta tecnología fue desarrollada por la empresa Estadounidense Qualcomm, es la tecnología digital inalámbrica más moderna.
- Tiene una alta capacidad y un pequeño radio de células.
- Utiliza codificación digital y también técnicas de frecuencia de radio de espectro mejor conocidas como RF.
- Con respecto a otras tecnologías inalámbricas, se tiene una mayor calidad en el servicio de voz, tiene mayor capacidad y flexibilidad.
- Cuenta con mucha más cobertura en comparación con el sistema análogo debido a que se utilizan todo el espectro disponible.
- Con esta tecnología es posible realizar la transmisión de datos de manera simultánea ya que tiene una mayor capacidad debido a los canales.
- Esta tecnología tiene más capacidad comparadas con otras tecnologías analógicas y digitales.

En la figura 10, se observa TDMA con sus diferentes canales, 1,2, 3 hasta n canales mismos que cuentan con ranuras de tiempo en distintas bandas.

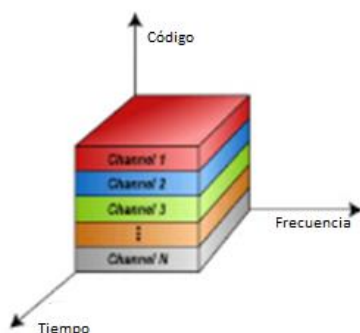


Figura 10. Acceso Múltiple por división de código (CDMA)

Adaptado de: (Electronic Project Focus, 2016)

1.4.3.4. Acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA)

Es la técnica de acceso que utiliza la *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)* y se usa en la tercera generación celular, sus características son las siguientes:

- Posee una alta calidad en la voz y tiene una optimización en comunicaciones de tipo multimedia.
- Es posible acceder a varios servicios a la vez desde el mismo dispositivo, por ejemplo se puede realizar una videoconferencia y también descargar un archivo desde el internet al mismo tiempo.
- Combina lo que se conoce como conmutación de circuitos que es cuando se tiene un canal mientras dura una sesión y luego se lo libera para que pueda ser utilizado y conmutación de servicios en el mismo canal.
- Realiza la reutilización de celdas por lo que de esa forma, utiliza de manera eficiente el espectro de radio disponible.
- Soporta lo que es la conectividad utilizando el Protocolo de Internet (IP), por lo que las conexiones hacia el internet se realizan de una manera mucho más rápida.
- Se tiene una mayor velocidad de transmisión, que es mayor a 384 Kbps en cobertura para área amplia y hasta 2 Mbps para cobertura cercana o de área local.
- Existen dos modos de operación que son la División de duplexación por frecuencia (TDD), donde los diferentes enlaces de subida y de bajada trabajan en la misma frecuencia, mientras que la División de duplexación por frecuencia (FDD) maneja dos bandas de frecuencia diferentes.
- La tasa de chips en WCDMA es de 3,84 Mcps.

En la figura 11, se observa WCDMA donde se cuenta con el equipo de usuario conectado hacia una antena conocida como nodo B, para ello utiliza una interfaz y de esa forma se establece la comunicación de manera inalámbrica.

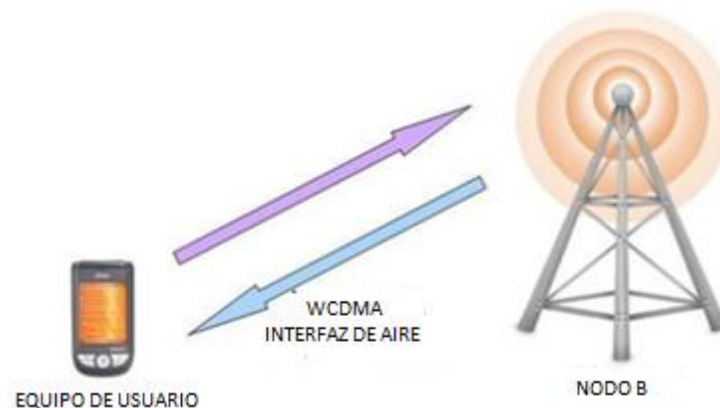


Figura 11. Acceso Múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA)

Adaptado de: (Panigrahi, 2009)

1.4.3.5. Acceso Múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA)

OFDMA tiene las siguientes características:

- Su diseño se realizó con la finalidad de eliminar la interferencia existente entre el emisor y el receptor, y aprovechar de manera eficiente el espectro de frecuencias.
- Surge de la combinación de OFDM, TDMA y FDMA, realiza la división de las subportadoras en sub canales para poder aprovechar al máximo los mismos.
- Se usan códigos correctores de errores para corregir las subportadoras que tienen información incorrecta.
- Se realiza la asignación de conjuntos de sub portadoras a cada uno de los usuarios.
- El ancho de banda es el mismo para todos los usuarios.

- La velocidad de transmisión de datos no cambia para un tiempo determinado.
- La transmisión de datos se hace de manera inmediata en la red, por lo que la hace más eficiente. Los dispositivos cuentan con una mayor duración de la batería gracias a la PAPR que tiene OFDMA.
- Varios dispositivos pueden trabajar utilizando la misma ventana para poder realizar la transmisión.

En la figura 12 se tiene OFDMA, donde se puede observar las diferentes subportadoras piloto y las subportadoras de datos que contiene. Estas se encuentran en el dominio de la frecuencia y el tiempo.

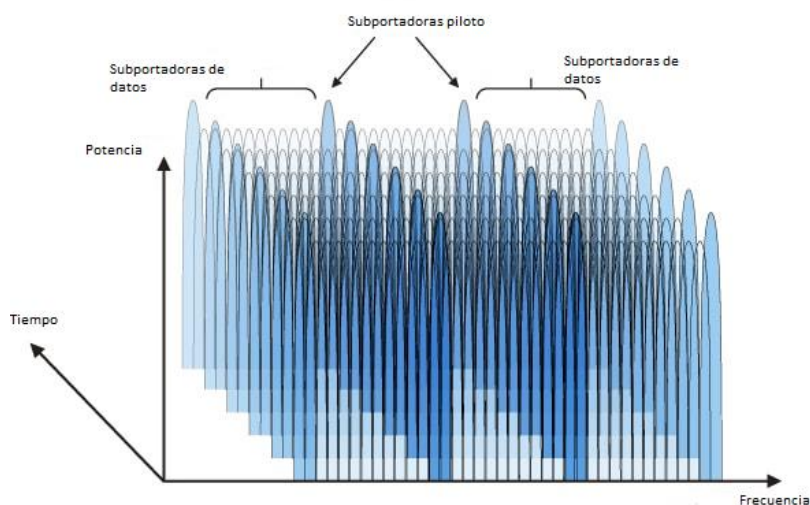


Figura 12. Acceso Múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA)

Adaptado de: (Artiza Networks, 2019)

1.4.3.6. Acceso Múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA)

SC-FDMA es un sistema que tiene una señal de usuario codificada previamente y para ello se utiliza la Transformada discreta de Fourier (DFT) y las características son las siguientes:

- Existen variaciones se conocen como *DFT-pre-coded OFDMA* o *DFT-*

spread OFDMA

- Se asigna diferentes usuarios a un recurso de comunicación que es compartido.
- Es utilizado en lo que es la transferencia de datos de alta velocidad.
- A cada uno de los usuarios se le hace la asignación una secuencia de bits en conjunto con una constelación de símbolos complejos.
- La subportadora para el *uplink*, contiene información de cada símbolo de modulación, mientras que para el *downlink*, se tiene información de símbolos de modulación específicos.
- La transmisión de los datos se realiza utilizando ranuras de tiempo.
- Se utiliza la técnica de transmisión entre varias portadoras en donde se tiene una única subportadora por cada ranura de tiempo.

En la figura 13, se observa la técnica SC-FDMA, en donde se ve varios símbolos en el dominio de frecuencia y tiempo con una banda de guarda de 60 kHz.

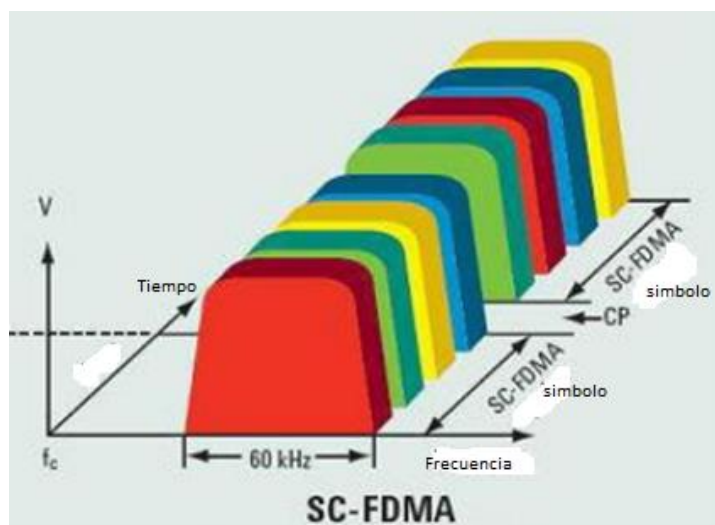


Figura 13. Acceso Múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA)

Adaptado de: (ITU Academy, 2014)

1.4.3.7. Acceso múltiple no ortogonal (NOMA)

NOMA, se prevé que será utilizada en la Quinta Generación Celular (5G), tiene las siguientes características:

- Presenta la característica de tener interferencia de usuarios en una misma célula. Esta se presenta en el dominio de códigos y por otro lado en el dominio de la potencia.
- La técnica NOMA en el dominio de códigos tiene otras técnicas como: “*Trellis Code Multiple Access (TCMA)*, *CDMA Low Density Signatures (LDS-CDMA)*, y *Sparse Code Multiple Access (SCMA)*”. (Carvajal, 2019)
- La técnica NOMA en el dominio de la potencia permite que múltiples usuarios puedan ser atendidos dentro de un mismo bloque ya sea en el tiempo o en frecuencia.
- Con NOMA se usa el dominio de la potencia para poder separar los usuarios y así se logra que el proceso de cancelar interferencias sea realizado por todos los dispositivos de manera más sencilla.
- Se aplica el concepto de cancelación sucesiva de interferencia para detectar de esa manera las señales que provienen de usuarios distintos en el canal.

En la figura 14, se observa la técnica de acceso múltiple NOMA misma que se encuentra en el dominio de la frecuencia y la potencia, donde los diferentes colores representan los recursos asignados a los diferentes usuarios.

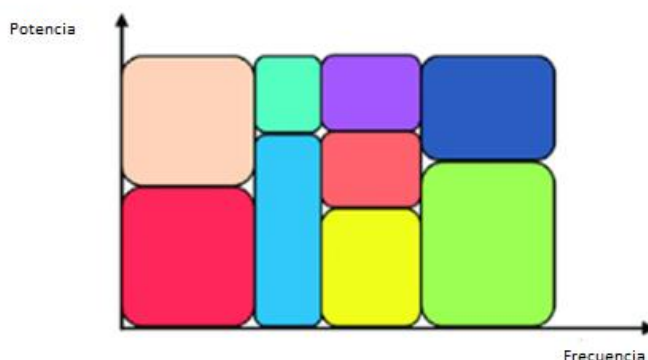


Figura 14. Acceso Múltiple no ortogonal (NOMA)

Adaptado de: (Cheon & Cho, 2017)

1.4.4. Modulación

La modulación es el cambio de algún parámetro determinado de una señal portadora con respecto a otra señal que se llama moduladora lo que da como resultado una nueva señal modulada o también se la conoce como onda modulada.

La modulación también ha ido cambiando en las generaciones celulares a lo largo del tiempo y podemos encontrar que en la 1G, se tiene la modulación analógica para transmitir los datos, en la 2G se tiene la *Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK)*, en la 3G nos encontramos con QPSK y BPSK, mientras que en la 4G se tiene QPSK, 16 QAM y 64 QAM.

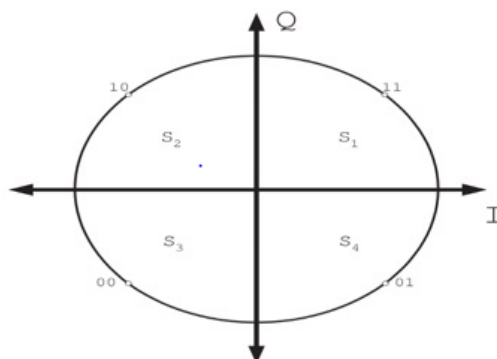


Figura 15. Modulación QPSK utilizada en 3G y 4G

Tomado de: (Peña, 2018)

1.4.4.1. Modulación analógica

La modulación analógica es aquella que permite que las señales que contienen información que van desde el emisor al receptor, al no poder ser enviadas de manera directa, es necesario realizar una modificación en la señal para que la transmisión de la misma se realice de forma adecuada, entre las que encontramos están las siguientes: modulación de amplitud, modulación de frecuencia y modulación de fase.

1.4.4.1.1. Modulación de amplitud

La modulación de amplitud es el cambio de la amplitud de la onda de la portadora y esta cambia conforme varía el nivel de la señal moduladora para ello se utiliza un circuito conocido como modulador. Una de las aplicaciones típicas es la radiodifusión de señales entre las que se encuentran audio y video, es de bajo costo y también es de calidad baja.

1.4.4.1.2. Modulación de frecuencia

La modulación de frecuencia es cambiar la frecuencia de forma instantánea de la señal al mismo tiempo que se presenta variación de la señal banda base, la información transmitida se localiza en la frecuencia, esta modulación usa muy poca cantidad de potencia y de ancho de banda, por lo contrario, necesita altas frecuencias para funcionar de manera adecuada.

1.4.4.1.3. Modulación de fase

La modulación de fase, se destaca por ser más compleja que otras modulaciones, y lo que se hace es cambiar la fase de la portadora en comparación a la señal que contiene el mensaje, la información que se transmite se encuentra en la fase de la señal ya modulada.

1.4.4.2. Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano (GMSK)

GMSK es una forma de modulación que no tiene discontinuidad de fase y permite usar el espectro de manera eficiente, las características son las siguientes:

- La GMSK puede ser amplificada utilizando amplificadores no lineales, son más eficientes en términos de la energía utilizada al convertir en una señal de radio.
- Se utilizan transmisores portables de pequeño tamaño lo que permite tener la característica de portabilidad.
- En GMSK se reemplaza el pulso rectangular por un pulso sinusoidal porque estos últimos varían de forma continua en el tiempo.
- El funcionamiento es que los datos son sometidos a un filtro pasa bajo gaussiano antes de pasar al circuito modulador.
- Es un esquema de modulación con fase continua, no existe discontinuidad debido a que todos los cambios se realizan en el nivel cero.
- La modulación sucede por al desplazar la frecuencia por un lado y otro método también es posible utilizando un modulador de cuadratura.
- La modulación GMSK posee una alta eficiencia espectral y eso permite que se transmita una gran cantidad de datos.

En la figura 16, se observa, el circuito utilizado en GMSK, mismo que cuenta de varias partes como el filtro gaussiano, un oscilador, Hilbert que es la parte donde se transforma la parte imaginaria en una parte real y por último se tiene los bits que se requieren transmitir.

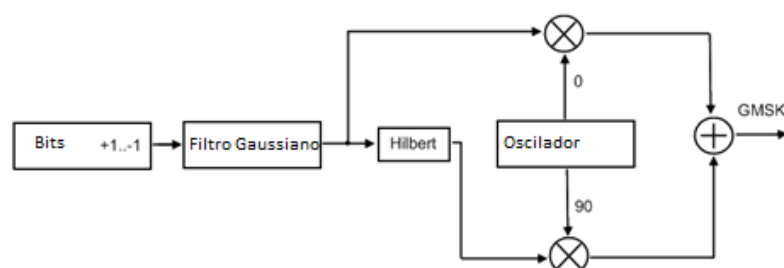


Figura 16. Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano (GMSK)

Adaptado de: (Radio Scanner, 2017)

1.4.4.3. Modulación por desplazamiento de fase binario (BPSK)

BPSK, es una modulación donde se realiza el cambio de modulación de la portadora de acuerdo a valores discretos, y se tiene las siguientes características:

- Es el tipo de modulación más simple debido a que solo se utilizan solamente dos símbolos mismos que contienen un bit de información cada uno.
- Los símbolos tienen un valor de salto de 0 grados para el 1 y de 180 grados para el 0, la velocidad de transmisión es la más pequeña de todas las modulaciones de fase que existen.
- Existen varios niveles para PSK como son de 8 niveles, 16 niveles siendo de los más utilizados.
- El diseño de los amplificadores y de las etapas de recepción es mucho más sencillo debido a que se tiene en cuenta los desplazamientos de fase.
- Como característica muy favorecedora es que la modulación PSK, cuenta con la misma potencia para todos los símbolos.

En la figura 17, se observa la representación de los símbolos 0 y 1 utilizados en BPSK, y sus ángulos de 180 grados y 0 grados respectivamente.

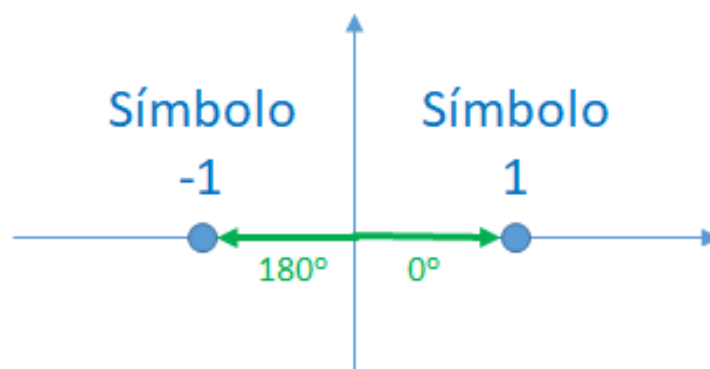


Figura 17. Representación de símbolos en BPSK

Adaptado de: (Del Rosario, 2018)

1.4.4.4. Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK)

QPSK, comprende en variar la fase de una onda portadora, onda de amplitud y de frecuencia, eso se lo hace por medio de la utilización de una señal digital, las características son las siguientes:

- Se cambia dos señales de la misma frecuencia pero de fase opuesta.
- La onda portadora puede estar sujeta a cuatro cambios de fase y son los siguientes: 0 grados, 90 grados, 180 grados y 270 grados.
- Por la tasa de cambio es posible realizar la transmisión dos bits de información, por ello se ve duplicado el ancho de banda o la capacidad de transmitir de la onda portadora.
- La codificación de Gray es cuando se manejan los bits 0 y 1 que tienen todas las combinaciones posibles que puede agarrar una variable.
- Se tienen diversas aplicaciones como son: redes cableadas, video digital, satélites, es muy utilizado en CDMA.

1.4.4.5. Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)

QAM es una de las técnicas digitales de modulación más avanzadas, en donde la información que se transmite se la va a modular en fase así también como en amplitud y tiene las siguientes características:

- La modulación se realiza modificando la señal de la portadora en fase y en amplitud a la vez. Se modula la portadora en fase desplazando 90 grados con respecto a la amplitud.
- La nueva señal modulada es la suma lineal de dos señales que ya han sido moduladas con anterioridad.
- Las aplicaciones más comunes son: la transmisión vía microondas, satélite y televisión.
- Las señales portadoras a modularse tienen la característica de tener la misma frecuencia pero están desfasadas.

- Las señales pueden encontrarse en el mismo canal y al estar en cuadratura no presentan interferencia entre ellas.
- Este tipo de señales moduladas tienen inmunidad al ruido debido a que los puntos se encuentran separados considerablemente con respecto al diagrama de estados.
- Tienen un menor costo y consumen poca cantidad de energía eléctrica.
- Se manejan grandes cantidades de información comparado con las técnicas de modulación analógica que existen.
- Se pueden utilizar algunas combinaciones de fase y de amplitud por lo que de esa forma se tiene la misma velocidad de modulación y a la vez se consigue una mayor velocidad de transmisión.
- Se aprovecha al máximo el ancho de banda gracias a que se transmiten las señales con la misma frecuencia.

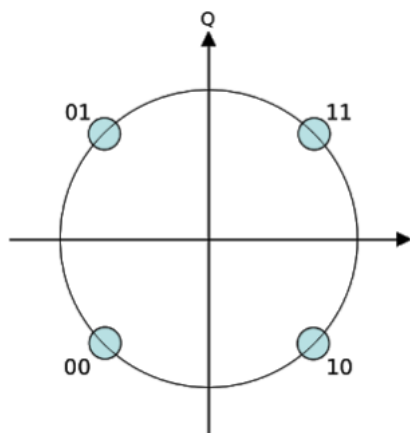


Figura 18. Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

Tomado de: (Vasquez, 2019)

1.4.5. Infraestructura

La infraestructura de las redes de la 1G hasta la naciente 5G, han sido cambiantes a lo largo del tiempo, en la 1G se tenía una infraestructura analógica, con la red *Public switched telephone network (PSTN)*, en la 2G aparece la infraestructura digital con *Global system for mobile communications (GSM)*, en la 3G se tiene la *Universal mobile telecommunications system (UMTS)* en conjunto con *Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)*, por último en la

4G se tiene lo que es *Long Term Evolution (LTE)*.

1.4.5.1. Tecnología PSTN

La infraestructura analógica, aparece en la primera generación (1G), donde se tiene la tecnología PSTN con las siguientes características:

- Lograr la comunicación a largas distancias, haciendo que se pueda escuchar la voz.
- Se usa hilo de hierro con una comunicación de punto a punto.
- El objetivo principal era realizar la transmisión de la voz humana.
- Se tiene y es muy utilizada en la red del hogar o en las oficinas.
- Se utiliza el par de cobre como medio de transmisión.
- Utiliza la conmutación de circuitos
- Puede presentar congestión en las llamadas.
- Solo soporta comunicación entre aparatos fijos.

En la figura 19 se observa la red PSTN, que se compone de la línea telefónica y terminal del abonado, central de conmutación de circuitos, sistema de señalización y sistema de transmisión, mismos que están conectados hacia la oficina central y que llega a las cosas por medio de los teléfonos.

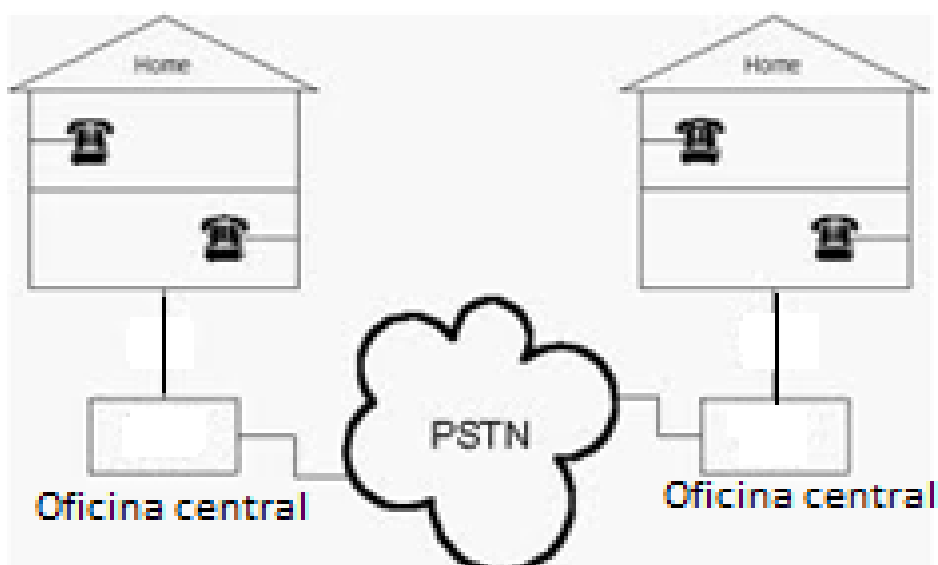


Figura 19. Arquitectura de red PSTN

Adaptado de: (Elastix, 2018)

1.4.5.2. Tecnología GSM

En la segunda generación (2G), se tiene la tecnología *Global System for Mobile Communications (GSM)* es el estándar que permite el cambio de las comunicaciones analógicas hacia las comunicaciones digitales.

En la figura 20, se observa la arquitectura de la red GSM misma que se describe a continuación:

- Subsistema de radio (RRS): Es el elemento que permite tener comunicación entre la estación base (BTS) y la estación móvil (MS) para conectarlas y trabajen en conjunto.
- Subsistema de estaciones base (BSS): Está conformado de la Base Transceiver Station (BS), misma que se encarga de procesar los canales de radio, tiene un emisor, un receptor y una antena, por otra parte también cuenta con la Base Station Controller (BSC), que realiza el mapeo de los canales de radio sobre los terrestres.
- Subsistema de red y conmutación (NSS), se compone del Mobile Service Switching Center (MSC), encargado de la conmutación principalmente, por otra parte, se encuentra el Gateway Mobile Service Switching Center (GMSC), es el que permite de la conexión con otras redes.
- Por último se tienen las bases de datos Home Location Register (HLR), Visitor Location Register (HLR) y Equipment Identity Register (EIR).

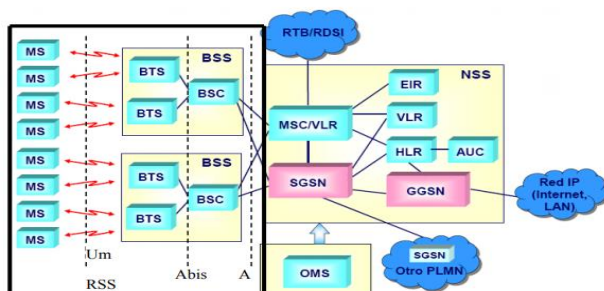


Figura 20. Arquitectura de red GSM

Tomado de: (Velasco, 2019)

1.4.5.3. Tecnología UMTS

La tecnología *Universal mobile telecommunications system (UMTS)* es la utilizada en la tercera generación celular (3G), en sistemas móviles de alta capacidad de transmisión, satélites, y tiene algunos beneficios como son:

- Se tienen velocidades que llegan hasta los 2 Mbps para el *downlink*.
- Soporta conexiones simultaneas en el mismo dispositivo móvil
- Se tienen servicios terrestres y satelitales también.
- Trae beneficios varios debido a que se puede comunicar y acceder a varios servicios principalmente multimedia como lo es el video conferencia y el acceso a internet.

Como se observa en la figura 21, se tiene la arquitectura de la red UMTS, misma que tiene los siguientes elementos:

- Nodo de conmutación (MSC), mismo que se encarga de la conmutación de las llamadas y del control de las mismas.
- El controlador de radio (NRC), es el que asigna y libera las diferentes conexiones de radio y en los distintos canales maneja calidad y realiza la decodificación de la voz.
- La estación base (BTS), es el elemento que realiza la transmisión y recepción en una zona específica donde se tiene cobertura, cabe recalcar que los elementos antes mencionados, se interconectan por medio de una red de datos.

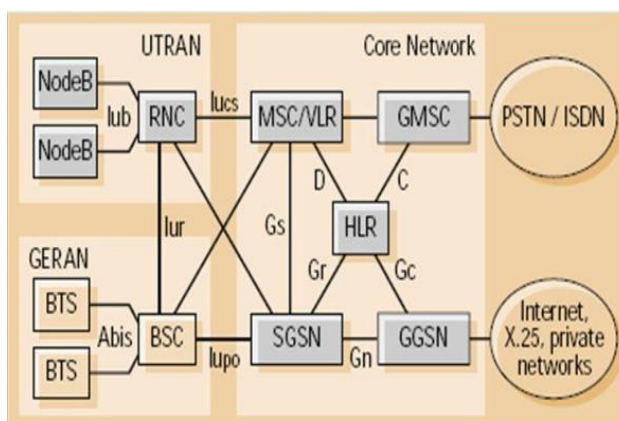


Figura 21. Arquitectura de red UMTS

Tomado de: (3GPP, 2017)

1.4.5.4. Tecnología LTE

La tecnología LTE está presente en la cuarta generación (4G) y tiene las siguientes características:

- Tiene una mejora con respecto a la tercera generación celular en la tasa de datos que se maneja.
- La eficiencia espectral es mucho mayor y el tiempo de latencia disminuye de forma considerada.
- Se basa en OFDMA para el *downlink* y SC-FDMA para el *uplink*.
- La capacidad se ve aumentada de manera considerable debido al uso MIMO, técnica que usa múltiples antenas en el emisor y múltiples antenas en el receptor o en otras palabras tiene un arreglo de antenas.
- El *Core* para la cuarta generación fue diseñado con mejoras en comparación con la tercera generación. La arquitectura cuenta con los siguientes componentes: *Mobility Management Entity (MME)*, *Serving Gateway (SGW)*.
- También se tiene el *PDN Gateway (PGW)*, se necesita también el *User Equipment (UE)*, se tiene un sistema de acceso de radio (EUTRAN), y la estación base que se conoce como eNodeB.
- Además se tiene el *Evolved Packet Core (EPC)*, que sirve para el control.

En la figura 22, se observa la arquitectura de la red LTE, misma que se compone de equipos de usuario (UE), conectados de manera inalámbrica a las antenas conocidas como eNodeB, este tiene comunicación con el *Serving Gateway (SGW)* que a su vez se comunica con *Mobility Management Entity (MME)*, esta arquitectura tiene un plano de control y un plano de usuario.

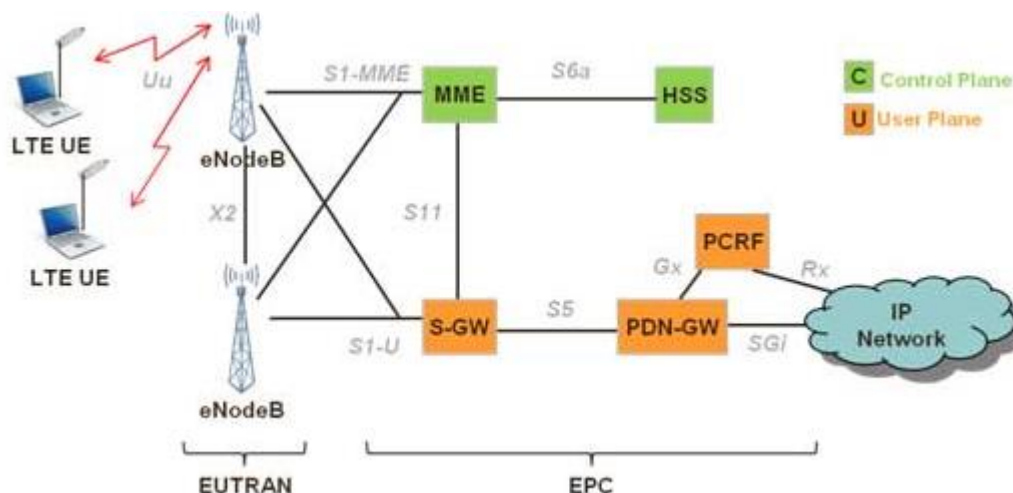


Figura 22. Arquitectura de red LTE

Tomado de: (IPV6Go, 2014)

2. Capítulo II. Evolución de las tecnologías móviles

Las tecnologías móviles han ido evolucionando a lo largo de la historia, debido a la aparición de nuevas aplicaciones y la creciente cantidad de usuarios, pasando por las diferentes generaciones, empezando por la primera generación hasta la cuarta generación de telefonía móvil que es lo que se tiene actualmente.

En el presente capítulo se va a presentar como las tecnologías y los indicadores de desempeño que son: velocidad de transmisión, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura han evolucionado a través del paso del tiempo con el objetivo de ofrecer nuevos servicios y satisfacer las exigentes necesidades de los clientes.

2.1. Primera generación (1G)

La primera generación de telefonía celular aparece en 1979 con la Corporación nipona de telegrafía y telefonía (NTT) que es una empresa en el campo de las telecomunicaciones en Japón. El primer teléfono móvil fue fabricado por el Dr. Martin Cooper, quien trabajaba para la empresa Estadounidense Motorola, la velocidad era de entre 1 kbps para el *uplink* y 2,4 kbps para el *downlink*. Utiliza modulación analógica en frecuencia lo que consiste en la variación de la

portadora de manera proporcional en relación a la frecuencia que tiene la onda moduladora, para realizar la transmisión de la voz entre el emisor y el receptor, misma que consiste en tener células conectadas entre sí, siendo una característica destacada de esta generación.

Algunos de los países pudieron disfrutar de esta generación móvil antes que otros países son Estados Unidos, Rusia, Holanda, Alemania, Portugal, Italia, España, en donde efectivamente se puede experimentar una mejora sustancial en la velocidad de transmisión en comparación a las anteriores generaciones.

En Europa se usó lo que se conoce como el *Extended Total Access Communications System (ETACS)* es un sistema que usaba canales adicionales de radio, y en países Escandinavos se utilizó la *Nordic Mobile Telephone (NMT)* es un sistema de telefonía móvil que utiliza tecnología analógica y fue definido por autoridades de dichos países para de esa forma resolver el problema de congestión que tenían con redes ya existentes, ambos tenían como banda de operación a los 900 MHz. Las estaciones base se encontraban muy juntas la una de la otra.

Las células utilizan canales diferentes con la finalidad de disminuir la interferencia utilizando frecuencias diferentes, su ancho de banda era de 30 kHz. La latencia oscila desde 500 a 1500 ms.

La técnica de acceso utilizada es FDMA, esta tenía un límite en los usuarios que el servicio podía acoger de forma simultánea debido a que la asignación de canal era estáticos. Se hace uso de la tecnología conocida como la red telefónica conmutada (PSTN) que consiste en tener los medios de conmutación y transmisión para poder realizar el enlace dos equipos terminales utilizando un circuito físico y de esa manera poder realizar la comunicación.

Evolución de velocidad

En la figura 23, se observa la gráfica de la velocidad que se tenía en la primera generación celular (1G), que iba desde el 1 kbps para el *uplink* y 2,4 kbps para el *downlink*.

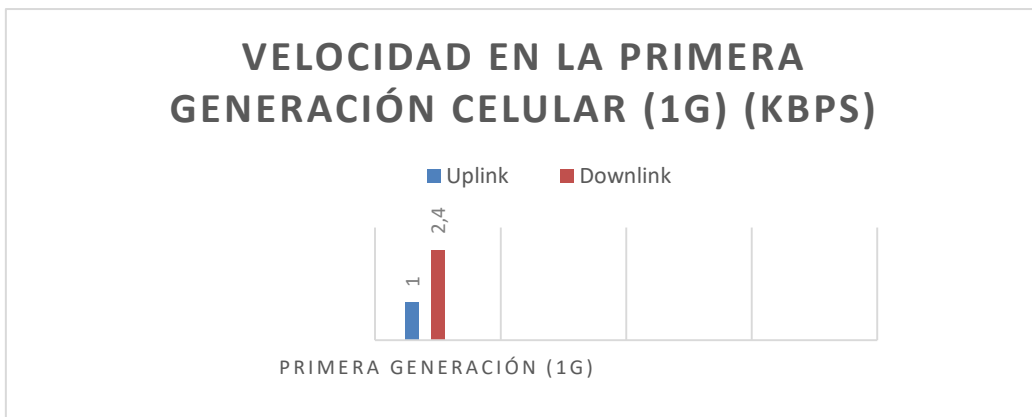


Figura 23. Velocidad en la primera generación celular

Evolución de Latencia

En la figura 24, se observa la gráfica de la latencia que se tenía en la primera generación celular (1G), que iba desde 500 ms a 1500 ms.

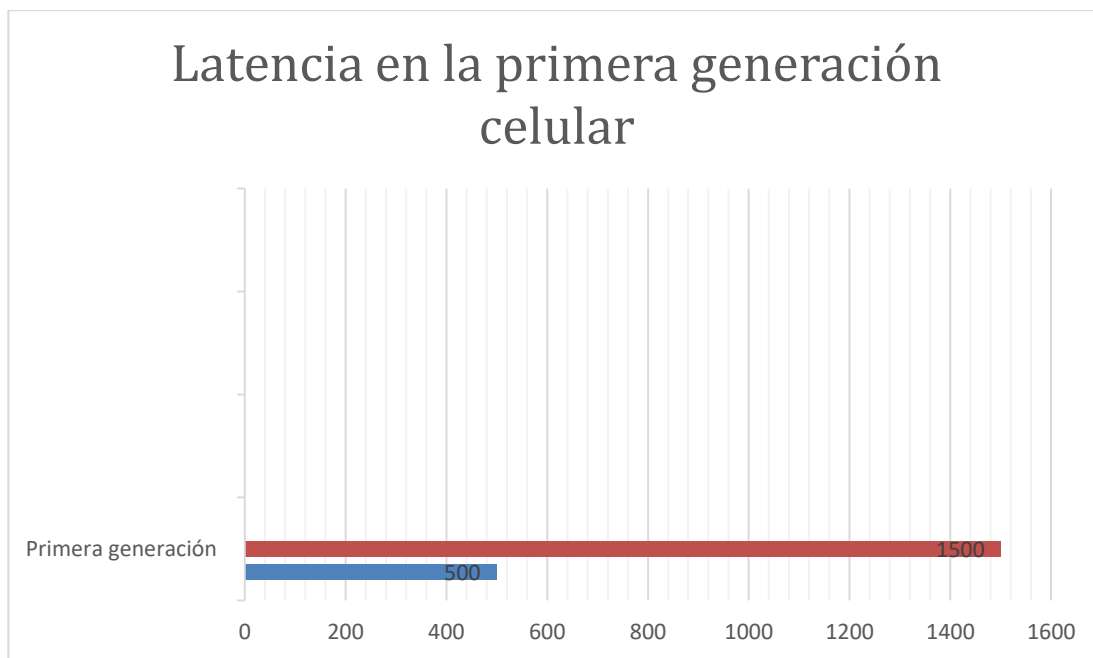


Figura 24. Latencia en la primera generación celular

En la tabla 2, se observa la técnica de acceso utilizada en la primera generación celular, la misma es acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).

Tabla 2. Técnica de acceso utilizada en la primera generación.

Técnica de acceso	Primera generación
FDMA	X

En la figura 25 se observa la modulación en amplitud que consiste en realizar la transmisión de la información utilizando una onda transversal de televisión, se presenta una variación en la amplitud de la señal que se transmite respecto a la información enviada.

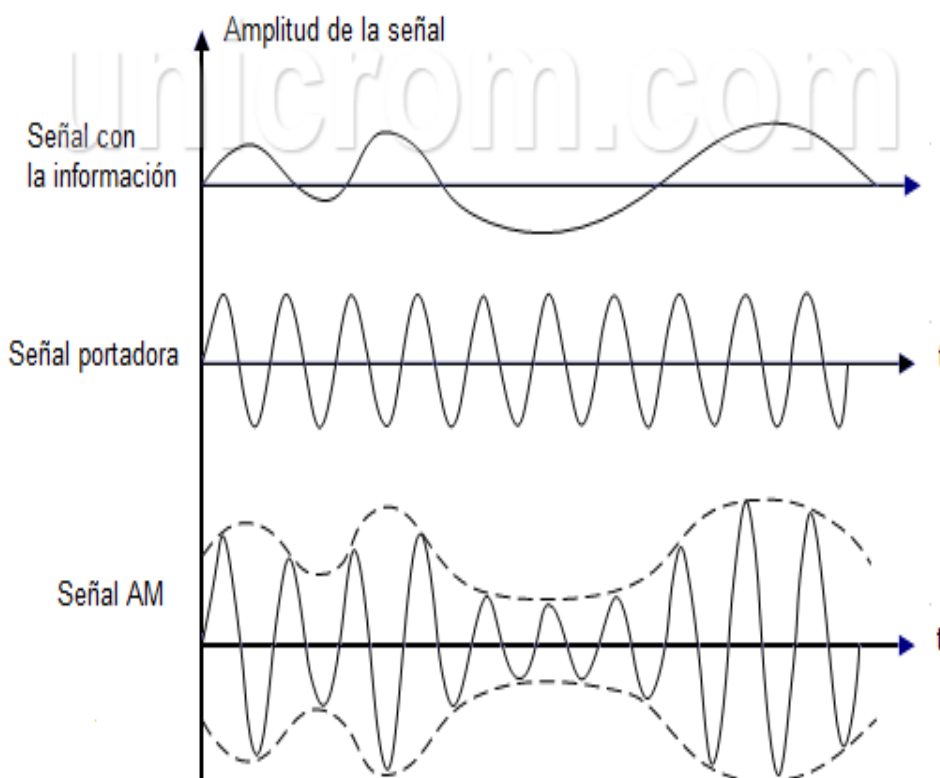


Figura 25. Modulación en amplitud

Adaptado de: (Unicrom, 2018)

La modulación en frecuencia es aquella técnica que utiliza una onda portadora con la característica de ir variando la frecuencia, es muy utilizada en la emisión del audio en televisión analógica.

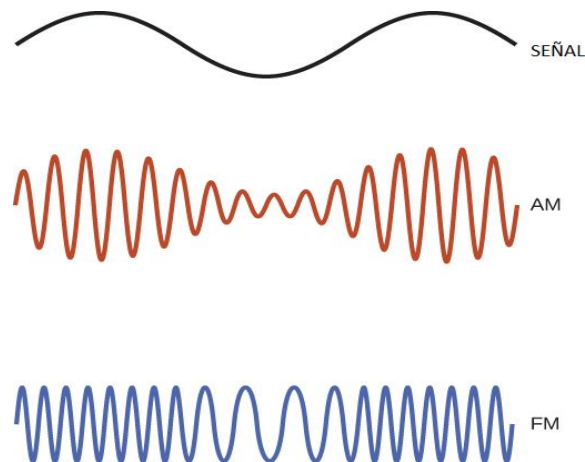


Figura 26. Modulación en frecuencia

Adaptado de: (Openstax, 2019)

La modulación en fase, es aquella donde la fase de la onda portadora, cambia de manera proporcional a la señal moduladora. La fase se encuentra entre los 0 grados y los 180 grados.

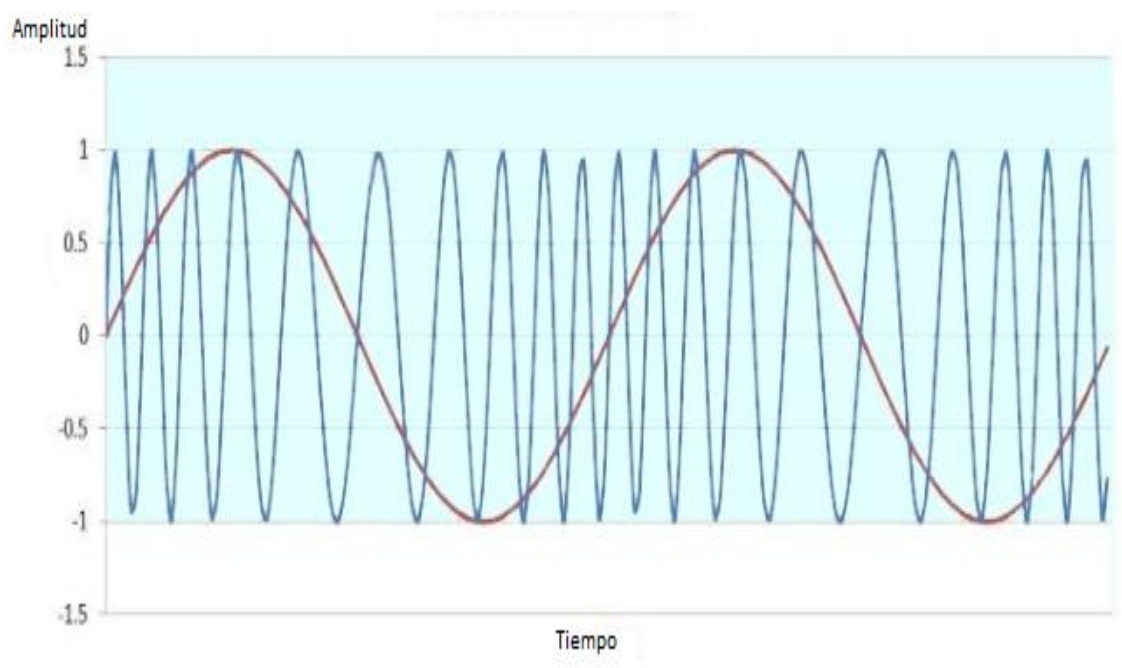


Figura 27. Modulación en fase

Adaptado de: (El Ettöamici, 2018)

En la figura 28, se observa la gráfica de la infraestructura que se basa red telefónica conmutada pública, misma que es una red de teléfonos conectados entre sí y tienen salida al internet, se utiliza un conmutador para el establecimiento de llamadas.



Figura 28. Red telefónica conmutada pública

Tomado de: (Centralitas, n.d.)

2.2. Segunda generación (2G)

La segunda generación, es considerada a partir de finales de los años 80 e inicios de los años 90 con la característica de transmitir voz, pero aquí ya aparece lo que es la transmisión de datos. Utiliza la modulación digital, con la ayuda de algoritmos de compresión. La velocidad que se maneja va desde los 14 kbps para el *uplink* y 64 kbps para el *downlink*.

El estándar que identifica esta generación es el Sistema global para comunicaciones móviles (GSM), además se encuentra el estándar digital del Sistema telefónico móvil avanzado (D-AMPS), por último está el estándar interno 95 (IS-95). GSM utiliza TDMA, por otra parte está D-AMPS, y el IS-95 que utiliza Acceso múltiple por división de código (CDMA).

Existen algunas bandas de frecuencias, y entre las principales están las siguientes: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900, mismas que son utilizadas en Asia, Estados Unidos y Sudamérica, Europa, y por último en Norteamérica respectivamente. Aparece la 2,5 G como una mejora a la segunda generación, y donde nace lo que se conoce como el Servicio general para paquetes de radio (GPRS), mismo que se utiliza para la transmisión de los datos. La latencia es de 300 ms a 1000 ms. Las técnicas de acceso utilizadas en esta generación son TDMA y CDMA. Se utiliza modulación por desplazamiento

mínimo Gaussiano (GMSK). Aparece la infraestructura digital junto con el Sistema global para comunicaciones móviles (GSM).

Evolución de velocidad

En la figura 29, se visualiza la velocidad de transmisión de la segunda generación celular (2G), que iba desde el 14 kbps para el *uplink* y 64 kbps para el *downlink*.

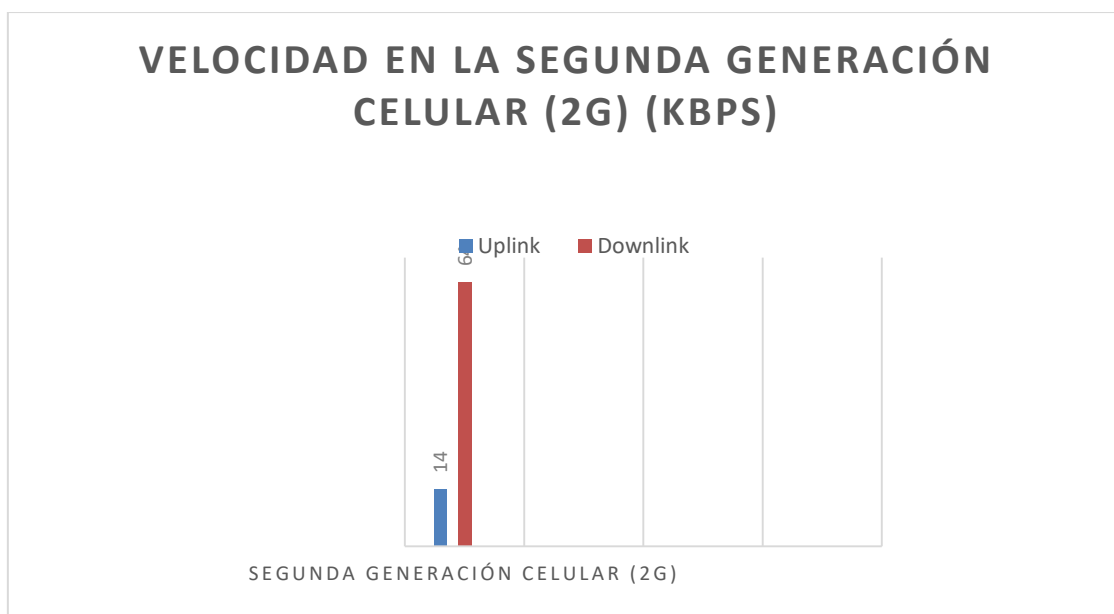


Figura 29. Velocidad en la segunda generación celular

Evolución de Latencia

En la figura 30, se observa la gráfica de la latencia que se tenía en la segunda generación celular (2G), que iba desde 300 ms a 1000 ms.

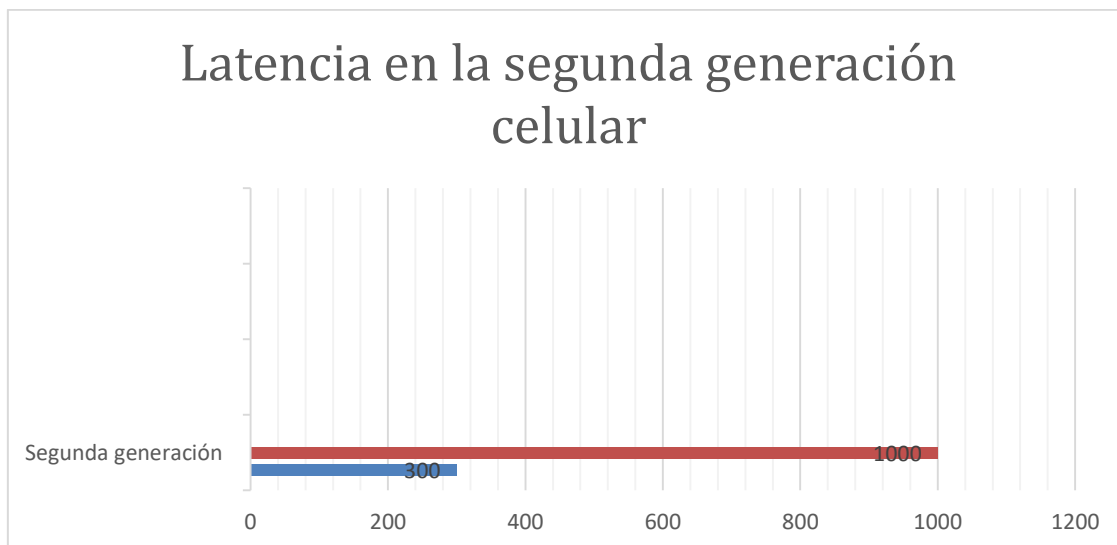


Figura 30. Latencia en la segunda generación celular

En la tabla 3 se observa las técnicas de acceso utilizada en la segunda generación celular, siendo la de TDMA y CDMA.

Tabla 3. Técnicas de acceso utilizadas en la segunda generación

Técnica de acceso	Generación
TDMA	Segunda generación
CDMA	

La modulación digital GMSK es un esquema que desplaza de frecuencia de fase continua, el funcionamiento es que los datos atraviesan un filtro pasa bajo gaussiano, después de esto pasa al circuito modulador, sus aplicaciones son varias, entre las que podemos encontrar la tecnología celular GSM, redes eléctricas y sistemas de navegación marítima.

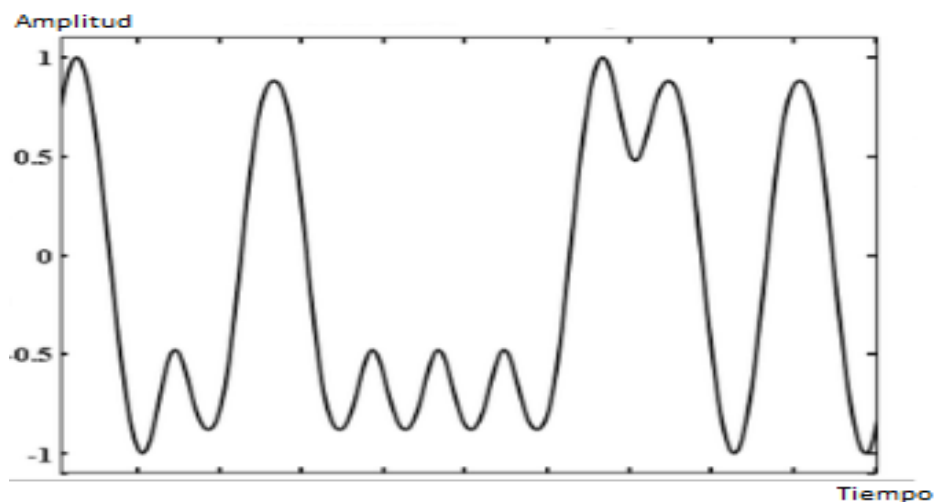


Figura 31. Señal modulada, utilizando GMSK

Adaptado de: (Poirier, 2015)

En la figura 32, se observa la arquitectura de la red GSM utilizada en la segunda generación celular, donde se tienen las estaciones base (BTS), mismas que están conectadas al controlador de estaciones base (BSC), a su vez este se conecta al centro de conmutación móvil (MSC), mismo que tiene salida hacia el internet.

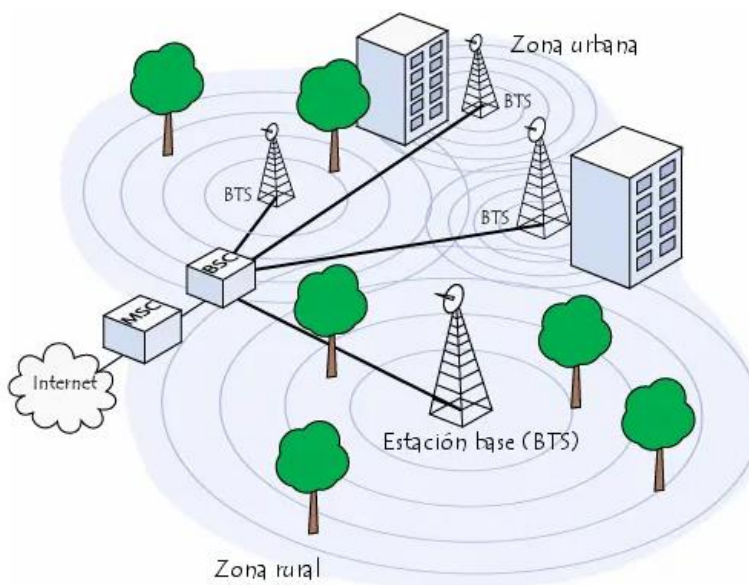


Figura 32. Arquitectura de red GSM, utilizada en la 2G

Tomado de: (Villagómez, 2017)

2.3. Tercera generación (3G)

La tercera generación celular (3G), aparece a principios de los años 2000, aquí ya se maneja los datos y las llamadas de voz, estos utilizan lo que se conoce como conmutación de paquetes y conmutación de circuitos respectivamente.

Las organizaciones involucradas en la creación de estándares para esta generación son la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la *Third Generation Partnership Project (3GPP)*.

Se puede acceder a una gran cantidad de servicios como son multimedia, video conferencias, entre otros.

La transmisión de voz es considerada de alta calidad, aplicable para redes fijas. La velocidad es de 384 kbps para el *uplink* y llega a 2 Mbps para el *downlink*.

La técnica de acceso es acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA).

La evolución de la WCDMA es *High speed packet access (HSPA)*. La evolución es conocida como *High speed packet access plus (HSPA +)*.

La modulación que se utiliza en esta generación son dos específicamente: BPSK y QPSK.

La infraestructura que se utiliza en esta generación es de tipo digital, bajo el uso de las tecnologías conocidas como Sistema universal de telecomunicación móvil (UMTS) y la Tasa de datos mejorados para evolución del GSM (EDGE).



Figura 33. Unión internacional de telecomunicaciones

Tomado de: (Universidad Oberta de Catalunya, n.d.)

Evolución de velocidad

En la figura 34, se observa la gráfica de la velocidad de transmisión de datos en la tercera generación celular, misma que oscilaba desde los 384 kbps para el *uplink* y 2 Mbps para el *downlink*.

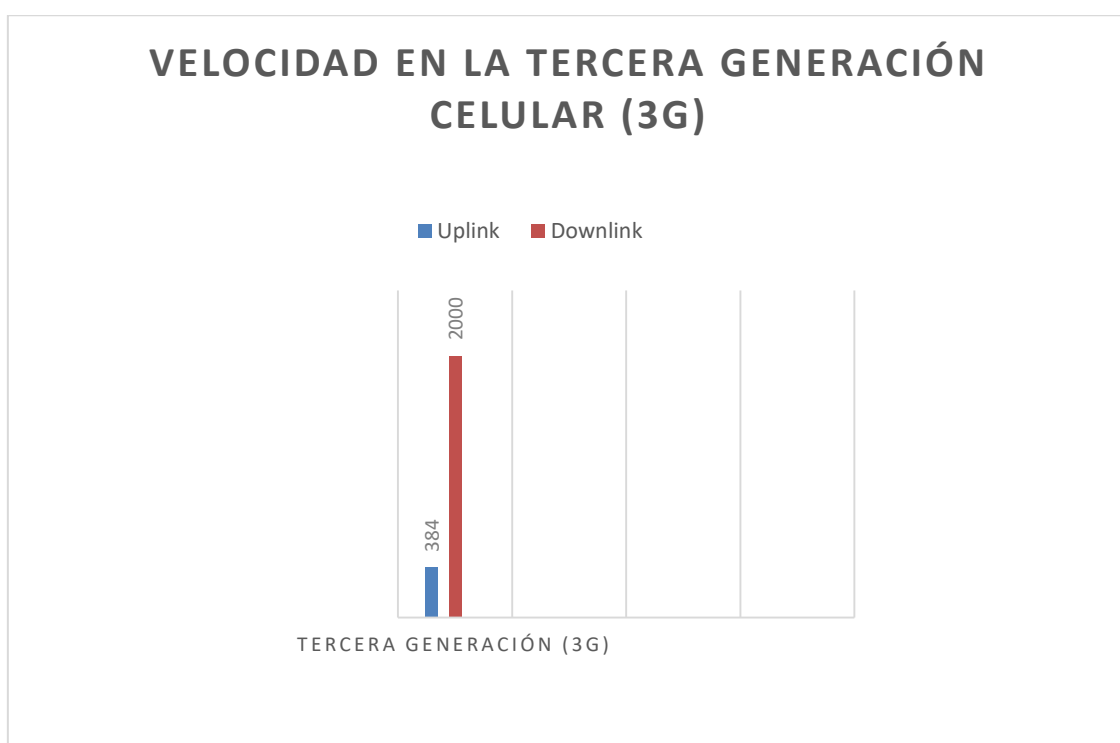


Figura 34. Velocidad en la tercera generación celular

Evolución de Latencia

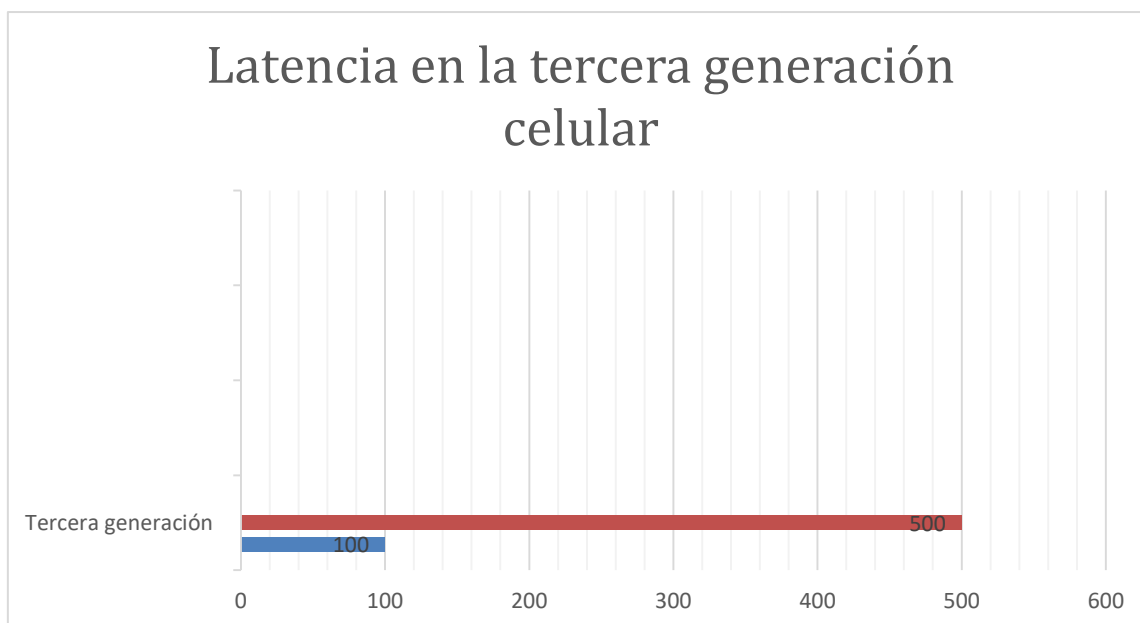


Figura 35. Latencia en la tercera generación celular

En la figura 35, se observa la gráfica de la latencia que se tenía en la tercera generación celular (3G), que iba desde 100 ms a 500 ms.

En la tabla 4 se observa la técnica acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) utilizada en la tercera generación celular.

Tabla 4. Técnicas de acceso utilizadas en la tercera generación

Técnica de acceso	Generación
WCDMA	Tercera generación

La modulación usada es digital, en la que tenemos BPSK que emplea dos símbolos y cada uno tiene un bit de información que son -1 y 1, con una fase de 180 grados y 0 grados respectivamente, la velocidad de transmisión es la menor de toda las modulaciones de fase que existen, por otro lado QPSK es otra modulación en donde se cambia la fase de una señal portadora pero con la característica de mantener tanto la frecuencia como la amplitud constantes.

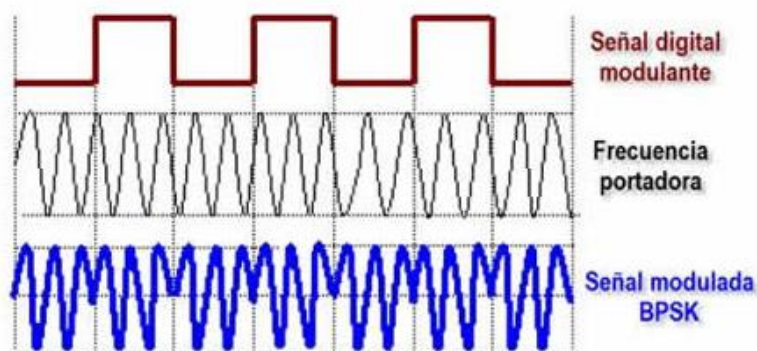


Figura 36. Señal modulada BPSK

Tomado de: (Birt, s.f.)

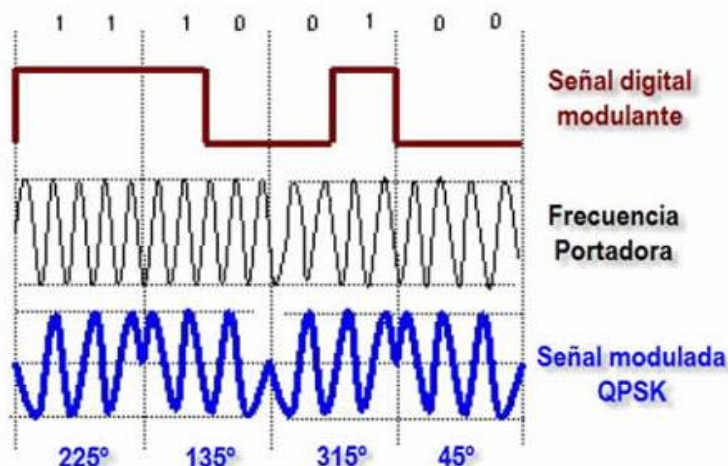


Figura 37. Señal modulada QPSK

Tomado de: (Birt, s.f.)

En la figura 38, se observa la arquitectura de red UMTS, la misma que es utilizada en la tercera generación celular donde se tiene la red de acceso (UTRAN), la misma se compone de dos nodos conectados al Controlador de la red de radio (RNC), por otro lado se encuentra el núcleo de red (CN), que tiene la estación de conmutación móvil (MSC), también se compone del registro de ubicación del visitante (VLR) y el registro de posición local (HLR), que son bases de datos para guardar la información, todos los componentes se interconectan entre sí.

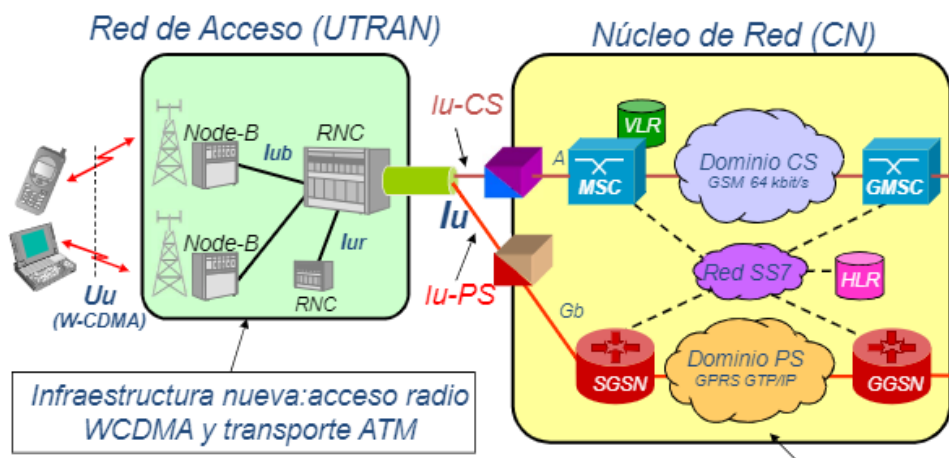


Figura 38. Arquitectura de red UMTS, utilizada en la 3G

Tomado de: (Álvarez, 2015)

2.4. Cuarta generación (4G)

La cuarta generación celular (4G), aparece en el año 2010 donde se espera tener muchas más aplicaciones respecto a sus antecesores, las características son las siguientes:

Se tiene una gran cantidad de bandas de frecuencia como son los 700 MHz, 800 MHz, 850MHz, 1900 MHz, 2300 MHz, 2600 MHz, distribuidos en América del Norte, América del sur, Europa, Asia, respectivamente.

El ancho de banda se encuentra en un rango que va desde los 5 MHz hasta los 20 MHz. La descarga de datos se podrá realizar al doble de velocidad que la carga de los datos.

Los teléfonos móviles serán capaces de realizar video llamadas, utilizando el internet, por lo que se traducirá en una reducción de costos. Se verá incrementada la calidad de la telefonía móvil con respecto a la telefonía fija.

Se utiliza la técnica de Múltiples entradas múltiples salidas (MIMO), que utiliza un arreglo de antenas.

Se utiliza conmutación de paquetes para poder realizar la optimización del sistema.

Se tiene una red y terminales heterogéneos, por lo que se logra convergencia entre redes fijas e inalámbricas. La velocidad va desde el 1 Gbps para el *uplink* y 10 Gbps para el *downlink*.

Las técnicas de acceso utilizadas son acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) y acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA). La modulación que se utiliza en esta generación son las siguientes: QPSK, 16-QAM, 64-QAM. La infraestructura es de tipo digital bajo la tecnología *Long Term Evolution* (LTE).

Evolución de velocidad

En la figura 39, se observa la velocidad que se tenía en la cuarta generación celular (4G), que iba desde 1 Gbps para el *uplink* y 10 Gbps para el *downlink*.

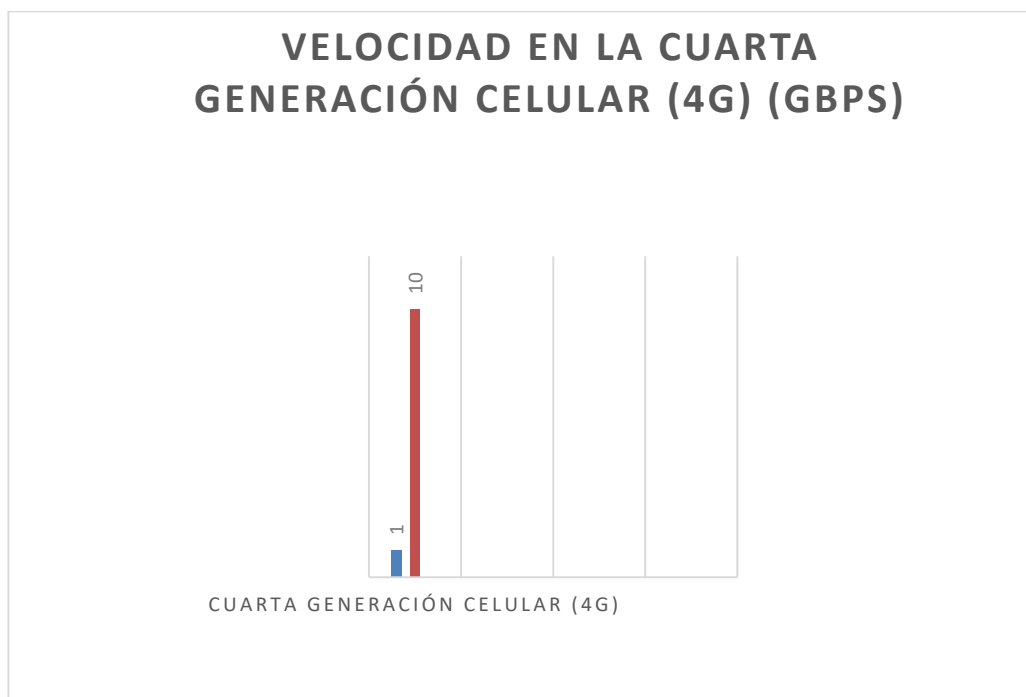


Figura 39. Velocidad en la cuarta generación celular

Evolución de Latencia

En la figura 40, se observa la gráfica de la latencia que se tiene actualmente en la cuarta generación celular (4G), que iba desde 10 ms a 30 ms.

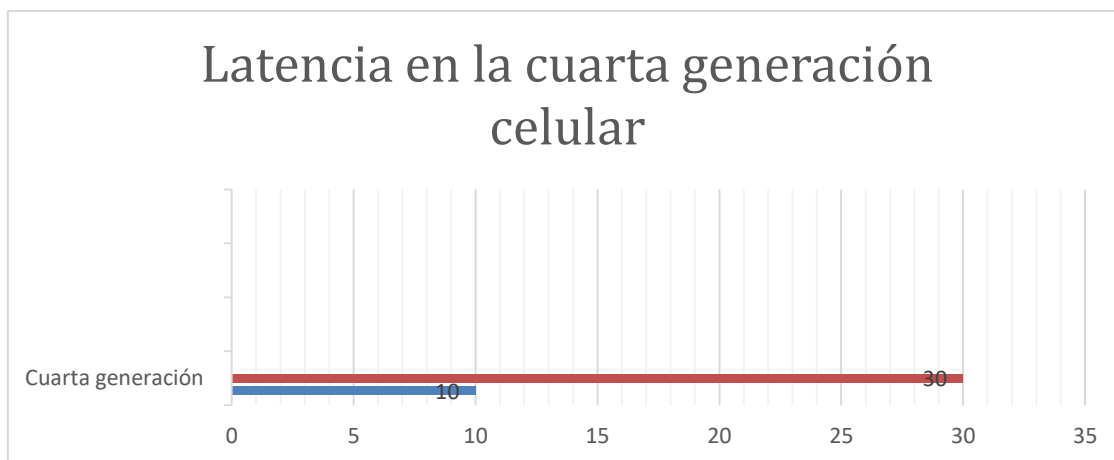


Figura 40. Latencia en la cuarta generación celular

En la tabla 5 se observa las técnicas de acceso utilizadas en la cuarta generación celular, son OFDMA y SC-FDMA.

Tabla 5. Técnicas de acceso utilizadas en la cuarta generación

Técnica de acceso	Generación
OFDMA	Cuarta generación
SC- FDMA	

La modulación por desplazamiento de fase (QPSK), y por otro lado se tiene la modulación de amplitud en cuadratura (QAM) consiste en realizar la modulación por desplazamiento en amplitud (ASK) de dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero presentan un desfase de 90 grados, la señal modulada resulta después de sumar dos señales ASK.

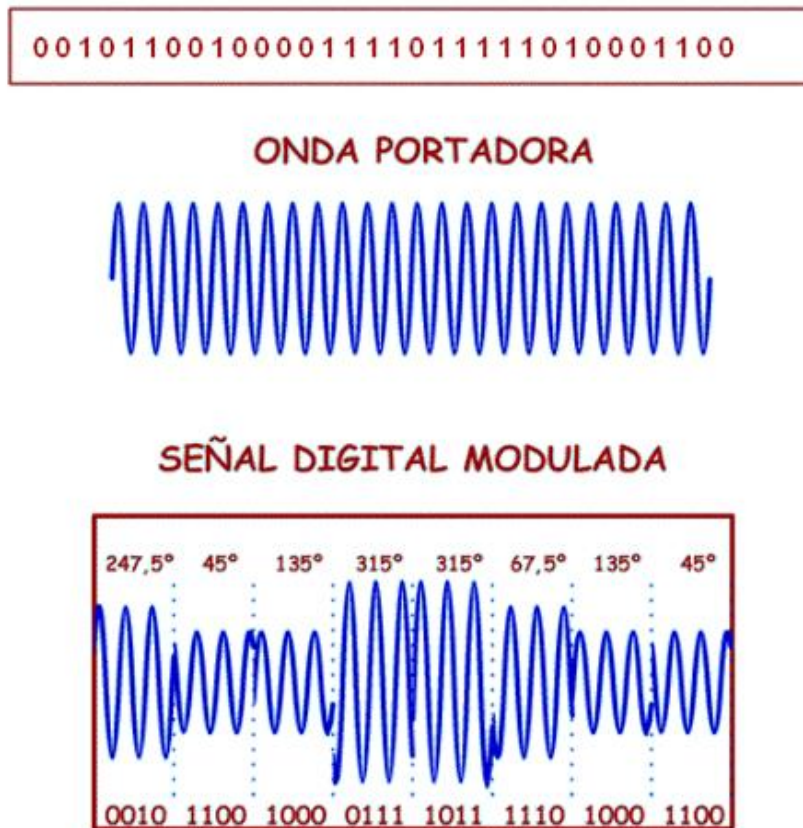


Figura 41. Señal modulada QAM

Tomado de: Tomado de: (Birt, s.f.)

En la figura 42, se observa la arquitectura de la red LTE, misma que se compone de la Entidad de manejo móvil (MME), está junto al Gateway de servicio (SGW) y este se encarga de la gestión de la movilidad y estos elementos forman la EPC; por otra parte, se encuentran dos nodos (eNB) los mismos que son los encargados de brindar la interfaz de radio, en conjunto con el Equipo del usuario (UE), y estos forman la parte de E-UTRAN.

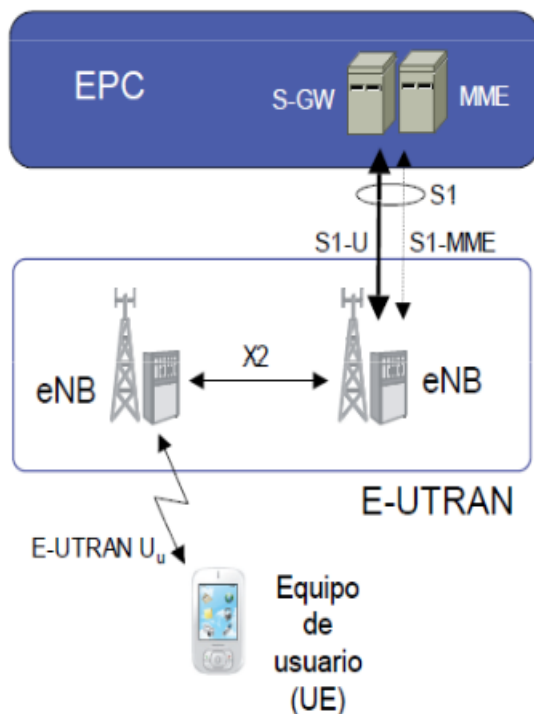


Figura 42. Arquitectura de red LTE, utilizada en la 4G

Tomado de: (IpV6 Go, n.d.)

2.5. Las generaciones celulares y los indicadores de desempeño

Las generaciones celulares a lo largo del tiempo han ido evolucionando en cada uno de los indicadores de desempeño, como ha sido observado en las secciones anteriores. Como la velocidad de transmisión, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura factores claves a la hora de brindar un mejor servicio a los clientes en cualquier parte, servicio que está disponible por medio de varias operadoras móviles.

En la tabla 6 se observa los indicadores de desempeño como velocidad de transmisión, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura han ido evolucionando desde la primera generación celular hasta la cuarta generación celular.

Tabla 6. Generaciones y sus indicadores de desempeño

Generación de telefonía celular	Velocidad de transmisión	Latencia	Técnicas de acceso	Modulación	Infraestructura
Primera generación (1G)	1 kbps para el <i>uplink</i> a 2,4 kbps para el <i>downlink</i>	500 ms a 1500 ms	FDMA	Analógica	Analógica Red PSTN
Segunda generación (2G)	14 kbps para el <i>uplink</i> a 64 kbps para el <i>downlink</i>	300 ms a 1000 ms	TDMA CDMA	GMSK	Digital Tecnología GSM
Tercera generación (3G)	384 kbps para el <i>uplink</i> a 2 Mbps para el <i>downlink</i>	100 ms a 500 ms	WCDMA	QPSK BPSK	Digital Tecnología UMTS
Cuarta generación (4G)	1 Gbps para el <i>uplink</i> a 10 Gbps para el <i>downlink</i>	10 ms a 30 ms	OFDMA SC-FDMA	QPSK 16-QAM 64-QAM	Digital Tecnología LTE
Quinta generación (5G)	10 Gbps para el <i>uplink</i> y 100 Gbps para el <i>downlink</i>	1 ms a 10 ms	NOMA	FBMC-OQAM	Digital Tecnología C-Ran

3. Capítulo III. Estado actual de la tecnología 4G, la aparición del 5G y la coexistencia de las dos tecnologías

3.1. Avance de la tecnología 4G

Los avances tecnológicos en los últimos años han ido apareciendo a pasos agigantados, y el hecho de satisfacer las necesidades de un mundo cada vez más digitalizado ha aumentado la demanda de tener una buena promoción para poder llegar hacia el consumidor, la necesidad de utilizar tecnología de punta y ser aceptados socialmente ha sido un punto que ha sido considerado por las personas y de ahí nace el consumismo de esta última década. Los usuarios han exigido la mejora de servicios ya existentes y la aparición de otros. Por mencionar algunos se tienen: internet de alta velocidad, 4G alta calidad en la voz, contenido multimedia, buena cobertura. El 4G dio paso a primeras pruebas realizadas en Japón, aquí en Ecuador se ofrece este servicio por parte de las tres operadoras que se encuentran en el mercado: Movistar, Claro y CNT.

3.2. Tecnología 4G

3.2.1. Evolución

El avance de la tecnología es inminente con la finalidad de ofrecer mejores servicios a los clientes es lo que se tiene con la cuarta generación, esta tecnología tiene de base al Proyecto asociado de tercera generación (3GPP) que fue utilizado en la tercera generación, donde se tiene redes convergentes entre las que se encuentran redes cableadas, redes inalámbricas, dispositivos, donde se tienen altas velocidades de hasta 100 Mbps, también se asegura calidad de servicio punto a punto teniendo un alto nivel de seguridad, y con la finalidad de reducir costos.

La competitividad de las operadoras móviles con presencia en Ecuador: Movistar, Claro y CNT, ha aumentado en los últimos años, y cada una de estas ha trabajado duro para poder brindar mejoras en los servicios que se ofrecen a los clientes, con la premisa de tener comunicación desde cualquier lugar en cualquier momento.

La cuarta generación con el estándar Long term evolution (LTE) es una mejora

de UMTS, con LTE se ha tenido menores costos en la implementación de la arquitectura celular y servicios mejorados de velocidad y latencia, hacen que las personas se decanten cada vez más por la utilización de telefonía móvil en vez de telefonía fija. La cuarta generación ha alcanzado altas velocidades de descarga reales cercanas a los 60 Mbps, por poner un ejemplo real la descarga de un archivo con un peso aproximado de unos 750 megas, tarda unos 3 a 4 minutos en su descarga aproximadamente.

Un servicio muy demandado en esta cuarta generación ha sido sin duda alguna los juegos en línea, un servicio muy apetecido por los jóvenes, las primeras pruebas fueron realizadas por la empresa Ericsson en Suecia y por parte de Huawei en China.

La empresa Telefónica ha realizado pruebas donde se ha logrado tener velocidad de 100 Mbps en el *downlink* y de 86 Mbps en el *uplink* algo que se ha replicado en su filial Movistar Ecuador. La velocidad de acceso es mucho mayor con respecto a otras tecnologías como General packet radio Service (GPRS) o el Sistema global de comunicaciones móviles (GSM). El espectro donde opera el servicio de 4G es entre los 1,4 MHz a los 20 MHz, se hicieron pruebas de video llamada entre terminales LTE y para demostrar la convergencia de red de igual forma entre un dispositivo con LTE y otro con la red 3G, de manera satisfactoria.

La cuarta generación celular y el uso de LTE, tiene una técnica de acceso que tiene como base a OFDMA, y SC-FDMA, por ello es importante denotar que las técnicas de antenas como MIMO, son de fácil implementación y a su vez, así es posible tener una mejor eficiencia en la transmisión de datos.

Las operadoras móviles en Ecuador, tanto Movistar, Claro y CNT, han ido migrando sus tecnologías, en la figura 43, se muestra la evolución de las diferentes tecnologías desde GSM en la segunda generación, luego *Edge*, para después tener UMTS, luego evoluciona a HSPA, se tiene por último HSDPA hasta llegar a LTE.

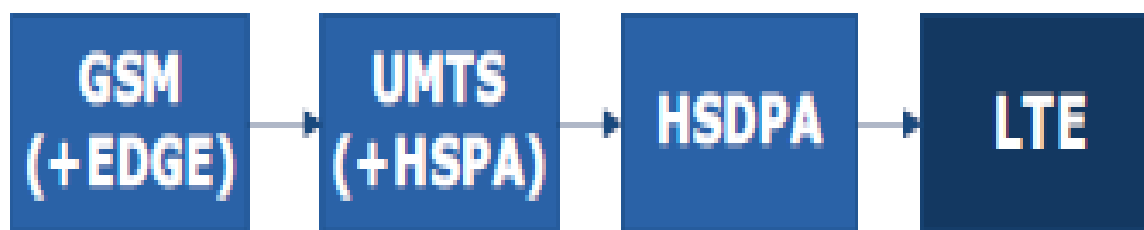


Figura 43. Migración de tecnologías móviles en Ecuador

Tomado de: (Inga, La telefonía móvil de cuarta generación y Long Term Evolution, 2015)

Una de las razones para tener altas velocidades de transmisión es porque en la tasa de transferencia de datos tiene picos que bordean los 100 Mbps para el *downlink* y 50 Mbps para el *uplink*, una ventaja es que por cada 5 MHz por célula se tienen 200 usuarios y eso permite una mejor utilización del espectro. La red LTE se basa en la especificación de la generación anterior 3GPP y se utiliza el Protocolo de internet (IP).

3.2.2. Infraestructura

La arquitectura como tal de esta cuarta generación celular tiene el nombre de System architecture evolution (SAE), es considerada la evolución de la red de GPRS considerando las siguientes diferencias que se mencionan a continuación:
Red simplificada que se dirige a la red IP.

Tiene soporte para sistemas como GPRS o WiMax.

Permite la movilidad entre las diferentes redes de acceso de radio.

En la figura 44 se observa que LTE tiene una arquitectura plana por lo que se necesitan elementos de red mínimamente, se compone del Equipo del usuario (UE) que generalmente es un dispositivo móvil, se conecta con el *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) y con el Nodo B mejorado (ENB), estos a su vez se conectan con el *Evolved Packet Core* (EPC), para finalmente tener salida hacia redes externas como por ejemplo el internet.

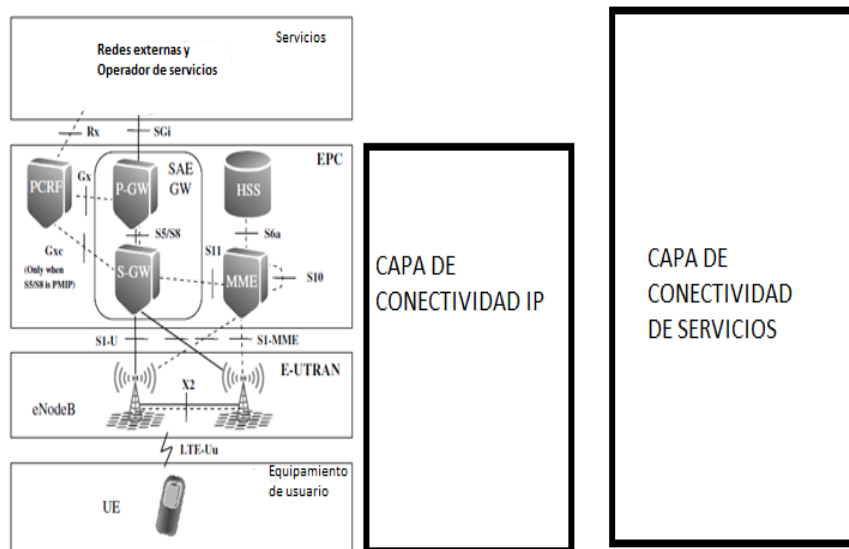


Figura 44. Arquitectura de red de acceso LTE

Tomado de: (Holma & Toskala, 2009)

3.2.3. Características de LTE

Algunas características importantes de LTE y que se deben mencionar son las siguientes:

1. LTE permite la combinación de tecnologías con otras ya existentes como son GSM, UMTS Y CDMA 2000.
2. LTE utiliza esquemas de modulación QPSK, 16 QAM y 64 QAM, así también como OFDMA para el downlink y SC-FDMA para el uplink.
3. LTE soporta la tecnología MIMO que consiste tener varias antenas de transmisión y de recepción.
4. LTE ha sido diseñado para poder soportar lo que se conoce como Duplexación por división de frecuencia (FDD), cuenta con dos portadoras de radiofrecuencia que se encuentran separadas para la transmisión del *uplink* y del *downlink* y por otra parte, duplexación por división de tiempo (TDD) que solo tiene una portadora para el *uplink* y el *downlink*.

3.2.4. La eficiencia espectral en la red celular

La eficiencia espectral es algo que está relacionado de forma directa con el número de usuarios y su vez con el tráfico existente en la red celular, la solución

más óptima es el aumento de la cantidad de portadoras en las estaciones base pero en algún punto del tiempo eso no será posible debido a que el aumento del espectro es bastante limitado, se pretende dar solución a esto incrementando el número de estaciones base que transmitan a una baja potencia y eso favorece por poder reutilizar las frecuencias a distancias pequeñas, pero esto no es algo tan sencillo debido a que las operadoras móviles deben tener equipos, licencias, nuevas ubicaciones, espacio físico. Por último, cabe mencionar que la eficiencia espectral depende estrictamente de la velocidad y del ancho de banda al cual se esté trabajando. Finalmente la eficiencia se calcula por medio del cociente entre la tasa de bits y el ancho de banda.

3.3.4G en el Ecuador

La cuarta generación celular llegó a Ecuador en los primeros meses del año 2014 por parte de la compañía estatal CNT siendo la pionera de esta tecnología, sin embargo, para que esto sea posible se realizó la concesión del espectro radioeléctrico como se observa en la figura 45 con la asignación de las bandas de frecuencia a las tres operadoras móviles que operan en el país, a CNT se le asigna la banda de 700 MHz, mientras que Movistar y Claro se quedan con la banda que corresponde a 1900 MHz para 4G, al año siguiente en el 2015, sus principales competidores Claro y Movistar empezaron a ofrecer esta tecnología a los usuarios.

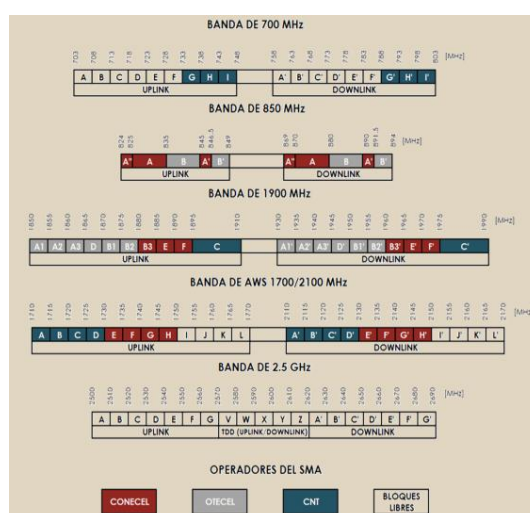


Figura 45. Asignación de bandas de frecuencia por operadora móvil
Tomado de: (Arcotel , 2018)

La cuarta generación celular, permite tener conexión desde dispositivos móviles, tabletas, entre otros, utilizando la conexión a internet, esto con la única intención de facilitar la vida a las personas, ofrece muchas ventajas con respecto a sus predecesores como son mayor velocidad y mayor capacidad, desde entonces ha surgido diversas aplicaciones como el teletrabajo y la telemedicina, las operadoras móviles en el Ecuador a lo largo de estos años han ido desplegando la infraestructura necesaria para llegar a tener cobertura a nivel nacional.

Con corte al mes de Septiembre de 2018, en la figura 46, se observa el número de radio bases que se tienen por tecnología, haciendo hincapié en la tecnología 4G, donde Claro tiene 2140 radio bases lo que representa el 55%, Movistar tiene 1039 radio bases con un 27%, para finalmente cerrar con CNT con 740 radio bases y tan solo un 19 % en este apartado.

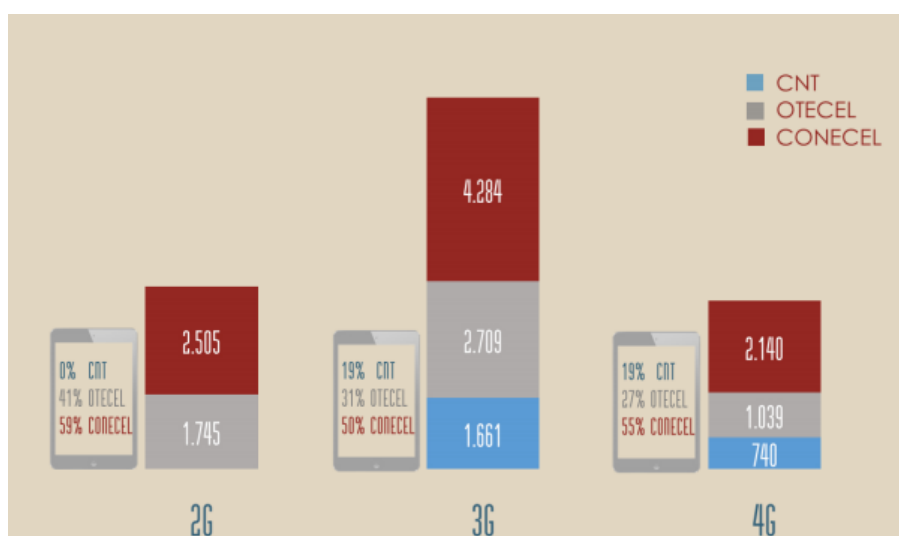


Figura 46. Radio bases instaladas por operador y tecnología

Tomado de: (Arcotel , 2018)

La cobertura en la tecnología 4G en el Ecuador, depende del número de radio bases que las operadoras móviles tienen desplegadas por todo el país siendo las provincias de Pichincha con 5218 radio bases, le sigue la provincia de Guayas con 4423 radio bases, en tercer lugar la provincia de Manabí con 1245 radio bases, Azuay con 728 radio bases, después esta la provincia de Esmeraldas con 413 radio bases, Morona Santiago con 68 radio bases y para

cerrar con la provincia de Zamora Chinchipe con 56 radio bases, dando una totalidad de 16823 radio bases en todo el Ecuador, la concentración de radio bases en Pichincha y Guayas es mayor, eso por la necesidad de brindar cobertura y por los usuarios que existen ahí. En la figura 47 se observa la distribución de radio bases en todo el país.

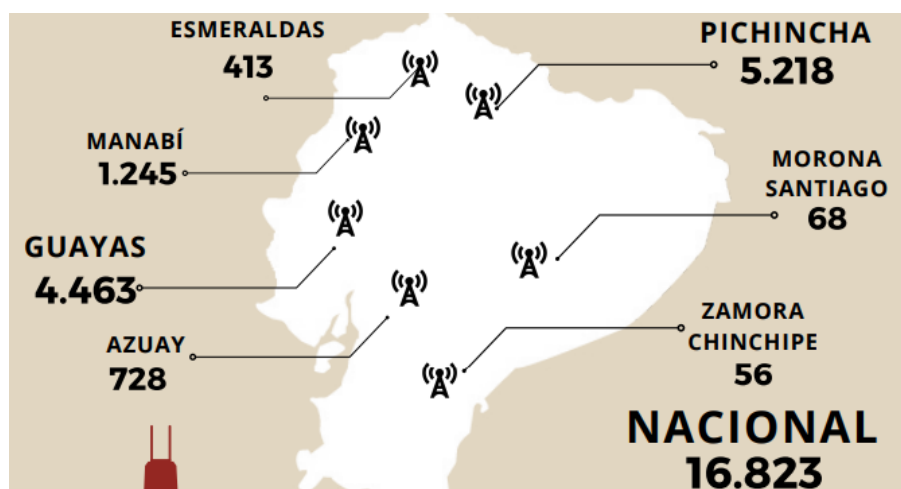


Figura 47. Distribución de radio bases en el Ecuador

Tomado de: (Arcotel , 2018)

A nivel país, Ecuador cuenta con la mayor velocidad de internet 4G en Latinoamérica y a nivel mundial se encuentra en el puesto 28, por encima de países como Francia, Japón, China, entre otros. (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2019) La velocidad promedio de descarga es de 25 Mbps, según la Arcotel para Marzo del 2017, se registró 2,7 millones de conexiones 4G en dispositivos móviles como tabletas o celulares. Actualmente el 50% de las personas en el país tienen cobertura de internet 4G LTE. En este año 2020 seis millones de ecuatorianos ya cuentan con 4G.

3.4. La tecnología 5G a detalle

3.4.1. Evolución

La tecnología de quinta generación (5G), es un avance en la tecnología que permitirá ofrecer cosas que no eran imaginadas hasta hace algún tiempo atrás, en donde se ofrecen mejoras de aspectos como cobertura, capacidad, eficiencia,

lo que permitirá satisfacer la demanda de tráfico que cada vez va creciendo a ritmo acelerado. La 5G tiene el aspecto prometedor de mejorar varias aristas en las telecomunicaciones y lo que se espera en un principio es lo siguiente: redes con una infraestructura virtualizada, definida por software, costos bajos en la implementación de la red, redes escalables y flexibles, se conoce como “*everything connected*” donde toma importancia el IoT, lo que se define como la interconexión de objetos con los que el ser humano interactúa día a día utilizando el internet y de otro concepto denominado como máquina a máquina (M2M) que son dispositivos conectados a través de una red que permiten el intercambio de información y realizar acciones sin la asistencia del ser humano.

La tecnología 5G, ya es una realidad en 24 países a nivel mundial, y se planea que otros 39 países pongan a disposición esta tecnología en los próximos meses, entre alguno de los países que ya cuentan con 5G están los siguientes: China, Corea del Sur, España, Reino Unido, Alemania, Suiza, Finlandia, Emiratos Árabes entre otros; por otra parte esto ha contribuido a la sociedad de una manera muy fuerte, en especial a las industrias ya que se manejará mucho el concepto del IoT a futuro y se prevé que para 2025 estén conectados 25 mil millones de dispositivos al internet.

Lo que se espera poder hacer con la 5G es lo siguiente:

- Descargar películas que antes se demoraban hasta 2 horas en tan solo 5 segundos.
- *Streaming* de video de alta calidad comparable con 400 películas a la vez.
- Control de equipos de manera remota como los utilizados en industrias y hospitales.
- Uso de realidad aumentada e inteligencia artificial en masa.
- Desarrollo de ciudades inteligentes y vehículos autónomos, uso de IoT.

En la tabla 7, se observa los factores que entran en juego en la quinta generación y los requerimientos que se esperan cumplir.

Tabla 7. Factores claves y los requerimientos de la quinta generación celular

Rendimiento en tiempo real	Bajo jitter, delay y latencia Rápida respuesta Alta disponibilidad
Infraestructura crítica	Cobertura de zona amplia Acceso prioritario Alta fiabilidad
Banda ancha de alta velocidad	Cobertura de alta calidad Servicio multi-espectro Velocidad de datos en gigabits
IoT y M2M	Eficiencia de señalización Cobertura interior profunda Más dispositivos conectados
Infraestructura virtualizada	Sistemas escalables, de bajo costo Redes definidas por software

3.4.2. Casos de uso y retos de 5G

Los retos superados por países que ya cuentan con la 5G sin duda alguna, es la conexión entre distintas personas y por lo que los objetos cotidianos como la refrigeradora, microondas, cocina, lavadora, entre otros son los que entrarán a jugar un papel mucho más importante debido que van a lograr una interacción con las personas y por ende manejar una impresionante cantidad de información. Se aproxima una nueva era en la telefonía celular en donde se esperan muchos retos a nivel tecnológico, donde lo que se quiere alcanzar es una experiencia interactiva e inmersiva para el usuario, se espera reducir la brecha que actualmente existe entre el ser humano y la tecnología, en este punto se han propuesto una serie de casos de uso por parte de diferentes organizaciones reconocidas mundialmente.

Los mercados que buscan su ingreso de forma paulatina en conjunto con la 5G, se encuentran principalmente el Internet móvil y el IoT, mismos que impactaran

en gran medida en el desarrollo de las comunicaciones móviles.

En la figura 48, se observa una visión general de la tecnología 5G, donde se espera que abarque en diferentes campos como son: el uso de dispositivos wearables que son aquellos aparatos electrónicos que se colocan en alguna parte del cuerpo humano como los brazos por ejemplo, e interactúan de forma directa con el usuario y con otros dispositivos con la finalidad de realizar una acción específica, ejemplo de estos dispositivos son relojes inteligentes, pulseras que controlan las pulsaciones del corazón, entre otros; por otra parte se tiene realidad aumentada, terminales móviles, casas inteligentes, industrias, agricultura, salud, realidad virtual, educación, entretenimiento, oficinas en la nube, medioambiente, finanzas.



Figura 48. Visión general de 5G

Tomado de: (Xiang & Zheng, 2018)

En este punto se hablará de los casos de uso de internet móvil, mismo que busca enriquecer la experiencia del usuario y tener un gran impacto en el ámbito laboral y a nivel personal también, esto será una evolución de como el ser humano interactúa con la información que tiene alrededor, tenemos los siguientes casos:

- Realidad aumentada
- Realidad virtual

- Servicios de video
- Computación remota
- Juegos en línea
- Aviación
- Robótica, drones
- Oficinas inteligentes

La contribución que tendrá cada uno de los casos mencionados anteriormente será bastante profundo ya que revolucionará la vida de las personas debido a que se podrán realizar cosas imposibles hasta hace algún tiempo atrás, y gracias al avance tecnológico continuo será posible automatizar la mayoría de cosas que el ser humano actualmente lo hace de manera manual.

El internet móvil, se enfoca en la experiencia del usuario, esto causará un crecimiento de manera exponencial de tráfico móvil, se dará gracias a las mejoras constantes en el campo tecnológico y será una revolución en las comunicaciones móviles y en la industria de las telecomunicaciones en general. Para este año y los que se avecinan, se prevé tener una mayor cantidad de usuarios que contraten servicios de Ultra high definition (UHD), por poner un ejemplo bastante básico el video en 8K, necesita una velocidad de transmisión de 1Gbps, a futuro se espera que toda la información se encuentre en la nube, y el número de dispositivos conectados llegue fácilmente a una cifra cercana a los 10 billones para 2020.

En la figura 49, se puede observar el crecimiento de dispositivos conectados a nivel global siendo en el año 2010 de 5 billones de dispositivos, en este año 2020 ya se tiene cerca de 10 billones de dispositivos y para el año 2030 será aproximadamente 18 billones de dispositivos conectados.

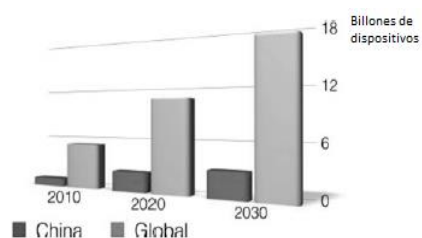


Figura 49. Crecimiento de número de dispositivos conectados 2010-2030

Adaptado de: (Xiang & Zheng, 2018)

Por otra parte, IoT ha ampliado el alcance de las comunicaciones móviles ya que estamos a punto de vivir una era gracias al avance de la tecnología con aplicaciones que eran inalcanzables hasta hace algunos años atrás.

Los casos de uso de IoT, supondrán un reto para las comunicaciones móviles y los potenciales son los siguientes:

Redes inteligentes: Es un conjunto de nuevas tecnologías que abarcan las exigencias actuales en el manejo y la distribución de la electricidad.

Agricultura inteligente: Es el uso de la tecnología para poder recopilar, analizar y almacenar información de manera rápida y efectiva hacia el agricultor.

Manipulación de objetos de manera remota: Es poder manejar diferentes objetos sin la necesidad de tener que estar presencialmente en dicho lugar, para ello se suele utilizar software.

Internet de vehículos: Es el hecho de tener información en tiempo real con datos del internet de cosas como la hora, temperatura, velocidad, tráfico, etc.

Wearables: Son dispositivos que se los lleva puesto en alguna parte del cuerpo y que se conectan con otros para realizar alguna acción específica.

Control industrial: Es cuando se puede manejar las diferentes industrias de manera remota, por decir algo saber el estado de las sucursales de la empresa sin necesidad de estar allá de forma presencial.

Ciudades inteligentes: Es el uso de manera eficiente de tecnología de última generación con la finalidad de una mejora en la calidad de vida de las personas.

Transporte inteligente: Está enfocado al uso de la tecnología para un manejo eficiente del transporte permitiendo tener un control en tiempo real con el afán de tener una mejor seguridad y la operación.

Casa inteligente: Es el uso de la tecnología para conectar diferentes ambientes del hogar como iluminación, climatización, uso de electrodomésticos utilizando el internet y pudiendo controlarlos de manera remota.

La quinta generación, será mucho más flexible y escalable en comparación con las generaciones anteriores, eso permitirá también satisfacer la demanda de los clientes y reducir costos, por otro lado, en este punto entra la parte ambiental donde se requiere tener redes de telecomunicaciones verdes que aprovechan los recursos naturales como el sol y el agua y hacen énfasis en utilizar materiales

bio-degradables y se utiliza material reciclado para volverlo a utilizar y para ello se debe hacer uso de la energía de la manera más eficiente posible.

Los retos de la 5G, son varios y lo que se quiere lograr es convertirla en la generación celular más avanzada tecnológicamente hablando, por lo que se debe considerar los siguientes puntos:

- Velocidad de datos, experimentada por el usuario, 20 veces mayor que la cuarta generación.
- Latencia 10 veces menor comparada con la cuarta generación
- Densidad de conexiones: Un millón de conexiones por kilómetro cuadrado
- Eficiencia espectral 3 veces más con respecto a la cuarta generación
- La infraestructura se planea que se compartan muchos componentes con la anterior generación celular.
- Las técnicas de acceso que se proponen utilizar son: NOMA y SC-FDMA.
- La modulación se pretende que sea FBMC-OQAM.
- La infraestructura, al igual que las anteriores generaciones, será de tipo digital utilizando la tecnología C-RAN.
- La frecuencia con el afán de garantizar una mayor cobertura con respecto a las anteriores generaciones, se pretende que sea de 1 GHz hasta 4GHz para el rango bajo y también el rango medio entre los 3 GHz y los 6GHz.

3.4.3. La infraestructura en 5G

En este punto la infraestructura, dará lugar a redes heterogéneas donde se combinarán diferentes tecnologías y así poder crear una estructura de comunicación única, por lo que sin duda alguna habrá una gama de tecnologías y que deberán poder llevarse bien y en armonía.

También nacen nuevos conceptos que se conocen como Redes definidas por software (SDN) que son técnicas que permiten el manejo de la red de manera segura, escalable sin necesidad de estar cerca de los equipos físicamente y Virtualización de funciones de red (NFV) que es la sustitución de equipos tales como routers, switches y firewalls utilizando máquinas virtuales.

En la figura 50, se puede observar la infraestructura de la 5G, donde se tiene una arquitectura mucho más plana con respecto a la 4G, donde se tienen tres

capas: la capa de recursos de infraestructura, habilitación de negocio y aplicación de negocio.

La capa de recursos de infraestructura, cuenta con los recursos físicos de la red convergente móvil, donde se encuentran varios dispositivos como teléfonos inteligentes, *wearables*, nodos de acceso, nodos de red, mismos que pueden ser configurados y actuar como recursos de computación, recursos de almacenamiento o incluso como un *hub* según sea el caso o la necesidad que se tenga.

La capa de habilitación de negocio cuenta con una librería con todas las funciones que requiere una red convergente en forma de bloques, y también tiene parámetros de configuración para partes específicas de la red.

La capa de aplicación de negocio, en cambio cuenta con aplicaciones y servicios del operador y de entidades que utilizan la red 5G.

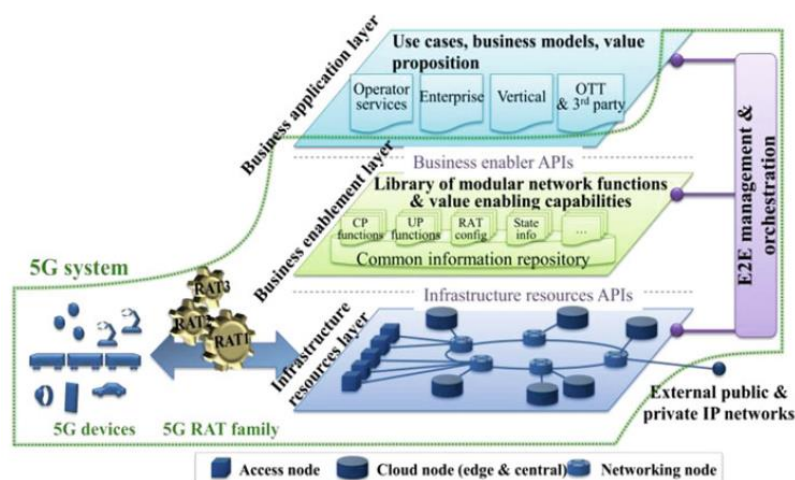


Figura 50. Arquitectura 5G

Tomado de: (User-Centric Wireless Network for 5G, 2019)

3.4.4. Servicios posibles en 5G

En la figura 51, se observa todos los posibles servicios que se van a ofrecer con la 5G, como son los siguientes: Oficina en la nube, TV interactiva, realidad virtual, juegos en línea, realidad aumentada, uso médico, uso en industrias de logística, sensores inteligentes, a la vez que se encuentran compartiendo usos con tecnologías como la 2G, 3G y 4G con sus aplicaciones conocidas como datos, voz y video.

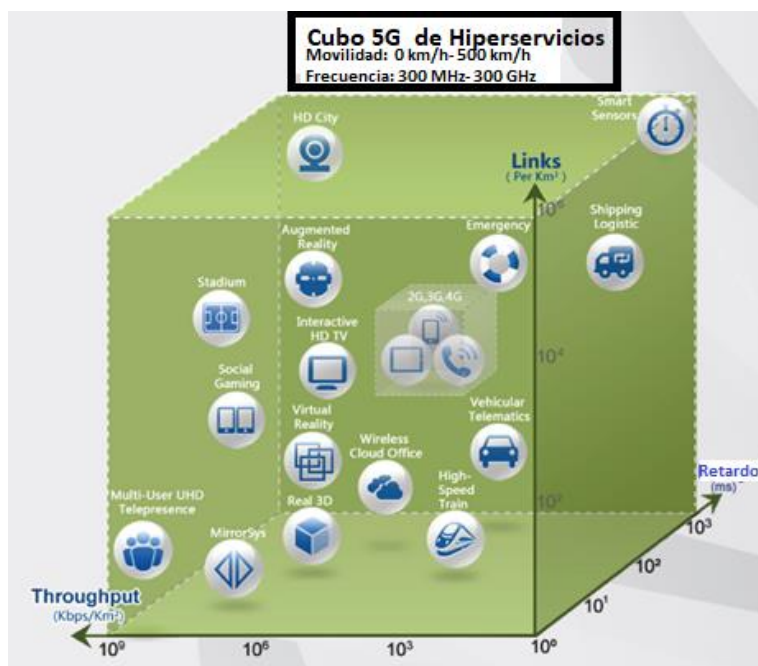


Figura 51. Servicios y escenario de requerimientos en 5G

Adaptado de: (Huawei, 2019)

3.5.5G en el Ecuador

La quinta generación se espera que llegue a Ecuador formalmente para el año 2023, en donde se tiene una serie de opciones para la implementación de 5G que son las siguientes: Arreglo de antenas (MIMO), *beamforming* que es una técnica donde se realiza el manejo de la señal de radiofrecuencia para ello se hace uso de un punto de acceso con la característica que tiene varias antenas para poder realizar la transmisión de la misma señal, y por último el uso de pequeñas células que se unen a las macro celdas eso con la finalidad de realizar la distribución del tráfico de la telefonía celular, se mantiene con ello una alta calidad de servicio debido a que se reutiliza el espectro de manera eficiente.

El uso del espectro radioeléctrico es un punto importante para poder lograr la implementación de la 5G. En el año 2018 se comenzó a realizar la subasta del espectro en diferentes países del mundo, el rango bajo es el más deseado; de 1 GHz hasta 4GHz y también el rango medio que oscila entre los 3 GHz y los 6GHz, vale recalcar que en Ecuador aún no se realiza la venta del espectro y está previsto que se lo realice en los próximos años, eso se debe a que necesita

concesionar las bandas de frecuencia y para ello se debe tener presupuesto. La asignación del espectro radioeléctrico en Ecuador está regulado por el Estado Ecuatoriano en base a los Artículos 2, 13 y 48 de la Ley Especial de telecomunicaciones reformada y el Artículo 314 de la Constitución de la República del Ecuador.

La figura 52, muestra el ecosistema de lo que sería 5G en Ecuador, en donde se pueden visualizar varios aspectos como son las bandas posibles a utilizarse siendo la de 700 MHz y 2,5 GHz, se pretende también utilizar arreglos de antenas (MIMO) así también como el uso de pequeñas células mismas que serán ubicadas en puntos estratégicos. Será un uso de frecuencias bajas pero se deberá tener frecuencias altas también para poder aumentar la velocidad y la capacidad en la red.

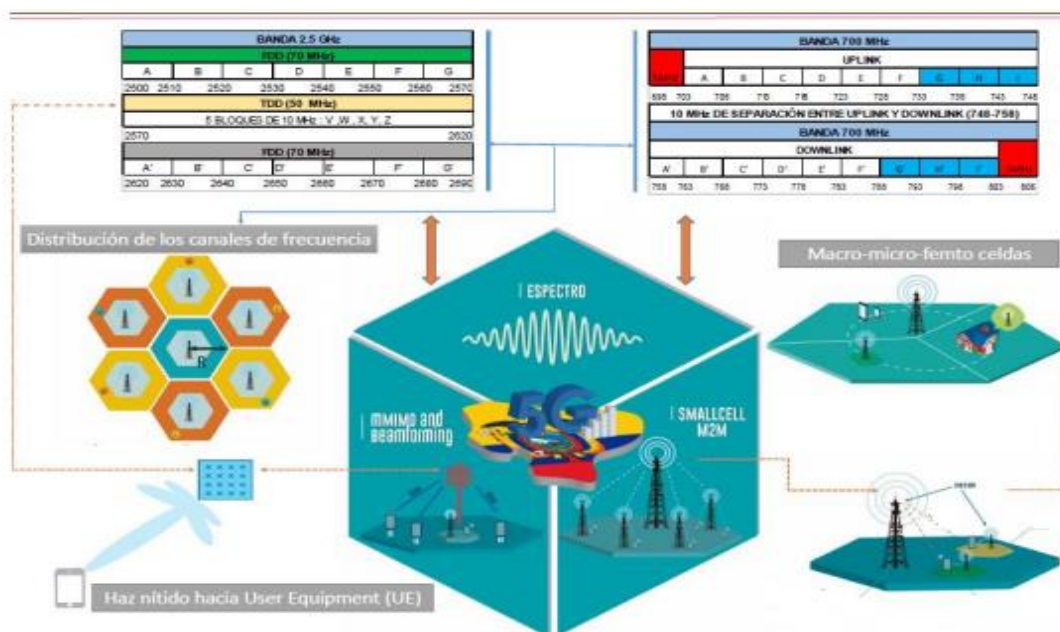


Figura 52. Ecosistema de 5G en Ecuador

Tomado de: (Garcia & Tigrero, 2019)

3.6. Coexistencia de 4G y 5G

Las tecnologías 4G y 5G, van a coexistir entre ellas debido a que se va a compartir algunas cosas que se las va a detallar a continuación y eso puede ser visible en los indicadores de desempeño de técnicas de acceso, modulación e infraestructura, etc.

Las tecnologías de acceso de radio han evolucionado, y la cuarta generación, se ha caracterizado por tener los siguientes esquemas de acceso múltiple como son OFDMA para el *downlink* y SC-FDMA para el *uplink*, y las potenciales aplicaciones como son computación en la nube han hecho que necesariamente evolucionen.

En este punto las técnicas de acceso múltiple ortogonales han sido una elección acertada a lo largo de los años debido a que han mantenido un buen performance en el *throughput* que es el volumen de información que se mueve a través de la red, siendo un candidato potencial el uso de Acceso múltiple no ortogonal (NOMA) en la quinta generación.

Las tecnologías claves para que esto se llegue a lograr son OFDM y MIMO, esto surge de la necesidad de tener velocidad de datos mucho más alta, y capacidad mejorada, en el último tiempo lo que realmente se ha necesitado es tener mayor espectro, eso en gran parte se debe a la creciente cantidad de personas que se conectan y usan las redes necesitando aumentar la capacidad en ancho de banda para poder utilizar distintas aplicaciones con una gran cantidad de dispositivos como son teléfonos celulares, tabletas, ordenadores portátiles, etc. La demanda de tener altas velocidades, mejor calidad de servicio, reduciendo costos, han hecho que el mejor camino para lograrlo es incrementando la eficiencia espectral, por ello también para llegar a tener una tecnología de quinta generación que cumpla con todas las peticiones de los usuarios, por ello han comenzado a nacer nuevas tecnologías como es máquina a máquina (M2M) y el IoT, piezas sumamente importantes en el rompecabezas de hacia donde se quiere llegar realmente con la 5G.

Los esquemas de modulación han evolucionado a lo largo de los años con la premisa de tener un aumento en la velocidad de transmisión, OFDM es considerada la técnica clave en la cuarta generación celular.

Por ello para esta nueva generación lo que se pretende tener es *OFDM/Offset Quadrature Amplitude Modulation (OQAM)*, su funcionamiento es por medio del descarte del intervalo de guarda, uno de los beneficios de esto es que se reduce la interferencia inter-simbólica que es cuando los símbolos se dispersan e interfieren con símbolos vecinos, por otro lado el uso de técnicas no ortogonales

permite la disminución de la interferencia entre portadoras.

La infraestructura en la 5G, debe asegurar que pueda satisfacer una serie de requerimientos entre los que se encuentran los siguientes:

Reducir la latencia y estar en 1ms para su uso en aplicaciones críticas donde las transmisiones en tiempo real son requeridas, un ejemplo claro de esto es la telemedicina.

Mejorar la fiabilidad de las comunicaciones *Wireless* misma que se define como la probabilidad de que una determinada cantidad de datos desde y hacia el usuario final haya sido transmitida hacia otra instancia en un intervalo de tiempo predeterminado.

Asegurar la disponibilidad de las redes, eso se consigue extendiendo el área de cobertura, con la finalidad de que aplicaciones críticas no estén fuera de servicio cuando se las necesite.

Garantizar la interoperabilidad de tecnologías heterogéneas, sobretodo en un mundo hiperconectado con seres humanos, máquinas y cosas con una gran variedad de aplicaciones, dispositivos y tecnologías de radio.

Incrementar el número de dispositivos conectados en un factor de 100 con respecto a la red LTE.

Aumentar la eficiencia energética para disminuir el consumo de energía y costos de operación de la red.

3.6.1. Coexistencia de LTE eMTC y tecnología 5G New Radio

Las tecnologías 4G y 5G van a coexistir y en este punto se va a describir a profundidad como la tecnología *New radio* puede continuar brindando soporte a dispositivos con eMTC y para que tengan un correcto funcionamiento las mismas deben ser implementadas de manera adecuada.

El uso de eMTC está orientado a compartir con IoT, donde pueden tener dispositivos de bajo costo y debe poder satisfacer las siguientes necesidades:

1. Baja complejidad y dispositivos de IoT económicos.
2. Tener un data rate de 160 bits por segundo en la capa de aplicación.
3. La duración de la batería debe ser mayor a 10 años.
4. Alguno de los casos de usos de IoT que soportan el uso de eMTC y *New*

Radio pueden ser: semáforos en las ciudades, sensores, control de acceso en edificios, video y voz.

La tecnología de New radio, fue estandarizada por la 3GPP en el *Release 15*, con la finalidad de cubrir ciertos escenarios como *Mobile broadband avanzado (eMBB)*, comunicaciones de ultra baja latencia (URLLC) y también de *Massive machine type communications (mMTC)*, esto permite el despliegue de la red con algunas características de: configurabilidad, escalabilidad, facilidad de despliegue y bajos costos, por otra parte se debe tomar en cuenta que New Radio, debe soportar el requerimiento de tener densidad de conexión de un millón de dispositivos por kilómetro cuadrado en un ambiente urbano.

3GPP como organización, va a continuar brindando soporte a dispositivos IoT de 4G y por ello estos dispositivos se pretenden desplegar en la misma portadora de *New Radio*, esto a su vez permite que se pueda realizar una migración del espectro de LTE para el despliegue de *New Radio*.

3.6.2. Una visión de New Radio

La tecnología New radio, utiliza OFDM y tiene una estructura flexible para poder soportar los diferentes casos de uso, eso permite poder desplegar esta tecnología en diferentes bandas de frecuencia y para diferentes anchos de banda según sea la necesidad que se tenga, se utiliza ancho de banda mayor a 400 MHz por portadora para poder aprovechar al máximo el espectro disponible, en contraparte para poder utilizar ancho de banda más pequeños se necesita de subportadoras.

Tabla 8. Rango de frecuencias soportado en New Radio

Designación de rango de frecuencias	Rango correspondiente de frecuencias (MHz)	Espacio entre subportadoras soportado (kHz)
Frecuencia 1	450 MHz- 6000 MHz	15, 30, 60 kHz
Frecuencia 2	24250 MHz- 52600 MHz	60, 120 kHz

3.6.3. Coexistencia con 5G New Radio

Los diferentes servicios que se pueden ofrecer utilizando tecnología New radio en conjunto con eMTC se podrían ofrecer utilizando la misma banda, sin embargo son consideradas portadoras independientes; por otra parte un posible escenario que se puede desplegar es cuando la portadora LTE hace *refarming* que es la reutilización de frecuencias con la tecnología New radio, pero con la necesidad de brindar soporte a diferentes servicios IoT ya existentes.

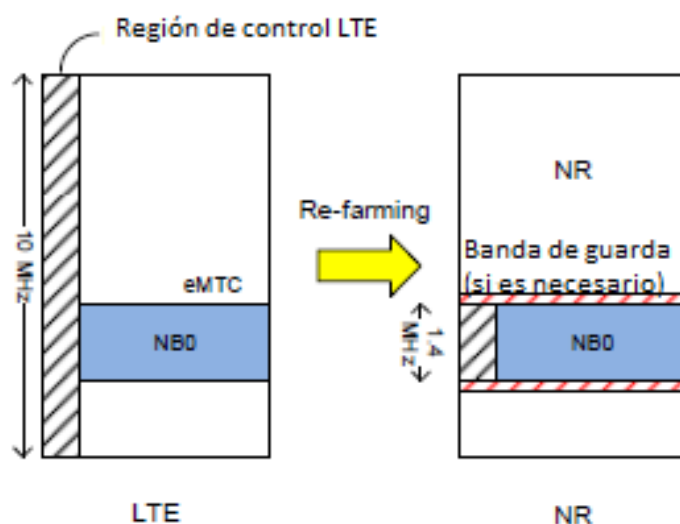


Figura 53. LTE refarming con New Radio

Adaptado de: (Bhatoolaul, Mangalvedhe, & Rapeepat, 2019)

Se requieren de dos métodos importantes para poder mejorar el rendimiento de la coexistencia de las tecnologías eMTC y New radio, y estos son los siguientes: reserva de recursos y *puncturing*.

La reserva de recursos de eMTC, permiten guardar tiempo y frecuencia para su despliegue, y eso sería lo que permite una mejor coexistencia en conjunto con *New Radio*, lo que a su vez ayudaría para poder utilizarlos en diversos casos de uso.

En cambio el *puncturing*, es cuando se perfora recursos cercanos a la sub-portadora eso hace posible tener compatibilidad con elementos antiguos de tecnologías anteriores; la tecnología 5G está bien encaminada para proveer

soporte a los diferentes servicios IoT que utilizan dispositivos eMTC que están basados en 4G.

3.6.4. Coexistencia entre LTE *uplink* y 5G *New Radio*

En este punto se va a analizar el rendimiento de tener 5G *New radio*, y LTE trabajando por un mismo canal en común, la necesidad de tener sub-portadoras y el efecto de tener bandas de guarda en el dominio de la frecuencia, el escenario para propósitos de análisis es el de tener un canal LTE de 20 MHz, lo que consiste en dividir 10 MHz para LTE y 10 MHz para 5G *New Radio*, en la figura 54, se observa la compartición de canal entre LTE y 5G *New Radio*.

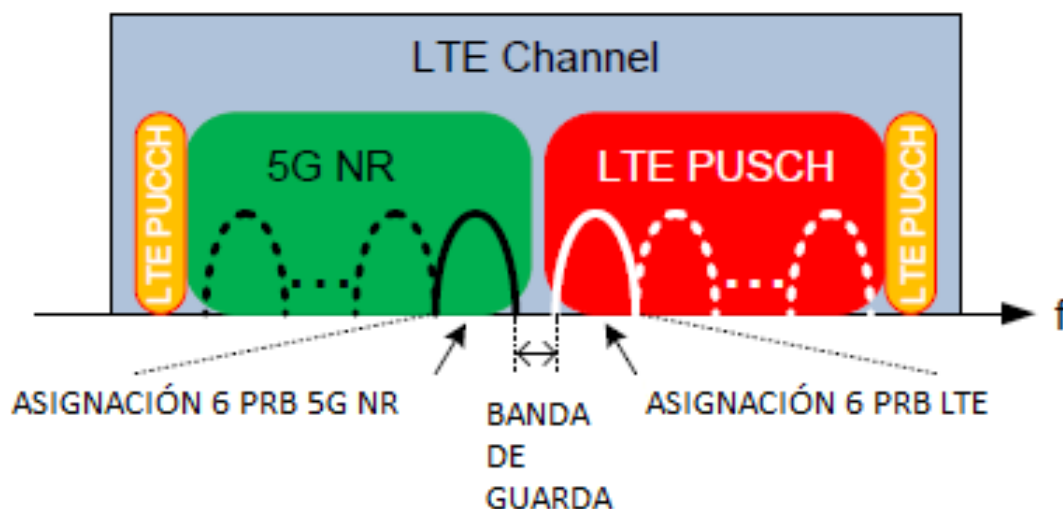


Figura 54. Compartición de canal entre LTE y 5G New Radio

Adaptado de: (Kaikkonem, et al., 2018)

3.6.4.1. Escenarios de coexistencia

Los escenarios de coexistencia entre LTE *uplink* y 5G *New radio* pueden ser analizados con diferentes tipos de modulaciones como QPSK y QAM donde se puede visualizar el rendimiento de las señales en cuestión, en las siguientes figuras, se observan los escenarios de dos señales QPSK y 16-QAM.

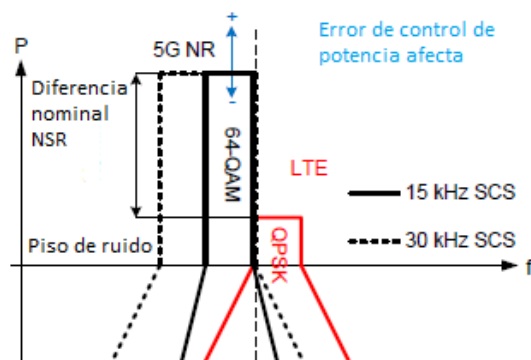


Figura 55. Señal QPSK modulada

Adaptado de: (Kaikkonem, et al., 2018)

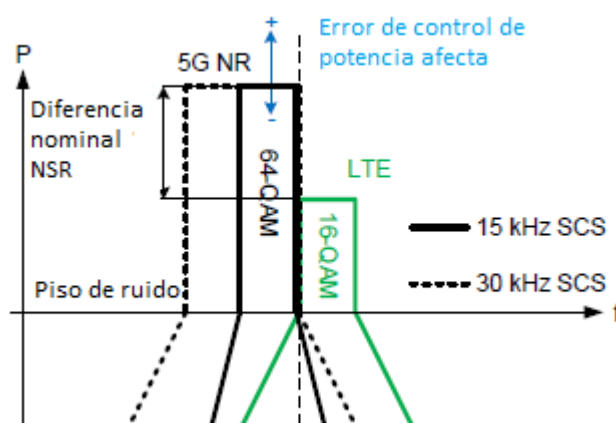


Figura 56. Señal 16-QAM modulada (LTE) es interferida por 5G New radio

Adaptado de: (Kaikkonem, et al., 2018)

El rendimiento varía pero no mucho cuando se usa 15kHz Y 30kHz de banda de guarda en la utilización en conjunto de LTE y de 5G *New radio*, además el *throughput* de 5G *New radio* es robusto comparado con la interferencia inducida que presenta LTE y tiene una forma de onda mejorada, y estas dos tecnologías previamente mencionadas en conjunto pueden tener un mejor rendimiento donde juega un papel clave OFDM gracias a su ortogonalidad. Se tiene que para la coexistencia entre NR y LTE, por una parte tanto para el *downlink* como para el *uplink* se encuentren coexistiendo para el mismo ancho de banda, en contraparte, el otro escenario posible es que solo para el *uplink*, NR y LTE coexistan en el mismo ancho de banda.

3.6.5. Arquitectura NSA vs arquitectura SA

La 5G se basa en la arquitectura conocida como *Non-stand alone (NSA)*, donde la red de acceso de radio 5G (AN) y la interfaz de *New radio (NR)*, van a coexistir con LTE y la infraestructura de la red de *core (EPC)* que se compone por 4G radio y 4G *core*, lo que permitirá que la tecnología NR pueda estar disponible sin la necesidad de reemplazar la arquitectura de red; por otra parte la arquitectura *Stand alone (SA)*, es donde la tecnología NR es conectada con la red de *core* de 5G.

En la figura 57, se observa la arquitectura NSA, la estación base de 5G (en-gNB) se conecta directamente con la estación base LTE de 5G (eNB) utilizando la interfaz conocida como X2, esta interfaz aparece en la *release 15* de la 3GPP para poder conectar dos eNBs y es posible conectar también un en-gNB y un eNB como en este caso. Esta arquitectura soporta conectividad dual entre las redes de acceso de 4G y 5G. El eNB de 4G es el nodo master mientras que el en-gNB de 5G es el nodo secundario.

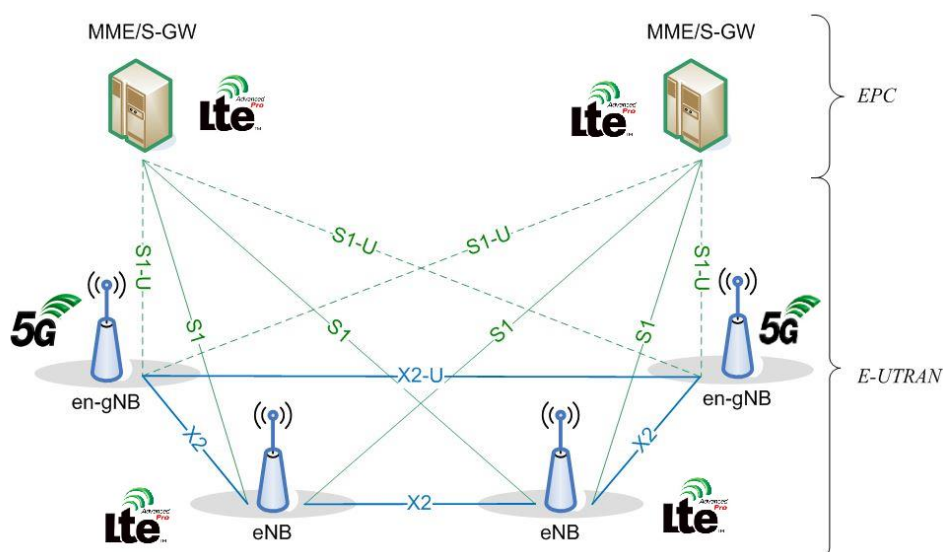


Figura 57. Arquitectura NSA

Tomado de: (3GPP, 2019)

En la figura 58, se observa la arquitectura SA en donde la red 5G opera de manera independiente sin necesidad de tener alguna componente de la red 4G, la estación base de NR (gNB) en este caso se conecta con otra utilizando la

interfaz conocida como Xn, por otra parte la red de acceso conocida como (NG-RAN), se conecta con la red conocida como 5GC utilizando la interfaz NG.

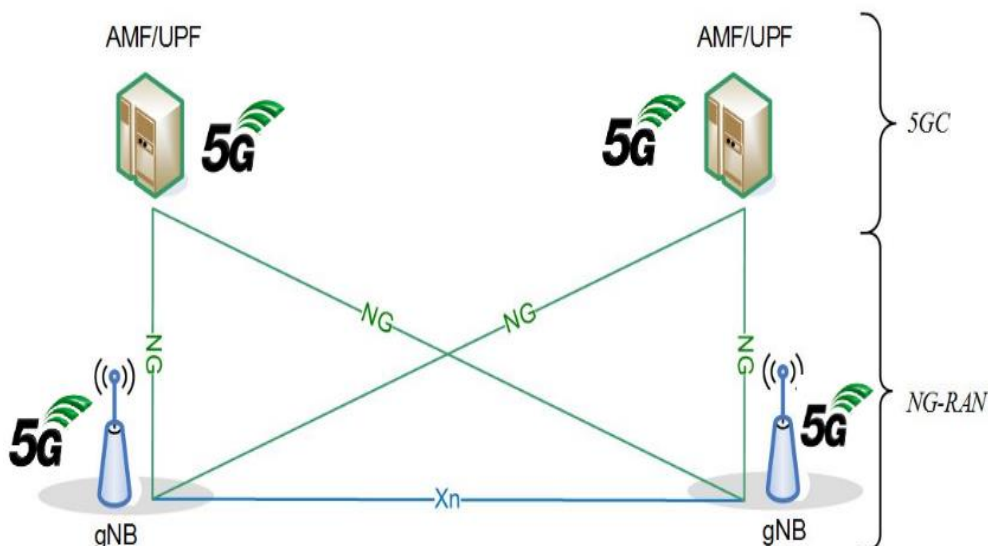


Figura 58. Arquitectura SA

Tomado de: (3GPP, 2019)

La conectividad entre la red de acceso 4G y la red de core de 5G, permite tener una migración ordenada y a su vez también, es posible utilizar nuevas funcionalidades como Calidad de servicio (QoS), mejoras de movilidad, transporte de mensajes, control de acceso unificado, marco de seguridad en 5G, entre otros.

4. Capítulo IV. Impacto de la tecnología 5G en el Ecuador

4.1. La tecnología 5G y su impacto tecnológico

La tecnología de quinta generación, está llegando a diferentes partes del mundo con la finalidad de revolucionar las comunicaciones móviles en general, se tendrá una mayor velocidad de conexión y se pretende tener millones de dispositivos conectados a la vez, esto cambiará la forma en la que nos comunicamos con las demás personas, permitirá el manejo de grandes volúmenes de información, y con el IoT y la Industria 4.0 permitirá la interacción humano-tecnología como nunca antes se había visto.

El aliado principal de la 5G, es la alta velocidad se pretende que sea 10 veces

más rápida que conexiones con 4G, también la latencia es otro punto que va a evolucionar de manera considerable que se espera que sea entre 5 milisegundos a 10 milisegundos, algo que no perciben las personas pero que es crítico en sistemas como vehículos autónomos o telemedicina solo por poner algunos ejemplos.

4.2. La tecnología 5G y su impacto económico

La 5G, permitirá entre otras cosas, la conexión simultánea de dispositivos en tiempo real y de esa manera se podrá compartir información y será parte del día a día de las personas. Al país, se pretende que la tecnología llegue en el año 2023, no sin antes tener que superar algunos obstáculos como masificar la red 4G en el país, bajar impuestos en los teléfonos inteligentes con el fin de que más personas puedan acceder a ellos, pero más crítico aún está el reto de superar la brecha digital que existe en el país; por otro lado, según el ministerio de telecomunicaciones, en la actualidad se encuentran asignados 280 MHz de un total de 1060 MHz, sin embargo, según la UIT, los países que requieran tener la red 5G deberán entregar un espectro de al menos 1300 MHz.

Una de las áreas que tendrá mayor impacto de la tecnología 5G en el Ecuador, sin duda alguna será la economía, ya que es bastante costoso tener las licencias de las frecuencias que se requieren, pueden llegar a tener un costo por lo bajo de unos 150 millones de dólares, incluso más caro en comparación con otros países como Chile, Perú y Estados Unidos, fuera de eso se deben considerar otros gastos como por ejemplo el cambio de la infraestructura de la red.

Para 2035 se estima que 5G, dará lugar a 22 millones de empleos a nivel mundial y servirá como contribución de alrededor de 2,2 billones de dólares a la economía mundial en varios sectores como la industria, servicios públicos, servicios financieros se verán beneficiados con esta tecnología en gran medida, siendo el desarrollo del IoT, la inteligencia artificial y el big data un punto clave a la hora del desarrollo económico mundial debido a que contribuirá en gran medida con las industrias, servicios financieros, servicios públicos, entre otros, debido a que se automatizarán procesos y permitirá una mejor gestión y control de las mismas de manera remota sin necesidad de estar presente en el lugar físicamente,

además que se podrán manejar datos en tiempo real . 5G para el año 2025 significará el 15 % de las conexiones móviles a nivel global, ya que para ese entonces habrá millones de dispositivos que soporten 5G.

4.3. La tecnología 5G y su impacto social

El impacto en la sociedad será bastante profundo debido a que cambiará la vida de las personas debido a que se podrán hacer cosas de manera mucho más sencilla, todo estará al alcance de la mano a un click de distancia, facilitará el desarrollo de actividades cotidianas y permitirá la compartición de grandes cantidades de información. En el Ecuador, se espera que la tecnología 5G mejore la velocidad de conexión, se tenga una mejora en la cobertura teniéndola en las mayores partes del país, mejorando el estilo de vida de las personas en general debido a que casi todo estará conectado al internet; por otro lado, a nivel empresarial la 5G contribuirá mucho en los negocios, en donde permitirá el despunte de la inteligencia artificial debido a que las máquinas serán capaces de interpretar el lenguaje humano y realizar acciones según se necesite , y en donde campos como la educación, la medicina y el comercio serán los que más puedan aprovechar 5G ya que permitirá el uso de la tecnología al máximo y aumentará la productividad de los trabajadores, incentivando el uso de teletrabajo y se podrán realizar cosas sin necesidad de estar presencialmente, varios ejemplos de ello es la realización de una cirugía donde el paciente se encuentra a miles de kilómetros de distancia, o seguir una carrera a distancia en otro país, o realizar un pedido en línea en locales en otro lugar desde la comodidad del hogar.

Con la 5G se espera que haya una revolución tecnológica total a otro nivel que automatizará la forma de realizar las cosas de las personas en la vida cotidiana y todo será mucho más sencillo. Entre las potenciales aplicaciones tenemos: IoT, realidad virtual, vehículos autónomos, la industria 4.0 entre las más importantes, para ello se debe tener una red que sea versátil, flexible y con un gran ancho de banda con la finalidad no solo de mantener conectadas a las personas en todo momento sino que también permitirá conectar a los objetos como son refrigeradoras, aspiradoras, lavadoras, entre otros.

En Ecuador realmente se debe esperar unos años más para que esto sea una realidad, en primera instancia se debería consolidar el uso de 4G en todo el país y luego de ello con un estudio previo identificar si la 5G realmente va a ser usado en todo su potencial y no exista un desperdicio de la tecnología.

4.4. El internet de las cosas

Mejor conocido como IoT, permitirá la conexión de los dispositivos desde cualquier lugar en cualquier momento, será posible el intercambio de la información entre el mundo real, el número de dispositivos conectados a la red aumentan cada vez más. En IoT son una serie de dispositivos que cuentan con sensores, a su vez tiene una unidad de procesamiento que puede ser alojada en la nube, cuenta además con una infraestructura de comunicación, y sistemas que invocan las acciones a realizar utilizando un sistema de toma de decisiones, por otra parte permite que objetos reales se conecten entre si y posean de una inteligencias que permita el procesamiento de información de manera adecuada, esto hace posible que se tengan aplicaciones y la ebullición de varios servicios que hasta hace algún tiempo atrás era impensado que algún día iban a ver la luz.



Figura 59. Escenario genérico del IoT

Adaptado de: (Khan, n.d.)

En la figura 59, se observa el escenario genérico del IoT, donde se encuentran las siguientes aplicaciones y servicios: ordenadores, agricultura inteligente, correo postal inteligente, medicina inteligente, hogar inteligente, televisión, refrigeradoras, teléfonos IP, teléfonos inteligentes, tabletas y tienen algo en común, que todos se encuentran conectados al internet.

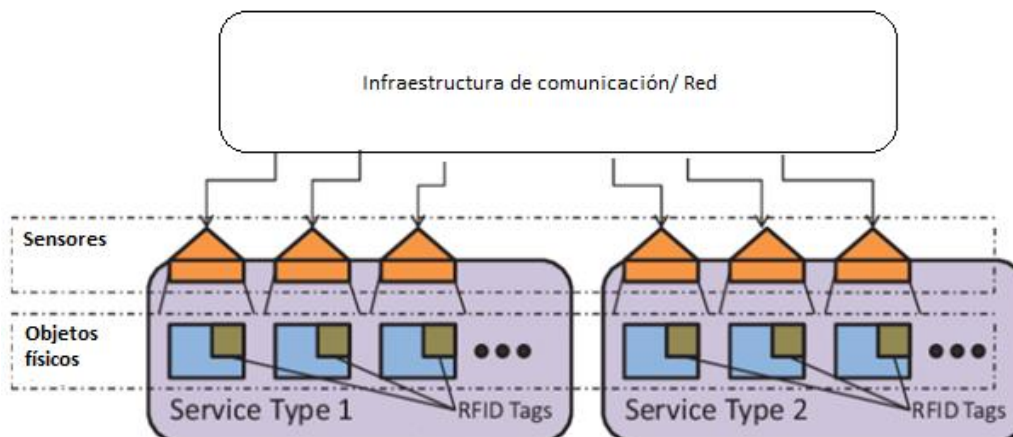


Figura 60. Red básica de IOT

Adaptado de: (Khan, n.d.)

En la figura 60, se observa la red básica de IOT, misma que tiene diferentes tipos de servicios, y son conectados por medio de los objetos del mundo real, estos utilizan sensores y se enlazan con la red de comunicación.

El internet de las cosas, utiliza una serie de tecnologías que permiten que los objetos del mundo real, sean identificados de manera única en el internet, las tecnologías involucradas son las siguientes:

Identificación por radio frecuencia (RFID): Es una tecnología que realiza la transferencia de la identidad de los objetos y de las personas por medio de un número serial único utilizando ondas de radio.

Wifi: Es una tecnología sin cables que permite la comunicación de varios dispositivos y es utilizado en su mayoría para conectar redes públicas como parques, plazas, hospitales, aeropuertos, aunque también se encuentran en dispositivos móviles, celulares y tabletas, entre otros.

Bluetooth: Es una tecnología de corto alcance para la transferencia de

información sin la necesidad de utilizar cables y se encuentra en dispositivos como tabletas, ordenadores portátiles, tabletas, impresoras.

Near field communication (NFC): Es una tecnología sin cables que permiten el intercambio de información utilizando un parche, funciona a una distancia superior a los 4 centímetros aproximadamente.

Inteligencia artificial (IA): Es una tecnología que tiene ambientes virtuales y electrónicos capaces de dar respuesta a los alrededores y a las personas.

IoT tiene posibles aplicaciones a futuro entre las que se encuentran las siguientes:

- Ciudades inteligentes
- Edificios inteligentes
- Aplicaciones industriales
- Aplicaciones médicas
- Agricultura
- Diseño de transporte inteligente

Las cuestiones claves para la implementación del IoT son algunas como: interoperabilidad y la estandarización para que los dispositivos fabricados entre diferentes empresas sean compatibles con otros; nombramiento y manejo de la identidad donde los identificadores de los objetos no se repitan; confidencialidad de la información para que los datos no puedan acceder otras personas; seguridad de los objetos para que los mismos no sean alterados físicamente o en su operación y consumo de energía bajo por parte de los dispositivos para que sean considerados como dispositivos verdes.

4.5. La industria 4.0

La industria 4.0, es la próxima revolución, donde se prevé la automatización de las industrias que ya han existido desde hace mucho tiempo, como la manufactura, se pretende poder interconectar y automatizar, hasta cierto punto se podría decir que lo que se desea lograr son industrias inteligentes en donde se considerarán algunos aspectos importantes como son: mejora de adaptabilidad, uso eficiente de recursos y la integración de diferentes procesos

entre las industrias, para poder lograr lo expuesto con anterioridad, la quinta generación celular (5G), es el aliado perfecto que reúne esos requerimientos.

En el último tiempo, la industria 4.0, ha sido un tema de interés, y es considerada la nueva revolución de las industrias y el objetivo principal es interconectar y computarizar las industrias tradicionales para mejorar aspectos como la adaptabilidad pero usando los recursos de manera eficiente. Uno de los componentes más importantes en la industria 4.0 es lo que se conoce como máquina a máquina (M2M) que va de la mano también del IoT, lo que resultará en la interacción de dispositivos y componentes físicos que estarán ubicados en distintas posiciones geográficas en las industrias.

En este punto entra en juego una coordinación muy entre diferentes plantas industriales, con la finalidad de lograr que todo el proceso de manufactura sea eficiente, con poco mantenimiento pero también no tenga caídas en el sistema. Para poder lograr esto se debe tener en cuenta que la industria 4.0, se enfoca en diferentes parámetros como: fiabilidad, latencia, longevidad de los dispositivos de comunicación; cabe recalcar que las industrias actualmente se basan en tener una infraestructura de conexiones por cable, pero eso está por cambiar muy pronto. Para poder tener comunicaciones inalámbricas en las industrias, lo que se requiere es tener una facilidad de despliegue y escalabilidad sobre todo en áreas de cobertura muy extensas.

La figura 61, muestra las tres principales capas de la Industria 4.0, la primera capa es la de aplicación/ inteligencia, donde se tiene la automatización de las aplicaciones industriales y por otra parte la coordinación de las cadenas de suministro mejor conocidas como *supply chain*. Un nivel inferior se tiene la capa de red, misma que consiste en las diferentes redes como son: red celular, red privada, red en la nube, internet, y por último se tiene la capa de entidades físicas misma que se compone de: sensores, dispositivos móviles como tabletas, celulares.

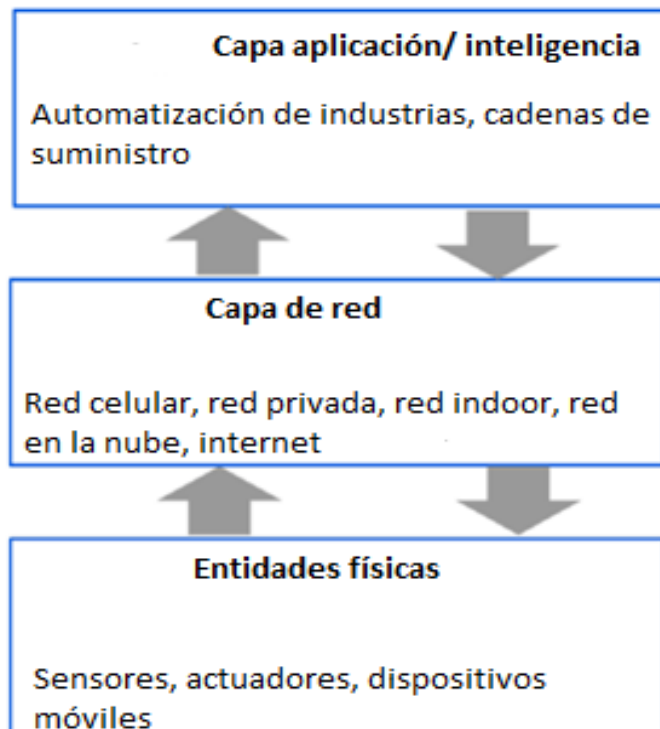


Figura 61. Capas de la industria 4.0

Adaptado de: (Tandur & Varghese, 2014)

4.6. Requerimientos en la era de la Industria 4.0

Para que la industria pueda ser una realidad, la comunicación juega un papel súper importante por lo que aquí entra en juego la quinta generación celular (5G) ya que permitirá formar parte de los requerimientos de máquina a máquina (M2M), eso es gracias a que la 5G, tiene una latencia muy baja y eso será de gran ayuda en el tema de seguridad y control de las industrias. En este punto la conectividad para M2M, necesitará que se soporten varios dispositivos conectados a la vez, además, se requiere que los dispositivos tengan baterías de larga duración, y por ende que se tengan mantenimientos de bajo costo también.

5G, en este punto también será de gran ayuda en permitir una experiencia de conectividad penetrante entre dispositivos que se ubican tanto en ambientes exteriores así también como en ambientes interiores, por lo que se necesitará de

tecnologías de acceso de radio para satisfacer los requerimientos y ser considerado industria 4.0.

En la tabla 9, se puede ver los requisitos de la quinta generación celular (5G), como latencia menor a 5ms, duración de la batería mayor a 10 años, fiabilidad del 99,99%, se espera que hayan millones de dispositivos conectados al mismo tiempo y la velocidad de datos esté entre 1 Gbps y los 10 Gbps, y que van de la mano con los requerimientos necesarios para la industria 4.0.

Tabla 9. Requerimientos de 5G, aplicables en la industria 4.0

Requerimientos	Valor deseado
Latencia	Menor a 5 ms
Duración de la batería	Mayor a 10 años
Fiabilidad	99,99%
Conectividad	Millones de dispositivos conectados
Velocidad de datos	1 a 10 Gbps

Los retos de la 5G, para poder satisfacer de los requisitos de la industria 4.0 sin duda alguna van de la mano por los tres criterios expuestos anteriormente: latencia, duración de la batería y fiabilidad y se podría decir que las redes *Wireless* con las que se cuenta en la actualidad no reúnen todos los requerimientos necesarios para la industria 4.0 por los que la 5G es la solución más viable para lograrlo.

4.7. La actualidad en Ecuador

Actualmente en Ecuador se está trabajando con un plan previsto que se cumpla para el año de 2021 conocido como internet para todos, mismo que consiste en que el 98 % de la población tenga conectividad, según el ministerio de telecomunicaciones, actualmente en 167 parroquias se cuenta con conexión 4G, ese rubro para 2021 se pretende que alcance 704 parroquias, por lo que 5 de cada 10 personas tendrán acceso a la tecnología 4G, eso a la postre viene con

beneficio para las empresas debido a que se estima que alrededor de 4300 trámites burocráticos sean realizados de manera digital a futuro. Para que la población del Ecuador tenga conectividad en 2021 se requiere que Claro, Movistar y CNT puedan compartir infraestructura utilizando una cifra cercana a las 475 torres para poder conectarse al internet. Para ello aquí se debe tomar en cuenta que la inversión de las operadoras móviles es de 500 millones para tres años comenzando por tener planes celulares desde un dólar para así atraer a los clientes. Uno de los sectores que se benefician con este plan es el de la educación digital puesto que con esto lo que se busca reducir es la brecha digital que existe actualmente en nuestro país. Sin embargo en comparación a otros países desarrollados como Estados Unidos aquí en Ecuador se tiene un retraso tecnológico de 15 años. Se espera asignar más espectro ya que actualmente solo se tiene asignado un 26 % del total, otro punto a tener en cuenta es que Ecuador es el segundo país en la región más costoso en cuanto a servicio móvil se refiere y eso se debe a todos los aranceles regulatorios que se tienen. A futuro se espera que cuando se pretenda tener 5G en el país, se tenga asignado otra región del espectro de frecuencias para aprovecharlo de mejor manera y las operadoras trabajen en conjunto para poder tener la 5G en el país en un plazo no menor a 2023.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

En este documento se hizo el análisis de la coexistencia de las tecnologías 4G y 5G, basándose en cada uno de sus indicadores de desempeño como: velocidad de transmisión, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura de las dos tecnologías.

De cada uno de los indicadores de desempeño de velocidad de transmisión, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura de las dos tecnologías se pudo observar la evolución de cada uno de ellos con la finalidad de brindar un servicio mejorado al usuario final y mejorar las prestaciones cada vez más en cada una de las generaciones celulares.

La velocidad de transmisión ha ido evolucionando desde orden de los kilobytes por segundo en las primeras generaciones celulares hasta lo que se espera alcanzar en la quinta generación con 10 Gigabits por segundo, la latencia en cambio con el paso de las generaciones celulares de forma contraria, ha ido reduciendo en cuanto a su tiempo se refiere empezando con una latencia de 1500 milisegundos a 500 milisegundos en la primera generación celular hasta lo que se tendrá de 1 milisegundo a 10 milisegundos en la quinta generación celular.

Las técnicas de acceso han ido evolucionando desde FDMA en la primera generación celular, pasando por TDMA, WCDMA, SC-FDMA hasta llegar a NOMA que es lo que se espera se tenga en la quinta generación celular, por otro lado la modulación ha cambiado de la modulación analógica hacia la modulación digital, por ello con la primera generación celular era la modulación GMSK, luego aparece la modulación por BPSK, para posteriormente tener modulación QPSK y en la cuarta generación se tiene lo que se conoce como modulación QAM.

Por otro lado, la infraestructura que ha aparecido en las diferentes generaciones celulares ha pasado desde la tecnología PSTN, luego de esto se encuentra la tecnología GSM, para dar paso de ahí a la tecnología UMTS y lo que se tiene hoy en día con la tecnología LTE en la cuarta generación celular.

La coexistencia de la tecnología 4G y 5G puede abarcar desde varios

escenarios. Para propósitos de análisis se hizo el estudio de la coexistencia de lo que se conoce como 5G *New radio* y los sistemas LTE, con lo que es posible tener un óptimo rendimiento debido al throughput que tiene 5G *New radio* y eso permite una alta robustez en comparación con la interferencia inducida por los sistemas LTE y las formas de onda mejoradas.

Por otra parte, se analizó la coexistencia entre LTE eMTC y 5G *New radio*, lo que permite el despliegue de una portadora eMTC y una portadora *New radio* y así disminuir posibles problemas que se presenten durante la implementación, por lo que la 5G podrá proveer un adecuado soporte a servicios como el IoT con dispositivos eMTC que funcionan con 4G.

5G *New radio*, en su diseño como tal está hecho para realizar la operación de manera flexible de LTE y coexistir entre las dos tecnologías, las bandas de frecuencias utilizadas en *New Radio* ya han sido utilizadas en LTE sin causar impacto en los dispositivos LTE heredados.

También se analizó la arquitectura NSA donde la 4G y la 5G van a coexistir debido a que se van a poder interconectar entre ellas por medio de sus radio bases utilizando la interfaz X2 específicamente, con conectividad dual.

Las tecnologías 4G y 5G sin duda alguna van a coexistir debido a que la 4G sirve como punto de partida para la 5G, la coexistencia de estas dos tecnologías se va a dar por algunos años hasta que se consolide en su totalidad la 5G, y se pueda independizar del 4G, aunque van a compartir recursos. La coexistencia de 4G y 5G en Ecuador significa un impacto económico elevado para el país debido a que se debe tener una nueva infraestructura y todo lo que ello conlleva, el impacto social será profundo debido que traerá grandes réditos para las personas a nivel general ya que se podrán hacer cosas, a nivel empresarial permitirá la automatización de procesos y facilitará y simplificará la vida de las personas en gran medida. Lo que se busca en Ecuador en este momento es consolidar la tecnología en el país y que más personas accedan a ella para después pensar en la 5G como tal.

La tecnología 5G sin duda revolucionará la vida de todas las personas, en Ecuador este cambio va a suceder dentro de unos años y así poder estar a la vanguardia de la tecnología, habrá un cambio económico y social, 5G tendrá

muchas aplicaciones como la telemedicina, vehículos autónomos, en donde se requiere que 5G sea de alta confiabilidad; por otra parte a nivel empresarial será una evolución en los servicios que se ofrecen actualmente, vendrá tomado de la mano de la industria 4.0 y del IoT sin dudarlo y con ello se podrá tener cosas inimaginables.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda entender a profundidad cada uno de los parámetros analizados en este trabajo para poder entender como la tecnología está evolucionando constantemente, estos parámetros son: velocidad de transmisión, latencia, técnicas de acceso, modulación e infraestructura y como su constante evolución a lo largo de las generaciones celulares, ha permitido brindar mejores y nuevos servicios pudiendo hacer uso desde cosas muy simples como establecer una llamada, enviar un mensaje de texto o establecer una video llamada hasta lo que se pretende realizar a futuro como tener vehículos autónomos o el Internet de las cosas.

Para poder introducir la nueva tecnología 5G en el Ecuador, es recomendable tener bien desplegada la tecnología 4G en todo el país y ver que usos reales se puede dar, actualmente no todo el país cuenta con conexiones 4G, se espera que para este año se tenga acceso a 4G para 6 millones de usuarios lo que no representa ni el 50 % de la población, por otro lado para que implementar 5G no quede en vano y se pueda sacar el máximo provecho de la tecnología, se debe hacer un estudio previo con la sociedad Ecuatoriana acerca de si conocen sobre la tecnología 5G, y saber si las personas están dispuestas a afrontar este cambio tomando en cuenta que entran varios aspectos en juego como es el tema económico que es en lo primero en lo que se fija el consumidor a la hora de decantarse o no por una nueva tecnología.

Se recomienda hacer un análisis económico profundo para saber si el presupuesto que tiene el país es el adecuado para poder implementar la tecnología 5G, ya que se debe tener en cuenta un sinnúmero de cosas por poner un ejemplo que se debe aumentar la capacidad de las antenas, cambiar componentes, aumentar radio bases, teniendo en cuenta que el consumo

energético de la red 5G es mucho mayor comparado con las redes 3G y 4G, por lo que para las operadoras móviles es todo un reto saber cómo conseguirán tener rentabilidad en la inversión del despliegue de la red 5G y todo lo que eso conlleva, sabiendo que los clientes no van a querer pagar más dinero por tener mayor velocidad.

Se recomienda estudiar el impacto social con más profundidad de la tecnología 5G en el Ecuador debido a que si la mayoría de personas cuentan actualmente con dispositivos que soportan la tecnología 4G y ofrecen los servicios que requieren los usuarios, se va a pensar dos veces si es que realmente vale la pena dar un paso más allá en el aspecto tecnológico debido a que esto conlleva sin dudarlos muchos beneficios para las personas pero también deja cosas que analizar como por ejemplo si realmente se va a utilizar en todo su potencial el dispositivo y no acarrear un desperdicio a nivel tecnológico sin aprovechar todas sus capacidades.

REFERENCIAS

6.

- 3GPP. (2017, Mayo 15). *Arquitectura UMTS*. Retrieved from <https://docplayer.es/8985722-Capitulo-2-arquitectura-y-protocolos-lte-claudia-milena-hernandez-bonilla-victor-manuel-quintero-florez.html>
- 3GPP. (2019). *Arquitectura NSA vs Arquitectura SA*. In *3rd Generation Partnership Project; Release 15* (p. 11).
- 3GPP. (2019). *Arquitectura NSA vs Arquitectura SA*. In *3rd Generation Partnership Project; Release 15* (p. 12).
- 3GPP. (2019, Septiembre). *Release 15*. Retrieved from https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/21_series/21.915/
- Alanis, O., & Meneses, S. (2013, Octubre 15). *Red GSM*. Retrieved from <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/5713/1/SENALIZNLAC E.pdf>
- Alegsa, L. (2019, enero 05). *Definición de red celular (o red móvil)*. Retrieved from http://www.alegsa.com.ar/Dic/red_celular.php
- Álvarez, M. (2015, Marzo 16). *Arquitectura funcional y protocolos*. Retrieved from <https://docplayer.es/3173926-Curso-lte-3-arquitectura-funcional-y-protocolos.html>
- Arcotel . (2018, diciembre 15). *Boletín estadístico*. Retrieved from https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-Diciembre-2018-v4_4.pdf
- Artiza Networks. (2019, febrero 23). *OFDMA*. Retrieved from <https://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/ofdma.html>
- Bhatooolaul, D., Mangalvedhe, R., & Rapeepat, R. (2019). Coexistence Analysis of LTE eMTC and 5G. *Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC): Track 3: Mobile*, (p. 3).
- Bhave, P., Kumar, P., Vipin, T., & Yadav, A. (2018, Septiembre 11). *Beam Division Multiple Access (BDMA) and modulation formats for 5G: Heir of OFDM*. Retrieved from [https://www.semanticscholar.org/paper/Beam-Division-Multiple-Access-\(BDMA\)-and-modulation-Dalela-Bhave/bc7537bf341d81b39b59c7621b25d45458e738b7](https://www.semanticscholar.org/paper/Beam-Division-Multiple-Access-(BDMA)-and-modulation-Dalela-Bhave/bc7537bf341d81b39b59c7621b25d45458e738b7)
- Birt. (n.d.). *Modulación digital*. Retrieved from https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ICTV/ICTV02/es_IEA_ICTV02_Contenido_s/website_552_modulacin_digital_qpsk.html
- Breacha Cero. (2020, Enero 12). *En la carrera por el 5G, no debemos ignorar la importancia del 4G*. Retrieved from <https://brechacero.com/en-la-carrera-por-el-5g-no-debemos-ignorar-la-importancia-de-4g/>
- Carreño, M. (2013, Agosto 28). *CDMA y TDMA*. Retrieved from <https://es.slideshare.net/ManuelCarreo/cdma-y-tdma>
- Carvajal, H. (2019, Marzo 23). *Introducción a los sistemas celulares*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Centralitas. (n.d.). *Escenario tradicional*. Retrieved from <https://centralizate.es/telefonía-ip/lineas-ip/>
- Cheon, J., & Cho, H. (2017, Octubre 5). *Power Allocation Scheme for Non-Orthogonal Multiple Access* . Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/The-difference-between-orthogonal-multiple-access-OMA-and-non-orthogonal-multiple_fig2_320680888
- Del Rosario, E. (2018, enero 03). *Modulación portadoras*. Retrieved from <http://blog.espol.edu.ec/estg1003/modulacion-bpsk-pmf/>

- DPL News. (2019, Octubre 16). *Claro inicia pruebas 5G en Ecuador*. Retrieved from <https://digitalpolicylaw.com/claro-inicia-pruebas-5g-en-ecuador/>
- Dunning, D. (2018, Junio 14). *Que es la modulación QPSK*. Retrieved from https://techlandia.com/modulacion-qpsk-info_270405/
- El Ettoreamici. (2018, junio 26). *Modulación en fase*. Retrieved from <https://www.elettoamici.org/es/modulazione-di-fase/>
- Elastix. (2018, Septiembre 9). *Interconexión a la PSTN*. Retrieved from <https://elastixtech.com/fundamentos-de-telefonía/interconexion-a-la-pstn/>
- Electronic Project Focus. (2016, Febrero 22). *Qué es la tecnología CDMA*. Retrieved from <https://www.elprocus.com/cdma-technology-working-applications/>
- García, J., & Tigrero, R. (2019). *5G en el Ecuador: Análisis y diseño de la infraestructura para dar soporte al ecosistema de 5G en el Ecuador. Ecosistema 5G en Ecuador*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Goel, A. (2018, Junio 15). *3GPP IoT Technologies Explained*. Retrieved from <https://engineering.eckovation.com/3gpp-iot-technologies-explained/>
- González, A., & Majano, R. (2015, Agosto 12). *Técnicas de acceso múltiple*. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12081/fichero/OFDMA+y+SC-FDMA+en+la+Interfaz+Radio+de+LTE%252F4.+T%C3%A9cnicas+de+acceso+m%C3%BAltiple.+OFDMA+y+SC-FDMA.pdf>
- Holma, H., & Toskala, A. (2009). Basic System Architecture Configuration with only E-UTRAN. In *LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access* (p. 25). Chichester: John Wiley & Sons.
- Huawei. (2019). Requisitos de rendimiento complejos. In *5G: A technology vision* (p. 4).
- Inga, E. (2010, Octubre 20). *Velocidad en generaciones celulares*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Velocidad-en-Generaciones-Celulares-y-la-vision-esperada-de-LTE-4G_fig3_257567337
- Inga, E. (2015). La telefonía móvil de cuarta generación y Long Term Evolution. *Ingenius: Revista de ciencia y tecnología*, 6.
- IPv6 Go. (2018, Junio 14). *Tutorial LTE*. Retrieved from <http://www.ipv6go.net/lte/scfdma.php>
- IPv6 Go. (n.d.). *Arquitectura de red LTE*. Retrieved from http://www.ipv6go.net/lte/arquitectura_red_lte.php
- IPv6Go. (2014, Mayo 5). *Arquitectura de red LTE*. Retrieved from http://www.ipv6go.net/lte/arquitectura_red_lte.php
- ITU Academy. (2014, Mayo 14). *Métodos de acceso múltiple*. Retrieved from https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Documents/Events2014/CI_Training_AMS_Campinas_May14/CI_ProgrammeTrainingCourseTestingMobileTerminal_es.pdf
- Kaikkonen, J., Nielsen, S., Levanen, T., Pajukoski, J., Renfors, M., & Valkama, M. (2018). 5G New Radio and LTE Uplink Coexistence. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, (p. 1).
- Khan, R. (n.d.). *The IoT generic scenario*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/The-IoT-generic-scenario_fig1_261311447
- Mcleod, D. (2016, mayo 16). *LTE*. Retrieved from <https://techcentral.co.za/vodacom-goes-live-with-lte-u/65278/>
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2019, Octubre 16). *Ecuador cuenta con la mayor velocidad de internet 4G LTE en América Latina*. Retrieved from <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-cuenta-con-la-mayor-velocidad-de-internet-4g-lte-en-america-latina/>
- Netgear. (2018, Diciembre 12). *Qué es el acceso múltiple de división de frecuencias ortogonal*. Retrieved from <https://kb.netgear.com/es/000059685/Qué-es-el-acceso-múltiple-de-división-de-frecuencias-ortogonal>

- Openstax. (2019, octubre 15). Retrieved from <https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/16-5-the-electromagnetic-spectrum>
- Panigrahi, P. (2009, Agosto 19). *WCDMA*. Retrieved from <http://www.3glteinfo.com/wcdma-physical-layer-principles-and-features/>
- Peña, R. V. (2018). *Desempeño de los métodos de detección de señales con modulación QPSK en sistema GFDM para 5G*. La Habana: Ediciones Futuro.
- Peñarrieta, D. (2019). Comunicaciones de largo alcance con tecnología TDMA. *Revista de tecnologías informática y las telecomunicaciones*, 4.
- Poirier, D. (2015, mayo 19). *GMSK Modulation*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-the-GMSK-modulation-a-Signal-envelope-after-GMSK-modulation-on_fig2_280889461
- Primicias. (2019, Octubre 16). *Ecuador comenzará con el desarrollo de 5G en 2021*. Retrieved from <https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/ecuador-desarrollo-5g-2021/>
- Radio Scanner. (2017, Mayo 9). *FSK, GFSK, MSK, GMSK y otros modos*. Retrieved from <http://signals.radioscanner.ru/info/item67/>
- Roumane, A. (2018, Mayo 20). *Diferencia entre OFDMA y SC-FDMA*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Difference-entre-OFDMA-et-SC-FDMA-6_fig4_308266132
- Salas, L. (2017, Octubre 22). Modulaciones analógicas.
- Sun, S. (2018, Agosto 9). *Is there just a carrier in each frequency band in FDMA*. Retrieved from <https://dsp.stackexchange.com/questions/51138/is-there-just-a-carrier-in-each-frequency-band-in-fdma>
- Tandur, D., & Varghese, A. (2014). Wireless requirements and challenges in Industry 4.0. *Conference on Contemporary Computing and Informatics*.
- Tecnología hecha palabra. (2007, Abril 23). *WCDMA*. Retrieved from http://tecnologiahechapalabra.com/tecnologia/glosario_tecnico/articulo.asp?i=839
- Tecnología-5G. (2019, Junio 14). *Noticias sobre 5G*. Retrieved from <https://www.tecnologia-5g.com/5g/>
- Telesemana. (2019, Octubre 16). *Panorama de mercado Ecuador*. Retrieved from <https://www.telesemana.com/panorama-de-mercado/ecuador/>
- Tigo. (2018, Mayo 5). *Conoce la diferencia entre capacidad, velocidad y latencia*. Retrieved from <https://ayuda.tigo.com.co/hc/es/articles/360009754433-Conoce-la-diferencia-entre-capacidad-velocidad-y-latencia-M%C3%B3vil>
- Unicrom. (2018, noviembre 01). *Amplitud modulada*. Retrieved from <https://unicrom.com/amplitud-modulada-am/>
- Universidad Internacional de Valencia. (2018, Marzo 21). *Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G*. Retrieved from <https://www.universidadviu.com/evolucion-la-red-comunicacion-movil-del-1g-al-5g/>
- Universidad Oberta de Catalunya. (n.d.). *International Telecommunication Union*. Retrieved from <http://biblioteca.uoc.edu/es/recursos/recurso/international-telecommunication-union-itu>
- User-Centric Wireless Network for 5G. (2019). In G. Liu, & L. Liu. Beijing: Shen Editors.
- Valle, M. (2017, Junio 23). *Métodos de modulación*. Retrieved from <https://es.slideshare.net/MiguelEduardoValle/mtodos-de-modulacin-y-multiplexacin-en-telefona-mvil>
- Vasquez, L. (2019, Noviembre 20). *Modulación de Amplitud en Cuadratura*. Retrieved from <https://www.flu-project.com/2019/11/teleco-in-nutshell-v87-modulacion-amplitud-cuadratura.html>
- Velasco, N. (2019, Octubre 19). *Red GSM*. Retrieved from https://www.google.com/search?q=arquitectura+gsm&rlz=1C1SQJL_esEC870E

C870&oq=arquitectura+gsm&aqs=chrome..69i57j0l3.10130j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8

Villagómez, C. (2017, diciembre 12). *Estándar GSM*. Retrieved from <https://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema-global-de-comunicaciones-moviles>

Xiang, W., & Zheng, K. (2018). *5G Mobile Communications*. Beijing: Shen Editors.

7. ANEXOS



**3rd Generation Partnership Project;
Specification Group Services and System
Aspects;
Release 15 Description;
Summary of Rel-15 Work Items
(Release 15)**



The present document has been developed within the 3rd Generation Partnership Project (3GPP™) and may be further elaborated for the purposes of 3GPP.

The present document has not been subject to any approval process by the 3GPP Organizational Partners and shall not be implemented.

This Report is provided for future development work within 3GPP only. The Organizational Partners accept no liability for any use of this Specification.

Specifications and Reports for implementation of the 3GPP™ system should be obtained via the 3GPP Organizational Partners' Publications Offices.

Introduction

As seen above, 5G is designed to support diverse services with different data traffic profiles (e.g., high throughput, low latency and massive connections) and models (e.g., IP data traffic, non-IP data traffic, short data bursts and high throughput data transmissions). Various PDU session types are supported including IPv4, IPv6, IPv4v6, Ethernet and Unstructured.

The 5G's main characteristic is the introduction of a new radio interface, the New Radio (NR), which offers the flexibility needed to support these very different types of services. Another key characteristic of 5G is that the 5G Access Network can connect not only to a new 5G Core Network but also to the 4G (LTE) Core Network. This is known as the NSA architecture, while the 5G AN connected to a 5G CN is called the SA architecture. On the Core Network side, the 5G System offers also a wide array of new characteristics, such as a deeper use of Network Slicing, Mobile Edge Computing or Network Capability Exposure. All these concepts are presented below.

The NSA versus SA architecture

Two deployment options are defined for 5G:

- the "Non-Stand Alone" (NSA) architecture, where the 5G Radio Access Network (AN) and its New Radio (NR) interface is used in conjunction with the existing LTE and EPC infrastructure Core Network (respectively 4G Radio and 4G Core), thus making the NR technology available without network replacement. In this configuration, only the 4G services are supported, but enjoying the capacities offered by the 5G New Radio (lower latency, etc). The NSA is also known as "E-UTRA-NR Dual Connectivity (EN-DC)" or "Architecture Option 3". See also the clause on EDCE5.
- the "Stand-Alone" (SA) architecture, where the NR is connected to the 5G CN. Only in this configuration, the full set of 5G Phase 1 services are supported.

The NSA architecture is illustrated in the following figure.

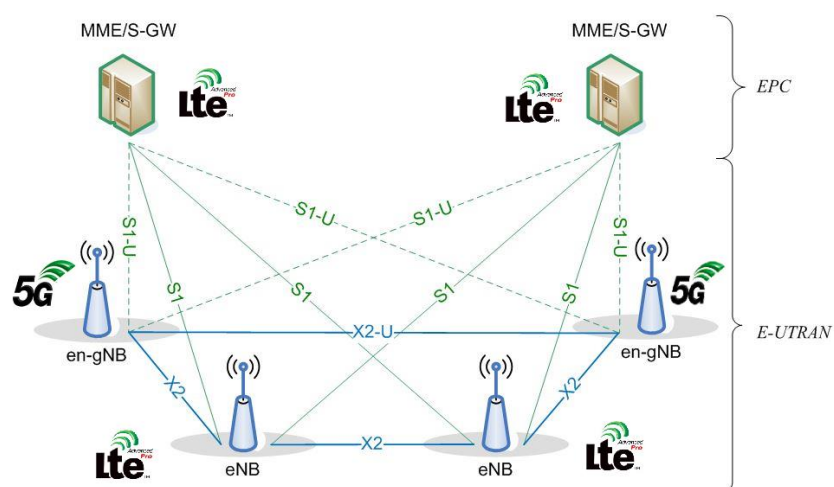


Figure 5.3.2-1: The NSA Architecture

The NSA architecture can be seen as a temporary step towards "full 5G" deployment, where the 5G Access Network is connected to the 4G Core Network. In the NSA architecture, the (5G) NR base station (logical node "en-gNB") connects to the (4G) LTE base station (logical node "eNB") via the X2 interface. The X2 interface was introduced prior to Release 15 to connect two eNBs. In Release 15, it also supports connecting an eNB and en-gNB as to provide NSA.

The NSA offers dual connectivity, via both the 4G AN (E-UTRA) and the 5G AN (NR). It is thus also called "EN-DC", for "E-UTRAN and NR Dual Connectivity".

In EN-DC, the 4G's eNB is the Master Node (MN) while the 5G's en-gNB is the Secondary Node (SN).

This is explained in detail on the dedicated section on NSA of this present document.

The SA architecture is illustrated in the following figure.

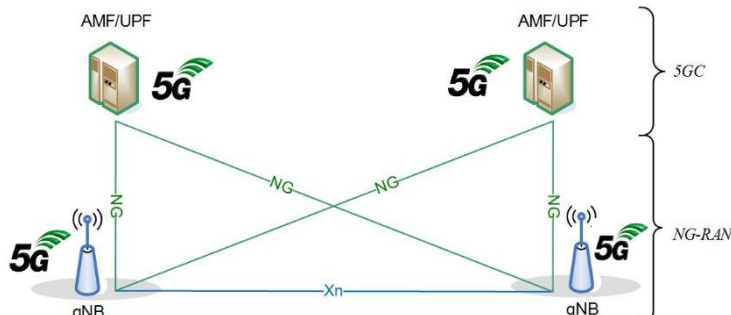


Figure 5.3.3-1: The SA Architecture

The SA architecture can be seen as the "full 5G deployment", not needing any part of a 4G network to operate.

The NR base station (logical node "gNB") connects with each other via the Xn interface, and the Access Network (called the "NG-RAN for SA architecture") connects to the 5GC network using the NG interface.

The continuation of this section refers to the SA architecture, the NSA being addressed in a subsequent, dedicated, section.

Overview of the Core Network

In the SA deployment option, the 5G System (5GS) is composed of the User Equipment, the Access Network (including the "New Radio" or NR) and the Core Network (5GC or 5GCN).

The service requirements, as presented in the previous clause, were used as a basis to define the architecture. The architecture specification (a.k.a. Stage 2) started with a preliminary study in TR 23.799 [4], also called "NextGen TR", before being fully specified in TS 23.501 [1], TS 23.502 [2] and TS 23.503 [3].

The 5GC architecture relies on a so-called "Service-Based Architecture" (SBA) framework, where the architecture elements are defined in terms of "Network Functions" (NFs) rather than by "traditional" Network Entities. Via interfaces of a common framework, any given NF offers its services to all the other authorized NFs and/or to any "consumers" that are permitted to make use of these provided services. Such an SBA approach offers modularity and reusability.

The basic (SA, non-roaming) 5G System architecture is shown below (figure introduced by the editor):

Core Network: a set of interconnected NF

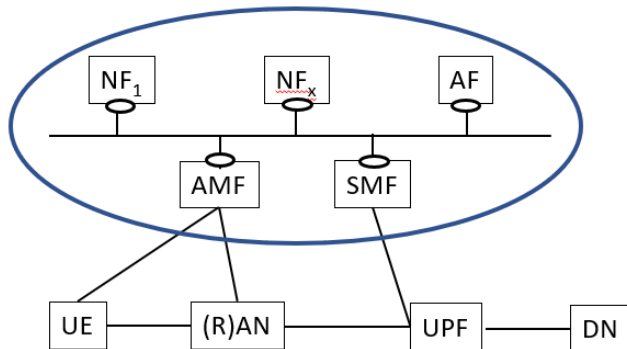


Figure 5.3.3-1: Overview of the 5G System architecture

At this stage, only the following essential Network Functions and elements are highlighted here:

- The User Equipment (UE);
- The (Radio) Access Network [(R)AN];
- The User Plane Function (UPF), handling the user data;
- The (external) Data Network (DN);
- Some remarkable Network Functions (NFs):
- The Application Function (AF), handling the application(s);
- The Access and Mobility management Function (AMF), that accesses the UE and the (R)AN;
- The Session Management Function (SMF), that accesses the UPF.

NR-LTE co-existence

NR is designed to support flexible operation taking co-existence with legacy RAT especially LTE into account. Since some NR frequency bands in FR1 have been used for LTE carriers, mechanisms for NR-LTE coexistence, e.g., NR DL/UL transmission within the bandwidth of an LTE carrier without impact on the legacy LTE devices, are supported. For the design of NR-LTE coexistence mechanisms, following two scenarios are considered.

For both DL and UL, NR carrier and LTE carrier coexist in the same bandwidth

Only for UL, NR carrier and LTE carrier coexist in the same bandwidth

To achieve NR-LTE coexistence in the same bandwidth, higher-layer signalling is supported in NR to configure reserved resources to be used by LTE. It enables not only the coexistence between NR and normal LTE but also the coexistence between NR and LTE for machine type communication (MTC) and/or narrow band internet of things (NB-IoT).

In NR, DL and UL subcarrier positions are aligned while they are different in LTE. For the coexistence between NR UL and LTE UL in the same bandwidth, it is possible to configure a 7.5 kHz shift for NR UL subcarrier positions so that LTE and NR UL subcarriers are aligned to avoid interference due to non-orthogonal subcarriers between NR and LTE.

Frequency aspects

While the physical and higher layers are designed as frequency agnostic, two separate

radio performance requirements are specified for two frequency ranges (FRs), namely FR1 and FR2. FR1 is below the 7 GHz range (450 - 7125 MHz) and FR2 is millimetres-wave range (24250 - 52600 MHz).

The RF and RRM requirements are defined for each FR. One big difference between the requirements in FR1 and FR2 is testing methodology. Both so-called "conducted" and "over-the-air (OTA)" methodologies can be utilized in FR1, but only OTA methodology can be utilized in FR2. "Conducted" is a passive method, useable when antenna connectors are still accessible, whereas "OTA" is the be used when the antenna connectors are not accessible, such as in a massive MIMO context.

Four types of bands are specified for NR (note that all the NR bands are defined with a prefix "n" to distinguish them from the bands for the other RATs):

- 1) LTE "refarming" band: The bands have the corresponding LTE bands. For example, NR band n7 corresponds to LTE band 7. Hence, the bands would be likely to be used by "refarming" (i.e. re-using) the exiting LTE bands.
- 2) NR new bands in FR1: Completely new frequency bands for NR in FR1 whose corresponding LTE bands do not exist.
- 3) NR new bands in FR2: new frequency band for NR in FR2.
- 4) Supplemental uplink (SUL) / downlink (SDL) band: these bands have only uplink/downlink frequency, and they can be deployed with other type of NR bands.

LTE connectivity to 5G-CN (4G AN with 5G CN)

LTE connectivity to 5G-CN does not only allow RAN level interworking but provides a migration path where the core network is 5G-CN whereas the radio remains LTE. This enables utilization of new functionalities provided by the 5G-CN such as QoS, mobility enhancements and slicing even when using the LTE radio interface.

The feature "LTE connectivity to 5G-CN", or the E-UTRA connected to 5GC, is supported as part of NG-RAN. The E-UTRA can be connected to both EPC and 5GC.

The overall architecture of E-UTRA connected to 5GC as part of NG-RAN is described in TS 38.300, where the term "ng-eNB" is used for E-UTRA connected to 5GC. However, here, the term "eNB" is used for both cases unless there is a specific need to disambiguate between eNB and ng-eNB.

The LTE connectivity to 5G-CN feature includes the following key functionalities:

- 5G NAS message transport
- 5G security framework, except that data integrity protection is not supported;
- Unified Access Control
- Flow-based QoS
- Network slicing
- SDAP
- NR PDCP
- Support of UEs in RRC_INACTIVE state.

Generally, the above functionalities are introduced based on similar functionalities as in NR.

LTE improvements

Based on the conclusions from the study item on "further enhancements to Coordinated Multi-Point (CoMP) operation for LTE", captured in TR 36.741 [1], this work item (WI) aims for providing specification support for non-coherent joint transmission scheme [2],

where the transmission of the multiple MIMO layers is performed from two transmission points (TPs) without adaptive precoding across the TPs.

The following new functionalities have been specified as part of the work item:

- Support of a new quasi co-location assumption for DM-RS antenna ports at the UE:

- New quasi co-location (QCL) assumption of Type C was specified for the UE supporting transmission mode 10 (TM10). The new QCL assumption allows network implementation with simultaneous transmission of two DM-RS antenna port groups and associated two sets of MIMO layers from two TPs without joint precoding across the TPs.

- Support of control signalling enhancements to assist QCL and PDSCH REs mapping:

- For non-coherent joint transmission, due to difference in the propagation environment or practical impairments, the received MIMO layers at the UE from different TPs may have different time and frequency offset characteristics. To facilitate proper time and frequency offset tracking and consistent channel estimation at the UE for the MIMO layer(s) transmitted by different TPs, the control signalling has been enhanced to support indication of up to two reference signals set (one per each set of MIMO layers) that can be used by the UE to obtain the correct reference for synchronization. Similarly, due to different reference signals configurations (e.g. CRS) at the TPs, physical downlink shared channel (PDSCH) resources may not be the same for two sets of MIMO layers. The control signalling enhancement also specifies mechanism to indicate for the UE up to two sets of physical resource elements for PDSCH reception (one per each set of MIMO layers).

- Support of CSI feedback enhancement:

- To facilitate accurate link adaptation in non-coherent joint transmission, enhancement to channel state information (CSI) reporting was introduced. The CSI enhancement facilitates reporting information on the preferred number of the MIMO layers, precoding information and channel quality information per each TPs under assumption of non-coherent joint transmission. The CSI enhancement for NC-JT also supports fall back CSI reporting assuming conventional transmission of PDSCH from a single TP.

LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES

Ley 184

Registro Oficial 996 de 10-ago.-1992

Última modificación: 12-sep.-2014

En ejercicio de sus atribuciones constitucionales, expide la siguiente.

LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES

CAPITULO I

Disposiciones fundamentales

Art. 2.- ESPECTRO RADIOELECTRICO.- El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado.

Art. 13.- REGULACION DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO.- Es facultad privativa del Estado el aprovechamiento pleno de los recursos naturales como el espectro de frecuencias radioeléctricas, y le corresponde administrar, regular y controlar la utilización del espectro radioeléctrico en sistemas de telecomunicaciones en todo el territorio ecuatoriano, de acuerdo con los intereses nacionales.

Art. 48.- MODALIDAD.- Concluida la escisión de EMETEL S.A. se pondrá a la venta el treinta y cinco por ciento (35%) de las acciones de cada una de las compañías resultantes, mediante una subasta pública internacional, en la cual podrán participar como oferentes exclusivamente:

1. Operadores directos nacionales o internacionales previamente calificados; o,
2. Las empresas solicitantes calificadas, con sus respectivos operadores o sus empresas vinculadas o subsidiarias; o,
3. Asociaciones de personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras con empresas solicitantes previamente calificadas. En este caso, deberán mantenerse durante todo el tiempo de la duración de la concesión, con el apoyo técnico de un operador calificado.

