



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Implementación del sistema WCDMA utilizando esquemas de
modulación digital en redes inalámbricas móviles**

AUTOR:

Kuonqui Tobar, Juan Pablo

Examen complejo previo a la obtención del Grado Académico de
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, 4 de octubre del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Kuonqui Tobar, Juan Pablo** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, 4 de octubre del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Kuonqui Tobar, Juan Pablo**

El examen complejo **“Implementación del sistema WCDMA utilizando esquemas de modulación digital en redes inalámbricas móviles”**, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del examen complejo del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 4 de octubre del 2021

EL AUTOR

Kuonqui Tobar, Juan Pablo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Kuonqui Tobar, Juan Pablo**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del examen complejo de Maestría titulada: **“Implementación del sistema WCDMA utilizando esquemas de modulación digital en redes inalámbricas móviles”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 4 de octubre del 2021

EL AUTOR

Kuonqui Tobar, Juan Pablo

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento [Juan_Kuonqui.docx](#) (D110351629)

Presentado 2021-07-11 00:58 (-05:00)

Presentado por fernandopm23@hotmail.com

Recibido edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje Revisión Tesis Juan Pablo Kuonqui [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de estas 22 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Lista de fuentes Bloques ➔ Abrir ses...

| Categoría | Enlace/nombre de archivo |
|-----------|---|
| | http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/9590/1/T-UC... |
| | http://192.188.52.94:8080/bitstream/3317/11334/1/T-UCSG... |
| | https://docplayer.es/92649795-Universidad-catolica-de-san... |
| | http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14297/1/T-U... |
| | http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_P... |
| | https://www.juniper.net/documentation/en_US/junos-mob... |
| | https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/736/1/T-E... |

1 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Implementación del sistema

WCDMA utilizando esquemas de modulación digital en redes inalámbricas móviles

AUTOR: Kuonqui Tobar, Juan Pablo

Examen complejo

previo a la obtención del Grado Académico de MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

7 de julio del 2021

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de maestría a mi mamá por su infinito amor, paciencia y confianza en mí, y a mi papá que desde hace mucho quiso ver llegar este día y aunque hoy ya no está con nosotros en este mundo, se lo dedico a él, gracias al esfuerzo y enseñanza que me dieron hoy soy la persona que soy gracias al sacrificio de ellos, infinitas gracias, Pablito y Esther este triunfo es gracias a ustedes.

EL AUTOR

KUONQUI TOBAR, JUAN PABLO

AGRADECIMIENTO

La vida nos enseña cada día que el tiempo no da marcha atrás, y es por esta razón que debemos aprender de lo que ella nos da, y es aquí donde quiero agradecer a la vida por la familia que me dio, por una madre maravillosa que hasta el día de hoy siempre ha estado pendiente de mí, que ha mostrado paciencia y preocupación, un padre que a pesar que ya no está entre nosotros, siempre estuvo presente en cada paso que dimos sus hijos, que supo guiarnos y enseñarnos lo correcto, a ellos que nos enseñaron el valor del trabajo y el fruto del esfuerzo, a ellos quiero agradecer por forjar la persona que en vida soy, por creer y confiar en mí, a mis hermanas que son el complemento ideal de esta familia que un día creció, gracias a ellas por estar siempre presentes y pendientes de que todo marche bien en nuestra familia, gracias por el apoyo, el amor y la comprensión que día a día nos dan.

Gracias a Dios por permitirnos crecer y creer en su fe, por bendecir a mi familia, y por poner a mi lado a una esposa que ha sido mi compañera a lo largo de estos 18 años desde que nos conocimos, por permitirme tener dos maravillosos hijos que son el fruto de nuestra unión y que día a día pintan nuestra cara de alegría, gracias por tanto amor.

Finalmente agradezco a cada una de las personas que siempre fueron un apoyo y permitieron la realización de este trabajo de maestría. ¡A todos ustedes muchas gracias!

EL AUTOR

KUONQUI TOBAR, JUAN PABLO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.  _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
TUTOR

f. _____

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
REVISOR

f. _____

M. Sc. QUEZADA CALLE, EDGAR RAUL
REVISOR

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS
DIRECTOR DEL PROGRAMA

Índice General

| | |
|---|-----|
| Índice de Figuras | XII |
| Índice de Tablas..... | XIV |
| Resumen | XV |
| Abstract..... | XVI |
| Capítulo 1: Generalidades del proyecto..... | 2 |
| 1.1. Introducción..... | 2 |
| 1.2. Antecedentes. | 3 |
| 1.3. Definición del Problema..... | 3 |
| 1.4. Justificación del Problema..... | 4 |
| 1.5. Objetivos del Problema de Investigación..... | 4 |
| 1.5.1. Objetivo General..... | 4 |
| 1.5.2. Objetivos Específicos. | 4 |
| 1.6. Hipótesis..... | 4 |
| 1.7. Metodología de Investigación..... | 4 |
| Capítulo 2: Fundamentos Teóricos | 6 |
| 2.1. Introducción de los sistemas de comunicaciones móviles..... | 6 |
| 2.2. Sistemas de telecomunicaciones radio-móviles | 7 |
| 2.3. Historia de los sistemas de telecomunicaciones radio-móviles..... | 7 |
| 2.3.1. Telefonía celular de primera generación (1G). | 7 |
| 2.3.2. Telefonía celular de segunda generación (2G)..... | 8 |
| 2.3.3. Telefonía celular de tercera generación (3G). | 10 |
| 2.3.4. Telefonía celular de cuarta generación (4G). | 12 |
| 2.4. Métodos de acceso por radio | 14 |
| 2.4.1. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)..... | 15 |
| 2.4.2. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) | 16 |
| 2.4.3. Acceso múltiple por división de código (CDMA) | 17 |

| | |
|--|----|
| Capítulo 3: Configuración, Simulación y Resultados. | 18 |
| 3.1. Configuraciones en el sistema de acceso múltiple por división de código de banda ancha. | 18 |
| 3.2. Descripción de la simulación. | 20 |
| 3.3. Diseño de simulación mediante MatLab. | 21 |
| 3.3.1. Generación de código de difusión. | 21 |
| 3.3.2. Generación de código por registro de desplazamiento de retroalimentación lineal. | 23 |
| 3.3.3. Generación de secuencias del registro de desplazamiento de retroalimentación lineal. | 24 |
| 3.3.4. Configuración del sistema de transmisión y recepción. | 26 |
| 3.3.5. Limitación y suposición. | 30 |
| 3.4. Análisis del rendimiento del sistema WCDMA. | 31 |
| 3.4.1. Análisis de rendimiento del sistema WCDMA con canal AWGN utilizando el esquema de modulación QPSK. | 32 |
| 3.4.2. Análisis de rendimiento del sistema WCDMA con canal AWGN y desvanecimiento de Rayleigh multitrayecto utilizando el esquema de modulación QPSK. | 33 |
| 3.4.3. Análisis comparativo del rendimiento del sistema WCDMA con canales AWGN y desvanecimiento Rayleigh multitrayecto utilizando el esquema de modulación QPSK. | 35 |
| 3.4.4. Análisis de rendimiento del sistema WCDMA con canal AWGN utilizando el esquema de modulación 16-QAM. | 39 |
| 3.4.5. Análisis de rendimiento del sistema WCDMA con canales AWGN y Rayleigh multitrayecto utilizando el esquema de modulación 16-QAM. | 40 |
| 3.5. Análisis y discusión. | 41 |
| CONCLUSIONES. | 43 |
| RECOMENDACIONES. | 44 |

Bibliografía.....45

Índice de Figuras

Capítulo 2

| | |
|--|----|
| Figura 2. 1: Evolución de las generaciones de redes inalámbricas móviles. . | 6 |
| Figura 2. 2: Arquitectura del sistema avanzado de telefonía móvil (AMPS). . | 7 |
| Figura 2. 3: Arquitectura del sistema global para comunicaciones móviles (GSM). | 9 |
| Figura 2. 4: Arquitectura de la técnica de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) en el sistema de comunicación personal (PCS). | 10 |
| Figura 2. 5: Arquitectura de la red inalámbrica móvil 3G. | 11 |
| Figura 2. 6: Arquitectura de la red LTE - 4G. | 13 |
| Figura 2. 7: Arquitectura de la red LTE - 4G. | 14 |
| Figura 2. 8: Representación de las técnicas de acceso múltiple..... | 15 |
| Figura 2. 9: Modelo del sistema de acceso múltiple por división de frecuencia. | 16 |
| Figura 2. 10: Modelo del sistema de acceso múltiple por división de tiempo. | 16 |

Capítulo 3

| | |
|---|----|
| Figura 3. 1: Diagrama de flujo de la propuesta de escenarios de simulación para el sistema WCDMA..... | 19 |
| Figura 3. 2: Secuencia M de tres etapas | 25 |
| Figura 3. 3: Rendimiento del sistema WCDMA con canal AWGN usando esquema de modulación QPSK para 1 usuario. | 33 |
| Figura 3. 4: Rendimiento del sistema WCDMA con canal de desvanecimiento Rayleigh multitrayecto usando esquema de modulación QPSK para 1 usuario. | 35 |

| | |
|--|----|
| Figura 3. 5: Comparativa de rendimiento del sistema WCDMA con canales AWGN y desvanecimiento Rayleigh multitrayecto usando esquema de modulación QPSK para 1 usuario..... | 37 |
| Figura 3. 6: Comparativa de rendimiento del sistema WCDMA con canales AWGN y desvanecimiento Rayleigh multitrayecto usando esquema de modulación QPSK para 5 usuarios..... | 39 |
| Figura 3. 7: Resultados obtenidos de la BER/SER del sistema WCDMA usando modulación 16-QAM..... | 40 |

Índice de Tablas

Capítulo 3

| | |
|--|----|
| Tabla 3. 1: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal AWGN para 1 usuario..... | 32 |
| Tabla 3. 2: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal de desvanecimiento Rayleigh para 1 usuario a 60 km/h. | 34 |
| Tabla 3. 3: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal de desvanecimiento Rayleigh para 1 usuario a 120 km/h. | 34 |
| Tabla 3. 4: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal AWGN para 1 usuario..... | 36 |
| Tabla 3. 5: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal de desvanecimiento Rayleigh multitrayecto para 1 usuario..... | 36 |
| Tabla 3. 6: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal AWGN para 5 usuarios..... | 38 |
| Tabla 3. 6: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal de desvanecimiento de Rayleigh para 5 usuarios. | 38 |

Resumen

En este documento se presenta la implementación del sistema WCDMA utilizando esquemas de modulación digital en redes inalámbricas móviles. En el capítulo 2 se presenta las generaciones de las comunicaciones inalámbricas móviles y de las técnicas de acceso de radio como la tecnología móvil WCDMA. Este sistema funciona en las comunicaciones inalámbricas móviles de 3era generación (3G) y que aún en el país aborda las demandas y desafíos de alto nivel, ayudando a brindar servicios eficientes y prometedores que cumplen con requisitos tales como tráfico de datos, video y multimedia muy rápido así con las señales de voz. En el capítulo 3 se presenta el rendimiento del sistema WCDMA y se evalúa mediante la plataforma de simulación MatLab, donde se comparó la BER teórica para los esquemas de modulación QPSK y 16-QAM donde se obtuvieron tablas y curvas de la tasa de error de bits frente a la relación señal/ruido.

Palabras claves: COMUNICACIONES, INALÁMBRICAS, PROPAGACIÓN, ACCESO, RADIO, MODULACIÓN

Abstract

This document presents the implementation of the WCDMA system using digital modulation schemes in mobile wireless networks. Chapter 2 introduces the generations of mobile wireless communications and radio access techniques such as WCDMA mobile technology. This system works in 3rd generation (3G) mobile wireless communications and that even in the country addresses high-level demands and challenges, helping to provide efficient and promising services that meet requirements such as data, video and multimedia traffic very fast as well as voice signals. In chapter 3 the performance of the WCDMA system is presented and it is evaluated using the MatLab simulation platform, where the theoretical BER was compared for the QPSK and 16-QAM modulation schemes where tables and curves of the bit error rate were obtained. versus signal-to-noise ratio.

Keywords: COMMUNICATIONS, WIRELESS, PROPAGATION, ACCESS, RADIO, MODULATION

Capítulo 1: Generalidades del proyecto.

1.1. Introducción.

El uso de la comunicación inalámbrica ha aumentado de manera destacada en los últimos años. El aumento de la demanda se debe principalmente a la accesibilidad, velocidad y portabilidad de las comunicaciones inalámbricas. En el futuro, aumentará la demanda de velocidades de datos más altas en los sistemas de comunicación inalámbrica. La confiabilidad es el criterio principal detrás de las redes inalámbricas de cuarta y quinta generación. La comprensión de la naturaleza y las características de los canales inalámbricos es muy importante para determinar los límites de rendimiento de los canales inalámbricos.

Los sistemas de acceso múltiple por división de código (Code Division Multiple Access, CDMA) es la base de las redes 3G y 4G. Los sistemas CDMA tienen potencial para lidiar con el comportamiento no síncrono del tráfico de datos en servicios multimedia. Además, en comparación con los sistemas de acceso múltiple por división de tiempo (Time Division Multiple Access, TDMA) y por división de frecuencia (Frequency Division Multiple Access, FDMA), el sistema CDMA necesita una mayor capacidad de datos. Por lo tanto, la técnica CDMA de secuencia directa (Direct Sequence CDMA, DS-SS) de comunicación inalámbrica se ha convertido ahora en una técnica de uso común.

El acceso múltiple por división de código de banda ancha (Wideband CDMA, WCDMA) es un ejemplo de acceso múltiple en el que varios transmisores pueden enviar información simultáneamente a través de un solo canal de comunicación. Por ejemplo, el rápido crecimiento del mercado de los drones se espera en el tiempo más cercano, lo que está respaldado por análisis y pronósticos de los correspondientes organismos estadounidenses y europeos. (Grekhov et al., 2020)

WCDMA utiliza la propagación de secuencia directa, donde el proceso de propagación se realiza combinando directamente la información de banda

base con un código binario de alta velocidad de chip. El factor de dispersión se define numéricamente como la relación entre el ancho de banda en el canal de radio y la velocidad de transferencia de información. El factor de propagación es un indicador que caracteriza el grado de redundancia de la banda de frecuencia extendida en relación con el espectro de la señal de información.

1.2. Antecedentes.

El presente trabajo del examen complejo se basa en investigaciones relacionadas a la simulación de sistemas WCDMA en redes de comunicaciones móviles, que trabajan en la 3era generación de celulares la que sigue siendo operativa en nuestro país. Por ejemplo, en el trabajo de Ahmed et al., (2018) evaluaron el rendimiento de los usuarios secundarios en el sistema WCDMA se evaluó utilizando el programa de simulación MatLab/Simulink y se comparó la tasa de error de bits (BER) teórica del esquema de modulación por desplazamiento de fase binario (BPSK) de banda estrecha y luego se obtuvieron resultados en forma de tablas y curvas de tasa de error frente a la relación señal/ruido (SNR).

1.3. Definición del Problema.

Todos los sistemas de radio tienen como objetivo lograr una alta capacidad con un espectro inalámbrico limitado al mismo tiempo para cubrir áreas muy grandes y dar servicio al mayor número de suscriptores y brindar movilidad en el servicio telefónico que sea compatible con la demanda de aplicaciones de datos y aplicaciones mucho más rápido y más eficaz para superar los defectos o la falta de funcionalidad que las tecnologías 1G y 2G dejaron, ya que el ancho de banda en el enlace inalámbrico es un recurso escaso.

Para solucionar estos problemas, fue necesario considerar primero la tecnología 3G, conocida como WCDMA, que asigna todos los recursos de radio a todos los usuarios al mismo tiempo y le da a cada usuario un código único, esto se hace por espectro ensanchado que trabaja en secuenciación directa, salto de frecuencia, salto de tiempo o híbrido.

1.4. Justificación del Problema.

Se utiliza el programa de simulación MatLab/Simulink para explicar el proceso de transmisión y recepción en el sistema WCDMA, teniendo en cuenta la propagación de la señal en un entorno de propagación diferente ya sea por el canal de desvanecimiento Rayleigh multitrayecto y aditivo gaussiano blanco (AWGN).

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Realizar la implementación del sistema WCDMA utilizando esquemas de modulación digital en redes inalámbricas móviles sobre la plataforma MatLab.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Describir los fundamentos teóricos de los sistemas de comunicaciones móviles y de las técnicas de acceso por radio.
- Diseñar los algoritmos del sistema WCDMA utilizando los esquemas de modulación QPSK y QAM sobre el software MatLab.
- Evaluar los resultados obtenidos de la simulación del sistema WCDMA con los esquemas de modulación QPSK y QAM.

1.6. Hipótesis.

La implementación del sistema WCDMA permitirá estudiar el rendimiento de los esquemas de modulación cuando el terminal móvil es estático y dinámico con diferentes velocidades. El análisis de rendimiento se basa en la BER y la relación señal/ruido (SNR). Por lo tanto, se determinarán y concluirán técnicas de modulación adecuadas basándose en la BER que se representará como una función de la SNR.

1.7. Metodología de Investigación.

La investigación científica del presente trabajo de maestría es sistemática y que sigue pasos ordenados lógicamente:

- Comprender la naturaleza del problema estudiado e identificar los campos de conocimiento relacionados con dicho problema;

- Establecer el estado del arte, es decir, recopilar/estudiar la literatura para comprender cómo otros investigadores abordaron el problema;
- Recopilar datos de manera organizada y controlada para llegar a decisiones válidas;
- Analizar los datos adecuados al problema estudiado;
- Sacar las conclusiones correctas y hacer las generalizaciones correctas de la implementación del sistema WCDMA utilizando esquemas de modulación digital en redes inalámbricas móviles

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos

2.1. Introducción de los sistemas de comunicaciones móviles.

El principal objetivo de los sistemas de telecomunicaciones móviles es proporcionar una variedad de servicios (multimedia) que requieren banda ancha. Todos los usuarios, independientemente de su ubicación, deben ser atendidos y en todo momento con una calidad aceptable para una variedad de aplicaciones. En este capítulo se presenta una breve descripción teórica de estos sistemas de transmisión móviles desde la primera hasta la cuarta generación (4G-LTE). Se comienza dando una visión general de la historia, los nuevos servicios y las características de estos sistemas de transmisión radio-móvil. La figura 2.1 muestra la evolución de los sistemas de comunicaciones móviles. Luego, se estudia los métodos de acceso en redes móviles y más particularmente aquellos basados en CDMA, luego se introduce el concepto de espectro ensanchado; lo que nos lleva a la interfaz de radio de los sistemas de 3G (UMTS) y 4G (LTE).

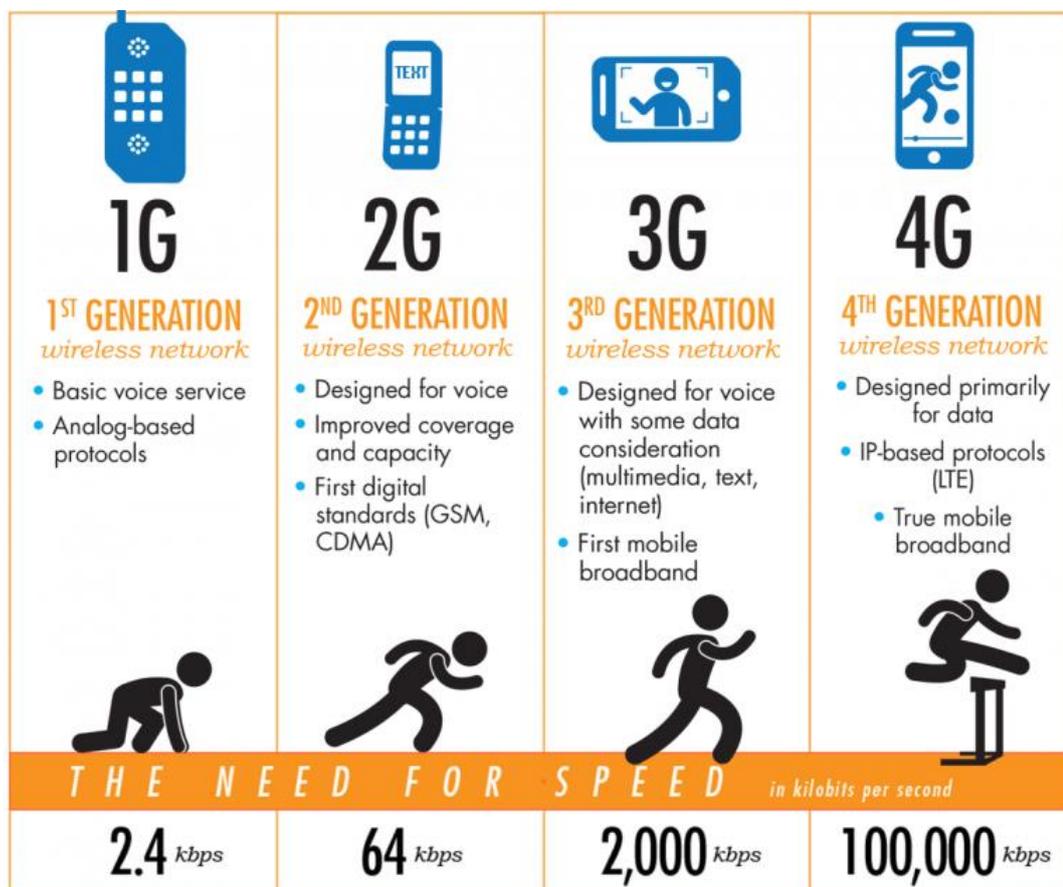


Figura 2. 1: Evolución de las generaciones de redes inalámbricas móviles.

Fuente: (Goel, 2018)

2.2. Sistemas de telecomunicaciones radio-móviles

Los usuarios de 4G-LTE se estimaron en 4 mil millones de personas para el año 2020, creando un mercado enorme y un producto exitoso a mediano plazo. Esto adquiere el interés primordial de los laboratorios de investigación y desarrollo de la industria y las universidades, pues la oportunidad que ofrece a los operadores pioneros sigue creciendo y haciéndose más personalizados para restablecer comunicaciones rápidas, de alta capacidad y cada vez más independientes de la plataforma gracias al nuevo esquema de acceso en todos los niveles de la red.

2.3. Historia de los sistemas de telecomunicaciones radio-móviles.

En esta sección se presentan las diferentes evoluciones que ha tenido las comunicaciones móviles de telefonía celular.

2.3.1. Telefonía celular de primera generación (1G).

Aparecida a principios de los años 70, la primera generación fue la primera en explotar el concepto de telefonía celular, utilizó modulaciones de frecuencia analógicas (Frequency Modulation, FM) y operaba en la banda de frecuencias 890 – 915 MHz y 935 – 960 MHz. En términos de servicio, este sistema se caracterizó generalmente por servicios simples, solo de voz, transmitidos en forma analógica. La figura 2.2 muestra la arquitectura del sistema avanzado de telefonía móvil (Advanced Mobile Phone System, AMPS) como primera generación de telefonía celular.

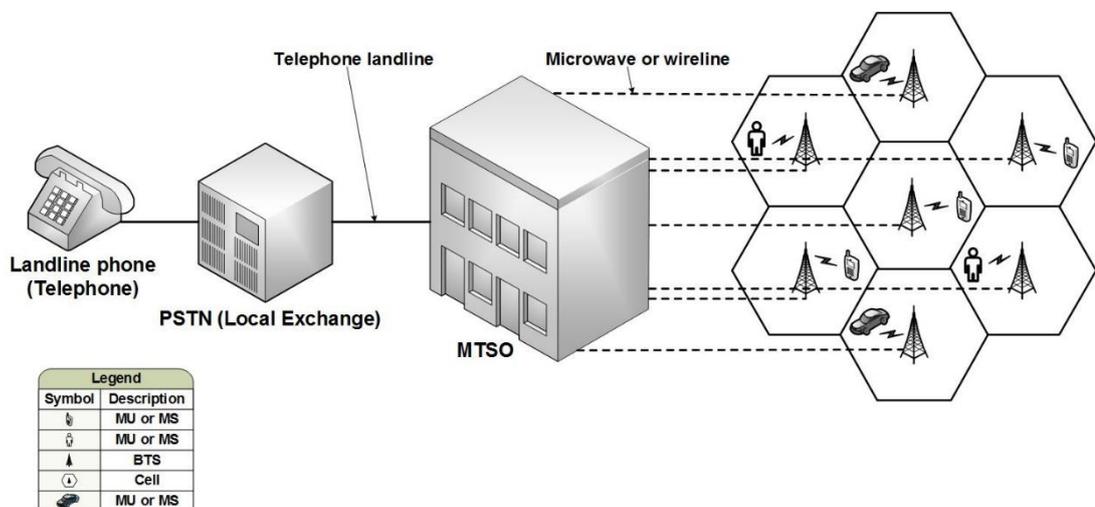


Figura 2. 2: Arquitectura del sistema avanzado de telefonía móvil (AMPS).

Fuente: (Eluwole et al., 2018)

1G representa una tecnología de transmisión analógica diseñada para proporcionar un servicio de voz básico. AMPS proporcionó el primer concepto de teléfono celular comercial. Las señales de radio utilizadas son de naturaleza analógica sin capacidad de datos, aunque la señalización digital se utiliza para conectar las torres de radio al resto del sistema telefónico modulando (usando la modulación de frecuencia (FM)) las llamadas de voz a una frecuencia más alta de aproximadamente 150 MHz. En otras palabras, la multiplexación por división de frecuencia (Frequency Division Multiplexing, FDM) se utiliza para dividir el ancho de banda en frecuencias específicas que se asignan a llamadas individuales. El tamaño de celda para una red 1G típica es de aproximadamente 2 a 20 km.

A pesar del éxito de estas redes celulares, surgió un problema importante cuando aumentó el número de usuarios, estos tendían a estar más bien agrupados en áreas urbanas y esto inevitablemente afectó la capacidad en cuanto al número de usuarios en esa región, además de este problema, la red analógica 1G tenía mecanismos de seguridad débiles que facilitaban el pirateo de líneas telefónicas, lo que requería mejoras urgentes y necesarias para esta primera generación.

2.3.2. Telefonía celular de segunda generación (2G).

Apareció a principios de los 90, como consecuencia de los avances tecnológicos en el campo de los componentes de radiofrecuencia y los dispositivos de procesamiento de señales digitales. De hecho, el uso de la tecnología digital ha permitido resolver los problemas de capacidad y seguridad inherentes a los sistemas 1G y crear nuevos servicios, como el servicio de mensajes cortos (Short Message Service, SMS).

Uno de los estándares 2G más utilizados es, sin duda, el sistema global para comunicaciones móviles (Global System for Mobile Communications, GSM) en Europa (cuya arquitectura se muestra en la figura 2.3), el sistema celular digital personal (Personal Digital Cellular, PDC) en Japón, y el sistema de comunicación personal (Personal Communication System, PCS) en Estados Unidos basados en la técnica de acceso múltiple

por división de tiempo (Time Division Multiple Access, TDMA), tal como se muestra en la figura 2.4.

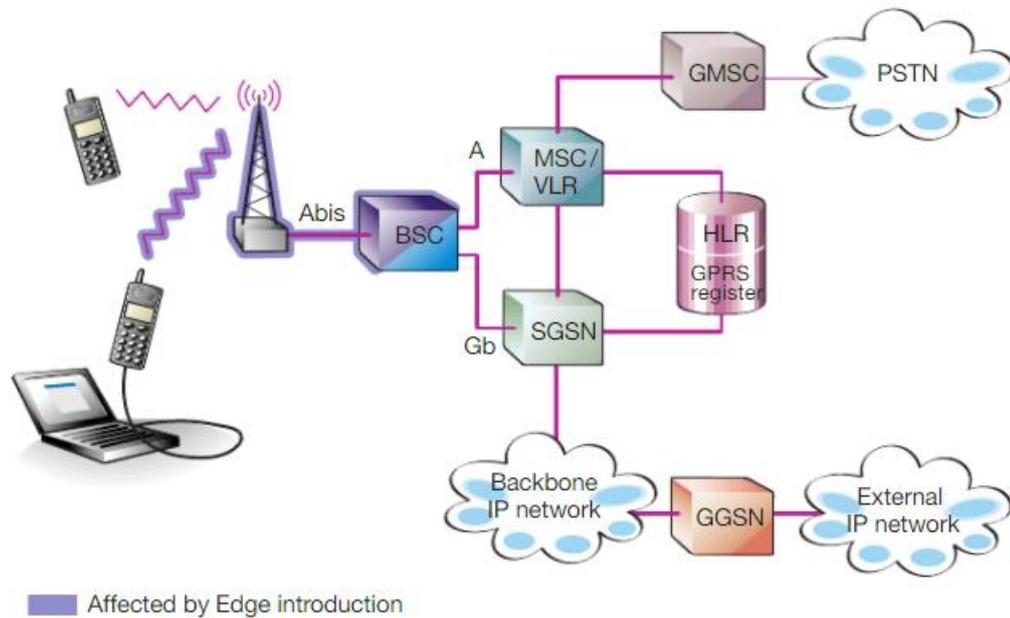


Figura 2. 3: Arquitectura del sistema global para comunicaciones móviles (GSM).

Fuente: (Furuskar et al., 1999)

Los sistemas de segunda generación ofrecieron varias ventajas sobre los sistemas analógicos, pero sin embargo permanecía enfocados en optimizar un solo servicio: voz, la velocidad de transferencia de datos no ha sido una prioridad y permanece bastante limitada a la era de las comunicaciones multimedia, para superar esta situación una tecnología de transición, a menudo denotado por 2.5G, fue desarrollado. Este desarrollo estaba destinado a permitir que los operadores de redes móviles implementen servicios de datos más eficientes mientras mantienen la misma infraestructura de su red 2G.

En un entorno donde Internet, el comercio electrónico y la multimedia están muy presentes, las redes que ofrecen un soporte de transferencia de datos limitado tienen un gran inconveniente, los usuarios no solo quieren hablar, sino que también quieren navegar fácilmente en la web, enviar correo como lo hacen en una computadora. Estos usuarios no solo quieren tener todos estos servicios a su disposición, sino también ser libres en sus movimientos mientras los utilizan. Para satisfacer estas necesidades son necesarias otras tecnologías que forman la tercera generación.

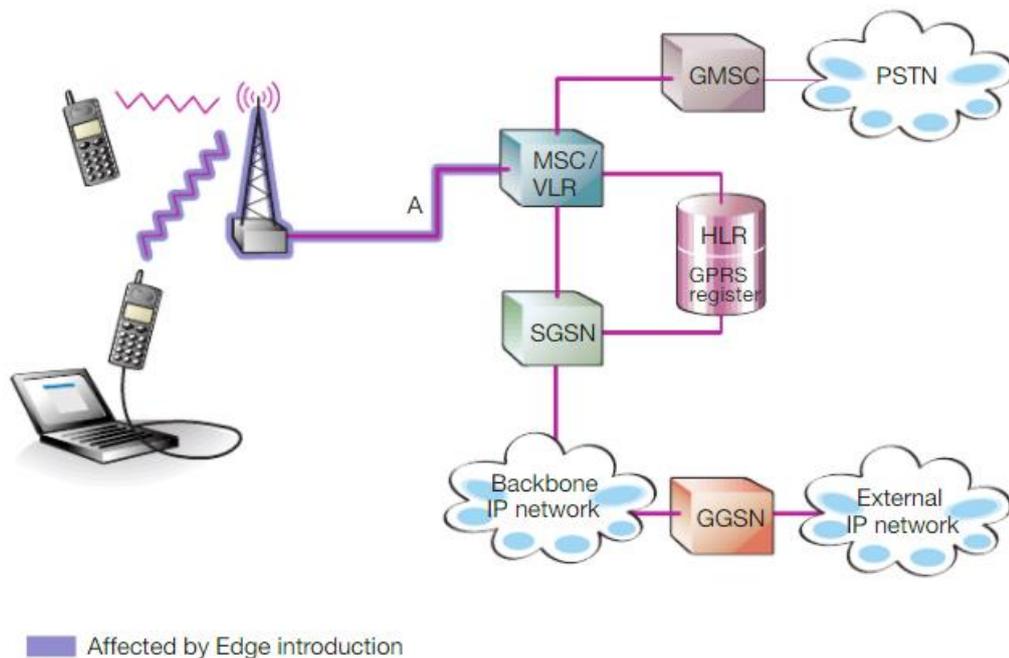


Figura 2. 4: Arquitectura de la técnica de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) en el sistema de comunicación personal (PCS).

Fuente: (Furuskar et al., 1999)

2.3.3. Telefonía celular de tercera generación (3G).

El término 3G se convirtió en una expresión común en la industria de las telecomunicaciones móviles para referirse a las tecnologías y estándares diseñados para mejorar el rendimiento y aumentar la eficiencia de las redes inalámbricas de telefonía móvil. Esta generación es capaz de ofrecer un amplio rango de servicios, las redes móviles 3G ofrecen velocidades superiores a 384 kbps y hasta 2 Mbps (en zonas urbanas, con movilidad reducida).

Las redes móviles de tercera generación (3G) definen tres componentes de la ruta general desde la estación móvil a la red IP: (1) las frecuencias de radio utilizadas, (2) las opciones de interfaz aérea utilizadas entre el dispositivo móvil y (3) la estación base, y toda la arquitectura de la red, incluidas las interfaces entre los componentes. La figura 2.5 muestra la arquitectura general de una red 3G. La puerta de enlace de banda ancha MobileNext está configurada como el nodo de soporte de la puerta de enlace de GPRS (Gateway GPRS Support Node, GGSN) en esta arquitectura. Hay tres partes principales en una red móvil 3G:

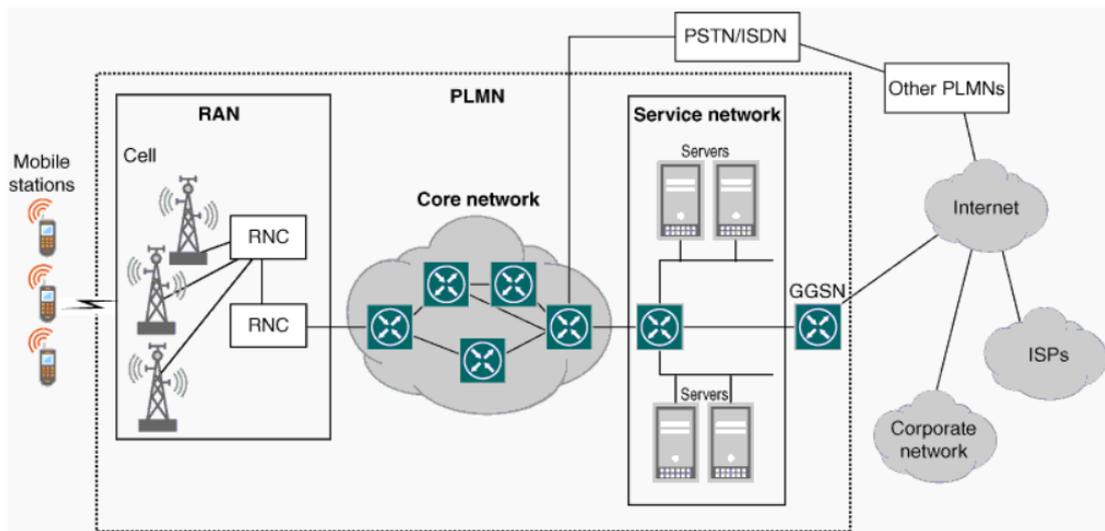


Figura 2. 5: Arquitectura de la red inalámbrica móvil 3G.

Fuente: (Juniper, 2011)

- (1) Una red de acceso por radio (Radio Access Network, RAN): se trata de una disposición jerárquica de torres de telefonía móvil y estaciones base. Las estaciones base se denominan estaciones transceptoras base (Base Transceiver Stations, BTS) o NobeB en 3G. En algunas versiones, también hay controladores de red de radio (Radio Network Controllers, RNC) que se enlazan con los BTS para formar un subsistema de red de radio (Radio Network Subsystem, RNS). Una colección de RNS que utiliza la opción de interfaz aérea CDMA de banda ancha (WCDMA) forma la red de acceso de radio terrestre UMTS (UTRAN). Todos estos se denominan "dispositivos de red" tal como se observa en la figura 2.5. El punto importante es que todos los traspasos entre torres de telefonía móvil se controlan de forma centralizada en la jerarquía de la red 3G.
- (2) Una red central (generalmente IP) que vincula la RAN a la red de servicio 3G: la red central consta de todos los conmutadores, enrutadores y otros componentes de red necesarios para transportar tráfico móvil.
- (3) Una red de servicios a la que se llega a través de la red central: algunos de los servicios alcanzados (los servidores de la figura 2.5) son específicos del proveedor de servicios, como información contable (saldo actual), mensajes de texto del servicio de mensajes

cortos (SMS), buscapersonas y correo de voz. Se accede a otros servicios a través del GGSN (que no forma parte propiamente de la red de servicios 3G), como Internet, otros proveedores de servicios de Internet (ISP) o redes privadas virtuales (VPN) de la red corporativa. La puerta de enlace de banda ancha MobileNext se puede configurar como un GGSN.

Estos sistemas 3G aún disponibles en Latinoamérica admiten servicios de banda ancha, es decir, acceso a Internet de alta velocidad, transmisión de video y, lo que es más importante, transmisión de imágenes de alta calidad. Los requisitos de estos sistemas se basan en la heterogeneidad de los sistemas móviles, manteniendo la compatibilidad con las redes anteriores con una "Upgrade" flexible de los servicios. Estos servicios denominados "3G" están limitados por las limitaciones proporcionadas por la movilidad, tales como rendimiento o el número de usuarios simultáneos en una celda.

2.3.4. Telefonía celular de cuarta generación (4G).

La cuarta generación de la comunicación inalámbrica móvil es conocida como evolución a largo plazo (Long Term Evolution, LTE). LTE es una nueva tecnología de acceso por radio propuesta por el proyecto de asociación de tercera generación (3GPP) para proporcionar una migración sin problemas hacia sistemas inalámbricos de cuarta generación (4G). LTE proporciona una mejor calidad de las comunicaciones al proporcionar velocidades de datos más altas, una latencia reducida y una mayor capacidad y cobertura. En el enlace descendente, LTE utiliza tecnología OFDMA de modo que a cada usuario se le asigna una parte del ancho de banda disponible (un grupo de subportadoras) en función de sus requisitos, la carga actual y la configuración del sistema. (Ramli et al., 2009)

Desde el punto de vista de la arquitectura, la red 4G LTE está diseñada con el objetivo de brindar soporte para el tráfico de paquetes conmutados con movilidad sin interrupciones, calidad de servicio (QoS) y latencia mínima. Este enfoque permite el soporte de todos los servicios (datos, voz, multimedia) a través de conexiones de paquetes. Usando solo dos tipos de

nodos, a saber, el nodo B mejorado (enhanced Node B, eNB) y la entidad de gestión de movilidad (MME) / evolución de arquitectura del sistema de puerta de enlace (SAE GW), se puede definir una arquitectura altamente optimizada (4GRAN) para LTE tal como se muestra en la figura 2.6.

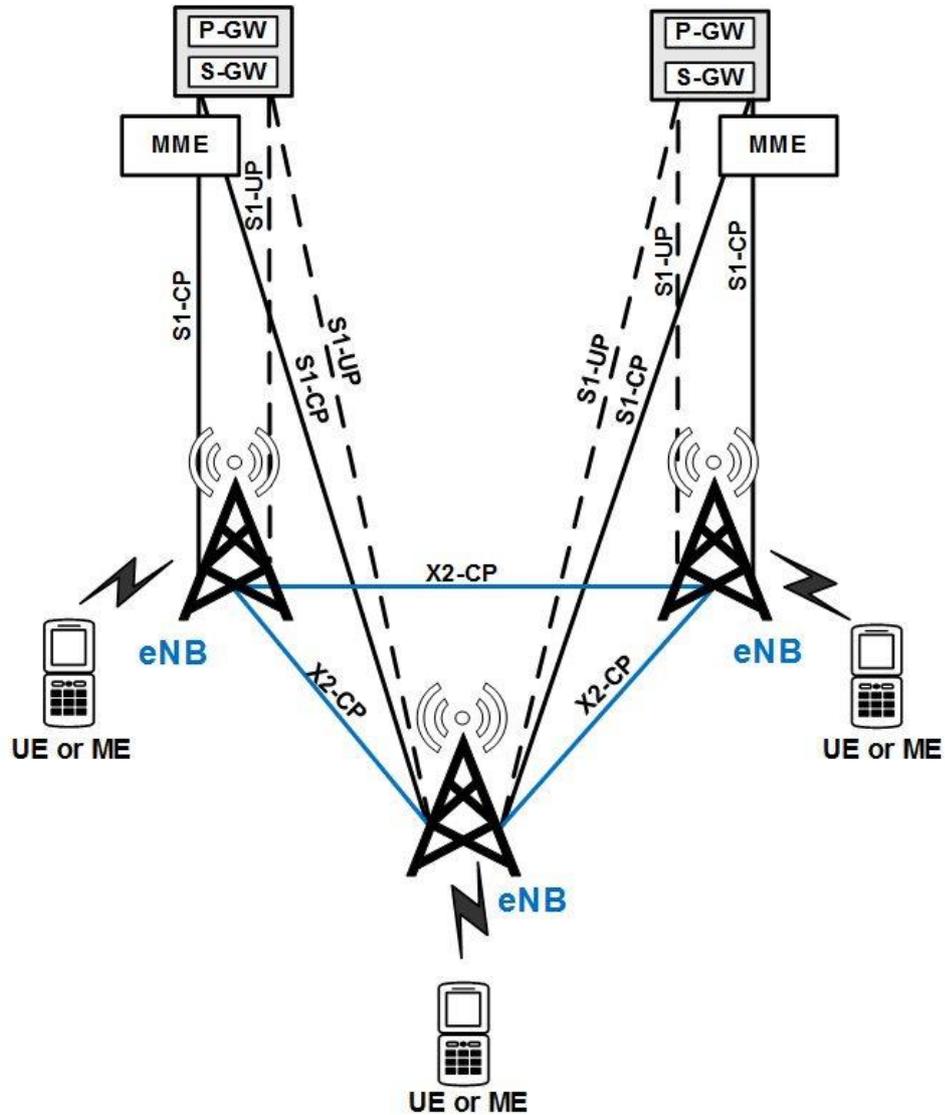


Figura 2. 6: Arquitectura de la red LTE - 4G.
Fuente: (Eluwole et al., 2018)

La evolución a largo plazo (LTE), definida desde la versión 8 del estándar del proyecto de asociación de tercera generación (3GPP), es la última tecnología celular diseñada para proporcionar servicios de comunicación avanzados a dispositivos móviles. LTE ha sido diseñado para mejorar enormemente la capacidad y la eficiencia del espectro en la Red de Acceso de Radio (RAN) y con una arquitectura de solo IP (Protocolo de Internet) más flexible en el Evolved Packet Core (EPC). (Jermyn et al., 2015)

Para Chen et al., (2018) las redes celulares son sistemas complejos con múltiples capas y protocolos, tal como se muestra en la figura 2.7. La duración de un bloque de datos en la capa física es una unidad de retardo básica que se multiplica en capas superiores y, por lo tanto, causa una latencia considerable en un solo enlace. Por otro lado, los protocolos en capas superiores y sus interacciones son fuentes importantes de retraso en toda la red. La latencia varía significativamente en función de múltiples parámetros, incluida la distancia entre el transmisor y el receptor, la tecnología inalámbrica, la movilidad, la arquitectura de la red y el número de usuarios activos de la red.

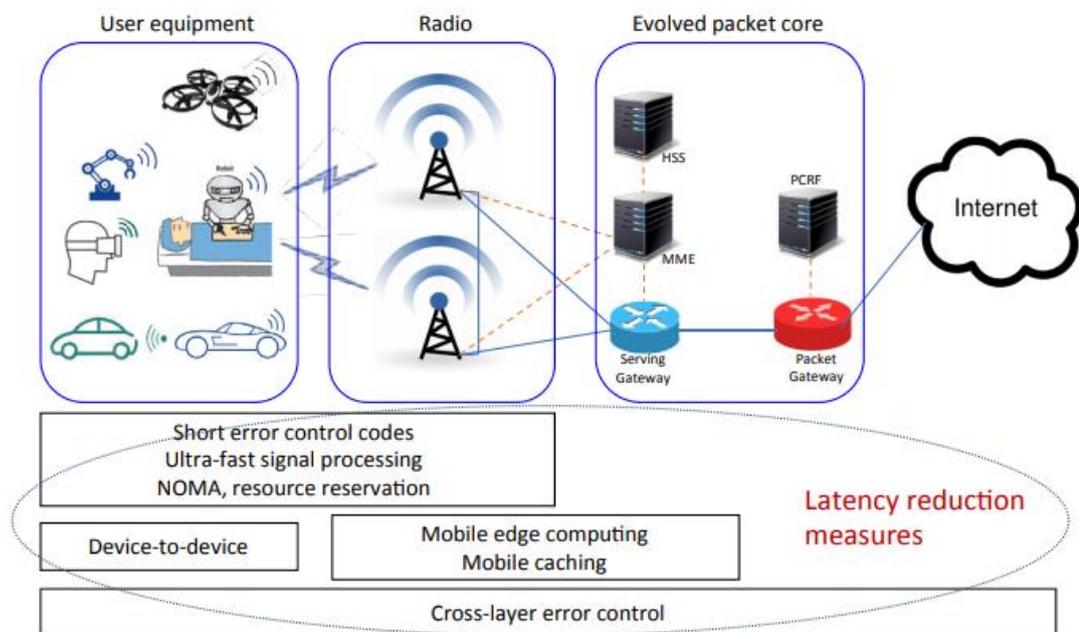


Figura 2. 7: Arquitectura de la red LTE - 4G.
Fuente: (Chen et al., 2018)

2.4. Métodos de acceso por radio

Los sistemas de telecomunicaciones móviles se diseñaron inicialmente asignando, a cada par de estación base-terminal móvil, un canal de transmisión físico y, por lo tanto, un recurso de frecuencia. El espectro de radio es un recurso tan escaso y precioso que no es posible mantener una conexión permanente entre el terminal móvil y la estación base.

La solución es utilizar una estrategia de compartir este recurso entre los distintos usuarios, esta compartición debe optimizarse para maximizar la

capacidad de los usuarios admitidos. Luego, se implementan técnicas de acceso múltiple para permitir que múltiples usuarios compartan de manera eficiente la banda de radio disponible. Estas técnicas se dividen en (véase la figura 2.8):

- Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)
- Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA),
- Acceso múltiple por división de código (CDMA).

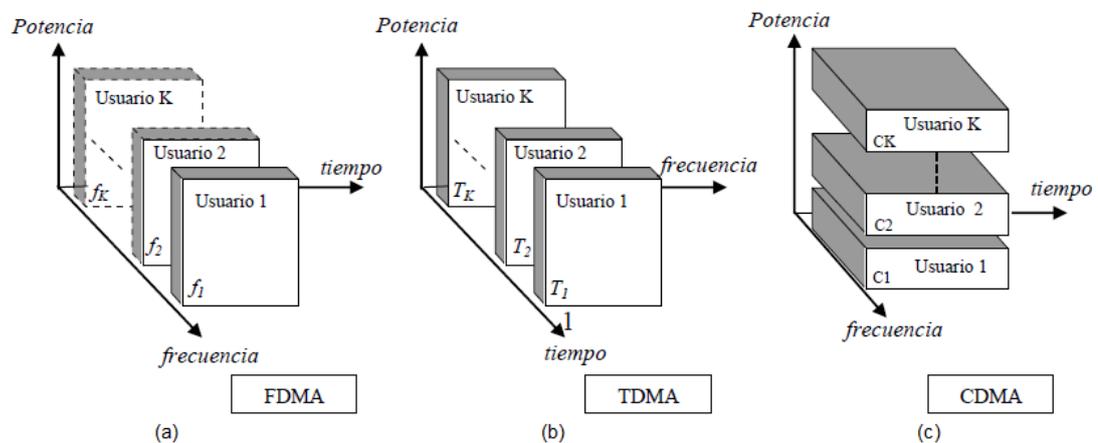


Figura 2. 8: Representación de las técnicas de acceso múltiple.
Fuente: (Chen et al., 2018)

2.4.1. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

Basado en la técnica de multiplexación, ampliamente utilizada en los sistemas de comunicación de 1G, FDMA permite que a cada usuario se le asigne un canal con una banda de frecuencia única. En este caso, solo un usuario puede utilizar este canal durante la duración de una llamada. La supresión de la interferencia de acceso múltiple (MAI) se proporciona mediante el uso de diferentes frecuencias portadoras separadas por un intervalo de frecuencia predefinido.

En sistemas FDMA, el ancho de banda se divide en canales que no se superponen y luego a cada usuario se le asigna un canal diferente para el acceso múltiple. En otras palabras, todos los usuarios envían al mismo tiempo, pero en diferentes bandas de frecuencia, tal como se muestra en la figura 2.9. (Pan & Liew, 2019)

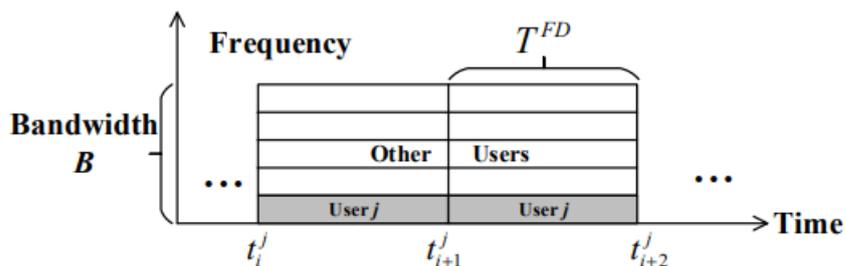


Figura 2. 9: Modelo del sistema de acceso múltiple por división de frecuencia.
Fuente: (Pan & Liew, 2019)

2.4.2. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

Muchos sistemas de comunicación digital como el GSM europeo utilizan esta técnica, la multiplexación de tiempo consiste en distribuir la transmisión de una portadora en distintos intervalos de tiempo, llamados intervalos de tiempo, de duración T_{slot} durante los cuales una estación móvil (MS) puede comunicarse con la estación base (BS).

La asignación de intervalos de tiempo a diferentes usuarios se realiza periódicamente (T_{TDMA}) y a cada uno se le asigna un cierto número de intervalos por trama TDMA numerados por un índice TN . Por lo tanto, un canal físico es la distribución periódica de un intervalo en la trama TDMA en una frecuencia dada. Para no generar un IAM, es necesario respetar estrictamente el intervalo de tiempo otorgado para la transmisión.

En los sistemas TDMA, el tiempo se divide en intervalos de tiempo ortogonales, que luego se asignan a los diferentes usuarios. Suponga que diferentes usuarios envían paquetes de actualización al receptor de manera rotatoria (véase la figura 2.9). Cada usuario utiliza todo el ancho de banda B para transmitir.

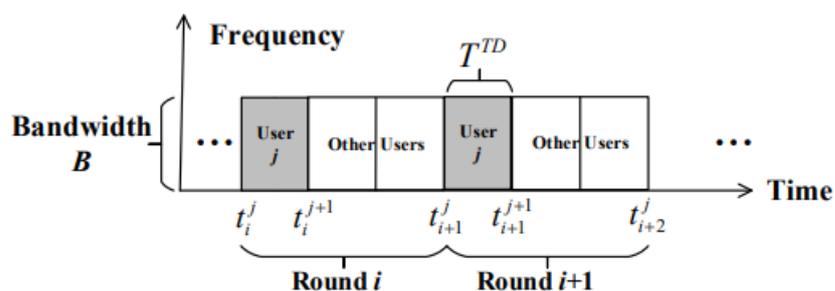


Figura 2. 10: Modelo del sistema de acceso múltiple por división de tiempo.
Fuente: (Pan & Liew, 2019)

Se define una ronda como el tiempo total de transmisión de todos los N usuarios. Dado que con canales simétricos todos los usuarios tienen la misma potencia recibida P , se asume que cada ronda consta de N intervalos de tiempo y cada usuario ocupa un intervalo de tiempo con una duración de intervalo T^{TD} . El tiempo de duración de una ronda es NT^{TD} . (Pan & Liew, 2019)

2.4.3. Acceso múltiple por división de código (CDMA)

El acceso múltiple por división de código más frecuentemente referido como CDMA, permite que las señales de varios usuarios sean multiplexadas y transmitidas en la misma banda y en los mismos intervalos de tiempo. La señal producida por un usuario se multiplica por un código, llamado código de extensión, un código único por usuario, que le permite transmitir información evitando interferir con los mensajes de otros usuarios, la reducción de IAC no se obtiene solo en el caso del uso de códigos estrictamente ortogonales. De hecho, a diferencia de las técnicas TDMA y FDMA, la capacidad de multiplexación de CDMA no está limitada por parámetros físicos (intervalo de tiempo disponible, frecuencia o ancho de banda) sino por la capacidad de generar un máximo de códigos bajo la restricción de la 'ortogonalidad'.

Capítulo 3: Configuración, Simulación y Resultados.

En el presente capítulo se realiza el modelo de simulación de comunicación inalámbrica móvil utilizando el software MatLab R2018a y finalmente se analizan los resultados obtenidos para los tres escenarios creados en este componente práctico.

3.1. Configuraciones en el sistema de acceso múltiple por división de código de banda ancha.

En esta sección del examen complejo se realiza primero la revisión de los esquemas de modulación de velocidad de datos de alta velocidad para el espectro extendido de secuencia directa (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) en sistemas de acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) y los efectos de desvanecimiento en los canales. Luego, se desarrolla un modelo genérico de DSSS WCDMA, tal como se muestra en la figura 3.1 y se simula mediante los esquemas de modulación 16-QAM y QPSK sobre la plataforma MatLab R2018a.

Ambas técnicas de modulación (16-QAM y QPSK) se eligen en este trabajo de examen complejo porque son las candidatas más importantes para entregar una mayor velocidad de datos para el acceso de paquetes de enlace descendente de alta velocidad (HSDPA), es decir una extensión de las redes 3G que siguen operando en las redes de telefonía celular de CNT EP, Claro y Movistar. Además, la simulación propuesta se realiza bajo el canal de ruido gaussiano blanco (AWGN) y canal de desvanecimiento multitrayecto utilizando el software de simulación MatLab R2018a.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de flujo del sistema de simulación propuesto. Se supone que los datos del usuario tienen una distribución de Bernoulli y se pueden representar como $b_n(t)$. Luego, los datos de cada usuario se multiplican con un código de pseudo-ruido (PN) independiente o diferente producido por un generador de PN utilizando el operador lógico de suma especial (XOR). La señal multiplicada de cada usuario se representa como $s_n(t)$ después de que la señal sea modulada ya

canal porque se quiere hacer una comparación de los modelos del sistema WCDMA en dos condiciones extremas del canal. Hay muchos efectos de desvanecimiento que se pueden clasificar como desvanecimiento a gran escala y a pequeña escala.

El desvanecimiento de Rayleigh representa el peor caso de desvanecimiento por trayectos múltiples donde representa un desvanecimiento a pequeña escala debido a pequeños cambios en la posición con respecto al tiempo que es el efecto Doppler. Por otro lado, el canal AWGN representa el ruido térmico generado por los instrumentos eléctricos.

3.2. Descripción de la simulación.

Las simulaciones por computador son el medio más adecuado, robusto y competente para representar los escenarios en tiempo real del sistema de radiocomunicación móvil. Por lo tanto, la plataforma de simulación MatLab R2018a se ha utilizado para simular el modelo de acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) basado en parámetros, teorías y fórmulas asociadas. Entonces se utiliza el software MatLab R2018a para la simulación usando archivos script (tipo .m).

A lo largo de este trabajo de examen complejo se establece la tasa de transmisión de bits es 384 Kbps para el generador de señal. Existen tres modelos de sistemas celulares inalámbricos de acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) que se utilizará en el presente proyecto de investigación son:

1. Escenario 1: Sistema WCDMA usando canal gaussiano blanco aditivo (AWGN)
2. Escenario 2: Sistema WCDMA usando canal AWGN y desvanecimiento de Rayleigh multitrayecto.
3. Escenario 3: Sistema WCDMA multiusuario usando canal AWGN y desvanecimiento de Rayleigh multitrayecto (estático y móvil).

3.3. Diseño de simulación mediante MatLab.

Esta sección se desarrolla la simulación del componente práctico utilizando script de MatLab (archivos m). Se puede escribir un script en el editor de MatLab u otro editor de texto para crear un archivo que contenga las mismas declaraciones que se pueden escribir en la línea de comando de MatLab. El archivo se guarda con un nombre que termina en extensión m. El lenguaje de programación MatLab utilizado en el archivo m es un lenguaje matricial de alto nivel con declaraciones de flujo de control, funciones, estructuras de datos, entrada/salida y características de programación orientada a objetos. Es decir, que MatLab permite que programas simples y complicados simulen todas las situaciones en tiempo real.

3.3.1. Generación de código de difusión.

En sistemas CDMA, la elección de la secuencia de código es muy importante con respecto a la interferencia multiusuario y multitrayecto encontrada por la señal en el canal. Para combatir estas interferencias, el código debe tener las siguientes propiedades:

1. Cada secuencia de código generada a partir de un conjunto de funciones de generación de código debe ser periódica con una longitud constante.
2. Cada secuencia de código generada a partir de un conjunto de funciones de generación de código debe ser fácil de distinguir de su código desplazado.
3. Cada secuencia de código generada a partir de un conjunto de funciones de generación de código debe ser fácil de distinguir de otras secuencias de código.

Los requisitos primero y segundo son importantes con respecto a los efectos de propagación por trayectos múltiples que se producen en entornos de radio móviles exteriores e interiores. Sin embargo, el tercer requisito es importante con respecto a la capacidad de acceso múltiple de los sistemas de comunicación. Por lo tanto, para garantizar un nivel de distinción de códigos para los requisitos 1 y 2, se utilizan una función de autocorrelación y una función de correlación cruzada respectivamente.

El argumento de esta función es el número de períodos del código para los que se debe obtener la función de autocorrelación. La función de autocorrelación se utiliza para medir el nivel de distinción y se define de la siguiente manera:

$$R_{xx}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T X(t)Y(t + \tau)d\tau$$

Por ejemplo, $X(t) = [1,1,1, -1,1, -1]$ se utiliza para obtener una función de autocorrelación de un código, para lo cual se puede escribir en la ventana de comandos lo siguiente:

```
>> X = [1,1,1, -1,1, -1];
>> RXX = autocorr(X);
```

Los anillos polinomiales generados usando registros de desplazamiento de retroalimentación lineal máxima denominados secuencia de longitud máxima (Maximum Length Sequence, MLS) porque son periódicos y reproducen cada secuencia binaria que pueden reproducir los registros de desplazamiento (es decir, para los registros de longitud- m producen una secuencia de longitud $2^m - 1$). Una MLS también se llama a veces una secuencia “n” o una secuencia “m”.

En este caso, se utiliza la secuencia “m” de tres etapas con una longitud de código de 7. El valor de la función de correlación R se puede obtener escribiendo RXX . Por otro lado, `correl-x.m` se utiliza para calcular el valor de la función de correlación cruzada entre dos códigos distintos $X(t)$ e $Y(t)$.

$$R_{xx}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T X(t)Y(t + \tau)d\tau$$

Los argumentos de esta función son el nombre de la secuencia y el número de períodos del código para los que se debe obtener la función de autocorrelación. La siguiente función se escribirá para calcular la función de correlación cruzada de los códigos $X(t)$ e $Y(t)$.

```

>> X = [1,1,1,-1,1,-1];
>> Y = [1,-1,1,-1,1,1-1,1];
>> RXY = crosscorr(X,Y);

```

Para calcular la función de correlación cruzada, se escribe RXY . Por lo tanto, el código de propagación se puede calcular utilizando estas funciones de autocorrelación y correlación cruzada.

3.3.2. Generación de código por registro de desplazamiento de retroalimentación lineal.

En esta sección, el registro de desplazamiento de retroalimentación lineal (LSFR) se utilizará para generar secuencias de código en sistemas WCDMA. Un registro de desplazamiento contiene un número de celdas identificadas por los números 1 a r , y cada celda es una unidad de almacenamiento que, bajo el control de un pulso de reloj, mueve los contenidos a su salida mientras lee sus nuevos contenidos desde la entrada. En una configuración estándar de un registro de retroalimentación, la entrada de la celda m será una función de la salida de la celda $m - 1$ y la salida de la celda r (la última celda del registro de desplazamiento) forma la secuencia de código deseada.

En los registros de desplazamiento de retroalimentación lineal (FSR lineales), la función que combina las salidas de la celda $m-1$ y la celda r con la entrada de la celda m es lineal. La figura 3.2 muestra un único registro de desplazamiento binario lineal, que puede generar una secuencia a partir del polinomio de generación $h(x) = x^5 + x^2 + 1$.

En general, la configuración de un registro de desplazamiento binario lineal de n secciones se describe mediante un polinomio generador, que es un polinomio binario de grado n . Donde n , en este caso, es el número de registro del registro de desplazamiento.

$$h(x) = h_n x^n + h_{n-1} x^{n-1} + \dots \dots h_1 x^1 + 1 \quad (h_i \in \{0,1\})$$

3.3.3. Generación de secuencias del registro de desplazamiento de retroalimentación lineal.

La secuencia “m” es una secuencia generada por un único LFSR en el que se genera una secuencia de período posible ($N_c = 2^n - 1$) mediante un registro de desplazamiento binario de n etapas con retroalimentación lineal. Para generar una secuencia “m”, el polinomio generador debe ser de grado n. Por lo tanto, la función de autocorrelación periódica de una secuencia M viene dada por:

$$r_{xx}(t) = \begin{cases} 1 & t = \text{mod}N_c \\ -\frac{1}{N_c} & \text{de otra manera} \end{cases}$$

Si $n \neq 0 \pmod{4}$, existen pares de secuencia de longitud máxima con una función de correlación cruzada de tres valores, donde los dos valores son $\{-t(n), t(n) - 2\}$ con

$$t(n) = \begin{cases} 1 + 2^{(n+1)/2} & n: \text{odd} \\ 1 + 2^{(n+2)/2} & n: \text{even} \end{cases}$$

El archivo m se da como secuencia_m.m. El número de registros, los valores iniciales de los registros y la posición de las derivaciones (taps) de retroalimentación se proporcionan como argumento en secuencia_m.m. Por ejemplo, suponga que el registro del 3^{er} número, los valores iniciales de los registros son [1, 1, 1] y la posición del toque de retroalimentación está en la primera y tercera derivación. El polinomio de generación se puede expresar como:

$$h(x) = x^3 + x + 1$$

Esta configuración se puede visualizar utilizando el registro de desplazamiento tal como se muestra en la figura 3.2. La secuencia “m” se puede generar utilizando el siguiente comando.

```
>> m1 = mseq(3, [1,3], [1,1,1])
```

Como resultado, se genera una secuencia “m” de tres etapas [1, 1, 1, 0, 1, 0, 0] como vector. Un cuarto argumento, que denota el número de resultados, está disponible en mseq.m. Para un número dado de N salidas,

N secuencias de “m” desplazada de un chip. Por ejemplo, el siguiente comando genera otra secuencia “m” de tres etapas:

```
>> m2 = mseq(3, [2, 3], [1, 1, 1], 3)
```

```
Ans = 1 1 1 0 1 0 1 0
```

```
0 1 1 1 0 1 0 1
```

```
1 0 1 1 1 0 1 0
```

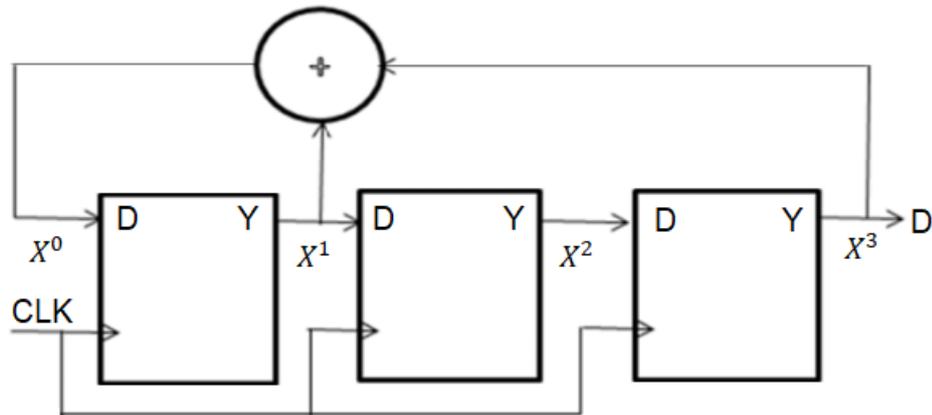


Figura 3. 2: Secuencia M de tres etapas

Fuente: (Joseph & Ravi, 2016)

El desplazamiento del número de chips dados por los usuarios para el vector o matriz es realizado por la función en el archivo desplazamiento.m.

Las características de las secuencias “m” se pueden evaluar utilizando las funciones autocorrelacion.m y correlacionx.m. Los siguientes comandos se utilizan para convertir las secuencias de código generadas que consisten en 0 y 1 en secuencias de código que consisten en -1 y 1.

```
>> m1 = m2*2 - 1;
```

```
>> m2 = m2*2 - 1;
```

La función de correlación de la secuencia M de tres etapas m1 se puede calcular escribiendo el siguiente comando.

```
>> autocorr(m1);
```

El valor de autocorrelación obtenido es [7, -1, -1, -1, -1, -1, -1]. Por lo tanto, satisface la ecuación anterior. A continuación, el siguiente comando se utiliza para encontrar la función de correlación cruzada entre m1 y m2 (1, :).

```
>> crosscorr (m1,m2 (1, : 1));
```

[3, -1, 3, -1, -1, -5, 3] es el valor de correlación cruzada obtenido de este comando. Este resultado toma tres valores, a saber [-1, -t (n), t (n) -2] donde t (n) = 5 tomado de la ecuación. Por lo tanto, m1 y m2 (1, :) tienen las características de un par preferido.

$$X^0 \quad X^1 \quad X^2 \quad X^3$$

3.3.4. Configuración del sistema de transmisión y recepción.

En esta sección, el sistema se configura en función del sistema WCDMA síncrono. Cada usuario emplea su propia secuencia para difundir los datos de información. En esta transmisión de enlace descendente, los datos de información son modulados por esquemas de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) y modulación de amplitud en cuadratura (16-QAM). Después, los datos modulados se distribuyen por código que es la secuencia "m". Los datos difundidos de todos los usuarios en el sistema se transmiten a los usuarios móviles al mismo tiempo.

El usuario móvil detecta los datos de información de cada usuario correlacionando la señal recibida con una secuencia de código asignada a cada usuario. El rendimiento del sistema WCDMA se estudia en base a las técnicas de modulación digital como QPSK y 16-QAM que se utilizarán en esta simulación. El archivo de simulación principal es dscdma.m. Los parámetros utilizados en la simulación se definen de la siguiente manera.

```
sr = 192000;    % Velocidad de símbolo
m1 = 2;        % niveles de modulación
br = sr*m1;    % Tasa de bits
nd = 100;      % Número de símbolos
ebn0 = 10;     % relación Eb/No
irfn = 21;     % Número de derivaciones del filtro
IPOINT = 8;    % Número de sobre muestras
alfs = 0.5     %#ok<NOPTS> % Factor de caída
```

Los coeficientes de los dos filtros (T y R) que evalúan el rendimiento de las modulaciones digitales QPSK y 16-QAM se definen de la siguiente manera.

```
[xh]=hrollfcoef (irfn,IPOINT,sr,alfs,1); % Función del filtro T
[xh2]=hrollfcoef (irfn,IPOINT,sr,alfs,0);% Función del filtro R
```

En el sistema WCDMA síncrono, el número de secuencias de código que se pueden asignar a diferentes usuarios es igual al número de longitudes de código. Por lo tanto, la longitud de la secuencia del código debe ser mayor que la longitud del código. Por lo tanto, la longitud de la secuencia de código debe ser mayor que la cantidad de usuarios.

Para generar un código, se debe especificar el número de registros, la posición del toque de retroalimentación y el valor inicial de los registros. Por lo tanto, se utilizan los siguientes parámetros.

```

usuario = 1;      % Número de usuarios
secuencia = 1;   % Secuencia M
etapa = 3;       % Número de etapas
ptap1 = [1 3];   % Posición de 1er tap
ptap2 = [2 3];   % Posición de 2do tap
regi1 = [1 1 1]; % Valor inicial del registro 1er tap
regi2 = [1 1 1]; % Valor inicial del registro 2do tap

```

Al usar estos parámetros, se genera un código extendido y el código generado se almacena como código variable. El código es una matriz con una secuencia del número de usuarios multiplicado por la longitud de la secuencia del código. Los siguientes comandos se utilizan para convertir la secuencia de código generada que consiste en 0 y 1 en una secuencia de -1 y 1.

```

Codigo = codigo*2 - 1;
long_C = length (codigo);

```

Posteriormente, se definen los parámetros para la simulación (ver script) del canal de desvanecimiento. Cuando rfade se declara como 0 (con línea de vista, LOS), el archivo que evalúa el rendimiento de la tasa de error de bits (BER) en el canal AWGN. Por otro lado, cuando rfade es 1 (sin línea de vista, NLOS), la simulación evalúa el rendimiento de BER en un entorno de desvanecimiento de Rayleigh multitrayecto.

```

rfade = 0;      % Desvanecimiento de Rayleigh
                % 0: nada, 1: considerar
itau = [0,8];   % Tiempo de retardo
dlvl1 = [0.0,40.0]; % De nivel de atenuación

```

```

n0 = [6,7];      % Número de ondas para generar desvanecimiento
tetal = [0.0,0.0]; % Fase inicial de onda retardada
itnd1 = [3001,4004]; % Establecer contador de desvanecimiento
nondas1 = 2;     % Número de ondas directas + ondas retardadas
tstp = 1/sr/IPOINT/long_C; % De resolución de frecuencia
fd = 160;       % Frecuencia Doppler (HZ)
plano = 1;      % Entorno plano de Rayleigh

```

En consecuencia, se establece el número de bucles de simulación. Se inician las variables que cuentan el número de bits de datos transmitidos y el número de errores.

```

n_loop = 100;   % n veces de simulación
n_error = 0;    % número de errores
n_datos = 0;    % número de datos

```

Los datos transmitidos en el canal en fase y en la fase de cuadratura modulada por QPSK o 16-QAM se multiplican por la secuencia de código utilizada para difundir los datos transmitidos. Los datos extendidos se sobremuestran y filtran mediante un filtro de transferencia y se transmiten a un canal de comunicación. El formato utilizado para ingresar estas nuevas funciones no depende del vector o la matriz. Los archivos que realizan estas simulaciones son `compoversamp2.m` y `compconv2 m`.

```

Datos = rand (usuario,nd*m1);
[ich,qch] = qpskmod (datos,usuario,nd,m1); % modulación QPSK
[ich1,qch1] = spread (ich,qch,codigo); % difusión
[ich2,qch2] = compoversamp2 (ich1,qch1,IPOINT); % sobremuestreo
[ich3,qch3] = compconv2 (ich2,qch2,xh); % Filtro T

```

A continuación, se presenta la síntesis de las señales transmitidas por los usuarios.

```

if usuario == 1 % número de usuarios es 1
    ich4 = ich3;
    qch4 = qch3;
else           % número de usuarios mayores que 1
    ich4 = sum (ich3);
    qch4 = sum (qch3);
end

```

Luego, la señal sintetizada se contamina en un canal de desvanecimiento de Rayleigh.

```

if rfade == 0    % canal AWGN
    ich5 = ich4;
    qch5 = qch4;
else           % canal de desvanecimiento Rayleigh
[ich5,qch5] = sefade (ich4,qch4,itau,dlv11,th1,n0,
                    itnd1,now1,length(ich4),tstp,fd,flat);
icnd1 = icnd1 + itndel; % contador de desvanecimiento
end

```

En el receptor, AWGN se agrega a los datos recibidos como se representa en un archivo de simulación comb2.m. A continuación, la señal contaminada se filtra utilizando un filtro de caída de coseno radicular.

```

% cálculo de atenuación
spow = sum (rot90(ich3.^2+qch3.^2))/nd;
attn = sqrt (0.5*spow*sr/br*10^(-ebn0/10));
% Añadir AWGN
[ich6,qch6] = comb2 (ich5,qch5,attn);
% filtro
[ich7,qch7] = compconv2 (ich6,qch6,xh2);
sampl = irfn*IPOINT + 1;
% remuestreo
ich8 = ich7 (:,muestra:IPOINT:IPOINT*nd*clen+muestra-1);
qch8 = qch7 (:,muestra:IPOINT:IPOINT*nd*clen+muestra-1);

```

Ahora los datos de la muestra son los datos sintetizados de todos los usuarios. Al correlacionar los datos sintetizados con el código de propagación utilizado en el transmisor, se detectan los datos transmitidos de todos los usuarios. La correlación se realiza por la función despread.m.

```

[ich9,qch9] = despread (ich8,qch8,codigo); % difundir

```

Luego, los datos correlacionados se demodulan mediante una técnica de modulación. Se calcula el número total de errores para todos los usuarios. Finalmente, se calcula la BER.

```

% demodulación QPSK
n_error2 = sum (sum(abs(datos-demodatos)));
n_datos2 = usuario*nd*ml;
n_error = n_error + n_error2;
n_datos = n_datos + n_datos2;

```

Para simular el sistema WCDMA en un canal de desvanecimiento de múltiples rutas con desplazamiento Doppler, se utilizan procedimientos similares. Los cambios de frecuencia Doppler (Hz) se basan en una velocidad terminal móvil de 60 km/h, 120 km/h, respectivamente. Las simulaciones para las técnicas de modulación QPSK y 16-QAM se realizan simulando el valor de E_b/N_0 en un intervalo fijo. Por ejemplo, si el rango de E_b/N_0 es de 0 a 10 con un intervalo de 1, el valor de BER se obtendrá para E_b/N_0 en 1 intervalo.

Esto significa que la simulación para obtener el valor de las BER debe realizarse 11 veces. El rango de E_b/N_0 está determinado por el comportamiento de la BER en ese rango de E_b/N_0 . Para realizar la simulación de WCDMA en el escenario LOS, el valor de desvanecimiento (r_{fade}) se inicializa a 0. De lo contrario, se puede asignar a 1. Cuando $r_{fade}=1$, el canal del sistema WCDMA está sujeto al canal AWGN y al canal de desvanecimiento multitrayecto. El desplazamiento Doppler, por otro lado, se define en f_d . Representa el valor del desplazamiento Doppler en hercios (Hz).

Además, la simulación de la modulación 16-QAM se puede lograr cambiando las funciones de modulador y demodulador de `qpsk_mod` y `qpsk_demod` a `qam_mod` y `qam_demod` respectivamente.

3.3.5. Limitación y suposición.

La simulación DS-CDMA es el modelo de sistema principal para estudiar el rendimiento de las técnicas de modulación en canales de múltiples rutas. No habrá esquema de corrección de errores (codificación de canal) utilizado en este proyecto. Además, no habrá ecualización ni intercalados empleados en el modelo de sistema WCDMA. Se supone que el receptor no es un receptor RAKE ni un receptor MIMO. El canal está sujeto al ruido AWGN y al desvanecimiento de Rayleigh únicamente.

Además, la BER en LOS para este modelo se basa en la aproximación gaussiana mejorada simplificada. Por otro lado, la BER para el

desvanecimiento de Rayleigh se basa en transmisiones síncronas o asíncronas. Para la transmisión asincrónica, se supone que la interferencia de acceso múltiple (MAI) en el canal de desvanecimiento plano de Rayleigh tiene una distribución gaussiana de primer orden. Sin embargo, la función característica, Φ , se utiliza en la transmisión asincrónica para determinar el MAI total, I , y, por lo tanto, la BER se puede calcular en función de estas variables.

3.4. Análisis del rendimiento del sistema WCDMA.

Con base a los datos generados por la simulación por computadora de los modelos del sistema WCDMA, se obtiene la relación para el modelo de propagación de trazado de rayos utilizando las técnicas de modulación QPSK y QAM entre BER en función de los siguientes parámetros para propagación sin línea de vista (NLOS):

1. BER frente a la relación de señal a ruido (Signal-to-Noise Ratio, SNR) en el canal AWGN utilizando el esquema de modulación QPSK.
2. BER frente a la SNR en el canal AWGN utilizando el esquema de modulación 16-QAM.
3. BER frente a la SNR en el canal AWGN y canal de desvanecimiento Rayleigh multitrayecto con desplazamiento Doppler (60 km/h y 120 km/h) utilizando el esquema de modulación QPSK.
4. BER frente a la SNR en el canal AWGN y canal de desvanecimiento Rayleigh multitrayecto con desplazamiento Doppler (60 km/h y 120 km/h) utilizando el esquema de modulación 16-QAM.
5. BER frente a la SNR para comparar entre el canal AWGN y el canal de desvanecimiento Raleigh multitrayecto para diferentes números de usuarios utilizando el esquema de modulación QPSK.
6. BER frente a la SNR para comparar entre el canal AWGN y el canal de desvanecimiento Raleigh multitrayecto para diferentes números de usuarios utilizando el esquema de modulación 16-QAM.

En este enfoque, la simulación se realiza con éxito utilizando la técnica de modulación QPSK. Los gráficos BER deseados se obtienen para la simulación en el canal AWGN. Además, se obtiene un resultado satisfactorio cuando el sistema se simula en canal AWGN y en un canal de desvanecimiento multirrayecto sometido a desplazamiento Doppler con terminal móvil que se mueve a 60 km/h y 120 km/h. Sin embargo, la simulación no produce el resultado deseado cuando se emplea como técnica de modulación 16-QAM en el sistema WCDMA. Los resultados de estos dos enfoques se discuten en las siguientes secciones.

3.4.1. Análisis de rendimiento del sistema WCDMA con canal AWGN utilizando el esquema de modulación QPSK.

La tabla 3.1 muestra los resultados obtenidos de la relación señal a ruido (SNR) contra la tasa de error de bits (BER) del sistema WCDMA mediante el modelo de propagación de trazado de rayos (conocido como 2 rayos, uno es LOS y el otro es reflejado o NLOS) utilizando el canal AWGN. La simulación se realiza para 1 usuario con una SNR entre 0 y 10 con 1000 iteraciones donde el número total de datos transmitidos es 200000.

Tabla 3. 1: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal AWGN para 1 usuario.

| SNR | Numero de errores | BER |
|-----|-------------------|------------------------|
| 0 | 16012 | 7.808×10^{-2} |
| 1 | 10994 | 5.667×10^{-2} |
| 2 | 7423 | 3.760×10^{-2} |
| 3 | 4395 | 2.242×10^{-2} |
| 4 | 2501 | 1.245×10^{-2} |
| 5 | 1213 | 6.025×10^{-3} |
| 6 | 501 | 2.310×10^{-3} |
| 7 | 153 | 8.250×10^{-4} |
| 8 | 41 | 1.950×10^{-4} |
| 9 | 3 | 1.000×10^{-5} |
| 10 | 1 | 5.000×10^{-6} |

Elaborado por: Autor.

En la figura 3.3 se muestra la gráfica del rendimiento entre la BER y la SNR para el sistema WCDMA con el modelo de propagación de trazado de rayos para 1 usuario utilizando el canal AWGN.

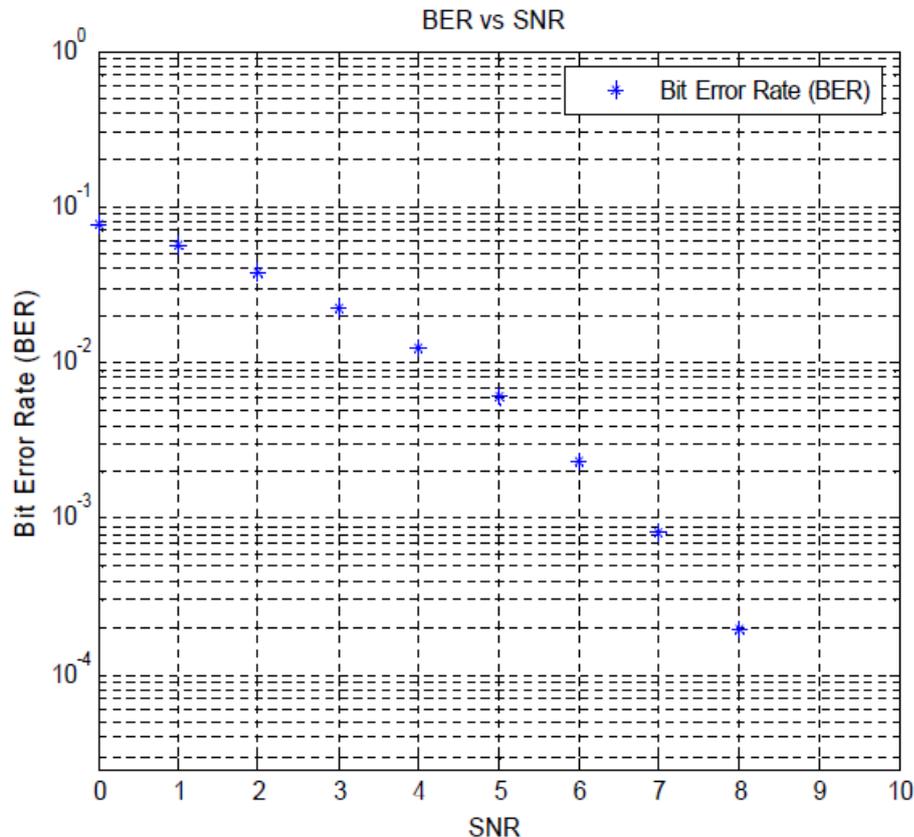


Figura 3. 3: Rendimiento del sistema WCDMA con canal AWGN usando esquema de modulación QPSK para 1 usuario.

Elaborado por: Autor.

3.4.2. Análisis de rendimiento del sistema WCDMA con canal AWGN y desvanecimiento de Rayleigh multitrayecto utilizando el esquema de modulación QPSK.

En las tablas 3.2 y 3.3 se muestran los resultados obtenidos de la relación señal a ruido (SNR) frente a la tasa de error de bits (BER) del sistema WCDMA mediante el modelo de propagación de trazado de rayos (conocido como 2 rayos, uno es LOS y el otro es reflejado o NLOS) utilizando el canal de desvanecimiento de Rayleigh para velocidades de 60 y 120 km/h respectivamente. La simulación se realiza para 1 usuario con una SNR entre 0 y 20 con 1000 iteraciones donde el número total de datos transmitidos es 200000 a una velocidad de 60 km/h. Los gráficos de la BER para varios desplazamientos Doppler se simulan en el mismo gráfico tal

como se muestra en la figura 3.4. En el eje “y” del gráfico BER se amplía para representar el comportamiento en el entorno de desplazamiento Doppler.

Tabla 3. 2: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal de desvanecimiento Rayleigh para 1 usuario a 60 km/h.

| SNR | Numero de errores | BER |
|------------|--------------------------|------------------------|
| 0 | 28001 | 1.394×10^{-1} |
| 2 | 20385 | 1.022×10^{-1} |
| 4 | 14422 | 7.265×10^{-2} |
| 6 | 9699 | 4.871×10^{-2} |
| 8 | 6501 | 3.247×10^{-2} |
| 10 | 4201 | 2.099×10^{-2} |
| 12 | 3001 | 1.463×10^{-2} |
| 14 | 1905 | 9.440×10^{-3} |
| 16 | 1302 | 6.305×10^{-3} |
| 18 | 921 | 4.580×10^{-3} |
| 20 | 622 | 3.070×10^{-3} |

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 3: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal de desvanecimiento Rayleigh para 1 usuario a 120 km/h.

| SNR | Numero de errores | BER |
|------------|--------------------------|------------------------|
| 0 | 28015 | 1.396×10^{-1} |
| 2 | 21002 | 1.041×10^{-1} |
| 4 | 14612 | 7.285×10^{-2} |
| 6 | 9899 | 4.999×10^{-2} |
| 8 | 6698 | 3.354×10^{-2} |
| 10 | 4502 | 2.218×10^{-2} |
| 12 | 2910 | 1.445×10^{-2} |
| 14 | 1901 | 9.390×10^{-3} |
| 16 | 1255 | 6.200×10^{-3} |
| 18 | 801 | 4.580×10^{-3} |
| 20 | 555 | 3.070×10^{-3} |

Elaborado por: Autor.

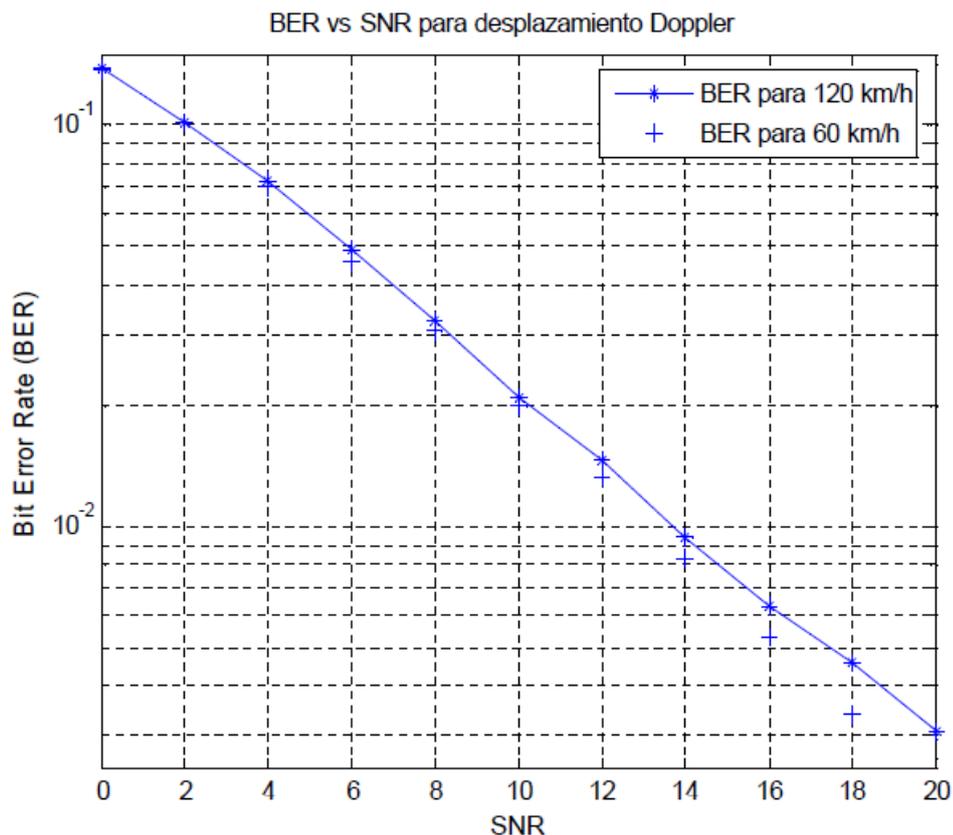


Figura 3. 4: Rendimiento del sistema WCDMA con canal de desvanecimiento Rayleigh multitrayecto usando esquema de modulación QPSK para 1 usuario. Elaborado por: Autor.

3.4.3. Análisis comparativo del rendimiento del sistema WCDMA con canales AWGN y desvanecimiento Rayleigh multitrayecto utilizando el esquema de modulación QPSK.

En las tablas 3.4 y 3.5 se muestran los resultados obtenidos de la relación señal a ruido (SNR) frente a la tasa de error de bits (BER) del sistema WCDMA mediante el modelo de propagación de trazado de rayos (conocido como 2 rayos, uno es LOS y el otro es reflejado o NLOS) utilizando los canales AWGN y desvanecimiento de Rayleigh multitrayecto, respectivamente. La simulación se realiza para 1 usuario con una SNR entre 0 y 10 con 1000 iteraciones donde el número total de datos transmitidos es 200000. La figura 3.5 muestra la gráfica comparativa de los canales AWGN y desvanecimiento Rayleigh multitrayecto de la BER frente a la SNR para 1 usuario del sistema WCDMA.

Tabla 3. 4: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal AWGN para 1 usuario.

| SNR | Numero de errores | BER |
|------------|--------------------------|------------------------|
| 0 | 15615 | 7.808×10^{-2} |
| 1 | 11334 | 5.667×10^{-2} |
| 2 | 7520 | 3.760×10^{-2} |
| 3 | 4484 | 2.242×10^{-2} |
| 4 | 2489 | 1.245×10^{-2} |
| 5 | 1205 | 6.025×10^{-3} |
| 6 | 462 | 2.310×10^{-3} |
| 7 | 165 | 8.250×10^{-4} |
| 8 | 39 | 1.950×10^{-4} |
| 9 | 2 | 1.000×10^{-5} |
| 10 | 1 | 5.000×10^{-6} |

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 5: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal de desvanecimiento Rayleigh multitrayecto para 1 usuario.

| SNR | Numero de errores | BER |
|------------|--------------------------|------------------------|
| 0 | 28979 | 1.449×10^{-1} |
| 1 | 24809 | 1.24×10^{-1} |
| 2 | 21465 | 1.073×10^{-1} |
| 3 | 18128 | 9.064×10^{-2} |
| 4 | 15283 | 7.642×10^{-2} |
| 5 | 12601 | 6.301×10^{-2} |
| 6 | 10143 | 5.072×10^{-2} |
| 7 | 8285 | 4.143×10^{-2} |
| 8 | 6503 | 3.252×10^{-2} |
| 9 | 5194 | 2.597×10^{-2} |
| 10 | 4119 | 2.060×10^{-2} |

Elaborado por: Autor.

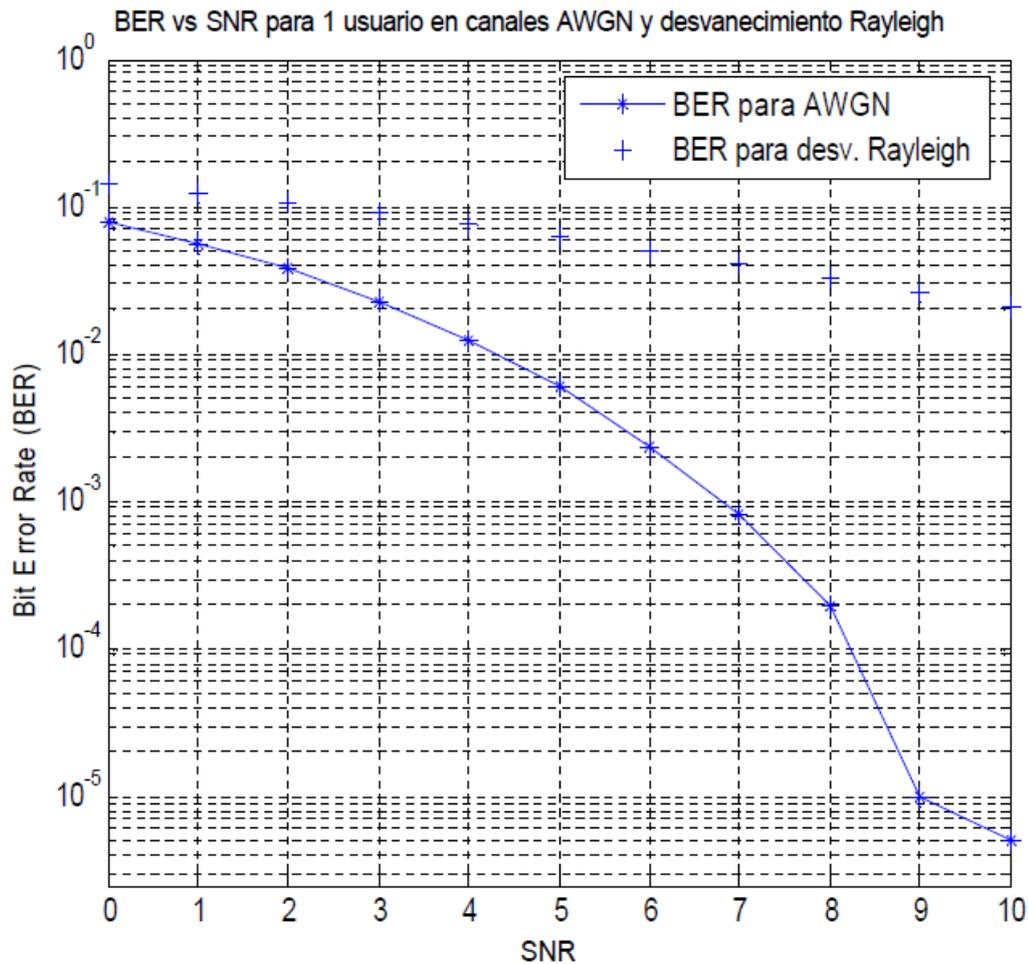


Figura 3. 5: Comparativa de rendimiento del sistema WCDMA con canales AWGN y desvanecimiento Rayleigh multitrayecto usando esquema de modulación QPSK para 1 usuario.
Elaborado por: Autor.

En la tabla 3.6 se muestran los resultados obtenidos de la simulación del sistema WCDMA para evaluación comparativa de la BER vs. SNR para el canal AWGN usando el modelo de propagación de 2 rayos para 5 usuarios cuando el número de datos es 100000. En la tabla 3.7 se muestra el resultado de simulación del sistema WCDMA para evaluación comparativa de la BER frente a la SNR para el canal de desvanecimiento de Rayleigh multitrayecto usando el modelo de propagación de 2 rayos para 5 usuarios cuando el total de datos transmitidos es 100000. La figura 3.6 muestra la gráfica comparativa de los canales AWGN y desvanecimiento de Rayleigh multitrayecto para el sistema WCDMA.

Tabla 3. 6: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal AWGN para 5 usuarios.

| SNR | Numero de errores | BER |
|------------|--------------------------|------------------------|
| 0 | 94680 | 9.468×10^{-2} |
| 2 | 56563 | 5.656×10^{-2} |
| 4 | 29383 | 2.938×10^{-2} |
| 6 | 13676 | 1.368×10^{-2} |
| 8 | 5393 | 5.393×10^{-3} |
| 10 | 1932 | 1.932×10^{-3} |
| 12 | 552 | 5.520×10^{-4} |
| 14 | 72 | 7.200×10^{-5} |
| 16 | 4 | 4.000×10^{-6} |
| 18 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 |

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 7: Resultado de la simulación para la evaluación de BER vs. SNR con canal de desvanecimiento de Rayleigh para 5 usuarios.

| SNR | Numero de errores | BER |
|------------|--------------------------|------------------------|
| 0 | 153437 | 1.534×10^{-1} |
| 2 | 118123 | 1.181×10^{-1} |
| 4 | 87273 | 8.727×10^{-2} |
| 6 | 61875 | 6.183×10^{-2} |
| 8 | 41875 | 4.188×10^{-2} |
| 10 | 27248 | 2.725×10^{-2} |
| 12 | 17799 | 1.780×10^{-2} |
| 14 | 11307 | 1.131×10^{-2} |
| 16 | 7314 | 7.314×10^{-3} |
| 18 | 4713 | 4.713×10^{-3} |
| 20 | 3210 | 3.210×10^{-3} |

Elaborado por: Autor.

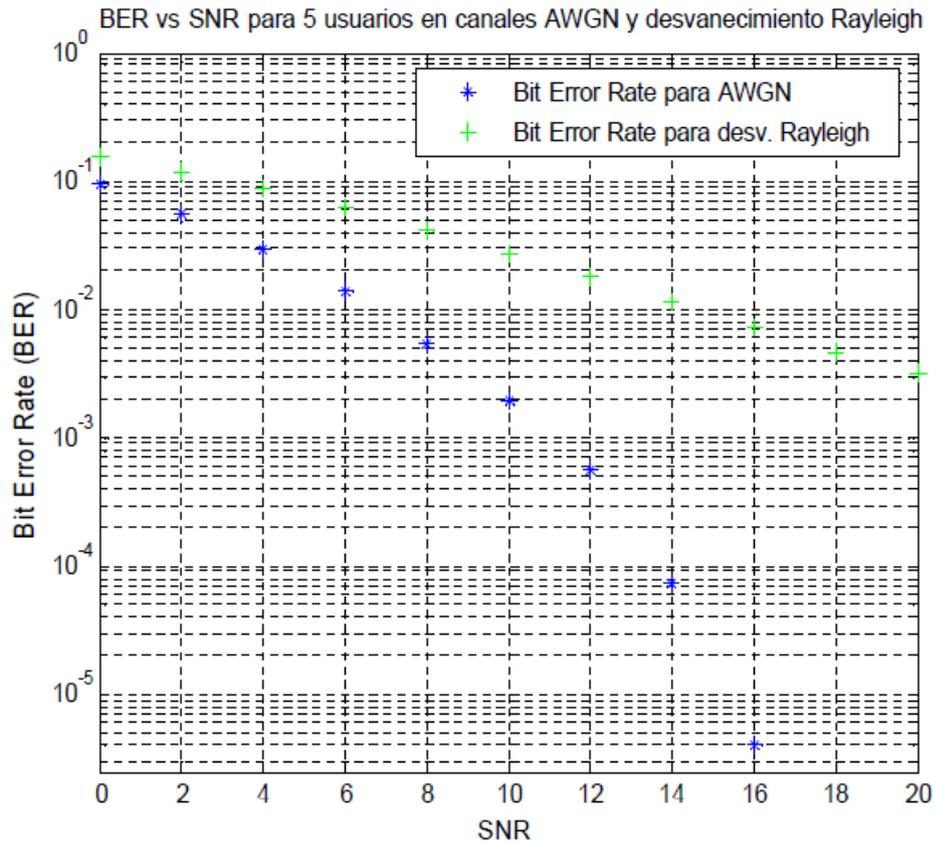


Figura 3. 6: Comparativa de rendimiento del sistema WCDMA con canales AWGN y desvanecimiento Rayleigh multitrayecto usando esquema de modulación QPSK para 5 usuarios.
Elaborado por: Autor.

3.4.4. Análisis de rendimiento del sistema WCDMA con canal AWGN utilizando el esquema de modulación 16-QAM.

Habiendo construido un sistema de comunicación móvil digital simple, es necesario saber medir su desempeño. Como dicen los nombres, la tasa de error de símbolo (SER) y la tasa de error de bits (BER) son las probabilidades de recibir un símbolo y un bit con error, respectivamente. SER y BER pueden aproximarse simulando un sistema de comunicación móvil digital completo que involucra una gran cantidad de bits y comparando la proporción de símbolos o bits recibidos con error con el número total de bits. Por eso,

$$SER = \frac{\text{cantidad de símbolos con error}}{\text{Total de símbolos transmitidos}}$$

Hasta ahora, la única imperfección entre las entidades Tx y Rx que se ha cubierto es AWGN. Entonces tiene sentido que más distorsiones

corrompan aún más la señal y resulten en más errores. Por lo tanto, SER o BER trazados contra alguna medida de relación señal/ruido (SNR) es el punto de referencia con el que se puede medir el rendimiento de un sistema.

En la figura 3.7 se muestra el resultado obtenido de la BER/SER frente a la SNR utilizando canales AWGN y Rayleigh multitrayecto. Se puede observar que para una SNR=0 dB se tiene una SER=10⁰=1 y una BER=10^{-0.56}=0.27. Por lo tanto, a una mayor SNR la BER/SER disminuye su valor de manera exponencial tal como se muestra en la figura 3.7.

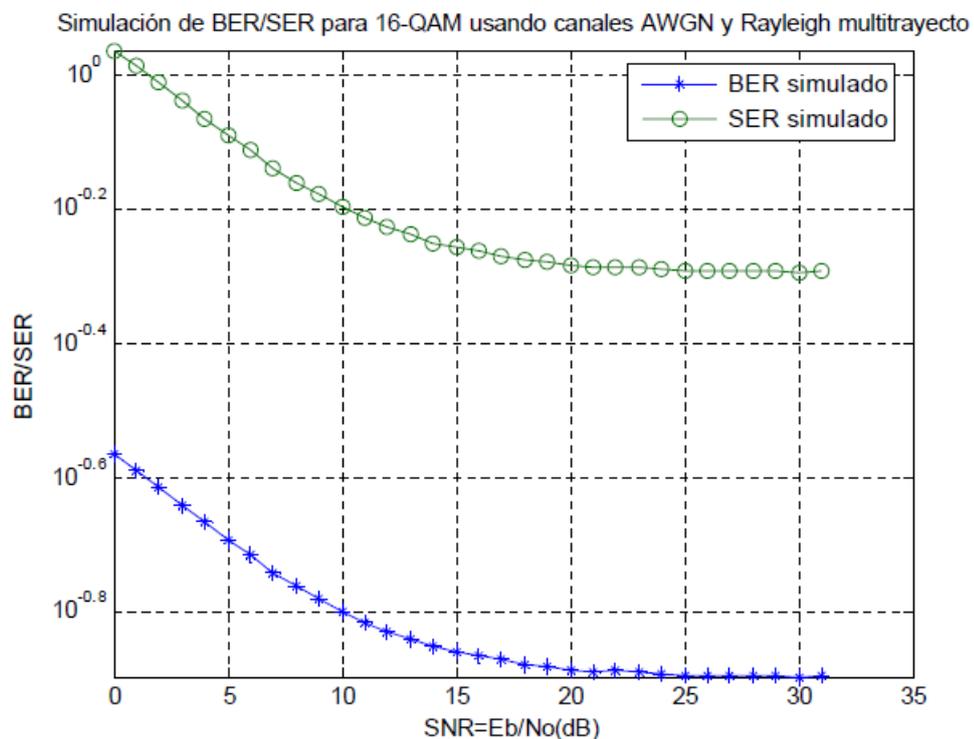


Figura 3. 7: Resultados obtenidos de la BER/SER del sistema WCDMA usando modulación 16-QAM.
Elaborado por: Autor.

3.4.5. Análisis de rendimiento del sistema WCDMA con canales AWGN y Rayleigh multitrayecto utilizando el esquema de modulación 16-QAM.

En este modelado del sistema WCDMA no se pudo obtener ningún resultado en este escenario ya que los resultados son inconsistentes e inciertos. Por lo tanto, no se pudo investigar el rendimiento de WCDMA para este escenario.

3.5. Análisis y discusión

La simulación usando MatLab muestra que cada esquema de modulación QPSK y 16-QAM en el canal AWGN tiene un buen rendimiento cuando se compara con la del canal de desvanecimiento de Rayleigh multitrayecto. Además, el rendimiento de las modulaciones QPSK y 16-QAM se degrada cuando el canal se somete a desvanecimiento multitrayecto con un valor creciente de desplazamiento Doppler (Hz). En otras palabras, funciona mal a medida que aumenta la velocidad del terminal móvil. Además, el sistema funciona mal a medida que aumenta el número de usuarios.

La comparación entre los esquemas de modulación QPSK y 16-QAM muestra que la modulación 16-QAM funciona muy mal tanto en AWGN (canal LOS) como en AWGN con canal de desvanecimiento multitrayecto. La simulación de la modulación 16-QAM en MatLab no se pudo realizar porque se sospecha que la variación de amplitud con la fase causa errores en la constelación de la señal 16-QAM.

La razón detrás de este bajo rendimiento de la modulación 16-QAM en el sistema WCDMA en el canal de desvanecimiento multitrayecto se debe básicamente a la interferencia entre la fase de portadores adyacentes en la constelación de 16-QAM. Es necesario utilizar un enfoque de sonido en 16-QAM del sistema WCDMA para garantizar una interferencia cero o mínima entre las fases de portadoras adyacentes en la constelación de 16-QAM. Se sugiere que la codificación de corrección de errores, como la codificación de convolución o la codificación turbo, se utilice en este sistema para garantizar un mejor rendimiento de la modulación 16-QAM del sistema WCDMA.

Además, es posible considerar el uso de un receptor RAKE o una antena inteligente (MIMO) en este sistema para explotar las señales retrasadas generadas en el canal de desvanecimiento multitrayecto. También se descubre que el rendimiento de múltiples usuarios en MatLab está limitado a un máximo de 7 usuarios. Por lo tanto, este sistema necesita

ser mejorado para simular una mayor cantidad de usuarios para que el rendimiento del WCDMA pueda estudiarse de manera más dinámica.

CONCLUSIONES

- El trabajo realizado ha permitido comprender los fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles basados en la técnica de codificación de transmisiones WCDMA. Primero se presentó los sistemas de telecomunicaciones móviles y sus respectivos métodos de acceso por radio, con énfasis en aquellos basados en la técnica de espectro ensanchado.
- El rendimiento del sistema WCDMA en el canal AWGN muestra que la técnica de modulación QPSK tiene un mejor rendimiento en comparación con 16-QAM. Además, se encuentra una tendencia similar cuando el canal se somete a un desvanecimiento de Rayleigh multitrayecto con desplazamiento Doppler. El rendimiento de la técnica de modulación QPSK y 16-QAM en el sistema WCDMA se degrada a medida que aumenta la movilidad de 60 km/h a 120 km/h tanto para la modulación QPSK como para 16-QAM.
- Sin embargo, la modulación QPSK muestra un mejor rendimiento en comparación con la modulación 16-QAM en el canal LOS y el canal de desvanecimiento Rayleigh multitrayecto. En otras palabras, la modulación 16-QAM sufre una degradación de la señal y un error cuando las simulaciones se realizan en estos canales. A medida que aumenta el número de usuarios, la técnica de modulación QPSK funciona mal en el sistema WCDMA.

RECOMENDACIONES

A continuación, se presenta dos recomendaciones para ampliar el presente estudio del sistema WCDMA.

- Implementar esquemas de corrección de errores de codificación por convolución utilizando la modulación M-QAM.
- Análisis comparativo entre canal de desvanecimiento de Rician y Rayleigh multitrayecto.

Bibliografía

- Ahmed, M. M., Mohamed, A. I., Bilal, K. H., & Omer, Z. mahmoud. (2018). Implementation of Cognitive Radio Technology in WCDMA System. *2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/ICCCEEE.2018.8515883>
- Chen, H., Abbas, R., Cheng, P., Shirvanimoghaddam, M., Hardjawana, W., Bao, W., Li, Y., & Vucetic, B. (2018). Ultra-Reliable Low Latency Cellular Networks: Use Cases, Challenges and Approaches. *IEEE Communications Magazine*, 56(12), 119–125. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1701178>
- Eluwole, O. T., Udoh, N., Ojo, M., Okoro, C., & Akinyoade, A. J. (2018). From 1G to 5G, What Next? *International Journal of Computer Science*, 45(3).
- Furuskar, A., Mazur, S., Muller, F., & Olofsson, H. (1999). EDGE: Enhanced data rates for GSM and TDMA/136 evolution. *IEEE Personal Communications*, 6(3), 56–66. <https://doi.org/10.1109/98.772978>
- Goel, A. (2018). GSM Cell Phone Tracking Online. *Engineering*. <https://engineering.eckovation.com/gsm-cell-phone-tracking-online/>
- Grekhov, A., Kondratiuk, V., & Ilnytska, S. (2020). RPAS communication channels based on WCDMA 3GPP standard. *Aviation*, 24(1), 42–49. <https://doi.org/10.3846/aviation.2020.12166>
- Jermyn, J., Jover, R. P., Murynets, I., Istomin, M., & Stolfo, S. (2015). Scalability of Machine to Machine systems and the Internet of Things on LTE mobile networks. *2015 IEEE 16th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/WoWMoM.2015.7158142>

- Joseph, M., & Ravi, S. (2016). FPGA Implementation for Low Power Self Testable MIPS processor. *International Journal of Printing, Packaging & Allied Sciences*, 4(6), 4593–4605.
- Juniper, N. (2011). *Overview of 3G Mobile Networks and the MobileNext Broadband Gateway* - [Technical Documentation]. https://www.juniper.net/documentation/en_US/junos-mobility11.2/topics/concept/gateways-mobility-3g-overview.html#id-g001984
- Pan, H., & Liew, S. C. (2019). Information Update: TDMA or FDMA? *arXiv:1911.02241 [cs, eess, math]*. <http://arxiv.org/abs/1911.02241>
- Ramli, H. A. M., Sandrasegaran, K., Basukala, R., & Wu, L. (2009). Modeling and simulation of packet scheduling in the downlink long term evolution system. *2009 15th Asia-Pacific Conference on Communications*, 68–71. <https://doi.org/10.1109/APCC.2009.5375687>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Kuonqui Tobar, Juan Pablo** con C.C: # 091685991-1 autor del trabajo de examen complejo: Implementación del sistema WCDMA utilizando esquemas de modulación digital en redes inalámbricas móviles, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 4 de octubre del 2021



f. _____

Nombre: **Kuonqui Tobar, Juan Pablo**

C.C: 091685991-1

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

| | | | |
|---|---|-----------------------------|----|
| TÍTULO Y SUBTÍTULO: | Implementación del sistema WCDMA utilizando esquemas de modulación digital en redes inalámbricas móviles | | |
| AUTOR(ES) | Kuonqui Tobar, Juan Pablo | | |
| REVISOR(ES)/TUTOR(ES) | M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; M. Sc. Quezada Calle, Edgar / M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando | | |
| INSTITUCIÓN: | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil | | |
| FACULTAD: | Sistema de Posgrado | | |
| PROGRAMA: | Maestría en Telecomunicaciones | | |
| TÍTULO OBTENIDO: | Magister en Telecomunicaciones | | |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: | Guayaquil, 4 de octubre del 2021 | No. DE PÁGINAS: | 61 |
| ÁREAS TEMÁTICAS: | Sistemas de comunicaciones, redes inalámbricas móviles | | |
| PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS: | Comunicaciones, Inalámbricas, Propagación, Acceso, Radio, Modulación | | |
| RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): | | | |
| <p>En este documento se presenta la implementación del sistema WCDMA utilizando esquemas de modulación digital en redes inalámbricas móviles. En el capítulo 2 se presenta las generaciones de las comunicaciones inalámbricas móviles y de las técnicas de acceso de radio como la tecnología móvil WCDMA. Este sistema funciona en las comunicaciones inalámbricas móviles de 3era generación (3G) y que aún en el país aborda las demandas y desafíos de alto nivel, ayudando a brindar servicios eficientes y prometedores que cumplen con requisitos tales como tráfico de datos, video y multimedia muy rápido así com las señales de voz. En el capítulo 3 se presenta el rendimiento del sistema WCDMA y se evalúa mediante la plataforma de simulación MatLab, donde se comparó la BER teórica para los esquemas de modulación QPSK y 16-QAM donde se obtuvieron tablas y curvas de la tasa de error de bits frente a la relación señal/ruido.</p> | | | |
| ADJUNTO PDF: | <input checked="" type="checkbox"/> SI | <input type="checkbox"/> NO | |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: | Teléfono: 0999777616 | E-mail: | |
| CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE): | Nombre: Manuel Romero Paz | | |
| | Teléfono: 0994606932 | | |
| | E-mail: manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec | | |
| SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA | | | |
| Nº. DE REGISTRO (en base a datos): | | | |
| Nº. DE CLASIFICACIÓN: | | | |
| DIRECCIÓN URL (tesis en la web): | | | |