

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

***ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE
ESTRUCTURAS MIMO LTE EN
ESCENARIOS DE FADING***

Alumno/Alumna: Bilbao, Ateca, Iñigo

Director/Directora: Romo, Argota, Juan Antonio

Curso: 2017-2018

Fecha: Bilbao, 24, Julio, 2018

ÍNDICE

1. RESUMEN TRILINGÜE.....	5
Castellano.....	5
Euskara.....	5
Inglés.....	6
2. LISTA DE TABLAS	7
3. LISTA DE ILUSTRACIONES.....	8
4. LISTA DE ACRÓNIMOS	9
5. INTRODUCCIÓN	11
6. CONTEXTO DEL PROYECTO.....	14
6.1 CAPA FÍSICA 4G (LTE y LTE-ADVANCED)	14
6.2 MECANISMOS DE PROPAGACIÓN EN ENLACES MÓVILES.....	19
6.3 MODELOS DE PROPAGACIÓN.....	20
6.3.1 RAYLEIGH.....	21
6.3.2 RICEAN.....	21
6.3.3 NAKAGAMI	22
6.4 TÉCNICAS DE DIVERSIDAD ESPACIAL.....	22
7. ALCANCE	24
8. BENEFICIOS DEL PROYECTO	26
8.1 BENEFICIOS TÉCNICOS.....	26
8.2 BENEFICIOS ECONÓMICOS.....	26
8.3 BENEFICIOS SOCIALES.....	27
9. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	29
9.1 HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN DE RENDIMIENTO	29
9.2 HERRAMIENTAS PARA GRAFICAR LOS RESULTADOS.....	30
9.3 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN	30
9.3.1 TIPO DE DIVERSIDAD ESPACIAL.....	30
9.3.2 ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL.....	33
9.3.3 BANDAS DE RADIOFRECUENCIA LTE.....	33
9.3.4 ESQUEMAS DE MODULACIÓN.....	34
9.3.5 ESTIMADOR DE CANAL.....	34

9.3.6	MODELO DE PROPAGACIÓN	34
9.3.7	CODE RATE.....	35
9.3.8	CARGA	35
10.	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	37
11.	METODOLOGÍA.....	42
11.1	FASE 1: ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS IMPLICADAS	42
11.2	FASE 2: ESTUDIO DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN.....	42
11.3	FASE 3: DEFINICIÓN DE LA VARIABILIDAD DE PARÁMETROS Y FLUJO DE SIMULACIÓN	43
11.4	FASE 4: GENERACIÓN DE BASE DE DATOS.....	44
11.5	FASE 5: TRATAMIENTO DE DATOS.....	44
11.6	FASE 6: REPRESENTACIÓN GRÁFICA.....	44
11.7	FASE 7: ANÁLISIS COMPARATIVO	44
12.	RESULTADOS.....	45
12.1	TIPO DE DIVERSIDAD ESPACIAL.....	46
12.2	ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL.....	49
12.3	BANDAS DE FRECUENCIA LTE.....	50
12.4	ESQUEMA DE MODULACIÓN.....	52
12.5	ESTIMADOR DE CANAL.....	54
12.6	MODELO DE PROPAGACIÓN	55
12.7	CODE RATE.....	57
12.8	CARGA	59
13.	DESCRIPCIÓN DE TAREAS. GANTT	61
13.1	DIAGRAMA DE GANTT.....	62
14.	DECLARACIÓN DE GASTOS.....	63
14.1	RECURSOS HUMANOS.....	63
14.2	AMORTIZACIONES	64
14.3	OTROS GASTOS.....	64
14.4	GASTOS TOTALES.....	65
15.	CONCLUSIONES	66
16.	BIBLIOGRAFÍA	67
	ANEXO I: CODIGO UTILIZADO EN LA FASE DE TRATAMIENTO DE DATOS (VISUAL BASIC).....	69

1. RESUMEN TRILINGÜE

Castellano

En las comunicaciones inalámbricas modernas, los sistemas MIMO (Multiple-input multiple-output) desempeñan un papel fundamental ya que no requieren un ancho de banda mayor ni un aumento de la potencia transmitida para mejorar la capacidad, rango y fiabilidad del canal. Este proyecto presenta un detallado análisis del rendimiento de los sistemas MIMO bajo diferentes casos de desvanecimiento. También se han estudiado otros parámetros de variación (frecuencia, modulación...), para ver cómo afectan al comportamiento del sistema en cada uno de los escenarios de desvanecimiento. Para ello, primero se ha realizado un estudio previo para determinar cuáles son estas variables. A partir de ahí, se ha medido el rendimiento (BER) de cada sistema con respecto a la relación señal a ruido (SNR). A continuación, se ha realizado un tratamiento de datos, para después realizar la representación gráfica. El análisis final de los resultados muestra que el rendimiento del sistema depende de los distintos parámetros y variables que se han tenido en cuenta.

Euskara

Haririk gabeko komunikazio modernoetan, MIMO (Multiple-input multiple-output) sistemek funtsezko zeregina dute, ez dutelako banda zabalera ez transmisio potentzia handiagorik behar kanalaren gaitasuna eta fidagarritasuna hobetzeko. Proiektu honek MIMO sistemen funtzionamendu azterketa zehatza aurkezten du, fading kasu ezberdinetarako. Beste parametro batzuk ere kontuan hartu dira (maiztasuna, modulazioa...), hauek sistemaren portaeran duten eragina aztertuz. Lehenik, parametro horiek zein diren zehazteko azterketa bat egin da. Hortik aurrera, sistema bakoitzaren errendimendua aztertu da (SNR) zarata seinale erlazioaren (SNR) arabera. Ondoren datuak prozesatu dira eta emaitzen irudikapen grafikoa egin da. Bukatzeko, emaitzen azken analisiaren arabera,

sistemaren errendimendua, kontuan hartu diren parametro eta aldagaien araberakoa dela ondorioztatu da.

Inglés

In modern wireless communication, multiple-input multiple-output (MIMO) system plays an important role as it improves channel capacity, range and reliability without requiring any additional bandwidth or transmit power. This project presents a detailed analysis of capacity performance of MIMO systems under fading cases. Other variation parameters (frequency, modulation etc.) have been studied, which have helped to clarify how they affect the behavior of the system. First, a previous study has been carried out to determine what these variables are. From there, the performance (BER) of each system has been measured with respect to the signal-to-noise ratio (SNR). Afterwards, a data processing has been carried out as well as graphic representation of the results.

The final analysis of the results shows that the performance of the system depends on the different parameters and variables that have been taken into account.

2. LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Asignación de frecuencias LTE a operadores en España.....	33
Tabla 2: Numero de RB asignable a un usuario, para distintos anchos de banda.....	36
Tabla 3: Salidas fuente de señal RF, una antena.....	38
Tabla 4: Salidas fuente de señal RF, dos antenas.....	39
Tabla 5: Entradas y salidas canal de propagación.....	39
Tabla 6: Entradas y salidas receptor RF, una y dos antenas.....	40
Tabla 7: Parámetros y variables.....	43
Tabla 8: Distribución y descripción de paquetes de trabajo y tareas.....	61
Tabla 9: Gasto recursos humanos.....	63
Tabla 10: Horas invertidas en cada una de las fases.....	63
Tabla 11: Amortizaciones.....	64
Tabla 12: Otros gastos.....	64
Tabla 13: Gastos totales.....	65

3. LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Distribución de subportadoras OFDM.....	15
Ilustración 2: Espectro de una señal OFDM con 6 subportadoras.....	16
Ilustración 3: Estructura de trama LTE, FDD.....	17
Ilustración 4: Estructura o distribución de un slot en el dominio del tiempo, con CP normal....	17
Ilustración 5: Estructura del slot en el dominio de la frecuencia y el tiempo, CP normal.....	18
Ilustración 6: Usuario móvil en presencia de propagación multitrayecto e interferencia.	19
Ilustración 7: Diversidad espacial: Un transmisor, N antenas receptoras.	23
Ilustración 8: Diversidad espacial: N transmisores, una antena receptora.	23
Ilustración 9: Sistema SISO.	31
Ilustración 10: Sistema SIMO.	31
Ilustración 11: Sistema MISO.	32
Ilustración 12: Sistema MIMO.....	32
Ilustración 13: Esquema genérico de distribución de bloques.....	37
Ilustración 14: Fuente de señal RF, una antena.	37
Ilustración 15: Fuente de señal RF, dos antenas.	38
Ilustración 16: Modelo de canal.	39
Ilustración 17: Receptor RF, una y dos antenas.....	40
Ilustración 18: Ejemplo MIMO 2x2, modelo de referencia (2500MHz, 20MHz, MMSE_2D, EVA5, 1/3, 100%).	41
Ilustración 19: Sistema de transmisión con código convolucional.	46
Ilustración 20: BER (codificado) respecto a los tipos de diversidad espacial.....	47
Ilustración 21: BER respecto a los tipos de diversidad espacial.	47
Ilustración 22: BER (codificado vs sin codificación) MIMO 2X2.	48
Ilustración 23: BER (codificado) respecto a diferentes anchos de banda.....	49
Ilustración 24: BER respecto a diferentes anchos de banda.....	50
Ilustración 25: BER (codificado) respecto a diferentes frecuencias.....	51
Ilustración 26: BER (codificado) respecto a diferentes anchos de banda (ampliado).	51
Ilustración 27: BER respecto a diferentes anchos de banda.....	52
Ilustración 28: BER (codificado) respecto a diferentes esquemas de modulación.....	53
Ilustración 29: BER respecto a diferentes esquemas de modulación.	53
Ilustración 30: BER (codificado) respecto a diferentes tipos de estimador de canal.	54
Ilustración 31: BER respecto a diferentes tipos de estimador de canal.....	55
Ilustración 32: BER (codificado) respecto a los distintos modelos de propagación.	56
Ilustración 33: BER respecto a los distintos modelos de propagación.....	57
Ilustración 34: BER (codificado) respecto a los code rate.....	58
Ilustración 35: BER respecto a los code rate.....	58
Ilustración 36: BER (codificado) respecto a las distintas cargas del sistema.	59
Ilustración 37: BER respecto a las distintas cargas del sistema.....	60
Ilustración 38: Diagrama de Gantt.	62

4. LISTA DE ACRÓNIMOS

- LTE: Long Term Evolution.
- BER: Bit Error Rate.
- SNR: Signal to Noise Ratio.
- ADS: Advanced Design System.
- 1G: First generation.
- 2G: Second generation.
- 3G: Third generation.
- 4G: Fourth generation.
- HD: High Definition.
- TMA: Tecnología móvil automática.
- TACS: Total Access Communications System.
- FM: Frequency Modulation.
- FDMA: Frequency Division Multiple Access.
- TRAC: Telefonía Rural de Acceso Celular.
- GSM: Global system for mobile communication.
- ETSI: European Telecommunications Standards Institute.
- GPRS: General Packet Radio Service.
- EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution
- SMS: Short message service.
- SIM: Subscriber Identity Module.
- TDMA: Time-division multiple access.
- UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.
- UE: Unión Europea.
- FTP: File Transfer Protocol.
- W-CDMA: Wideband Code Division Multiple Access.
- QPSK: Quadrature Phase Shift Keying.
- HSDPA: High Speed Downlink Packet Access.
- HSUPA: High Speed Uplink Packet Access.
- IMT: International Mobile Telecommunications.
- WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- SISO: Single Input Single Output.
- MISO: Multiple Input Single Output.
- SIMO: Single Input Multiple Output.
- MIMO: Multiple Input Multiple Output.
- OFDMA: Orthogonal frequency-division multiple access.
- FDD: Frequency Division Duplex.

- ISI: Inter symbol interference.
- CP: Cyclic prefix.
- RE: Resource Element.
- RB: Resource Block.
- QAM: Quadrature amplitude modulation.
- LOS: Line of sight.
- QoS: Quality of Service.
- OMV: Operadora móvil virtual.
- UPV: Universidad del País Vasco.
- TFG: Trabajo fin de grado.
- ETU: Extended Typical Urban model.
- EVA: Extended Vehicular A model.
- AWGN: Additive white Gaussian noise.

5. INTRODUCCIÓN

Las redes 4G/LTE son parte de nuestras vidas desde hace ya algún tiempo. Sin la existencia de esta tecnología de comunicación móvil, los servicios móviles de última generación que actualmente están disponibles a través de las operadoras de telecomunicaciones, no serían posibles. No seríamos capaces de ver un simple video en resolución FullHD en nuestros móviles, ni siquiera de poder disfrutar de música online, o de ver una película en plataformas de streaming como Netflix o HBO. Algo impensable a día de hoy, en una sociedad en la que el consumo del contenido bajo demanda en los dispositivos móviles ha aumentado exponencialmente [1].

En este proyecto solo se van a estudiar las redes basadas en tecnología LTE, no obstante, es necesario que conozcamos, aunque sea de forma resumida, los estándares y las tecnologías previas.

A nivel global, en cada zona geográfica la evolución y los estándares han seguido caminos parecidos, pero distintos. En líneas generales, lo que ha empujado cada nueva generación ha sido: mejorar las prestaciones de la anterior, aumentar la capacidad, añadir servicios, mejorar la eficiencia espectral (más tráfico con el mismo espectro), bajar los costes de inversión y los costes de mantenimiento.

-Primera generación:

Los sistemas 1G [2] estaban concebidos como redes analógicas de conmutación de circuitos para telefonía vocal en full-duplex. Destacar los sistemas TMA-450 y TMA-900 (basado en el sistema TACS). Este sistema funcionaba con modulación analógica FM y portadoras con un ancho de banda de 25 KHz cada una de las cuales soportaba un solo canal de voz. A este tipo de

acceso (un usuario una frecuencia) se le conoce técnicamente como FDMA (Frequency Division Multiple Access).

En el año 2003 finalizó el servicio, quedando algunas estaciones para dar cobertura al TRAC (telefonía Rural de Acceso Celular), que aseguraba el servicio telefónico en núcleos aislados.

-Segunda generación (GSM, GPRS)

La segunda generación [3] fue la del sistema GSM (Global System for Mobile communication), el estándar europeo de la ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Como la banda de frecuencias utilizada era la de 900 MHz, hubo que liberar frecuencias de los sistemas anteriores.

Con el tiempo, el estándar GSM se amplió para incluir las comunicaciones de datos, primero en modalidad de conmutación de circuitos, y luego por conmutación de paquetes a través de GPRS (General Packet Radio Service) y EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution, o EGPRS).

En un principio el estándar GSM fue desarrollado por la ETSI como una red digital de conmutación de circuitos para telefonía vocal en full dúplex para sustituir las antiguas redes celulares analógicas de primera generación (1G), a la que luego se le añadirían servicios básicos de datos, primero SMS y después servicios basados en GPRS.

GSM incluía además otras novedades, como fueron la introducción de la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) y el roaming.

Este sistema usaba modulación GMSK, con portadoras con un ancho de banda de 200 KHz, que permitían la transmisión de 8 canales de voz multiplexados en el tiempo (TDMA – Time Division Multiple Access). La voz era digitalizada, el código obtenido se cifraba y se hacía un entrelazado de los bits para obtener una transmisión más robusta. La eficiencia espectral era poco superior a la de los

sistemas 1G, pero se reducían costes, se añadían nuevos servicios como el SMS, y el sistema era más seguro y más robusto frente a interferencias.

-Tercera generación (UMTS)

En España y en Europa la tercera generación [4] entró con el UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y su despliegue empezó en 2002.

Durante los primeros años, se sacó poco provecho de la capacidad de transmisión de datos de UMTS, aunque el tráfico de datos iba aumentando discretamente. Pero a partir del año 2009, con la aparición de terminales con pantallas cada vez mayores, el tráfico de datos se disparó.

También a partir del año 2009 la UE abrió la posibilidad de que las bandas de 900 y 1800 MHz hasta entonces dedicadas a GSM se utilizaran para UMTS. Desde entonces, en España los operadores han ido liberando frecuencias de 900 utilizadas por GSM para UMTS en un proceso de desmontaje gradual del sistema GSM y más tarde frecuencias de 1800 MHz para LTE.

El objetivo de UMTS era integrar voz y datos a alta velocidad en un mismo sistema.

Con la utilización de técnicas W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) para acceso múltiple, con portadoras de 5 MHz de ancho de banda y diversos esquemas de modulación basados en QPSK, el estándar UMTS conseguía un mayor aprovechamiento espectral que su predecesor GSM.

Las nuevas especificaciones HSDPA/HSUPA, con la aplicación de técnicas MIMO (Multiple Input Multiple Output) y de agregación de portadoras, aumentaron aún más la velocidad de transmisión de datos (hasta 42 Mbps) y el aprovechamiento espectral.

6. CONTEXTO DEL PROYECTO

Para poder establecer las bases sobre las cuales se va a construir el proyecto, en primer lugar, es necesario conocer las características de las señales de los sistemas 4G además de los estándares que se utilizan. Después, se analizarán las causas de las interferencias de estas señales y también tecnologías que ayudan a incrementar la capacidad de los sistemas.

6.1 CAPA FÍSICA 4G (LTE y LTE-ADVANCED)

En 2013 empezó en España el despliegue del sistema LTE [5] (Long Term Evolution) y a día de hoy su despliegue continúa en curso.

Al principio del despliegue LTE solo soportaba conexiones de datos. En caso de llamadas de voz, el sistema transfería la conexión automáticamente a la red UMTS, que siempre tenía cobertura donde la había de LTE.

Para LTE se asignó en un principio la banda de 2600 MHz, pero ya se le tenía reservada la del 'dividendo digital' a 800 MHz. Así mismo se está instalando LTE en la banda de 1800 MHz a medida que se liberan frecuencias de anteriores tecnologías.

El estándar LTE fue desarrollado por el 3GPP con el objetivo de aumentar la velocidad de transmisión de datos, bajar la latencia, soportar nuevos servicios como IOT (Internet de las cosas).

La simplificación del núcleo de red se hizo a costa de suprimir las conexiones en modo circuito, que en los sistemas 1G, 2G y 3G soportaban las llamadas de voz. En LTE todas las conexiones eran IP (modo paquete), motivo por el cual el sistema en un principio no podía soportar llamadas de voz hasta que fuera posible gestionar una conexión con una tasa de bits garantizada y unos tiempos de latencia suficientemente bajos, es decir unos adecuados parámetros de calidad (QoS).

Sin embargo, con velocidades de bajada de hasta 100 Mbps LTE no cumplía con las especificaciones IMT-Advanced de la UIT-R (1 Gbps) para ser considerado 4G, a pesar de lo cual se le permitió ser considerado como tal por las notables mejoras que incorporaba con respecto a los sistemas 3G. En esta misma situación se encontraba el estándar WIMAX del IEEE.

La nueva versión LTE-Advanced sí cumple las especificaciones IMT-Advanced y se denomina 'verdadero 4G', para ello utiliza la técnica de agregación de portadoras junto con técnicas MIMO que ya usaba UMTS.

La técnica de acceso de LTE se conoce como (OFDMA – Orthogonal Frequency Domain Multiple Access), y usa modulación OFDM -similar a la de la Televisión Digital- y portadoras de 10 MHz de ancho de banda. Dicha técnica basada en la utilización de un elevado número de subportadoras, moduladas independientemente y capaces de transmitir en paralelo una secuencia de bits, proporciona una mayor protección frente a interferencias y cancelaciones provocadas por el multitrayecto a la vez que permite mayores velocidades de transmisión. Por su parte, para sacar provecho de estas capacidades también requiere el uso de complejas técnicas dinámicas de asignación de recursos.

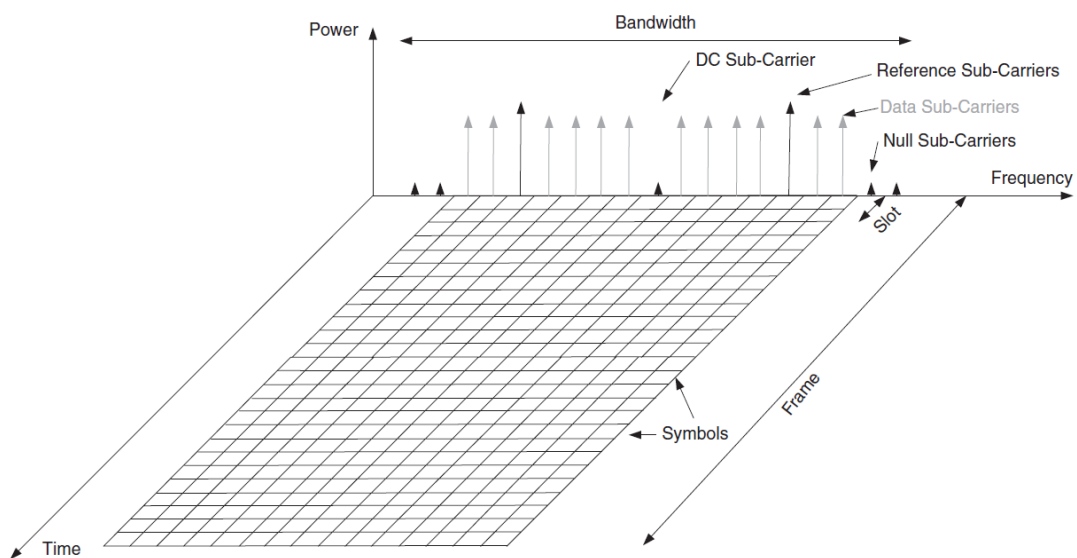


Ilustración 1: Distribución de subportadoras OFDM.

- Subportadoras de datos: son las subportadoras que contienen la información de tráfico, los símbolos de cada slot.
- Subportadora DC: marca la frecuencia central.
- Subportadoras piloto: para facilitar la estimación del canal y la demodulación coherente en el receptor.
- Subportadoras de guarda: para reducir la interferencia de canal adyacente entre bandas.

Las subportadoras se agrupan en grupos de 12 subportadoras consecutivas.

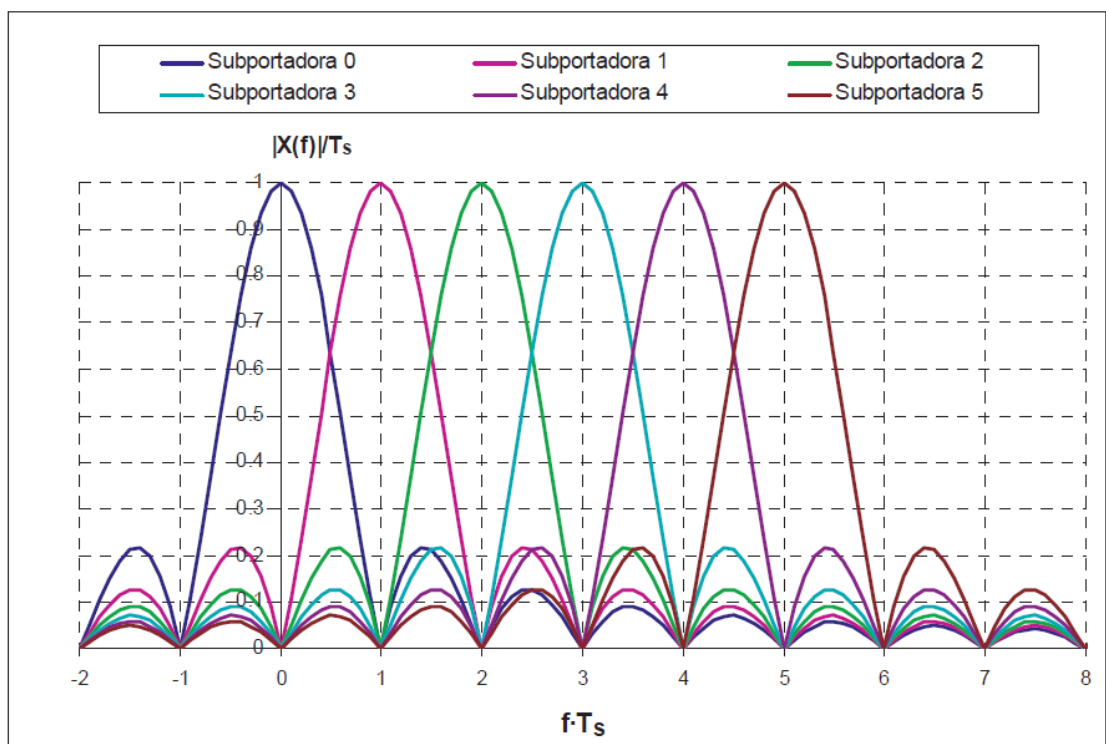


Ilustración 2: Espectro de una señal OFDM con 6 subportadoras.

El modo de funcionamiento de la capa física empleada en las simulaciones es FDD (Frequency Division Multiplex), con bandas diferenciadas para la subida (uplink) y bajada (downlink). En la figura se muestra la estructura temporal de datos:

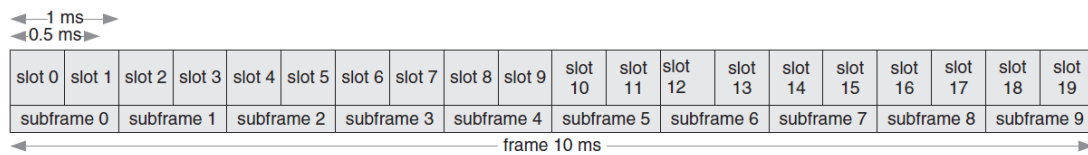


Ilustración 3: Estructura de trama LTE, FDD.

Para evitar la interferencia entre símbolos (ISI), causada por la dispersión de retardos, se utilizan los prefijos cíclicos (CP). La duración del CP tiene por objeto acomodar los tiempos de propagación para las distancias máximas de cobertura y la desviación de los trayectos múltiples presentes, principalmente en el enlace ascendente. Deben utilizarse de forma uniforme en cada celda. Existen dos tipos, normal y extendido (nosotros utilizaremos el normal, que se utiliza para distancias de cobertura máxima de unos 1,5 km).

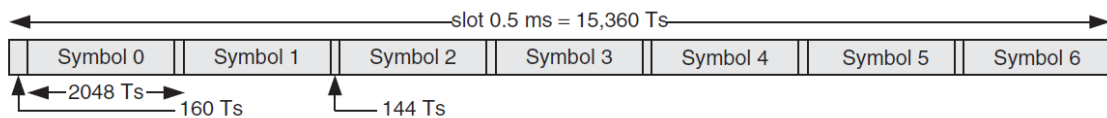


Ilustración 4: Estructura o distribución de un slot en el dominio del tiempo, con CP normal.

Un Resource Element (RE), se define como el recurso formado por una subportadora y por el tiempo de duración de un símbolo. Es la unidad de recursos más pequeña. El Resource Block (RB) se define como el recurso formado por 12 subportadoras. Con el CP normal estaríamos hablando de 84 REs por RB.

El número de bits por símbolo dependerá del esquema de modulación utilizado:

- QPSK: $M=4$, 2 bits por símbolo.
- 16QAM: $M=16$, 4 bits por símbolo.
- 64QAM: $M=64$, 6 bits por símbolo.

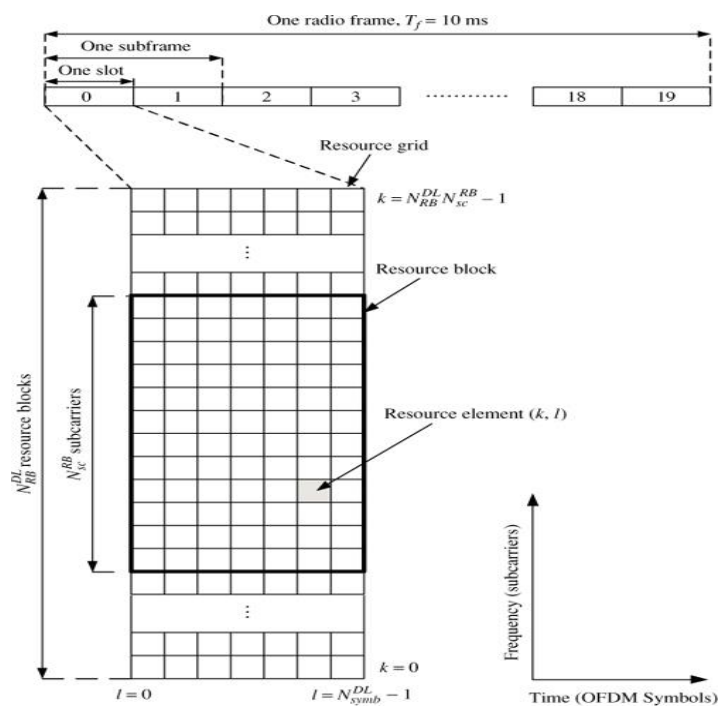


Ilustración 5: Estructura del slot en el dominio de la frecuencia y el tiempo, CP normal.

El número de RBs disponibles dependerá del ancho de banda de los canales LTE, teniendo en cuenta las bandas de guarda anteriormente mencionadas (eficiencia de uso).

Ancho de banda del canal LTE:

- 1.4 MHz: eficiencia de uso 77.1%, número de RBs 6.
- 3 MHz: eficiencia de uso 90%, número de RBs 15.
- 5 MHz: eficiencia de uso 90%, número de RBs 25.
- 10 MHz: eficiencia de uso 90%, número de RBs 50.
- 15 MHz: eficiencia de uso 90%, número de RBs 75.
- 20 MHz: eficiencia de 90%, número de RBs 100.

6.2 MECANISMOS DE PROPAGACIÓN EN ENLACES MÓVILES

El fenómeno fundamental que hace que las transmisiones en las comunicaciones inalámbricas sean inestables es el desvanecimiento o fading [6]. El fenómeno se describe como la interferencia entre las señales que llegan a la misma antena, pero en distintos instantes de tiempo y con distinta amplitud. Dependiendo de si las señales se combinan de una forma constructiva o destructiva, se generan fluctuaciones aleatorias en la señal recibida. Cuando se da la interferencia destructiva la señal recibida se reduce significativamente, esto es lo que se conoce como fading.

En las comunicaciones inalámbricas actuales hay muchos tipos de interferencias, siendo una de las mayores causas la propagación multitrayecto. Esto causa un solapamiento entre el símbolo actual y el previo, (ISI), la cual destruye la ortogonalidad de la subportadora en los sistemas con modulación OFDM. El fading multitrayecto puede ser relativamente grande, incluso puede provocar el desvanecimiento completo de la señal, aunque otras veces puede ser que la señal no se degrade en exceso y se mantenga por encima de un umbral aceptable [7].

En la ilustración 6 se puede observar la interferencia generada causada por la propagación multitrayecto.

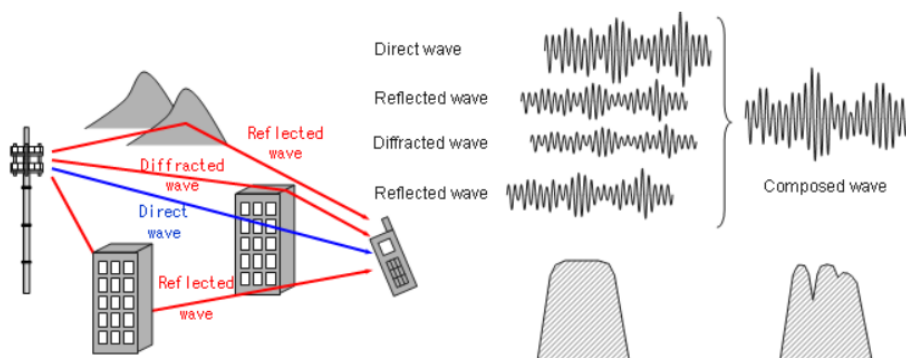


Ilustración 6: Usuario móvil en presencia de propagación multitrayecto e interferencia.

Causas que generan fading:

En cualquier radio comunicación terrestre la señal no solo llegará al receptor por la línea de vista (LOS), si no que en el camino encontrará todo tipo de objetos, como edificios o la tierra, y se generarán reflexiones que serán adyacentes a la señal principal. La señal resultante en el receptor será la suma de las señales recibidas [8].

La propagación multitrayecto normalmente es causada por:

- Reflexión: Ocurre cuando las ondas impactan con una obstrucción que es mucho mayor que la longitud de onda de la señal.
- Difracción: Ocurre cuando las ondas impactan con una obstrucción impenetrable con grandes irregularidades o esquinas afiladas.
- Scattering: Ocurre cuando el radio canal contiene objetos de tamaño similar al de la longitud de onda de la señal. Sigue los mismos principios que la difracción, hace que la energía del transmisor sea radiada en múltiples direcciones.

6.3 MODELOS DE PROPAGACIÓN

Para comprender las comunicaciones inalámbricas, es necesario explorar lo que ocurre con la señal a medida que viaja desde el transmisor al receptor. Como se ha mencionado anteriormente, uno de los aspectos importantes que hay que tener en cuenta en la trayectoria de la señal es el desvanecimiento. Hay muchos modelos para la función de distribución de probabilidad (PDF) de la amplitud de la señal expuesta al desvanecimiento, que explican dicho fenómeno. Los más utilizados se explican a continuación.

6.3.1 RAYLEIGH

El desvanecimiento Rayleigh describe la distribución de la envolvente de la señal recibida, donde todos los componentes no están en línea de visión (NLOS) [9] [10]. El modelo básico asume que la señal recibida consiste en un gran número (teóricamente infinitas) de ondas reflejadas con amplitudes idénticamente distribuidas en fase y cuadratura [11]. La señal ofrecida al receptor no solo se compone de la señal que está en línea de visión (LOS), si no de todas las ondas reflejadas. Las ondas reflejadas interfieren con la onda directa y causan una gran degradación en el rendimiento. Adicionalmente, si la antena receptora se mueve, el canal varía con la ubicación y el tiempo, debido a que las fases relativas de las ondas reflejadas cambian. En un escenario sin desvanecimiento el BER disminuye rápidamente cuando aumentamos la relación señal a ruido (SNR). Pero en un escenario en el que exista desvanecimiento, éste sigue presente, aunque tengamos grandes niveles de SNR. Por ello hay que diseñar un sistema de comunicación inalámbrica en el que se minimicen los efectos del desvanecimiento multitrayecto [11].

6.3.2 RICEAN

El modelo que está detrás es similar al de Rayleigh, excepto porque en el modelo Ricean hay presente una gran componente LOS.

La onda dominante puede ser la suma de dos o más señales dominantes, por ejemplo, la señal LOS y una onda reflejada en el suelo. También puede estar sujeta a atenuación por sombras, asunción popular en enlaces satelitales.

Además de la componente principal, las estaciones móviles receptoras también reciben ondas reflejadas y con scattering.

6.3.3 NAKAGAMI

En este modelo se utiliza cuando hay scattering multitrayecto con dispersiones de retardo relativamente grandes. Formando diferentes grupos o clústeres las señales reflejadas. En cada grupo de señales reflejadas, la fase de cada señal individual es aleatoria pero los retardos son parecidos para las diferentes ondas. Estos retardos son diferentes significativamente de un grupo a otro. Además, cuando los retardos son mayores que la duración del bit de un enlace digital, los diferentes grupos producen ISI.

6.4 TÉCNICAS DE DIVERSIDAD ESPACIAL

La diversidad espacial se considera un método de transmisión o recepción, o ambos, en el cual los efectos del desvanecimiento son minimizados por el uso simultáneo de dos o más antenas físicamente separadas, idealmente, por media o más longitudes de onda. Las señales recibidas de antenas espacialmente separadas tienen envolventes no correlacionadas. La diversidad espacial, la cual ha sido ampliamente explotada en las comunicaciones inalámbricas para combatir el desvanecimiento de canal, promete mayores tasas de datos y mayor cobertura de red [8]. La diversidad se logra utilizando múltiples antenas en la estación base, en la estación móvil o en ambos extremos. Estas técnicas pueden mitigar eficazmente el deterioro del rendimiento causado por el desvanecimiento, sin introducir retardo o aumento de ancho de banda, claramente deseable desde el punto de vista de la eficiencia y la usabilidad del sistema [9].

Las ilustraciones 7 y 8 muestran un concepto generalizado de la diversidad espacial.

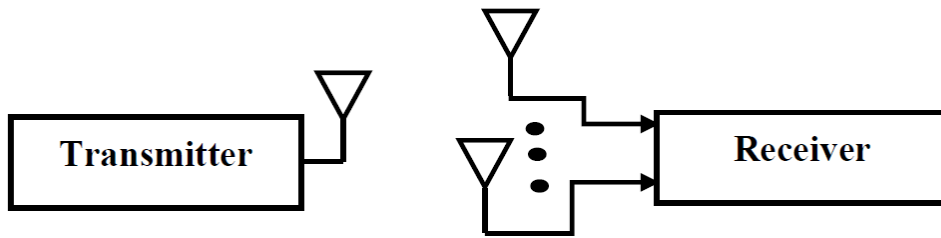


Ilustración 7: Diversidad espacial: Un transmisor, N antenas receptoras.



Ilustración 8: Diversidad espacial: N transmisores, una antena receptora.

7. ALCANCE

El objetivo principal de este proyecto es medir el rendimiento de los sistemas MIMO bajo diferentes casos de desvanecimiento.

Además de cuantificar como afecta cada cambio en la calidad de la señal recibida, también se pretende adquirir un conocimiento amplio sobre cada uno de los escenarios posibles. Posteriormente se analizarán en la sección 12, gracias a la gran cantidad de datos obtenida mediante nuestro software de simulación.

Para lograr el objetivo principal es primordial ir consiguiendo una serie de objetivos parciales que marquen el rumbo del trabajo:

- Estudio sobre sistemas 4G y estándares utilizados, los modelos de propagación y las técnicas de diversidad espacial.
- Definir la variabilidad de los parámetros de simulación.
- Diseño de esquemáticos, en base a todas las variables definidas.
- Realizar las simulaciones en base a los esquemáticos generados.
- Representación gráfica de los resultados obtenidos.
- Analizar resultados, para posteriormente extraer conclusiones.

Si conseguimos cada objetivo parcial, al término de ellas, estaremos en disposición de hacer frente al objetivo principal del proyecto, anteriormente explicado.

Además de estos objetivos técnicos, existen otro tipo de objetivos secundarios, como por ejemplo los didácticos, imprescindibles en cualquier ámbito.

Ha sido importante poder afrontar un proyecto en solitario, para poder mejorar aquellos aspectos que faltaban por pulir una vez superadas todas las asignaturas del grado. El proyecto ha promovido un trabajo autodidacta y en el proceso he aprendido a sacar mis propias conclusiones.

Por último, destacar la profundización realizada en varios programas de software (ADS, Microsoft Excel y Matlab). Contaba con una experiencia previa, habiendo utilizado estos programas varias veces durante la carrera, pero nunca con la complejidad requerida para el desarrollo de este proyecto. Respecto al tratamiento de los datos, decir que ha supuesto un hándicap el tener diferentes programas. Se ha resuelto satisfactoriamente el intercambio de datos, mediante un trabajo que ha generado que exista interoperabilidad entre el software utilizado. Esto refleja lo importante es que los programas sean flexibles y permitan tratar datos obtenidos por terceros.

8. BENEFICIOS DEL PROYECTO

En este apartado se analizarán los beneficios o las mejoras que se podrían obtener a partir de la realización del proyecto. Se clasificarán en tres subsecciones: beneficios técnicos, beneficios económicos y beneficios sociales.

8.1 BENEFICIOS TÉCNICOS

Los beneficios técnicos son aquellos que nos permiten mejorar o ampliar alguna de las técnicas o conocimientos en relación con un tema en concreto. En este caso, la medición de rendimiento en cada uno de los distintos escenarios, para redes LTE, nos brindará los siguientes beneficios:

El beneficio técnico más evidente que nos encontramos al plantear este proyecto, se puede intuir simplemente leyendo el título, lograr cuantificar cual es la pérdida de rendimiento cuando nos encontramos en distintos escenarios de simulación.

Las simulaciones realizadas aportarán un mayor conocimiento de cara al desarrollo de nuevas técnicas que utilicen tecnología MIMO. Además, el realizar simulaciones de una gran cantidad de escenarios, también nos pueden ayudar a esclarecer cuales son las configuraciones a utilizar en diferentes despliegues que se podrían dar en la vida real. Tomando los resultados como referencia y dependiendo del emplazamiento del sistema y las condiciones de propagación del radioenlace.

8.2 BENEFICIOS ECONÓMICOS

Los beneficios económicos serían aquellas ganancias que se podrían obtener utilizando los resultados de este proyecto como base a la hora de acometer nuevas inversiones.

A primera vista puede parecer que el beneficio económico de este trabajo es ínfimo o inexistente, pero si se analiza con atención se puede entrever la dimensión económica del documento.

En primer lugar, conocer cuáles son los parámetros determinantes que afectan a la calidad de la señal y en cada una de las estructuras (SISO, SIMO, MIMO) es de gran utilidad para empresas de telefonía móvil. Esto podría suponer un ahorro en el coste de despliegue de redes, ya que podrían hacer uso de esta información para decidir de forma definitiva en que tecnología invertir. Los costes de mantenimiento de redes también se podrían reducir pudiendo determinar las diferentes frecuencias y modulaciones de antemano. Todo esto supondría una ventaja sobre la competencia feroz que existe en el mercado de telecomunicaciones actual.

Por otro lado, de cara al futuro, este proyecto se podría utilizar para un análisis de mayor profundidad y más extenso en lo que se refiere a parámetros y escenarios de simulación. Con esta base ya definida, se podría descartar mucho trabajo innecesario ahorrando tiempo y dinero.

Con este proyecto no se pretende crear una herramienta que sirva para generar grandes sumas de dinero, sino que pretende ser un recurso que ayude a optimizar la inversión y arroje algo de luz sobre algunos aspectos, permitiendo aclarar ciertas dudas sobre los siguientes pasos a dar.

8.3 BENEFICIOS SOCIALES

Los beneficios sociales son aquellas facilidades, ventajas o servicios que de una manera u otra mejoran la calidad de vida de los ciudadanos.

El ahorro económico mencionado en el apartado anterior supondría reducir los costes de las operadoras. Esto podría desembocar en dos ventajas de cara al usuario final.

Por un lado, el menor coste de las redes podría generar un descenso en el precio medio final que paga cada suscriptor. Esto sabemos que no siempre es así y que las grandes empresas de telecomunicaciones tienden a engrosar sus cuentas lo máximo posible. Sin embargo, con la llegada de las OMV podríamos decir que la tendencia está cambiando y que cada vez vemos unos precios más agresivos. Esto supone una gran ventaja de cara al usuario final ya que dispone de un abanico más amplio en donde poder elegir y unos precios más competitivos.

Por otro lado, aunque las grandes operadoras no estén por la labor de bajar las tarifas, la evolución del mercado y de las tecnologías es incesante. Esto hace que el ritmo de inversión referente a la búsqueda de nuevas alternativas y tecnologías esté creciendo. Ninguna operadora quiere estar a merced de otra en cuanto a tecnología se refiere, todas quieren despuntar, estar a la vanguardia.

9. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En este apartado del documento se han descrito las diferentes alternativas que hemos valorado para poder llevar a cabo el análisis del rendimiento de cada una de las diferentes estructuras. Además de esto, también se describen los diferentes parámetros de análisis que hemos utilizado en cada una de nuestras simulaciones.

9.1 HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN DE RENDIMIENTO

Para llevar a cabo el cálculo del rendimiento, hemos utilizado el programa ADS (Advanced Design System) suministrado por Keysight Technologies. Los factores clave en la elección de dicho software han sido, la disponibilidad, la interfaz visual con la que cuenta y también la experiencia previa en el manejo de dicho software.

En cuanto a la disponibilidad, decir que la UPV cuenta con varias licencias completas de ADS en sus ordenadores y también ofrece la posibilidad de obtener una licencia más limitada, para su uso en los ordenadores de los alumnos.

La interfaz visual con la que cuenta es bastante intuitiva y permite realizar las simulaciones mediante esquemáticos que se entienden con facilidad y no requiere programación de bajo nivel.

Por último, destacar la experiencia previa con la que contaba utilizando dicho software, ya que lo habíamos utilizado en la clase de Comunicaciones Móviles para hacer simulaciones.

También han sido valoradas otros programas de simulación como Matlab, pero han sido descartados porque requerían de módulos de software adicionales, además de programación en una interfaz menos intuitiva.

9.2 HERRAMIENTAS PARA GRAFICAR LOS RESULTADOS

Después de realizar los resultados y almacenarlos había que extraer los datos de alguna forma para que fueran comprensibles para el lector del proyecto. Para este cometido se ha utilizado el programa Matlab. Ofrece un entorno ideal para generar las gráficas comparativas de cada una de las estructuras analizadas. Matlab ofrece una gran flexibilidad a la hora de importar datos desde una fuente de información externa y también permite volcado de datos con Microsoft Excel. Convirtiéndolo en el software idóneo para esta representación de resultados.

9.3 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Para realizar el trabajo comparativo final, ha sido necesaria una selección de parámetros sobre las cuales vamos a trabajar. Esta selección se ha hecho basándose en las configuraciones y los parámetros de simulación posibles que teníamos disponibles en nuestro software de simulación.

Se describen a continuación todas las variables de simulación que se han elegido.

9.3.1 TIPO DE DIVERSIDAD ESPACIAL

Las diferentes formas de tecnología de antenas se caracterizan por sus entradas y salidas, las cuales pueden ser simples o múltiples. Por lo tanto, las diferentes estructuras en cuanto a la distribución de antenas son las siguientes:

- SISO: Single Input Single Output.

Es la forma más sencilla de establecer un radio en lace, el transmisor opera con una antena, lo hace de la misma forma el receptor.



Ilustración 9: Sistema SISO.

La ventaja de los sistemas SISO es su simplicidad, no requiere procesamiento en términos de diversidad. No obstante, su rendimiento es limitado y el fading produce una gran degradación en la señal recibida.

- SIMO: Single Input Multiple Output.

En esta estructura, se utilizan dos antenas en el receptor, muchas veces se utiliza cuando un receptor necesita recibir señales de fuentes independientes.



Ilustración 10: Sistema SIMO.

Es relativamente sencillo de implementar, pero presenta una gran desventaja, es necesario procesar las señales en el receptor. Esta configuración de antenas podría ser aceptable para diversas aplicaciones, pero por ejemplo en dispositivos móviles, supondría un alto consumo de energía.

- MISO: Multiple Input Single Output.

La ventaja que presenta MISO es que las múltiples antenas y el procesamiento se traslada del receptor al transmisor. En teléfonos móviles podría suponer una gran ventaja, por ejemplo.



Ilustración 11: Sistema MISO.

- MIMO: Multiple Input Multiple Output.

En este caso contamos con más de una antena en el transmisor y en el receptor. Así, podremos mejorar tanto la robustez del enlace como el throughput.



Ilustración 12: Sistema MIMO.

Para poder beneficiarnos de los sistemas MIMO es necesario utilizar codificación en los canales para separar la información de los diferentes canales. Para ello, requerirá procesamiento adicional, pero a cambio obtendremos las mejoras anteriormente citadas.

Para poder elegir entre los sistemas habría que tener en cuenta el rendimiento versus el coste, tamaño, disponibilidad de procesamiento y energía disponible.

En este proyecto hemos analizado las estructuras SISO, SIMO Y MIMO disponibles a través de nuestro software de simulación.

9.3.2 ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL

La Release 8 de LTE soporta seis anchos de banda distintos 1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz. Pero más adelante la Release 10 que ya sí se podía considerar un estándar de 4G, abrió la posibilidad de agregar hasta 5 portadoras (20MHz cada una). Podían tratarse de portadoras de bandas distintas no necesariamente contiguas.

Nuestro simulador permite utilizar los anchos de banda presentes en la Release 8, por ello se ha optado por utilizar anchos de banda de 10MHz y 20MHz en las simulaciones, las más utilizadas por los operadores en nuestro país.

9.3.3 BANDAS DE RADIOFRECUENCIA LTE

Las frecuencias elegidas para las simulaciones, son aquellas que están en uso actualmente en nuestro país. Son las frecuencias pertenecientes a la banda 3, 7 y 20 (recientemente liberada para LTE). En la siguiente tabla podemos observar las bandas, las frecuencias y los operadores que las explotan.

BANDA	3	7	20
TECNOLOGÍA	LTE/GSM	LTE	LTE
FRECUENCIA DE SUBIDA	1710-1785MHz	2500-2570 MHz	832-862 MHz
FRECUENCIA DE BAJADA	1805-1880 MHz	2620-2690 MHz	791-821 MHz
OPERADORES	Orange Vodafone Movistar Yoigo	Orange Vodafone Movistar	Orange Vodafone Movistar

Tabla 1: Asignación de frecuencias LTE a operadores en España.

9.3.4 ESQUEMAS DE MODULACIÓN

En la señal OFDM utilizada en LTE es posible elegir entre modulación QPSK, 16QAM y 64QAM. En este caso las simulaciones se realizarán para los tres casos posibles.

9.3.5 ESTIMADOR DE CANAL

En todas las comunicaciones la señal atraviesa un medio (llamado canal), y la señal se distorsiona y a esta señal se le añade ruido. Para determinar las características del canal, se utiliza el proceso o la técnica llamada estimación de canal. El proceso se hace de la siguiente manera:

- Se establece un modelo matemático para correlacionar la señal transmitida y la señal recibida utilizando una matriz.
- Se transmite una señal conocida y se detecta.
- Comparando la señal transmitida y la detectada, se establece cada parámetro de la matriz.

En nuestro caso hemos utilizado dos tipos de estimadores de canal MMSE 2D y el lineal.

El primero (MMSE 2D), es un estimador de canal que se basa en el criterio del mínimo error cuadrático medio y el segundo (lineal) se utiliza debido a su gran versatilidad y facilidad de cálculo [14] [15] [16].

9.3.6 MODELO DE PROPAGACIÓN

Los modelos de propagación utilizados son EVA 5 (Extended Vehicular A model), ETU 70 (Extended Typical Urban model), ETU 300 y AWGN (Additive white Gaussian noise) [17] [18] [19] [20].

Estos modelos se implementan para simular condiciones de propagación con desvanecimiento multitrayecto.

En los tres primeros modelos, el desvanecimiento se modela con un número de taps en posiciones establecidas en una rejilla de muestreo. La ganancia asociada a cada tap está caracterizada por una distribución (Rayleigh en nuestro caso) y la máxima frecuencia Doppler que se determina a partir de la velocidad de la estación móvil. Las frecuencias Doppler correspondientes a cada modelo son las que se indican más arriba, 5 Hz, 70 Hz y 300 Hz respectivamente.

El modelo de propagación AWGN [14], es básicamente ruido aditivo blanco gaussiano que es uniforme en el tiempo y en el espacio. No contempla el desvanecimiento, selectividad frecuencial, interferencias ni dispersión. No obstante, produce modelos matemáticos simples que permiten conocer el comportamiento de un sistema antes de considerar los fenómenos citados anteriormente.

9.3.7 CODE RATE

El Code Rate puede ser definido como el ratio entre la tasa de datos asignada en cada subtrama y la máxima tasa de datos que se puede asignar en dicha subtrama. En otras palabras, es el ratio entre el tamaño del bloque de transporte y el número total de bits por subtrama que hay disponibles para la transmisión de ese bloque de transporte. Un code rate más bajo significa que se van a enviar más bits de redundancia en el proceso de codificación de canal y un code rate más alto que vamos a tener menos bits redundantes. Los ratios elegidos son los siguientes: $1/3$, $2/3$, $1/2$, $5/6$ (utilizados en LTE).

9.3.8 CARGA

En este caso lo que denominamos como carga no es más que el número de RB (Resource Blocks) asignados a un usuario. Las simulaciones realizadas van a ser con un solo usuario y el número de RB asignables a un usuario va desde 0 a al máximo de RB en el ancho de banda de transmisión. Los RB asignables a cada

ancho de banda en LTE se pueden ver en la tabla 2, en este proyecto se van a realizar simulaciones con cargas del 10%, 25%, 50%, 75% y 100%.

ANCHO DE BANDA (MHz)	BLOQUES DE RECURSOS (RB)
1,4	6
3	15
5	25
10	50
15	75
20	100

Tabla 2: Numero de RB asignable a un usuario, para distintos anchos de banda.

10. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Para poder llevar a cabo la simulación de todos los escenarios ha sido necesario un trabajo previo de estudio de nuestra herramienta de simulación (ADS). En este apartado se estudiarán los componentes que son necesarios para simular la transmisión de señales LTE en el enlace descendente.

A continuación, se muestra mediante un esquema genérico la distribución de bloques del sistema a simular.

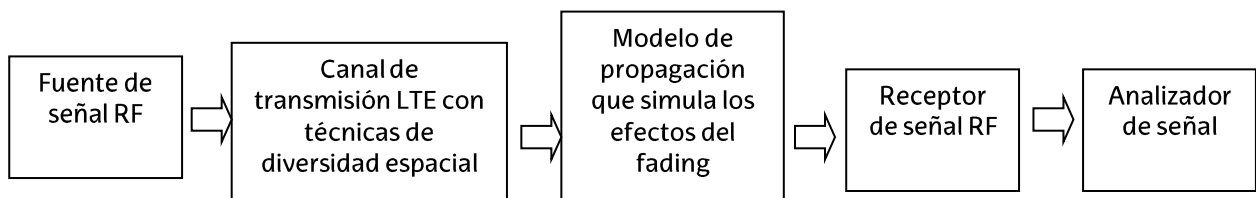


Ilustración 13: Esquema genérico de distribución de bloques.

A continuación, se da más detalle de cada uno de los bloques reales que se han utilizado en los esquemáticos:

- Fuente de señal RF LTE (una antena):

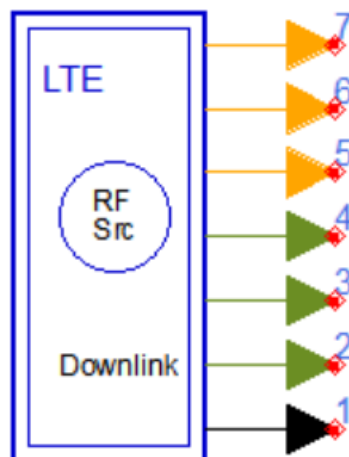


Ilustración 14: Fuente de señal RF, una antena.

Las salidas de los pines de la fuente de la señal de LTE son los siguientes:

Pin	Nombre	Descripción
1	RF_Signal	salida de la señal RF
2	Frame_TD	Salida de una trama en el dominio del tiempo
3	Frame_FD	Salida de una trama en el dominio de la frecuencia
4	UE1_ModSymbols	Símbolos de modulación del UE1
5	UE1_ChannelBits	Bits del canal del UE1 antes de modulación
6	UE1_RawBits	Bits brutos del UE1 de la capa MAC
7	SC_Status	Estado de la subportadora en una trama en el downlink (RE)

Tabla 3: Salidas fuente de señal RF, una antena.

- Fuente de señal RFLTE (dos antenas):

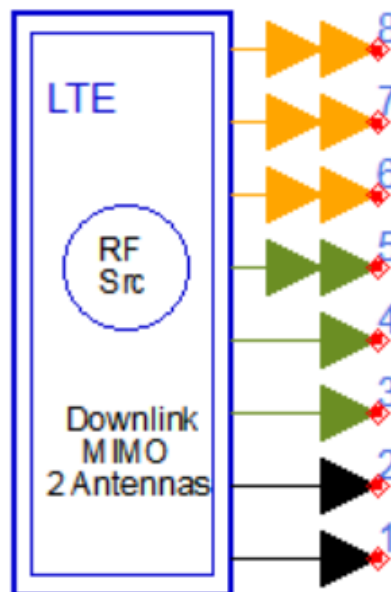


Ilustración 15: Fuente de señal RF, dos antenas.

Las salidas de los pines de la fuente de la señal de LTE son los siguientes:

Pin	Nombre	Descripción
1	Ant1_RF	Señal RF antena 1
2	Ant2_RF	Señal RF antena 2
3	Ant1_FD	Salida antena 1: Una trama en el dominio de la frecuencia
4	Ant2_FD	Salida antena 2: Una trama en el dominio de la frecuencia
5	UE1_ModSymbols	Símbolos de modulación del UE1
6	UE1_ChannelBits	Bits del canal del UE1 antes de modulación
7	UE1_RawBits	Bits brutos del UE1 de la capa MAC

Tabla 4: Salidas fuente de señal RF, dos antenas.

- Modelo de canal LTE:

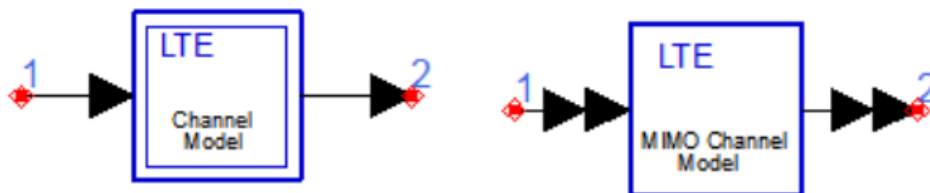


Ilustración 16: Modelo de canal.

Las entradas y salidas del canal de propagación LTE:

Pin	Nombre	Descripción
1	input	Entrada de señal RF, generada en la fuente
2	output	Salida de señal RF, para enviar al receptor

Tabla 5: Entradas y salidas canal de propagación.

- Receptor LTE (RF):

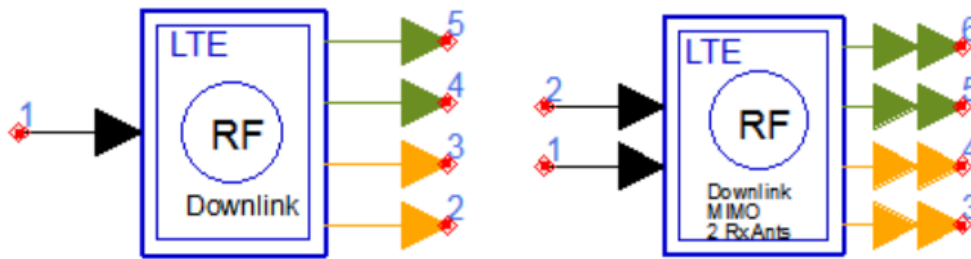


Ilustración 17: Receptor RF, una y dos antenas.

Entradas y salidas del receptor:

Pin (una antena)	Pin (dos antenas)	Nombre	Descripción
1	1	RF1_Signal	Entradas de señal RF en la antena 1
	2	RF2_Signal	Entradas de señal RF en la antena 2
2	3	UE1_RawBits	Bits brutos del UE1 de la capa MAC
3	4	UE1_ChannelBits	Bits del canal del UE1 después de demodulación
4	5	UE1_ModSymbols	Símbolos de modulación del UE1
5	6	DataOut	Información sobre frecuencia de salida

Tabla 6: Entradas y salidas receptor RF, una y dos antenas.

A continuación, se muestra un ejemplo concreto de un caso que hemos simulado para nuestro proyecto:

LTE_DL_MIMO_2x2_Fading_BER.dsn
 LTE: FDD Downlink MIMO (SM/Transmit Diversity Mode) BER and PER Measurements on Fading Channel

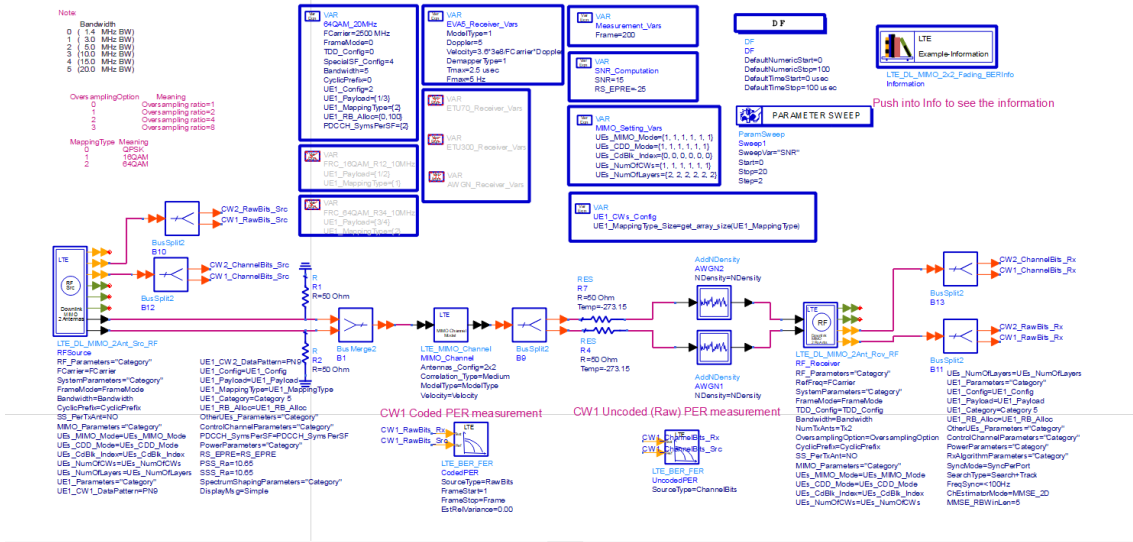


Ilustración 18: Ejemplo MIMO 2x2, modelo de referencia (2500MHz, 20MHz, MMSE_2D, EVA5, 1/3, 100%).

11. METODOLOGÍA

En este apartado se definirán los procedimientos o grupo de mecanismos empleados para el logro de los diferentes objetivos de este proyecto. Para mejor comprensión y seguimiento se hará un análisis por fases.

11.1 FASE 1: ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS IMPLICADAS

En esta primera fase lo que se busca es hacer un estudio sobre todos los sistemas y las tecnologías implicadas, con el propósito de establecer las bases y aumentar el conocimiento sobre las mismas, para más tarde poder desarrollar el proyecto y cumplir los objetivos propuestos.

Los principales puntos de análisis serán los siguientes:

- Es necesario un estudio sobre la tecnología 4G. Dentro de esta tecnología la capa física será la que resulte clave para la fase 2, cuando se estudie el simulador.
- Los mecanismos de propagación de los enlaces móviles, proporcionan la información acerca de la necesidad de las tecnologías (utilizadas en las posteriores simulaciones) que se emplean para mejorar la calidad en la recepción de las señales.
- Modelos de propagación y técnicas de diversidad espacial. Estos modelos y técnicas se utilizan en la fase de simulación, es importante conocer los fundamentos y la tecnología que hay detrás, para luego poder extraer conclusiones coherentes.

11.2 FASE 2: ESTUDIO DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

Después de la finalización de la Fase 1, en la que se han asentado las bases teóricas de cada una de las tecnologías implicadas, se procederá a indagar en nuestra herramienta de simulación.

En esta fase el objetivo será aprender el funcionamiento del software de simulación, para ello se llevará a cabo un estudio de los componentes del programa para la posterior generación de esquemáticos.

Primero habrá que estudiar cuales son los componentes necesarios para simular la transmisión de una señal LTE en el enlace descendente.

Una vez conocido el esquema general y los componentes genéricos, será necesario una mayor profundización en los componentes específicos de cada caso.

11.3 FASE 3: DEFINICIÓN DE LA VARIABILIDAD DE PARÁMETROS Y FLUJO DE SIMULACIÓN

En esta fase se definirán cuáles son los parámetros a variar y se definirán las simulaciones a realizar en la fase 4. El esquema que refleja todos los parámetros y variables de simulación es la siguiente (Tabla 7):

Ancho de banda	Frecuencia	Esquema de modulación	Estimador de canal	Modelo de propagación	Code rate	Carga	Diversidad espacial
20 MHz	2500 MHz	QPSK	MMSE 2D	EVA 5	1/3	10%	SISO
10 MHz	1800 MHz	16 QAM	Lineal	ETU 70	1/2	25%	SIMO
	800 MHz	64 QAM		ETU 300	2/3	50%	MIMO 2x2
				AWGN	5/6	75%	
						100%	

Tabla 7: Parámetros y variables.

En la tabla 7 podemos observar todos los parámetros de variación y las variables que existen de cada uno de los parámetros. Los recuadros de color verde son aquellas variables que van a ser consideradas como referencia a la hora de realizar las comparaciones.

11.4 FASE 4: GENERACIÓN DE BASE DE DATOS

Habiendo definido todas las simulaciones a realizar, el próximo paso es realizar las simulaciones en cuestión. Para ello, será necesario generar los esquemáticos correspondientes y simultáneamente habrá que simularlos. Así se logrará la máxima optimización y eficiencia de la fase actual.

Una vez realizadas las simulaciones, se generarán archivos con formato log, que será donde se concentran todos los datos, la base fundamental para las siguientes fases.

11.5 FASE 5: TRATAMIENTO DE DATOS

En esta fase se tratarán todos aquellos datos obtenidos a partir de las simulaciones. Para ello, el objetivo principal es automatizar la tarea de clasificación de datos.

A partir de los archivos log y utilizando un script programado en Visual Basic (disponible en el Anexo I), habrá que clasificar y procesar la información necesaria. Para ello se utilizarán Hojas de Cálculo Excel.

11.6 FASE 6: REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Una vez clasificada la información, habrá que representar gráficamente todos los datos generando distintas figuras comparativas de cada uno de los parámetros de variación, previamente definidas. Esta fase facilitará al lector del documento la comprensión de los resultados obtenidos y será clave para el análisis comparativo de los resultados (Fase 7).

11.7 FASE 7: ANÁLISIS COMPARATIVO

Por último, en esta fase, se realizará un análisis comparativo sobre los resultados obtenidos, y se extraerán las conclusiones finales del proyecto.

12. RESULTADOS

Esta sección muestra el rendimiento de los diferentes sistemas LTE en escenarios en los que el desvanecimiento está presente. Para poder medir la capacidad y el rendimiento, se han llevado a cabo varios experimentos con respecto a variedad de parámetros.

Las variables de referencia de cada uno de los parámetros de simulación, son las siguientes:

- Tipo de diversidad espacial: MIMO 2x2.
- Ancho de banda: 20MHz.
- Banda de radiofrecuencia LTE: 2500MHz.
- Esquema de modulación: 64QAM.
- Estimador de canal: MMSE 2D.
- Modelo de propagación: EVA 5.
- Code rate: 1/3.
- Carga: 100%.

Por lo tanto, cada simulación realizada será comparada con el sistema de referencia, dentro de cada uno de los parámetros seleccionados. Los resultados experimentales muestran el BER (Bit Error Rate) respecto al SNR (Signal to Noise Ratio).

En este proyecto los resultados correspondientes al BER se muestran en dos gráficas separadas, ya que en una de ellas se utiliza un código convolucional para la técnica de codificación de canal.

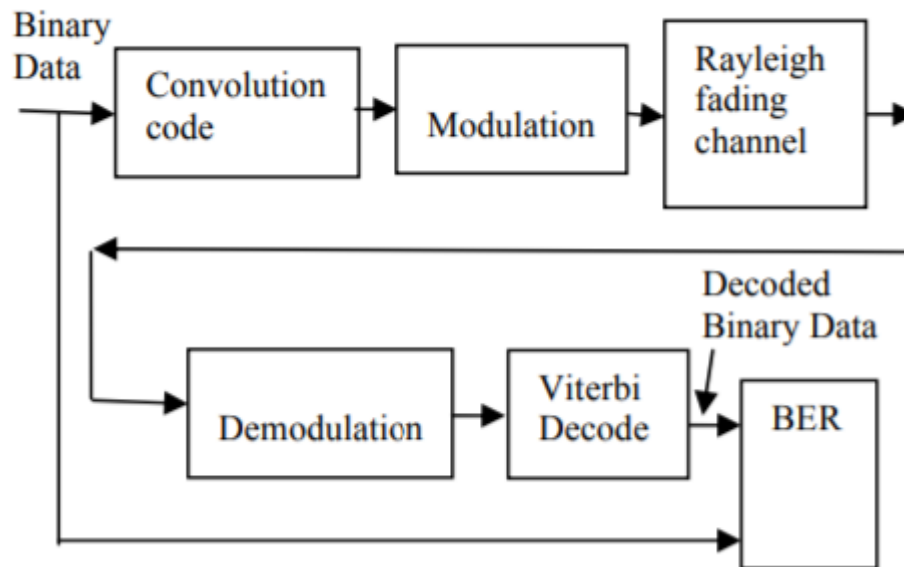


Ilustración 19: Sistema de transmisión con código convolucional.

Los resultados serán expuestos según lo establecido en el apartado 9.3.

12.1 TIPO DE DIVERSIDAD ESPACIAL

En esta sección se simula el rendimiento de los sistemas con distintos tipos de diversidad espacial (SIMO, MIMO 2x2), el resto de parámetros se mantienen constantes de acuerdo al sistema de referencia.

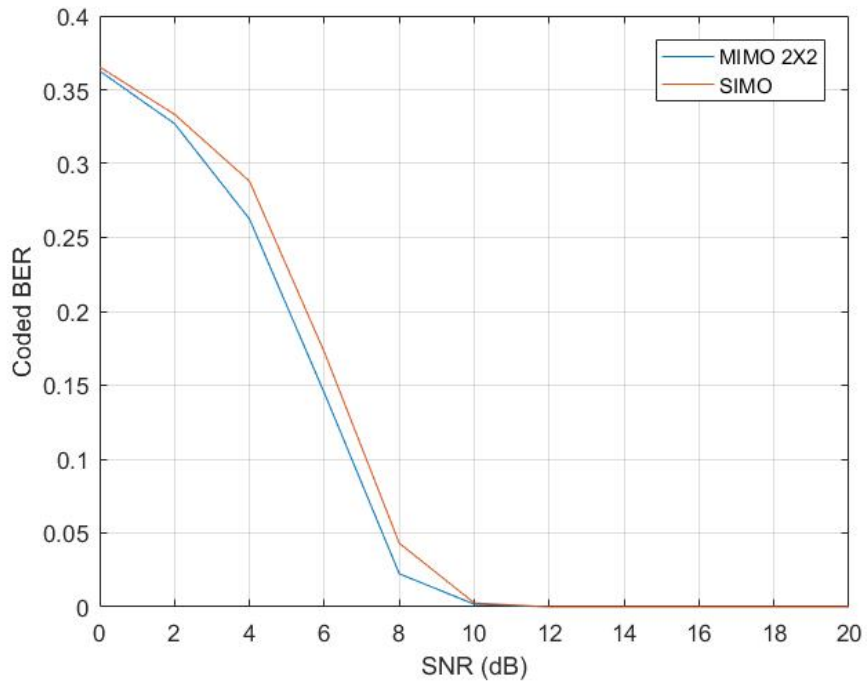


Ilustración 20: BER (codificado) respecto a los tipos de diversidad espacial.

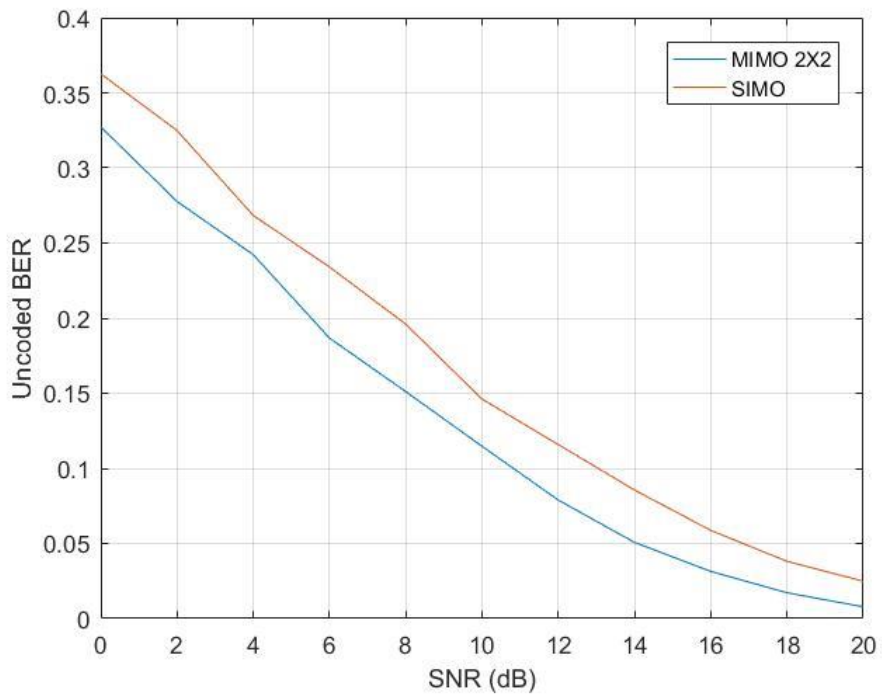


Ilustración 21: BER respecto a los tipos de diversidad espacial.

En lo que respecta al tipo de diversidad espacial se puede observar claramente que el sistema MIMO 2X2 reduce considerablemente la tasa de error de bit. Esta reducción se mantiene constante a lo largo de los diferentes valores de SNR y también se puede observar que en el caso de los bits que están desprotegidos (sin codificación), esta diferencia es mayor.

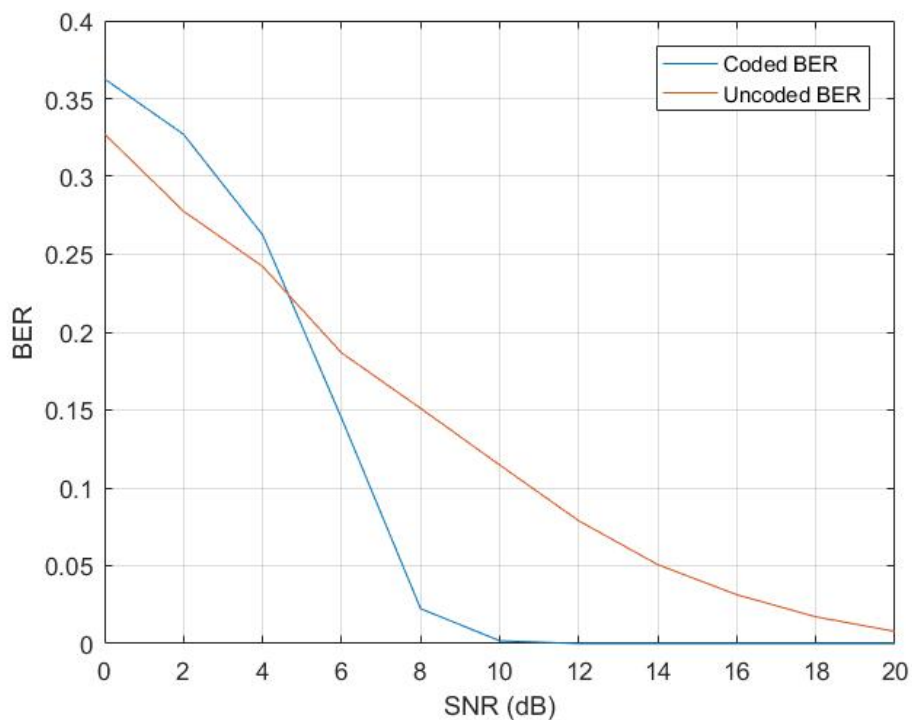


Ilustración 22: BER (codificado vs sin codificación) MIMO 2X2.

También se ha querido mostrar la diferencia de rendimiento de la señal codificada ya que es un fenómeno que ocurrirá en los siguientes casos. En la ilustración 22 claramente se aprecia que las dos curvas se cruzan, a partir de 5dB el rendimiento de la señal codificada es mejor que la de la señal sin codificación.

12.2 ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL

En esta sección se simula el rendimiento de los sistemas con distinto ancho de banda (10MHz, 20 MHz), el resto de parámetros se mantienen constantes de acuerdo al sistema de referencia.

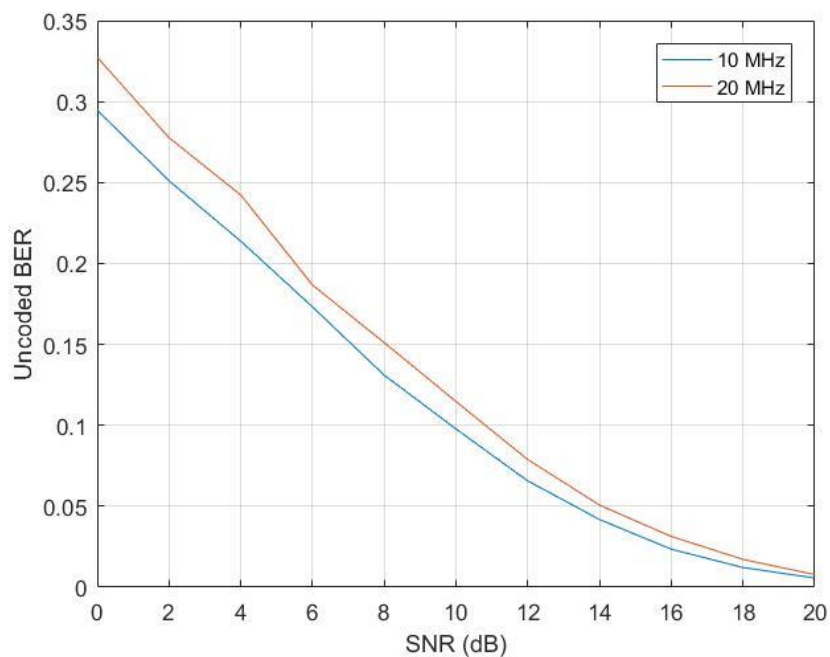


Ilustración 23: BER (codificado) respecto a diferentes anchos de banda.

En el caso de la señal sin codificación de canal, se puede ver que el BER obtenido con un ancho de banda de 10MHz es menor que con un ancho de banda mayor. Los resultados obtenidos no son sorprendentes ya que el throughput del sistema en el caso de 20MHz es el doble que en caso de 10MHz. Siendo el doble el throughput, la diferencia que hay entre una curva y otra (ilustración 23) es de apenas 0.4 en la parte más ancha. Por lo tanto, el aumento del throughput no se traslada en la misma proporción a la tasa de error de bit.

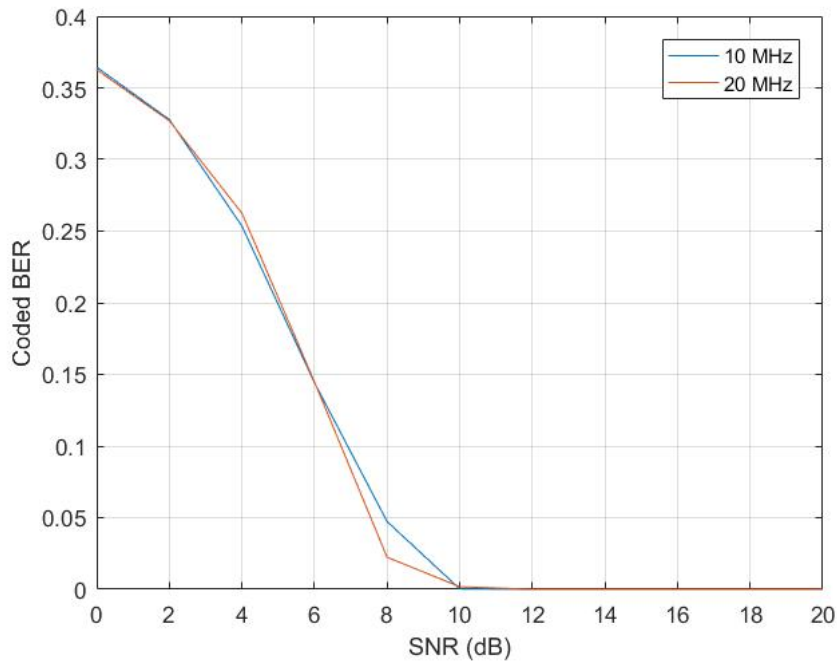


Ilustración 24: BER respecto a diferentes anchos de banda.

En este caso (Ilustración 24), sobre los 5,5 dB se produce la intersección de las dos curvas consiguiendo un BER menos en el caso de 20MHz gracias a la codificación de canal.

12.3 BANDAS DE FRECUENCIA LTE

En esta sección se simula el rendimiento de los sistemas para distintas frecuencias (2500 MHz, 800 MHz, 1800MHz), el resto de parámetros se mantienen constantes de acuerdo al sistema de referencia.

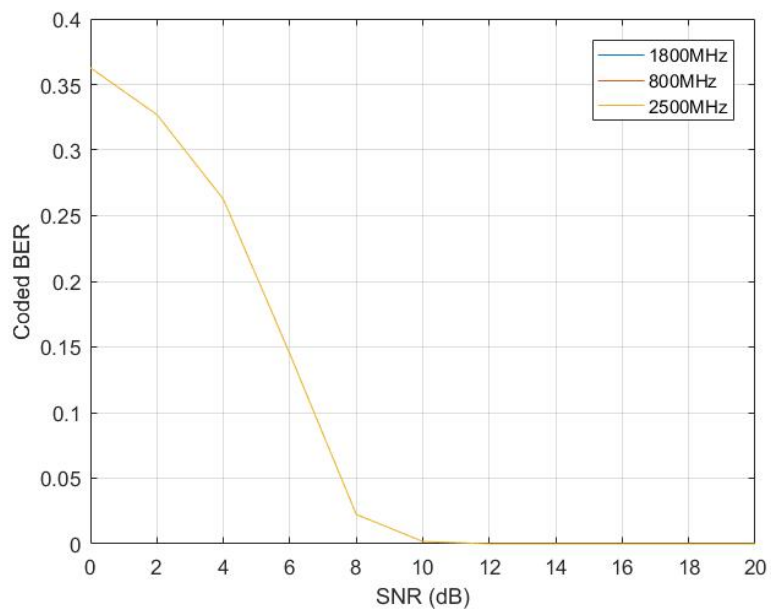


Ilustración 25: BER (codificado) respecto a diferentes frecuencias.

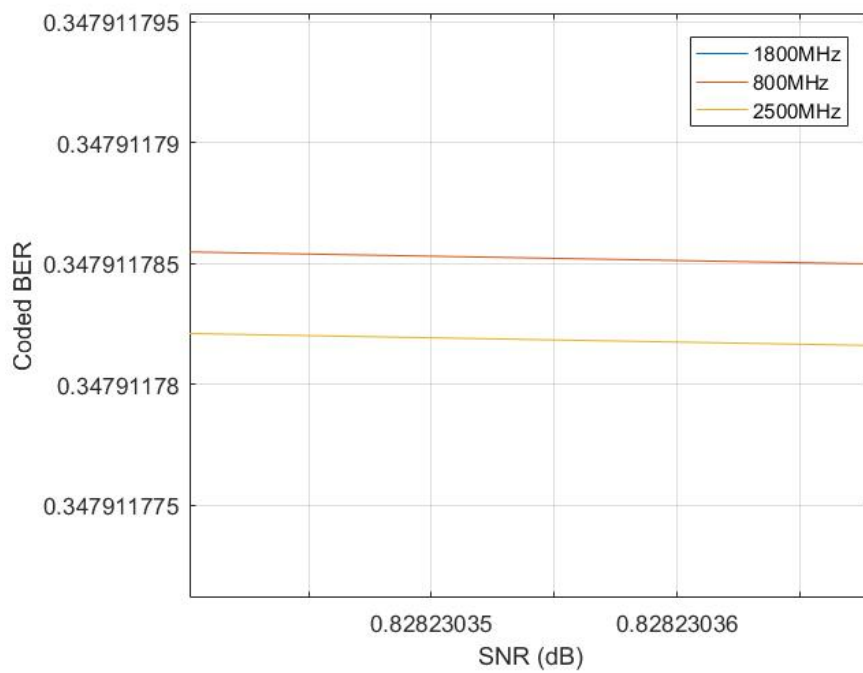


Ilustración 26: BER (codificado) respecto a diferentes anchos de banda (ampliado).

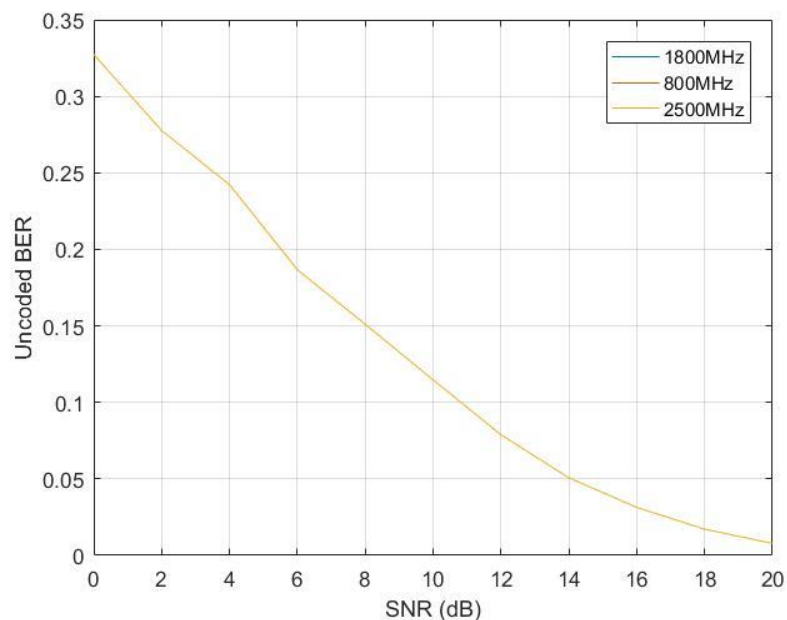


Ilustración 27: BER respecto a diferentes anchos de banda.

En el caso de la frecuencia, se observa que el rendimiento del sistema no se ve muy afectado por el cambio entre estas tres frecuencias de LTE seleccionadas. En las ilustraciones 25 y 27 solo se aprecia una curva, las tres están solapadas entre sí. Mediante la ilustración 26 se observa que para valores de BER pequeños (entorno a un dB), existe una ligera diferencia prácticamente imperceptible.

12.4 ESQUEMA DE MODULACIÓN

En esta sección se simula el rendimiento de los sistemas para distintos esquemas de modulación (QPSK, 16QAM, 64QAM), el resto de parámetros se mantienen constantes de acuerdo al sistema de referencia.

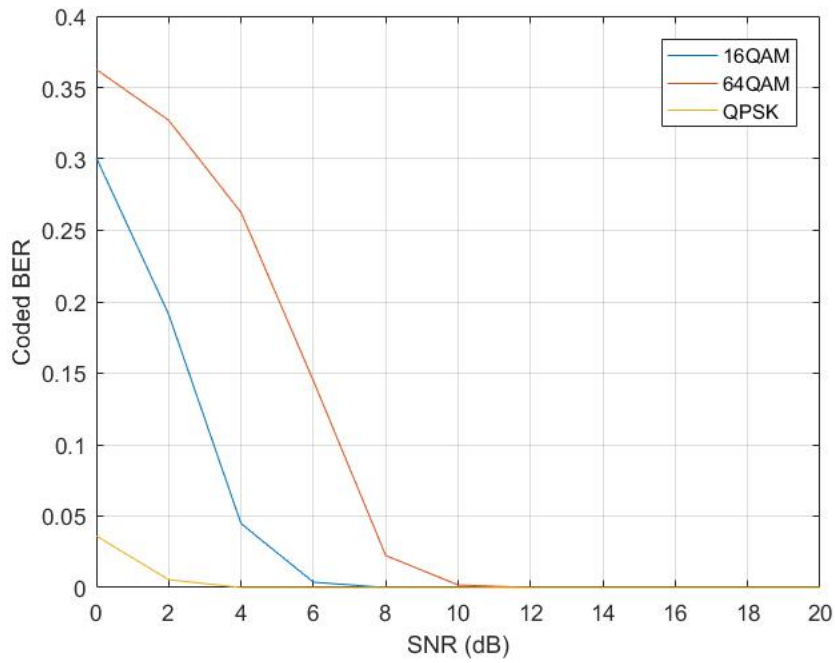


Ilustración 28: BER (codificado) respecto a diferentes esquemas de modulación.

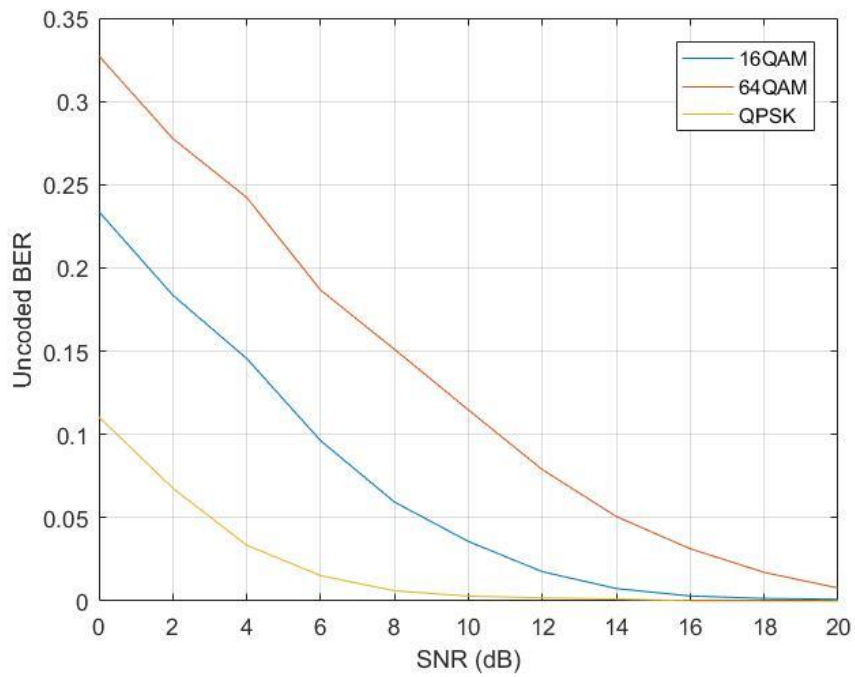


Ilustración 29: BER respecto a diferentes esquemas de modulación.

Las ilustraciones 28 y 29 muestran los resultados esperados, en los dos casos la modulación más robusta (QPSK) es la que obtiene el menor BER. La modulación menos robusta (64 QAM) es la que presenta mayor tasa de error de bit.

12.5 ESTIMADOR DE CANAL

En esta sección se simula el rendimiento de los sistemas para distintos tipos de estimador de canal (MMSE 2D, lineal), el resto de parámetros se mantienen constantes de acuerdo al sistema de referencia.

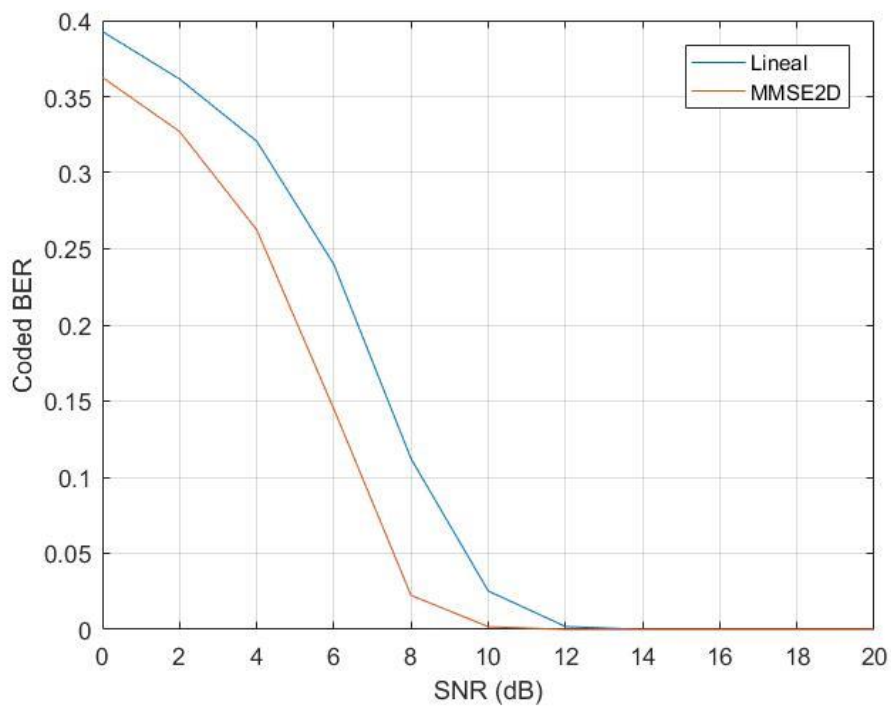


Ilustración 30: BER (codificado) respecto a diferentes tipos de estimador de canal.

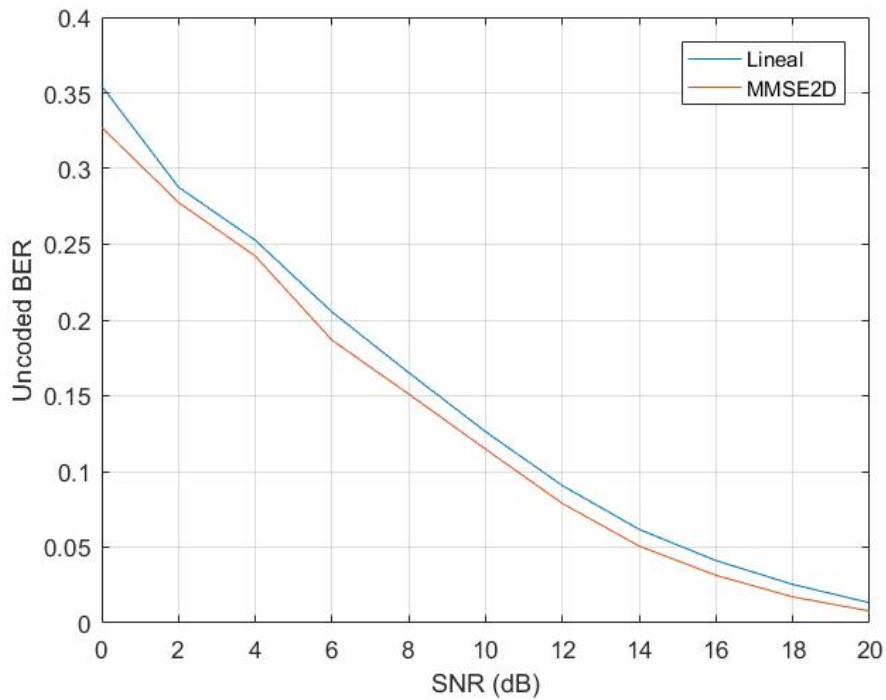


Ilustración 31: BER respecto a diferentes tipos de estimador de canal.

Los resultados muestran que el estimador de canal MMSE 2D es más adecuado en condiciones donde el desvanecimiento está presente. Esto es debido a su mayor complejidad en el diseño y el empleo de estadísticos de segundo orden para minimizar el error cuadrático medio. Los estimadores lineales, más simples, ofrecen valores de BER ligeramente superiores.

12.6 MODELO DE PROPAGACIÓN

En esta sección se simula el rendimiento de los sistemas para los diferentes modelos de propagación (AWGN, EVA 5, ETU 70, ETU 300), el resto de parámetros se mantienen constantes de acuerdo al sistema de referencia.

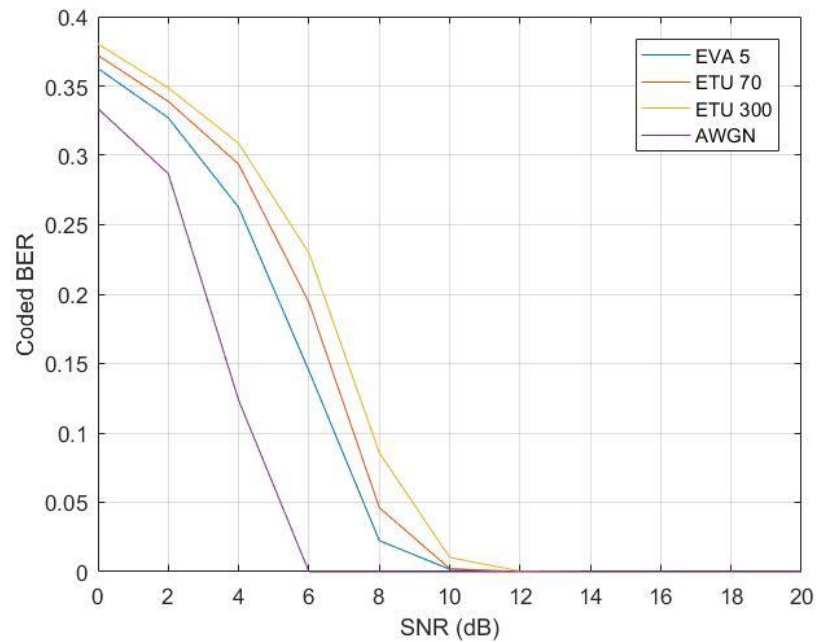


Ilustración 32: BER (codificado) respecto a los distintos modelos de propagación.

En la ilustración 32 se puede observar que el orden de rendimiento de mejor a peor es el siguiente: AWGN, EVA 5, ETU 70, ETU 300. Los resultados eran los esperados ya que las condiciones que simula cada modelo de propagación así lo hacían intuir. El modelo que presenta una frecuencia Doppler mayor es el que tiene mayor tasa de error de bit, ya que la fluctuación en el canal se incrementa con la frecuencia Doppler. El modelo AWGN (ruido blanco gaussiano) es el que presenta mejor rendimiento, ya que es uniforme en el tiempo y en el espacio y no contempla selectividad temporal ni frecuencial.

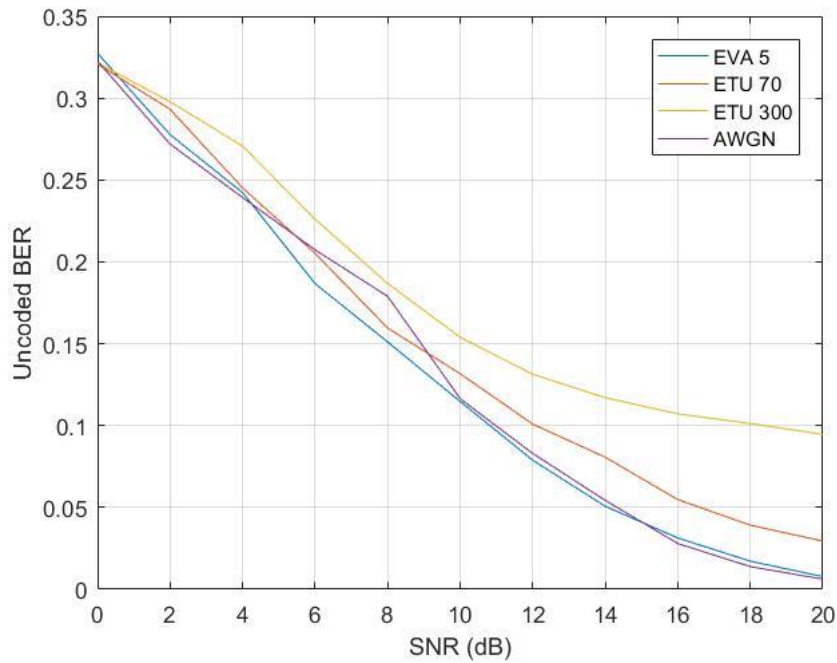


Ilustración 33: BER respecto a los distintos modelos de propagación.

En la ilustración 33 se aprecian los mismos resultados que en la ilustración anterior, aunque de 4dB a 10dB, se puede apreciar un bajón en el rendimiento del sistema con el modelo de propagación AWGN.

12.7 CODE RATE

En esta sección se simula el rendimiento de los sistemas para los distintos code rate utilizados (1/3, 2/3, 1/2, 5/6), el resto de parámetros se mantienen constantes de acuerdo al sistema de referencia.

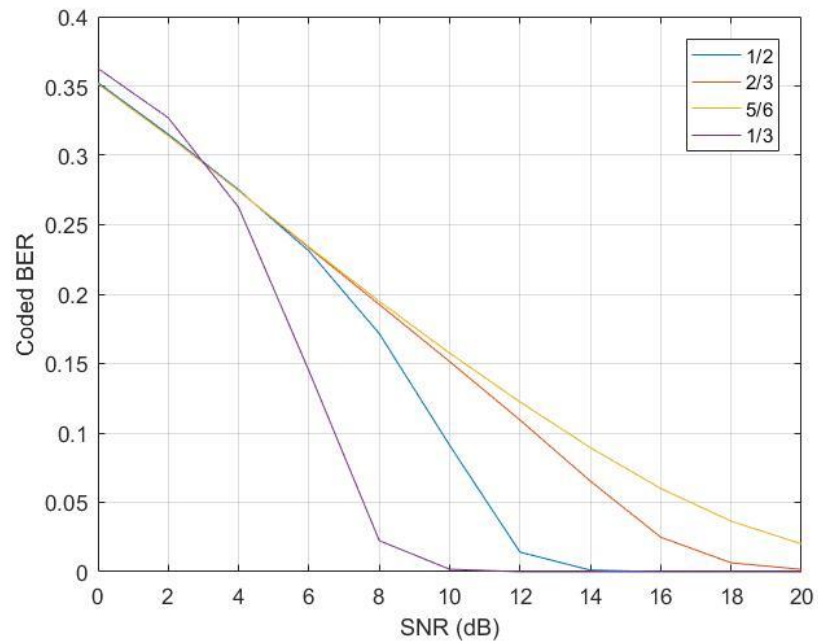


Ilustración 34: BER (codificado) respecto a los code rate.

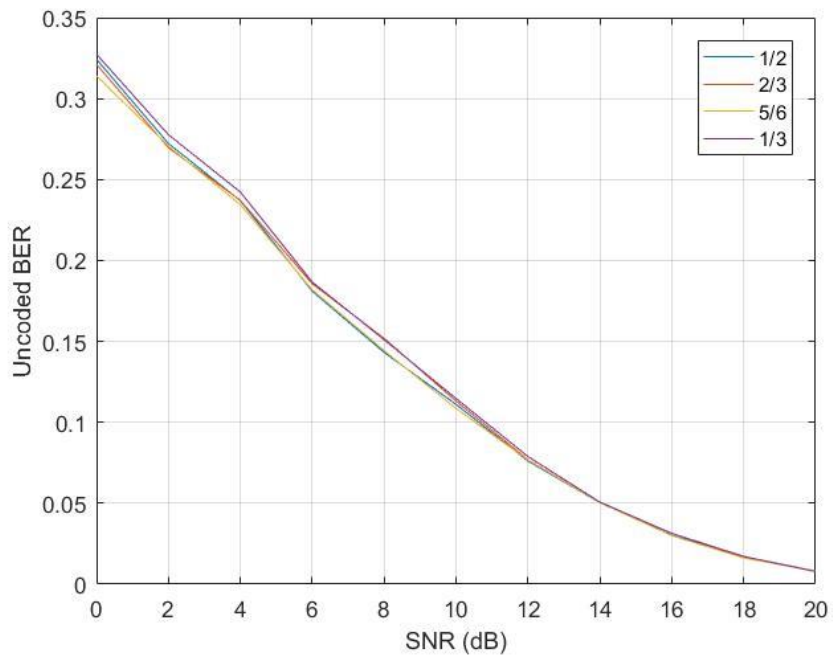


Ilustración 35: BER respecto a los code rate.

En el caso de los code rate, se observa que como se esperaba que un code rate más pequeño ofrecerá una protección frente a errores mayor. No obstante, en la ilustración 34 se puede observar que con SNR bajo (menor que 3dB) el BER es ligeramente superior para el caso 1/3.

12.8 CARGA

En esta sección se simula el rendimiento de los sistemas para las distintas cargas utilizadas (10%, 25%, 50%, 75%, 100%), el resto de parámetros se mantienen constantes de acuerdo al sistema de referencia.

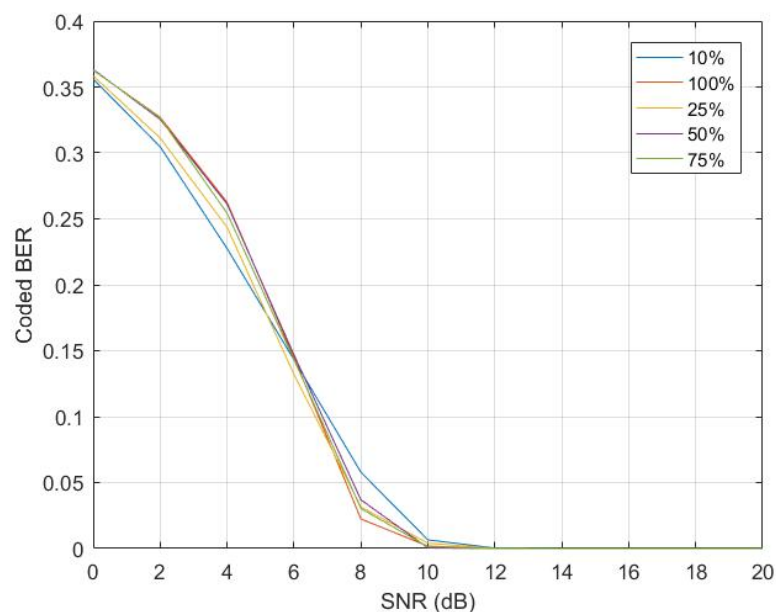


Ilustración 36: BER (codificado) respecto a las distintas cargas del sistema.

En la comparación de la carga de la ilustración 36 se ve que cuando el SNR es bajo, el sistema con más carga es el que mayor BER presenta, pero en torno a los 6dB la tendencia se invierte y el que tiene menos carga (10%) es el que mayor BER presenta.

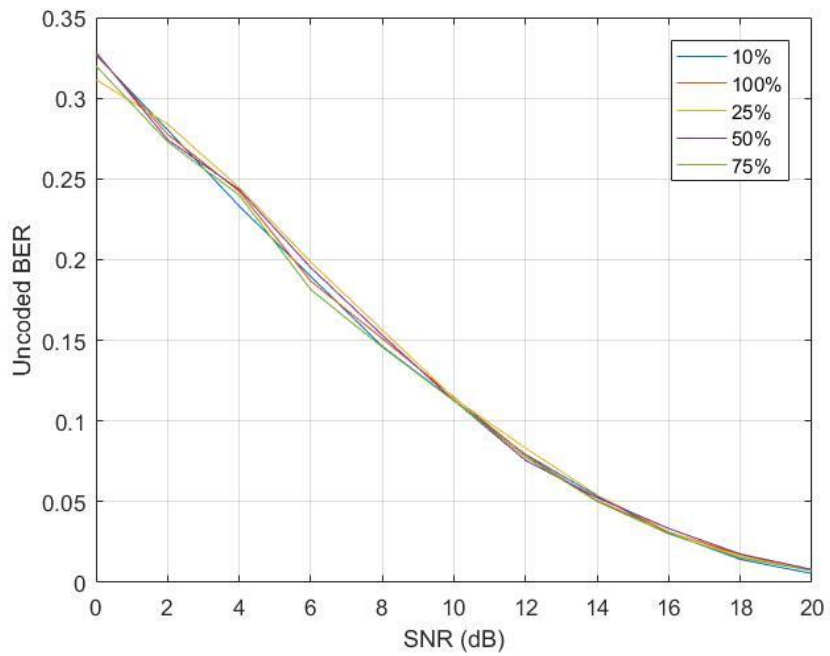


Ilustración 37: BER respecto a las distintas cargas del sistema.

En la ilustración 37 se observa que la variación de la carga no marca mucha diferencia en cuanto al BER.

13. DESCRIPCIÓN DE TAREAS. GANTT

En el siguiente apartado, se describen todas las tareas realizadas durante el transcurso del proyecto. El trabajo se divide en nueve paquetes de trabajo. Primero se detalla el plan de trabajo llevado a cabo en formato tabla y por último el diagrama de Gantt que proporciona una visión completa del proyecto.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pred.
PT1: Coordinación y supervisión del trabajo	221 días	mar 19/09/17	mar 24/07/18	
T1.1: Coordinación y supervisión	221 días	mar 19/09/17	mar 24/07/18	
PT2: Análisis de las tecnologías implicadas	26 días	mar 19/09/17	mar 24/10/17	
T2.1: Recopilación de la información	10 días	mar 19/09/17	lun 02/10/17	
T2.2: Estudio de conceptos teóricos	15 días	mar 03/10/17	lun 23/10/17	4
H1: Entrega de documentación bibliográfica	0 días	mar 24/10/17	mar 24/10/17	5
PT3: Estudio de la herramienta de simulación	7 días	mar 24/10/17	mié 01/11/17	3
T3.1: Estudio de componentes	7 días	mar 24/10/17	mié 01/11/17	6
PT4: Definición de variabilidad de parámetros	22 días	jue 02/11/17	vie 01/12/17	7
T4.1: Seleccionar parámetros a variar	21 días	jue 02/11/17	jue 30/11/17	8
H2: Entrega de resumen de parámetros a variar	0 días	vie 01/12/17	vie 01/12/17	10
PT5: Generación de base de datos	30 días	vie 01/12/17	jue 11/01/18	9
T5.1: Realizar esquemáticos para todas las variables de simulación	15 días	vie 01/12/17	jue 21/12/17	11
T5.2: Realizar la ejecución de cada esquemático	30 días	vie 01/12/17	jue 11/01/18	11
PT6: Tratamiento de datos	20 días	lun 22/01/18	vie 16/02/18	12
T6.1: Programar script para extracción de datos	17 días	lun 22/01/18	mar 13/02/18	14
T6.2: Generación de tablas de resultados	2 días	mié 14/02/18	jue 15/02/18	16
H3: Entrega de resultados	0 días	vie 16/02/18	vie 16/02/18	17
PT7: Representación gráfica	23 días	vie 16/02/18	mar 20/03/18	15
T7.1: Generación de código para exportar los datos	15 días	vie 16/02/18	jue 08/03/18	18
T7.2: Elaboración de gráficas comparativas	7 días	vie 09/03/18	lun 19/03/18	20
H4: Entrega de las gráficas	0 días	mar 20/03/18	mar 20/03/18	21
PT8: Análisis comparativo	28 días	lun 02/04/18	mié 09/05/18	19
T8.1: Analizar resultados	15 días	lun 02/04/18	vie 20/04/18	22
T8.2: Extraer conclusiones	13 días	lun 23/04/18	mié 09/05/18	24
PT9: Documentación del proyecto	51 días	mar 15/05/18	mar 24/07/18	23
T9.1: Documentación del trabajo realizado	50 días	mar 15/05/18	lun 23/07/18	25
H5: Entrega de la documentación	0 días	mar 24/07/18	mar 24/07/18	27

Tabla 8: Distribución y descripción de paquetes de trabajo y tareas.

13.1 DIAGRAMA DE GANTT

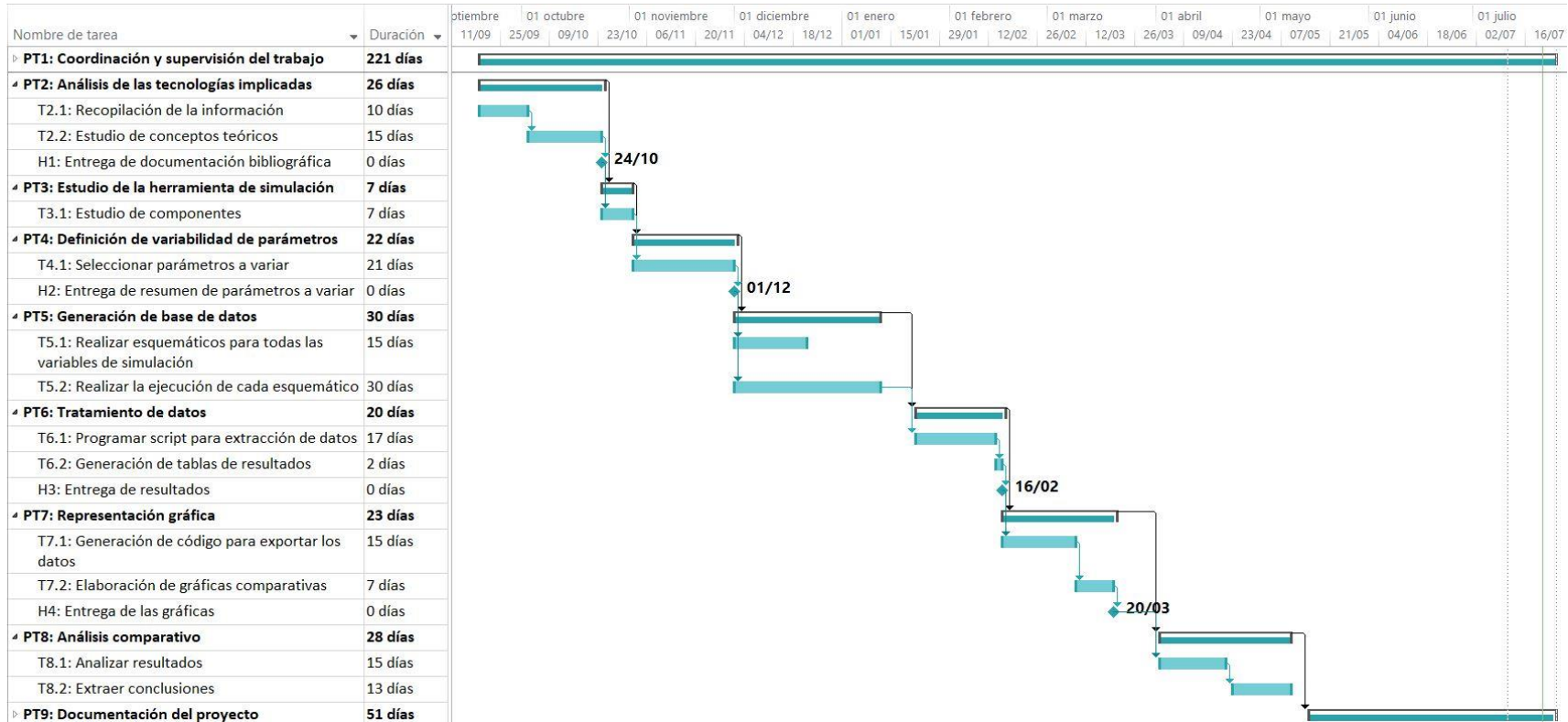


Ilustración 38: Diagrama de Gantt.

14. DECLARACIÓN DE GASTOS

En el siguiente apartado se va a exponer de una forma detallada el coste total del proyecto, previamente dividido en tres categorías: recursos humanos, amortizaciones y otros gastos.

14.1 RECURSOS HUMANOS

A continuación, se especifican las horas invertidas por parte de cada uno de los participantes del proyecto:

Nombre	Cargo	Oficio	Salario €/h	Horas invertidas	Coste total
Juan Antonio Romo Argota	Director del proyecto	Ingeniero Senior	50	60	3.000 €
Iñigo Bilbao Ateca	Desarrollador del proyecto	Ingeniero Junior	30	300	9.000 €
SUBTOTAL					12.000 €

Tabla 9: Gasto recursos humanos.

El número de horas utilizado para cada fase del proyecto no es igual, ya que cada una de las fases tienen un peso distinto. La distribución de las horas invertidas en cada fase del proyecto es el siguiente:

Tareas realizadas	Responsable	Horas invertidas
Supervisión del proyecto	Ingeniero Senior	60
Análisis de tecnologías	Ingeniero Junior	20
Estudio herramienta de simulación	Ingeniero Junior	10
Definición de parámetros	Ingeniero Junior	30
Generación de base de datos	Ingeniero Junior	55
Tratamiento de datos	Ingeniero Junior	40
Representación gráfica	Ingeniero Junior	40
Análisis comparativo	Ingeniero Junior	35
Documentación del proyecto	Ingeniero Junior	70

Tabla 10: Horas invertidas en cada una de las fases.

14.2 AMORTIZACIONES

Para realizar este proyecto han sido necesarios dos ordenadores. Uno de ellos de sobremesa y el otro portátil. Además, han sido necesarias varias licencias de Microsoft, como son las de Office y Project. La primera para almacenar los datos de simulación y a posteriori poder redactar el documento final, la segunda para poder realizar el diagrama de Gantt. Por último, lo más importante, las licencias de ADS y Matlab, para poder llevar a cabo las simulaciones y poder graficar los resultados.

Activo	Precio	Tiempo de uso (meses)	Vida útil (años)	Coste imputable
Ordenador de mesa	1.000 €	10	4	208 €
Ordenador portátil	1.000 €	10	4	208 €
Licencia Microsoft Office	99 €	3	1	25 €
Licencia Microsoft Project	71 €	2	1	12 €
Licencia ADS	5.000 €	3	1	1.250 €
Licencia Matlab	800 €	1	1	67 €
SUBTOTAL				1.770 €

Tabla 11: Amortizaciones.

14.3 OTROS GASTOS

El material fungible se detalla en la siguiente tabla:

Concepto	Coste
Electricidad	100 €
Internet	70 €
Material de oficina	30 €
SUBTOTAL	200 €

Tabla 12: Otros gastos.

14.4 GASTOS TOTALES

Finalmente, sumando todas las partidas, podemos observar que el coste total de proyecto asciende a 15.367€, con los costes indirectos incluidos. A este cálculo habría que sumarle el IVA correspondiente.

Concepto	Coste
Recursos humanos	12.000 €
Amortizaciones	1.770 €
Otros gastos	200 €
SUBTOTAL	13.970 €
Costes indirectos (10%)	1.397 €
TOTAL	15.367 €

Tabla 13: Gastos totales.

15. CONCLUSIONES

En nuestra investigación, hemos realizado un análisis detallado del rendimiento de los sistemas MIMO en los diferentes casos de desvanecimiento. Los resultados han mostrado que, entre los diferentes sistemas de diversidad espacial, el sistema rinde mejor con un mayor número de transmisores y receptores (MIMO 2x2).

En cuanto a la codificación de canal, se ha demostrado que a medida que el SNR iba en aumento, la codificación permite mejorar notablemente el rendimiento.

Hemos visto que el aumento del ancho de banda no es perjudicial en cuanto al rendimiento y que la utilización de distintas frecuencias no es un problema que vaya a afectar demasiado en nuestro sistema.

En cuanto a los modelos de propagación, se han obtenido resultados acordes a las características de cada modelo y se ha visto como cuando la frecuencia Doppler aumenta el BER también se hace mayor.

Por último, también se ha comprobado que cuando aumentamos el número de bits redundantes, el rendimiento del sistema mejora notablemente.

La demanda de servicios de datos móviles ha aumentado notablemente en los últimos años, esto hace pensar que en el futuro los sistemas MIMO van a adquirir un serio protagonismo en las comunicaciones inalámbricas. No obstante, la gran sensibilidad de los receptores MIMO a la interferencia de canal es un desafío clave que habrá que superar. Para ello, será necesario hacer frente a algunos problemas que se podrían dar, como la interferencia causada en las celdas vecinas o también la necesidad de técnicas de procesamiento avanzadas en el transmisor y receptor. Todo ello para conseguir aumentar el rendimiento de los actuales sistemas atenuando los efectos de las interferencias.

16. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Samuel Fernandez, "¿Se está trasladando el consumo de televisión de la tele al smartphone o tablet?", 2016, URL: <https://www.xatakamovil.com/movil-y-sociedad/se-esta-trasladando-el-consumo-de-television-de-la-tele-al-smartphone-o-tablet>.
- [2] José Manuel Huidobro, Rafael Conesa, "Sistemas de telefonía", 2005.
- [3] Timo Halonen, Javier Romero, Juan Melero, "GSM, GPRS and EDGE Performance", 2003.
- [4] B. Walke, P. Seidenberg, M.P. Althoff, "UMTS the fundamentals", Aachen University, 2003.
- [5] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld, "LTE/LTE Advanced for Mobile Broadband", 2011.
- [6] W. C. Jakes, 3rd ed., Microwave Mobile Communications, New York: Wiley, 1974.
- [7] Jacob Wolfowitz, "The coding of messages subject to chance errors," Illinois J. Math., vol. 1, pp. 591–606, 1957.
- [8] G. Foschini and M. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," Wireless Personal Communications, vol. 6, no. 3, pp. 311–335, 1998.
- [9] John G. Proakis, Digital Communications, Mc-Graw-Hill: International Editions, 4th ed., 2001.
- [10] M. Nakagami, "The m-distribution - A general formula of intensity distribution of rapid fading" in Statistical Methods in Radio Wave Propagation, Oxford, U.K.: Pergamon Press, pp. 3–36, 1960.
- [11] George W. Webb, Igor Minin, and Oleg Minin, "Eliminating multipath fading improves wireless signal reception," The International Society for Optical Engineering (SPIE) 10.1117/2.1200607.0269, pp. 1–3, 2006.
- [12] T. S. Rapp port, Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd ed. Singapore: Pearson Education, Inc., 2002.
- [13] B. Vucetic, J. Yuan: Space-Time Coding, Wiley, April 2003.

[14] Wikipedia, "Minimum mean square error", URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Minimum_mean_square_error#Linear_MMSE_estimator.

[15] Meng-Han Hsieh, Che-Ho We, "Channel estimation for OFDM systems based on comb-type pilot arrangement in frequency selective fading channels", National Chiao Tung University, 1998.

[16] Pil Jae Mun, Woon Kyung M. Kim, "A Reduced Complexity Channel Estimator for Space-Frequency Block Coded OFDM Systems", College of Information and Communications, Korea University, 2006.

[17] 3GPP TS 36.104, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 8), 2008.

[18] Wikipedia, "Additive white Gaussian noise", URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Additive_white_Gaussian_noise.

[19] P.Balasundaram, Nilkantha Chakraborty, "Performance Analysis of Extended Channel Models for MIMO LTE SC-FDMA Uplink Systems", School Of Electronics Engineering, VIT University, India.

[20] Henrik Asplund, Kjell Larsson, Peter Ökvist, "How typical is the "Typical Urban" channel model?", Ericsson AB, Sweden.

ANEXO I: CODIGO UTILIZADO EN LA FASE DE TRATAMIENTO DE DATOS (VISUAL BASIC)

```
Sub TFG()
'Definicion de variables
Dim i, j, g, w, p, rep, rep2, rep3, a, b, c As Integer
Dim Datos(0 To 5, 0 To 10), file, ActiveSheet, ActiveSheetO As String '(columna, fila)
'object to use the clipboard
a = 0
b = 0
file = Dir(ThisWorkbook.Path & "\SIMLOG\*.log")
ActiveSheet = Left(file, 31)
While file <> ""
Set objword2 = CreateObject("Word.Application")
objword2.Documents.Open (ThisWorkbook.Path & "\SIMLOG\" & file)
objword2.Visible = True
'comienzo de bucle 1
i = 0
textobuscar = "LTE_BER_FER `CodedPER': BER = "
objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar
While objword2.Selection.Find.found = True
a = 1
With objword2.Selection
.Collapse Direction:=wdCollapseEnd
.MoveEnd Unit:=5, Count:=1 '5 significa linea
End With
Datos(0, i) = objword2.Selection.Text 'texto a reemplazar
objword2.Selection.Collapse Direction:=wdCollapseEnd 'eliminar la seleccion anterior
```

```

objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar
i = i + 1
Wend
If a = 1 Then
ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja2").Copy
After:=Worksheets(Worksheets.Count)
ActiveWorkbook.ActiveSheet.Name = ActiveSheet
For i = 0 To 10
ActiveWorkbook.ActiveSheet.Cells(i + 3, 6) = Datos(0, i) 'datos(columna, fila) =
ActiveSheet.cells(fila, columna)
Next i
End If
'segunda
objword2.Selection.Move 6, -1
i = 0
textobuscar = "LTE_BER_FER `CodedPER': FER = "
objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar
While objword2.Selection.Find.found = True
With objword2.Selection
.Collapse Direction:=wdCollapseEnd
.MoveEnd Unit:=5, Count:=1 '5 significa linea
End With
Datos(1, i) = objword2.Selection.Text 'texto a reemplazar
objword2.Selection.Collapse Direction:=wdCollapseEnd 'eliminar la seleccion
anterior
objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar
i = i + 1
Wend
If a = 1 Then

```

```

For i = 0 To 10
ActiveWorkbook.ActiveSheet.Cells(i + 3, 7) = Datos(1, i) 'datos(columna, fila) =
ActiveSheet.Cells(fila, columna)
Next i
End If
a = 0
objword2.Selection.Move 6, -1
'tercero
objword2.Selection.Move 6, -1
i = 0
textobuscar = "LTE_BER_FER `UncodedPER': BER = "
objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar
While objword2.Selection.Find.found = True
a = 1
With objword2.Selection
.Collapse Direction:=wdCollapseEnd
.MoveEnd Unit:=5, Count:=1 '5 significa linea
End With
Datos(2, i) = objword2.Selection.Text 'texto a reemplazar
objword2.Selection.Collapse Direction:=wdCollapseEnd 'eliminar la seleccion
anterior
objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar
i = i + 1
Wend
If a = 1 Then
For i = 0 To 10
ActiveWorkbook.ActiveSheet.Cells(i + 3, 8) = Datos(2, i) 'datos(columna, fila) =
ActiveSheet.Cells(fila, columna)
Next i
End If

```

```

objword2.Selection.Move 6, -1
'cuarto
objword2.Selection.Move 6, -1
i = 0
textobuscar = "LTE_BER_FER `UncodedPER': FER = "
objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar
While objword2.Selection.Find.found = True
With objword2.Selection
.Collapse Direction:=wdCollapseEnd
.MoveEnd Unit:=5, Count:=1 '5 significa linea
End With
Datos(3, i) = objword2.Selection.Text 'texto a reemplazar
objword2.Selection.Collapse Direction:=wdCollapseEnd 'eliminar la seleccion
anterior
objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar
i = i + 1
Wend
If a = 1 Then
a = 0
For i = 0 To 10
ActiveWorkbook.ActiveSheet.Cells(i + 3, 9) = Datos(3, i) 'datos(columna, fila) =
ActiveSheet.cells(fila, columna)
Next i
End If
'comienzo de bucle 5
objword2.Selection.Move 6, -1
i = 0
textobuscar = "BER_FER `BER_FER': BER = "
objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar

```



```

While objword2.Selection.Find.found = True
b = 1
With objword2.Selection
.Collapse Direction:=wdCollapseEnd
.MoveEnd Unit:=5, Count:=1 '5 significa linea
End With
Datos(4, i) = objword2.Selection.Text 'texto a reemplazar
objword2.Selection.Collapse Direction:=wdCollapseEnd 'eliminar la seleccion
anterior
objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar
i = i + 1
Wend
If b = 1 Then
Worksheets("Hoja3").Copy After:=Worksheets(Worksheets.Count)
ActiveWorkbook.ActiveSheet.Name = ActiveSheet
For i = 0 To 10
ActiveWorkbook.ActiveSheet.Cells(i + 3, 6) = Datos(4, i) 'datos(columna, fila) =
ActiveSheet.cells(fila, columna)
Next i
End If
'comienzo de bucle 6
objword2.Selection.Move 6, -1
i = 0
textobuscar = "BER_FER `BER_FER': FER = "
objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar
While objword2.Selection.Find.found = True
With objword2.Selection
.Collapse Direction:=wdCollapseEnd
.MoveEnd Unit:=5, Count:=1 '5 significa linea

```

End With

Datos(5, i) = objword2.Selection.Text 'texto a reemplazar

objword2.Selection.Collapse Direction:=wdCollapseEnd 'eliminar la seleccion anterior

objword2.Selection.Find.Execute FindText:=textobuscar

i = i + 1

Wend

If b = 1 Then

b = 0

For i = 0 To 10

ActiveWorkbook.ActiveSheet.Cells(i + 3, 7) = Datos(5, i) 'datos(columna, fila) =
ActiveSheet.Cells(fila, columna)

Next i

End If

'guardado plantillas plantas

objword2.ChangeFileOpenDirectory ThisWorkbook.Path

'no guardamos para optimizar espacio

objword2.ActiveDocument.Close SaveChanges:=wdDoNotSaveChanges

'(para guardarlo)objword5.ActiveDocument.SaveAs Filename:="Fotos" & j - 1 &
".docx"

objword2.Quit

'vaciado de portapapeles

' oData.SetText Text:=Empty 'Clear

' oData.PutInClipboard 'take in the clipboard to empty it

'cerrar objeto word creado para la plantilla edif.

'objword5.Quit

```

'guardado doc anexos
'objword3.ChangeFileOpenDirectory ThisWorkbook.Path
'objword3.ActiveDocument.SaveAs Filename:="Anexo" & i & ".docx"
'no guardamos
'objword3.ActiveDocument.Close SaveChanges:=wdDoNotSaveChanges

'vaciado portapapeles
' oData.SetText Text:=Empty 'Clear
' oData.PutInClipboard 'take in the clipboard to empty it
'cerrar objeto anexos
'objword3.Quit
'guardado final
'objword2.ChangeFileOpenDirectory ThisWorkbook.Path
'objword2.ActiveDocument.SaveAs Filename:="Informe final.docx"
'objword2.Visible = True
file = Dir()
If file <> "" Then
ActiveSheet = Left(file, 31)
'ActiveWorkbook.Sheets.Add(After:=Worksheets(Worksheets.Count)).Name =
ActiveSheet

```

```
Else  
ActiveWorkbook.SaveAs Filename:="Resultados.xlsm"  
ThisWorkbook.Saved = True  
Application.Quit  
End If  
Wend  
End Sub
```