



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Implementación de esquemas de modulación digital para sistemas de
banda ultra ancha utilizando Simulink**

AUTOR:

Suarez Murillo, Efraín Oswaldo

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Paz Romero, Manuel de Jesús

Guayaquil, Ecuador

11 de junio de 2018



**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 Ingeniero **Suarez Murillo, Efraín Oswaldo** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Romero Paz, Manuel de Jesús

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, a los 11 días del mes de junio del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Suarez Murillo, Efraín Oswaldo**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Implementación de esquemas de modulación digital para sistemas de banda ultra ancha utilizando Simulink**”, 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 trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 11 días del mes de junio del año 2018

EL AUTOR

Suarez Murillo, Efraín Oswaldo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Suarez Murillo, Efraín Oswaldo**

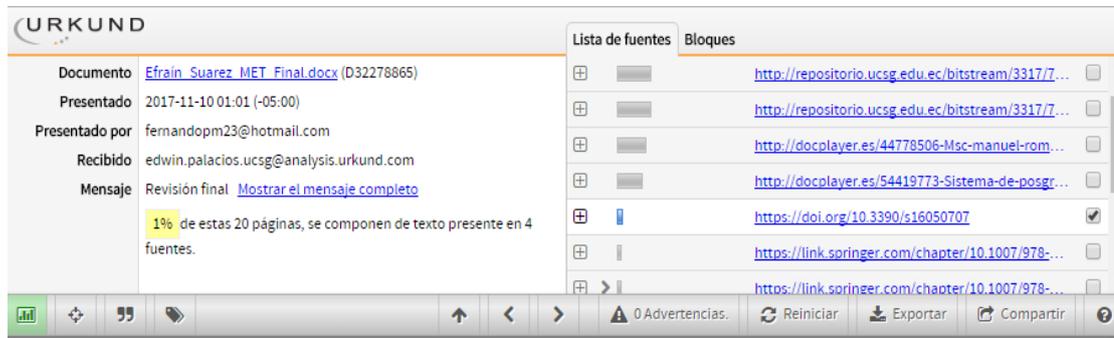
Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación de Maestría titulado: **“Implementación de esquemas de modulación digital para sistemas de banda ultra ancha utilizando Simulink”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 11 días del mes de junio del año 2018

EL AUTOR

Suarez Murillo, Efraín Oswaldo

REPORTE DE URKUND



The screenshot shows the URKUND interface. On the left, document details are listed: 'Documento' (Efraín Suarez MET_Final.docx), 'Presentado' (2017-11-10 01:01), 'Presentado por' (fernandopm23@hotmail.com), 'Recibido' (edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com), and 'Mensaje' (Revisión final). A summary states '1% de estas 20 páginas, se componen de texto presente en 4 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' table lists seven URLs with checkboxes. The bottom toolbar includes navigation icons and buttons for '0 Advertencias', 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'.

Lista de fuentes	Bloques
<input type="checkbox"/>	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7...
<input type="checkbox"/>	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7...
<input type="checkbox"/>	http://docplayer.es/44778506-Msc-manuel-rom...
<input type="checkbox"/>	http://docplayer.es/54419773-Sistema-de-posgr...
<input checked="" type="checkbox"/>	https://doi.org/10.3390/s16050707
<input type="checkbox"/>	https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-...
<input type="checkbox"/>	https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-...

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

TEMA: Implementación de esquemas de modulación digital para sistemas de banda ultra ancha utilizando Simulink

AUTOR: Suarez Murillo, Efraín Oswaldo

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Telecomunicaciones

TUTOR: Paz Romero, Manuel de Jesús

Guayaquil, Ecuador

25 de Octubre del 2017

Dedicatoria

Dedico este trabajo a la memoria de mis Padres a los que les debo todo lo que soy.

Agradecimientos

**Agradezco a mi hija Ivett, a mis hermanos y familiares, a Verónica
Martinez mi gran amor y a mi amigo Manuel Romero**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
TUTOR

f. _____

CORDOVA VILLAVICENCIO, LUIS SILVIO
REVISOR

f. _____

ZAMORA CEDEÑO, NESTOR ARMANDO
REVISOR

f. _____

ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
Resumen.....	XV
Abstract.....	XVI
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.	17
1.1. Introducción.....	17
1.2. Antecedentes.	18
1.3. Definición del problema	19
1.4. Justificación.....	19
1.5. Objetivos	19
1.6. Hipótesis.....	20
1.7. Metodología de investigación.	20
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.	21
2.1. Descripción de señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia.....	21
2.2. Densidad espectral de potencia.....	25
2.3. Transmisión.....	26
2.4. Filtrado de señales.	28
2.4.1. Filtros de respuesta impulsional finita - FIR.....	31
2.4.2. Filtros de respuesta impulsional infinita - IIR.....	32
Capítulo 3: Diseño y evaluación del sistema UWB.	35
3.1. Descripción de los escenarios de simulación del sistema de UWB.....	35
3.2. Escenario 1: Diseño de sistema CDMA utilizando modulación QAM.....	35
3.3. Resultados obtenidos del escenario 1: análisis del rendimiento del sistema CDMA	46
3.4. Escenario 2: Diseño de sistema OFDM utilizando modulación QPSK.....	49
3.5. Resultados obtenidos del escenario 2.	50
3.6. Escenario 3: Diseño de sistema UWB utilizando modulación BPSK.....	53
3.7. Resultados obtenidos de simulación del sistema UWB.....	54
Conclusiones	58

Recomendaciones	59
Bibliografía.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Gráfica de una envolvente que varía su amplitud a lo largo del tiempo.....	21
Figura 2. 2: Gráfica de una función coseno.	22
Figura 2. 3: Representación espectral de señales (a) en amplitud, y (b) fase.	22
Figura 2. 4: Representación de sonidos producidos por dos frecuencias diferentes.....	23
Figura 2. 5: Representación espectral de la figura 2.4 en función del tiempo.	23
Figura 2. 6: Representación espectral de la figura 2.4 en función del tiempo.	24
Figura 2. 7: Representación del espectro del rango de voz humana.....	26
Figura 2. 8: Representación de la señal en el tiempo y del espectro de amplitud con seis frecuencias y con sólo las cuatro frecuencias más bajas.....	27
Figura 2. 6: Características de ganancia de potencia de los tipos de filtros digitales más comunes.	29
Figura 2. 10: Diferentes respuestas en el dominio del tiempo para un filtro el tipo ventana – Rectangular (rojo), Hanning (verde), Hamming (rojo) y Hamming Modificado (celeste).....	32
Figura 2. 11: Diagrama de bloque de un filtro de respuesta impulsional finita retroalimentado.....	33
Figura 2. 12: Aplicaciones prácticas de UWB con redes WPAN, WBAN, IWAN, SPIN, OPPN.....	34

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Diagrama de bloques del transmisor y receptor del sistema CDMA.....	36
Figura 3. 2: Parámetros del bloque generador de bits aleatorio de bernoulli.	36
Figura 3. 3: Parámetros del bloque generador de bits CRC.....	37
Figura 3. 4: Parámetros del bloque codificador convolucional.	38

Figura 3. 5: Parámetros del bloque intercalador convolucional.	38
Figura 3. 6: Parámetros del bloque de modulación QAM rectangular de banda base.....	39
Figura 3. 7: Parámetros del bloque de codificación OSTBC.	40
Figura 3. 8: Dimensiones admitidas para el bloque codificador OSTBC.	41
Figura 3. 9: Parámetros del bloque de canal AWGN.....	42
Figura 3. 10: Parámetros del bloque combinador OSTBC.	43
Figura 3. 11: Dimensiones admitidas para el bloque codificador OSTBC. ...	43
Figura 3. 12: Parámetros del bloque de la tasa de error de modulación (MER).....	44
Figura 3. 13: Parámetros del bloque de relación de error de modulación (MER).....	45
Figura 3. 14: Parámetros del bloque decodificador de Viterbi.	46
Figura 3. 15: Espectro de la señal transmitida en el sistema CDMA.	47
Figura 3. 16: Espectro de la señal recibida del sistema CDMA.	47
Figura 3. 17: Gráfica del error cuadrático medio (MES) para el sistema CDMA.....	48
Figura 3. 18: Gráfica de la tasa de error de bits (BER) para el sistema CDMA.....	48
Figura 3. 19: Constelación de señales del sistema CDMA usando modulación 256-QAM.	49
Figura 3. 20: Diagrama de bloques del transmisor y receptor del sistema OFDM.....	50
Figura 3. 21: Espectro de la señal transmitida en el sistema OFDMA.....	51
Figura 3. 22: Espectro de la señal recibida en el sistema OFDMA.....	51
Figura 3. 23: Gráfica del error cuadrático medio (MES) para el sistema OFDM.....	52
Figura 3. 24: Gráfica de la tasa de error de bits (BER) para el sistema OFDM.....	52
Figura 3. 25: Constelación de señales del sistema OFDM usando modulación QPSK.	53
Figura 3. 26: Diagrama de bloques del transmisor y receptor del sistema UWB.....	54
Figura 3. 27: Espectro de la señal transmitida en el sistema UWB.	55

Figura 3. 28: Espectro de la señal recibida en el sistema UWB.	55
Figura 3. 29: Gráfica del error cuadrático medio (MES) para el sistema UWB.	56
Figura 3. 30: Gráfica de la tasa de error de bits (BER) para el sistema UWB.	56
Figura 3. 31: Constelación de señales del sistema UWB usando modulación BPSK.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Condiciones de escalamiento de QAM rectangular de banda base.....	40
Tabla 3. 2: Dimensionalidades admitidas en el codificador OSTBC.....	41
Tabla 3. 3: Dimensionalidades admitidas en el codificador OSTBC.....	43

Resumen

Para el desarrollo del trabajo de examen complejo fue necesaria la búsqueda de información relacionada a los sistemas CDMA (Acceso Múltiple por División de Código), OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) y, UWB (Ultra Banda Ancha) y con diferentes esquemas de modulación digital, tales como: QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura), QPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase Cuaternaria), BPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria). También, fue necesario encontrar la herramienta de simulación apropiada. Las plataformas disponibles para simulación, son: MatLab/Simulink, Riverbed Modeler y OMNeT. El software de simulación utilizado en el examen complejo fue Simulink. Los escenarios de simulación diseñados para modelar los sistemas CDMA, OFDM y UWB permitieron validar que la tecnología UWB es más eficiente y tiene mejor rendimiento en comparación a los otros dos sistemas diseñados. La ventaja del sistema UWB es que trabaja con OFDM multibanda y que proporciona mayor accesibilidad en el ancho de banda para servicios de datos.

Palabras claves: SEÑALES, FILTRADO, MODULACIÓN DIGITAL, ESPECTRO, UWB, SIMULINK.

Abstract

For the development of the complex examination work it was necessary to search for information related to the CDMA (Multiple Division by Code Division), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) and, UWB (Ultra Broadband) systems and with different digital modulation, such as: QAM (Quadrature Amplitude Modulation), QPSK (Quaternary Phase Displacement Modulation), BPSK (Binary Phase Displacement Modulation). Also, it was necessary to find the appropriate simulation tool. The platforms available for simulation are: MatLab / Simulink, Riverbed Modeler and OMNeT. The simulation software used in the complex examination was Simulink. The simulation scenarios designed to model the CDMA, OFDM and UWB systems allowed to validate that the UWB technology is more efficient and has better performance in comparison to the other two designed systems. The advantage of the UWB system is that it works with multiband OFDM and that it provides greater accessibility in the bandwidth for data services.

Keywords: SIGNALS, FILTERED, DIGITAL MODULATION, SPECTRUM, UWB, SIMULINK.

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

Los beneficios de un estilo de vida cada vez más móvil introducido por las tecnologías inalámbricas en teléfonos celulares y PC domésticos han resultado en una mayor demanda de los mismos beneficios en otros dispositivos de consumo. Por lo tanto, los usuarios disfrutan de la mayor comodidad de la conectividad inalámbrica. En la actualidad, la mayoría de dispositivos electrónicos (tablets, laptops y teléfonos inteligentes) permiten la grabación y almacenamiento de video, para transmisión en tiempo real de audio y video (AV), así como juegos interactivos y servicios de conferencia de AV a medida que la necesidad de medios digitales se hace más predominante en el hogar. (Intel, 2004)

Los sistemas de comunicación de banda ultra ancha (UWB) se pueden clasificar ampliamente como cualquier sistema de comunicación cuyo ancho de banda instantáneo es muchas veces mayor que el mínimo requerido para entregar información particular. Este exceso de ancho de banda es la característica definitoria de UWB. Comprender cómo esta característica afecta el rendimiento y el diseño del sistema es fundamental para tomar decisiones de diseño de ingeniería informadas con respecto a la implementación de UWB. (Reed, 2005)

Para los autores (Alarifi et al., 2016) el sistema UWB es una tecnología emergente en el campo del posicionamiento en interiores que ha demostrado un mejor rendimiento en comparación con otros. En forma general, los sistemas UWB utilizan trenes de pulsos formados con una única forma de impulso básico, debido a la corta duración inherente del pulso y que el ancho de banda de estos sistemas es muy grande.

Finalmente, UWB es una tecnología revolucionaria, limitada en potencia y en rápida evolución, que emplea impulsos cortos con potencia ultra-baja para comunicación y alcance. Se encuentra que un sistema de

radio de impulsos UWB es extremadamente útil y consta de varias características satisfactorias, tales como alta velocidad de datos, rango de alta precisión, robustez de desvanecimiento e implementación de transceptores de bajo costo.

1.2. Antecedentes.

En la etapa inicial investigativa se realiza la búsqueda de información relevante de los sistemas de UWB. Al menos, en el repositorio de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) no se encontraron trabajos que utilicen la tecnología de UWB. Para lo cual fue necesaria la búsqueda de información con la ayuda de la biblioteca virtual de la UCSG, en la que se pueden acceder a libros y/o publicaciones relacionadas con la tecnología UWB.

Existe demasiada información de UWB publicadas en textos y artículos publicados en revistas de alto impacto. A continuación, se presentan algunos de los trabajos que utilizan la tecnología de UWB y que han sido publicados en libros y revistas de alto impacto:

1. La publicación realizada por los autores Shi & Ming, (2016) proporciona una descripción general de la solución de posicionamiento en interiores basada en la tecnología de UWB. Primero, realizan una introducción de concepción, estandarización y las ventajas de UWB, y posteriormente analizaron cuatro técnicas de medición de ubicación basadas en la tecnología de UWB. Finalmente, se proporcionan las aplicaciones y las tendencias futuras de la tecnología.
2. El artículo de los autores Santra & Mallick, (2015) trata de las antenas de UWB que se evalúan con respecto a diferentes geometrías, parámetros de diseño y sus resultados experimentales son evaluados por los patrones de pérdida, ganancia y radiación de retorno medidos. También, especifican las proyecciones de los desarrollos futuros de la tecnología de antenas UWB.
3. El artículo publicado por Sharma, Sharma, & Bhatia, (2015) realiza el análisis de la tasa de errores de bits (BER) de varios impulsos de

banda ultra ancha (UWB) sobre diferentes modelos de canales utilizando la técnica de modulación de la posición del pulso (*Pulse Position Modulation, PPM*). También, utilizan para la transmisión de bits de datos en las comunicaciones de UWB el pulso Hermite modificado (*Modified Hermite Pulse, MHP*) y pulso Hermite compuesto (*Composite Hermite Pulse, CHP*). Los resultados muestran que el rendimiento de CHP es superior en comparación con otros pulsos para todos los modelos de canales debido a su buena compatibilidad de espectro con la máscara espectral de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) y el mayor ancho de banda fraccional.

1.3. Definición del problema

En el repositorio de la Maestría en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil existe escasa información relacionada al empleo de esquemas de modulación digital sobre sistemas de ultra banda ancha. Por lo tanto, es necesario realizar la implementación de varios escenarios de esquemas de modulación digital sobre sistemas de banda ultra estrecha utilizando la herramienta de simulación Simulink.

1.4. Justificación

Los sistemas de comunicaciones inalámbricos actuales utilizan técnicas o esquemas de modulación digital. En la plataforma Simulink, se realizan los escenarios de simulación, en el cual se modelarán tres sistemas que son: CDMA, OFDM y UWB. Estos tres escenarios, permiten realizar el análisis de los tres sistemas mencionados para demostrar que UWB es el más idóneo en comunicaciones inalámbricas. En cada sistema se emplearán esquemas de modulación digital, que dependerá del esquema más idóneo a utilizarse en los tres sistemas ya mencionados.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General:

Realizar la implementación de esquemas de modulación digital para sistemas de banda ultra estrecha utilizando Simulink.

1.5.2. Objetivos específicos:

- ✓ Describir el estado del arte de los sistemas de comunicaciones, filtrado y esquemas de modulación digital utilizados en redes inalámbricas.
- ✓ Diseñar los escenarios de simulación en simulink con diferentes sistemas y esquemas de modulación digital.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos de los tres escenarios diseñados para los sistemas CDMA, OFDM y UWB.

1.6. Hipótesis

A través del desarrollo de los escenarios de simulación en Simulink, demostrar que el sistema de banda ultra ancha (UWB) tiene mayor rendimiento utilizando esquemas de modulación digital con relación a los dos sistemas CDMA y OFDM.

1.7. Metodología de investigación.

El trabajo práctico del examen complejo está enmarcado en el paradigma cuantitativo, también conocido como ciencia empírica. Es decir, que el examen complejo tiene un enfoque empírico-analítico. Se sabe que el diseño de investigación es seleccionar correctamente la técnica de modulación digital en los escenarios de simulación.

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.

2.1. Descripción de señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

Cuando se analiza la figura 2.1, la señal en ella representada varía su amplitud a lo largo del tiempo. Sin embargo, cada uno de ellas tiene siempre la misma frecuencia a lo largo del tiempo, una amplitud máxima y la indeterminación de saber si empiezan más a la izquierda o a la derecha, la misma que es decidida por el valor de la fase. En otras palabras, estas señales estarían completamente descritas si decimos:

- a. la frecuencia,
- b. la amplitud máxima, y
- c. la fase

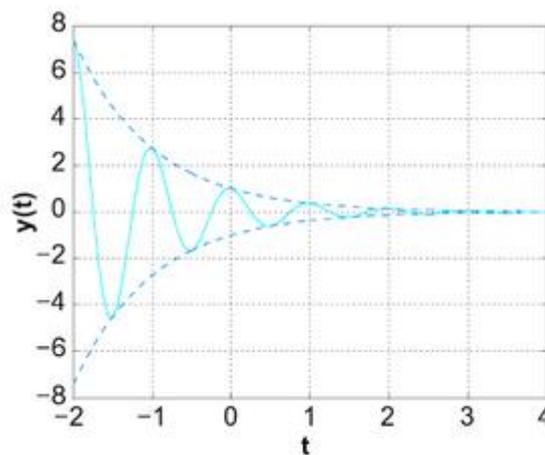


Figura 2. 1: Gráfica de una envolvente que varía su amplitud a lo largo del tiempo.
Fuente: (Chaparro, 2015)

A esto se llama la descripción de la señal en el dominio de la frecuencia, o espectro de la señal. Es una descripción en función de la variable de frecuencia. A las descripciones de la señal de la figura 2.1 se denominan descripciones de las señales en el dominio del tiempo, pues muestran el valor de la amplitud de la señal a lo largo del tiempo.

Por ejemplo, la descripción gráfica de la señal mostrada en la figura 2.2 en el dominio de la frecuencia se representa por dos gráficos: uno para la frecuencia y otro para la fase, tal como se muestra en la figura 2.3.

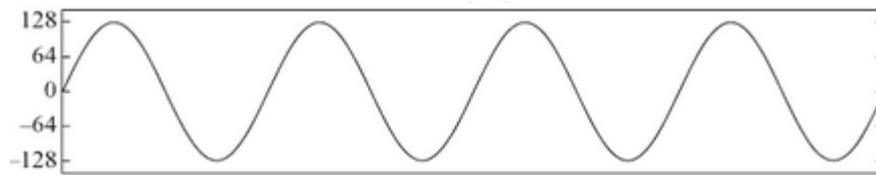


Figura 2. 2: Gráfica de una función coseno.
Fuente: (Leis, 2013)

La figura 2.3a muestra que la señal sólo tiene una frecuencia, f_0 , y la amplitud es A (amplitud máxima). La figura 2.3b muestra que en la frecuencia f_0 (única que la señal tiene) la fase vale θ . En conclusión, la figura 2.3a se conoce como representación de amplitud (o espectro de amplitud) y la figura 2.3b se conoce como representación de fase (o espectro de fase).

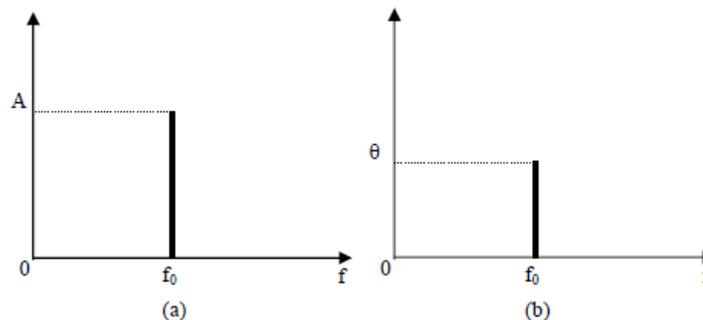


Figura 2. 3: Representación espectral de señales (a) en amplitud, y (b) fase.
Fuente: (Pinto García, 2015)

Por ejemplo, la figura 2.4 representa sonidos producidos por dos notas musicales, la primera más grave y la otra más aguda en diapasones ideales. Para simplificar, ambas tienen la misma amplitud, y la misma fase, distinta de cero. Ahora, y como curiosidad, el oído humano no es sensible a la fase. Esto es, si la nota más grave se empieza a tocar primero que la más aguda, no se puede distinguir el sonido de las dos notas, del sonido conjunto producido cuando se toca la nota más aguda primero.

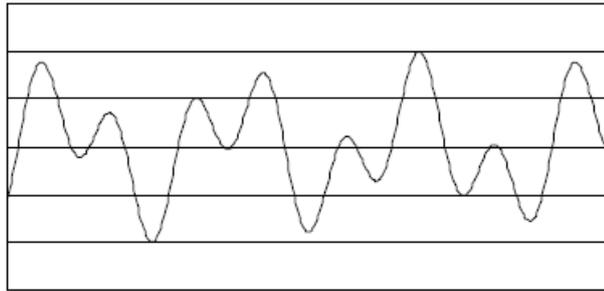


Figura 2. 4: Representación de sonidos producidos por dos frecuencias diferentes.
Fuente: (Pinto García, 2015)

La figura 2.4 pareciera complicada, sin embargo, son sólo dos frecuencias puras. Aunque, si las representáramos por su espectro sería igual al de la figura 2.5. Como se puede ver, aunque sólo se utiliza para las representaciones de funciones, el espectro puede ser una alternativa muy interesante. Pero la importancia del espectro excede ampliamente la representación de funciones.

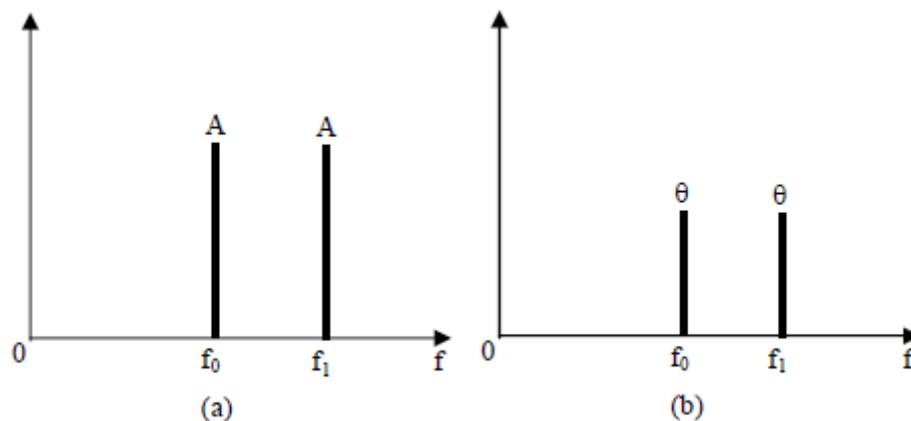


Figura 2. 5: Representación espectral de la figura 2.4 en función del tiempo.
Fuente: (Pinto García, 2015)

Es importante señalar que esta parte introductoria se va a dejar para segundo plano el espectro de fase. No es completamente relevante para la explicación de los conceptos básicos y así quedar enfocados en los aspectos de amplitud.

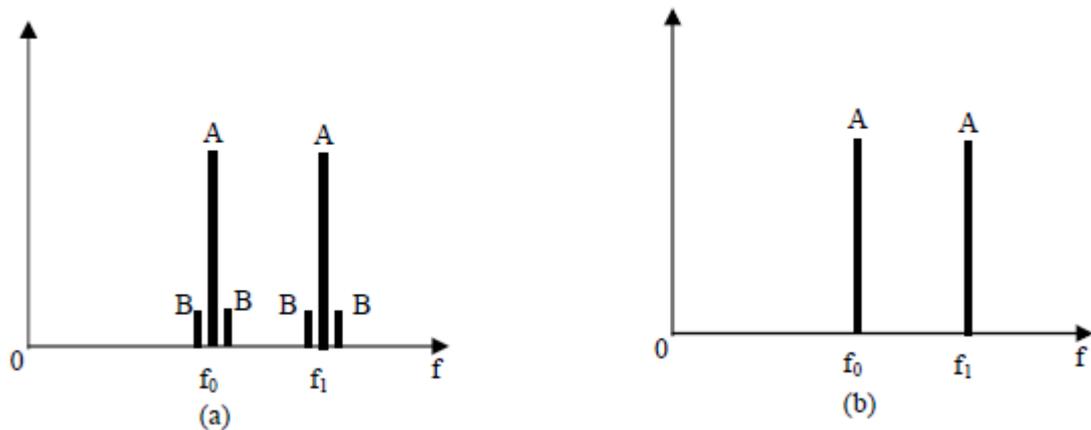


Figura 2. 6: Representación espectral de la figura 2.4 en función del tiempo.
Fuente: (Pinto García, 2015)

Por ejemplo, la figura 2.6 (a) se muestra una señal con seis frecuencias en las que cuatro de ellas tienen una amplitud muy pequeña comparada con las dos frecuencias que le rodean. Mientras, que en la figura 2.6 (b) estas cuatro frecuencias fueron retiradas. ¿El oído humano distingue la señal (a) de la señal (b)? ¡La respuesta es no! Porque cuando tenemos una frecuencia con una amplitud muy pequeña al pie de otra con una amplitud muy grande, no podemos percibir la frecuencia con amplitud pequeña.

Observando la figura 2.5, ella ya nos permite hablar de otro concepto. Lo que su representación de amplitud muestra es que en la frecuencia f_0 existe una cierta amplitud, en la frecuencia f_1 existe otra amplitud, y no existen más componentes de frecuencia en la señal. Por ejemplo, la señal no tiene componentes en una frecuencia f_2 (suponiendo que f_2 está en medio de f_0 y f_1).

A nivel de frecuencia no existen otros componentes, es decir, en función de la frecuencia la señal no está definida para otros valores de frecuencia que no sean f_0 y f_1 . Este tipo de señal se dice que tiene un espectro discreto (no continuo) y eso sucede siempre que la señal en el tiempo es periódica e infinita (como el caso de los cosenos).

2.2. Densidad espectral de potencia.

Un aspecto un poco más técnico, pero de gran utilidad para las Telecomunicaciones, es saber cómo la potencia de la señal se distribuye para cada frecuencia que la señal tiene. La simplicidad de su cálculo es grande, ya que la descripción de la señal en la frecuencia dada por el espectro. Como se sabe, la potencia disipada en una resistencia R en función de la tensión es dada por:

$$p(t) = \frac{v^2(t)}{R} = i^2(t)R$$

Esto es, la potencia es proporcional al cuadrado de la amplitud de la señal. Si consideramos que se tiene una resistencia de 1 ohmio (que es común considerar en Telecomunicaciones) la potencia tiene la misma expresión tanto si se utiliza la tensión o la corriente para describir la señal. Lo que es importante en este momento de la descripción es que la relación es cuadrática. Ahora bien, lo que se verifica es que la distribución de la potencia del signo por la frecuencia es el cuadrado del valor del espectro de amplitud.

A esa expresión matemática se le da el nombre de densidad espectral de potencia (*Power Spectral Density, PSD*). Para el caso del habla humana, la potencia de los sonidos que se producen cuando hablamos tiene una función que es el cuadrado de la función mostrada en la figura 2.7. Se ve que existe mucha más potencia en las frecuencias hasta 1 kHz y luego valores menores hasta 4 kHz.

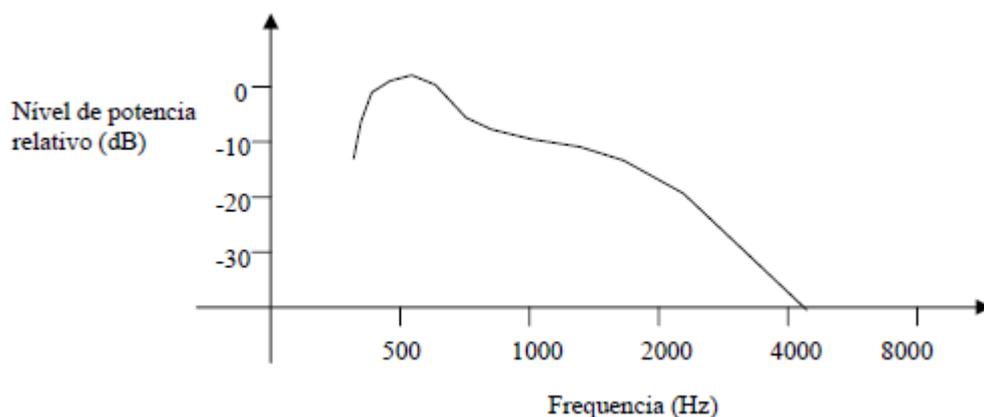


Figura 2. 7: Representación del espectro del rango de voz humana.

Fuente:

Se pueden cortar las frecuencias más altas de la señal de voz, pues tienen poca potencia. Así, se consigue usar equipos que transportan apenas hasta 2 kHz y con esto ahorrar costos. Sin embargo, hay otro factor importante que es la inteligibilidad de la señal. En las señales de voz las frecuencias menores se usan cuando decimos vocales y las mayores cuando producimos las consonantes. Incluso con poca potencia es importante que estén allí, si no comprendemos el discurso.

Un ejemplo sobre el lenguaje escrito hace que este problema sea más visible. En la escritura la importancia de las consonantes también es fundamental cuando comparada con las vocales. Por ejemplo, la palabra espectro sin vocales sería "spctr" lo que recuerda vagamente la palabra real. Si se utiliza sólo las vocales sería casi imposible saber qué palabra sería. Así, incluso con poca potencia, es importante considerar la señal de voz por encima de 3 kHz (normalmente hasta 3.4kHz).

La densidad espectral de potencia de la señal de voz se describe por el cuadrado de los valores de la función mostrada en la figura 2.7. Esta conexión entre el espectro de amplitud y la densidad espectral de potencia hace que el espectro de amplitud sea siempre una referencia más usada que el espectro de fase.

2.3. Transmisión.

Como se conoce, los distintos medios de transmisión no "conduce" a todas las frecuencias de igual modo. Algunas frecuencias son poco atenuadas por kilómetros, mientras que otras frecuencias sufren atenuaciones muy grandes en cientos de metros. Si tenemos un cable de unos 10 km (típicamente la distancia de un teléfono doméstico a una central telefónica en zonas no urbanas), se puede pensar que los componentes de

frecuencia que son muy atenuados no llegan, sencillamente, a la central. Veamos un ejemplo.

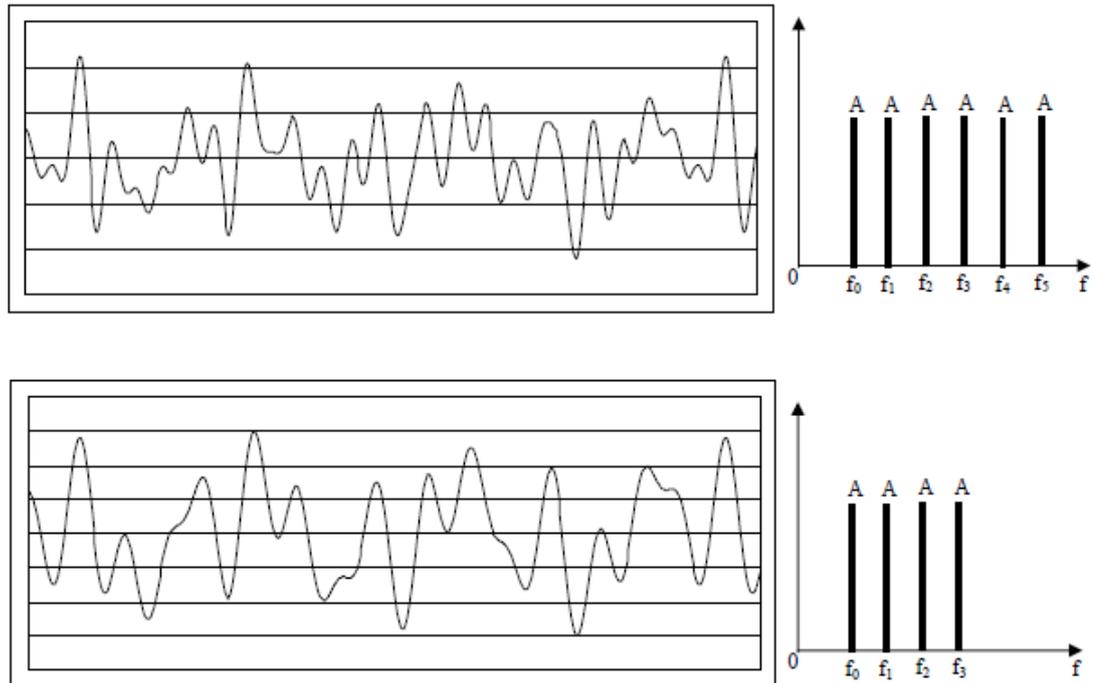


Figura 2. 8: Representación de la señal en el tiempo y del espectro de amplitud con seis frecuencias y con sólo las cuatro frecuencias más bajas

Fuente:

Pensando sólo en el espectro de amplitud, la figura 2.8 muestra en la parte superior, seis notas musicales en el tiempo y la frecuencia. En la parte inferior se ilustra lo que sería la señal al final del cable si las dos frecuencias mayores no existieran (hubieran sido atenuadas por el medio de transmisión). Claramente, no tenemos la misma señal y lo que oíríamos no se parecería mucho con lo que fue producido.

La consecuencia es que, si la distancia es muy grande, puede suceder que ya no se pueda recuperar la señal en el destino. Incluso en la gama de frecuencias donde la atenuación es pequeña, existe. Si la distancia es demasiado grande, la potencia de la señal puede ser tan débil que se asemeja a la potencia del ruido. Para evitar esto, en el caso de las distancias a recorrer sean muy grandes, hay que utilizar amplificadores de señal de tantos kilómetros de cobertura. La distancia exacta entre amplificadores tiene que ver con la atenuación del medio y la potencia del ruido. Nos aparece una vez más la relación señal-ruido.

En el caso concreto del espacio libre, de que son ejemplos la difusión de radio y televisión, las frecuencias de interés empiezan en las llamadas frecuencias medias, MF (Medium Frequency), para las emisiones de radio en onda media; después por las muy altas frecuencias, VHF (Very High Frequency), para las emisiones de radio en FM y televisión; y van hasta ultra altas frecuencias, UHF (Ultra High Frequency) para la televisión y los teléfonos móviles. En términos de frecuencias se comienza en 500 kHz, se pasa por 100 MHz y se va hasta 1 o 2 GHz.

Por encima de UHF, los usos son ya de haces de microondas y de satélite. Por debajo de los 500 kHz no existe "conducción" (o propagación) suficientemente eficiente. Este escenario crea un problema: ¿Cómo transmitir entonces la señal eléctrica de nuestra voz que comienza en los 400 Hz y va hasta los 4 kHz? Si transmitimos la señal tal como es a la salida del micrófono, es decir, si conectamos el micrófono a la antena, se degradaría unos pocos metros después de dejar la antena que lo intentase transmitir.

La solución es trasladar de algún modo la señal a las frecuencias de interés (las tales MF, VHF o UHF), transmitirlo en esas frecuencias y pasar de nuevo a las frecuencias de 400 Hz a 4 kHz en el receptor. El proceso de pasar la señal a otra frecuencia tiene el nombre genérico de modulación. Es importante, saber que no se puede confundir la modulación con modelado, como es habitual en el 90% de estudiantes cuando se escucha modulación. No se está tratando de encontrar un modelo para lo que sea, sino hacer una traslación de frecuencia.

2.4. Filtrado de señales.

Antes de entrar en la explicación del proceso de modulación, nos vamos a enfocar un poco más de los diferentes efectos de los medios de transmisión en función de la frecuencia y, también abordar los dispositivos llamados filtros. Los filtros son dispositivos que actúan selectivamente en la frecuencia. Esto es, pensando en el dominio de la frecuencia, los filtros

modifican la señal que entra, en una señal a la salida que no tiene amplitudes en ciertas frecuencias. La señal a la salida es igual a la señal a la entrada para ciertas frecuencias, mientras que para otras es nula.

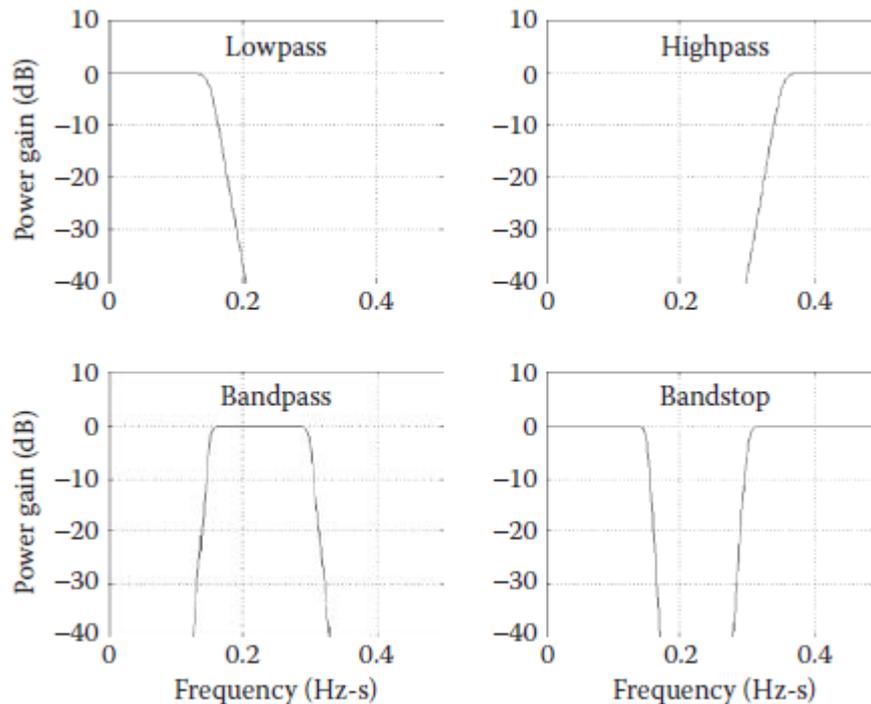


Figura 2. 9: Características de ganancia de potencia de los tipos de filtros digitales más comunes.

Fuente:

Un filtro puede cortar todas las frecuencias altas a partir de cierto valor, el cual tendría un comportamiento idéntico al del canal que se observó en la figura 2.8. En otras palabras, ese canal de transmisión acaba por tener un comportamiento equivalente al de un filtro, vemos que el efecto del filtrado en la frecuencia es trivial (véase la figura 2.8 en la que se corta las frecuencias f_4 y f_5). Debido a que existen diferentes aplicaciones toman la forma de uno de los cuatro filtros que se muestran en la figura 2.9, ya sean filtros pasa bajo, pasa alto, pasa banda y parada de banda.

Para Zhang & Wang, (2012) un filtro, es un circuito que permite pasar una banda de frecuencia en particular, y la atenuación de la señal que está fuera de la banda. El filtro se usa ampliamente, involucrando telecomunicaciones, militares, médicos, electricidad, etc. En los sistemas de comunicaciones modernos, el filtro es un tipo de tecnología de procesamiento de señal que se usa con mucha frecuencia, y los filtros

digitales son mejores que los filtros analógicos de muchas maneras. con tecnología digital para lograr la función de filtro ha sido ampliamente utilizado.

Un filtro digital según lo indicado por Ammar, Julboub, & Elmghairbi, (2013) es un algoritmo matemático implementado en hardware y/o software que opera en una señal de entrada digital para producir una señal de salida digital con el fin de lograr un objetivo de filtrado. Los filtros digitales a menudo funcionan con señales analógicas digitalizadas o solo números, que representan alguna variable, almacenados en la memoria de una computadora.

Los filtros digitales de acuerdo a Kaur & Kaur, (2013) juegan un papel importante en las aplicaciones de procesamiento de señales digitales. Son ampliamente utilizados en aplicaciones de procesamiento de señal digital, como el filtrado de señal digital, reducción de ruido, análisis de frecuencia, compresión multimedia, procesamiento de señal biomédica y mejoras de imágenes, etc.

El filtro es un sistema que transmite algunas señales deseadas más que otras para reducir o mejorar ciertos aspectos de esa señal. Se puede usar para pasar las señales de acuerdo con la banda de paso de frecuencia especificada y rechazar la otra frecuencia que la especificación de banda de paso.

Finalmente, para los autores Podder, Hasan, Islam, & Sayeed, (2014) los filtros tienen muchos usos prácticos, por ejemplo, estabilizar los amplificadores haciendo rodar la ganancia a frecuencias más altas donde los cambios de fase extremos pueden causar oscilaciones, para lo cual es necesario utilizar a menudo un filtro pasa bajo de un polo (el integrador). Los filtros digitales se pueden clasificar en dos categorías: (a) respuesta impulsional finita (*Finite Impulse Response, FIR*) y respuesta impulsional infinita (*Infinite Impulse Response, IIR*).

2.4.1. Filtros de respuesta impulsional finita - FIR.

En el trabajo publicado por Rajput, (2012), indica que el filtro digital de respuesta impulsional finita (FIR) tiene una fase lineal estrictamente exacta, relativamente fácil de diseñar, altamente estable, e intensivo en procesamiento computacional, menos sensible a efectos finitos de longitud de palabra, característica de amplitud de frecuencia arbitraria y requisitos de procesamiento de señal estable en tiempo real, etc.

Por lo tanto, es ampliamente utilizado en diferentes aplicaciones de procesamiento de señal digital. El filtro FIR se describe mediante ecuaciones diferenciales. Las señales de salida son el resultado de una convolución de una señal de entrada y la respuesta de impulso del filtro.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} (h(k)x(n - k))$$

Donde, $x(n)$ es la señal de entrada y $h(n)$ es la respuesta impulsiva del filtro FIR. Mientras, que la función de transferencia del filtro FIR causal se obtiene tomando la transformada Z de la respuesta impulsional del filtro FIR $h(n)$.

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} (h(k)z^{-k})$$

La mayoría de los filtros de tipo común incluyen un filtro pasa bajo, que pasa a través de las frecuencias por debajo de sus frecuencias de corte, y atenúa progresivamente las frecuencias por encima de la frecuencia de corte de una señal de acuerdo con los requisitos deseados. Hay muchas técnicas sencillas para diseñar filtros digitales FIR para cumplir con las especificaciones arbitrarias de frecuencia y respuesta de fase, como el método de diseño de ventana o las técnicas de muestreo de frecuencia.

En la figura 2.10 se muestra la gráfica obtenida de un filtro FIR utilizando el método de la ventana. Este método, es fácil de entender y un método muy conveniente para diseñar filtros FIR digitales. Las funciones de ventana más populares y ampliamente utilizadas son: (a) ventana rectangular, (b) ventana Hanning, (c) ventana Hamming y (d) ventana Kaiser.

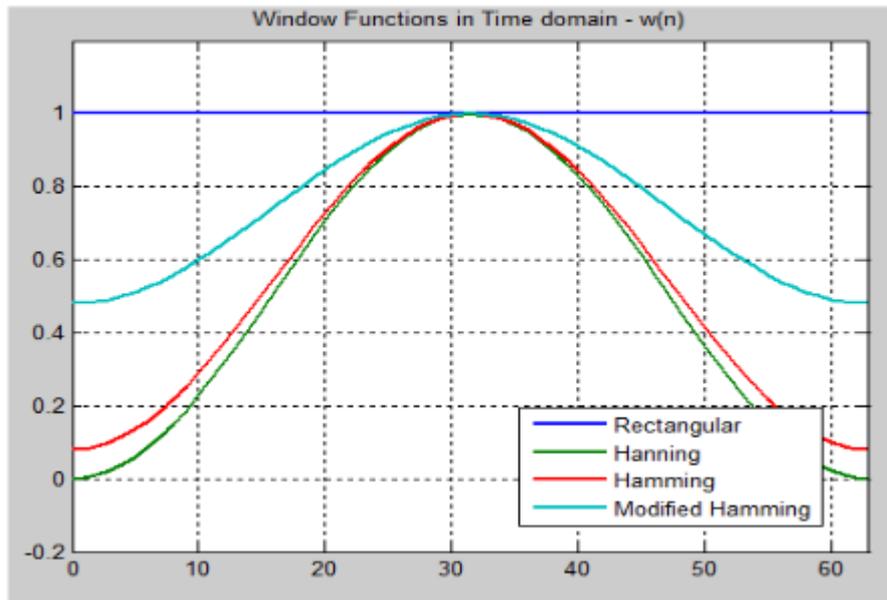


Figura 2. 10: Diferentes respuestas en el dominio del tiempo para un filtro el tipo ventana – Rectangular (rojo), Hanning (verde), Hamming (rojo) y Hamming Modificado (celeste).

Fuente: (Kaur & Kaur, 2015)

2.4.2. Filtros de respuesta impulsional infinita - IIR.

Los filtros IIR son filtros digitales con respuesta de impulso infinita. A diferencia de los filtros FIR, estos tienen retroalimentación (una parte recursiva de un filtro) y se conocen como filtros digitales recursivos. Por esta razón, los filtros IIR tienen una respuesta de frecuencia mucho mejor que los filtros FIR del mismo orden. Cuando la característica de fase lineal no es importante, el uso de filtros IIR es una solución excelente.

La figura 2.11 muestra la representación del filtro IIR en el que consiste un elemento de retroalimentación que proporciona una buena respuesta de salida. Hay muchas técnicas para el diseño de filtros digitales que tienen una respuesta de impulso de duración infinita. Por lo tanto, el diseño de un filtro

IIR implica el diseño de un filtro digital en el dominio analógico y la transformación del diseño en el dominio digital.

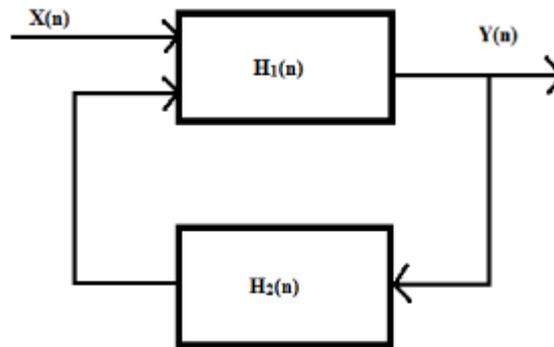


Figura 2. 11: Diagrama de bloque de un filtro de respuesta impulsional finita retroalimentado.

Fuente: (Singh & Mehra, 2016)

La función del sistema que describe un filtro puede escribirse como:

$$H_a(s) = \frac{\sum_{k=0}^M b_k s^k}{\sum_{k=0}^M a_k s^k}$$

Donde, a_k y b_k son los coeficientes del filtro IIR. La función del sistema $H_a(s)$ también se puede escribir por su respuesta de impulso como:

$$H_A(s) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)e^{-st}$$

En la figura 2.12 se muestra la gráfica obtenida de un filtro IIR pasa banda utilizando la respuesta de magnitud de Butterworth, Chebyshev1, Chebyshev2 y elíptico.

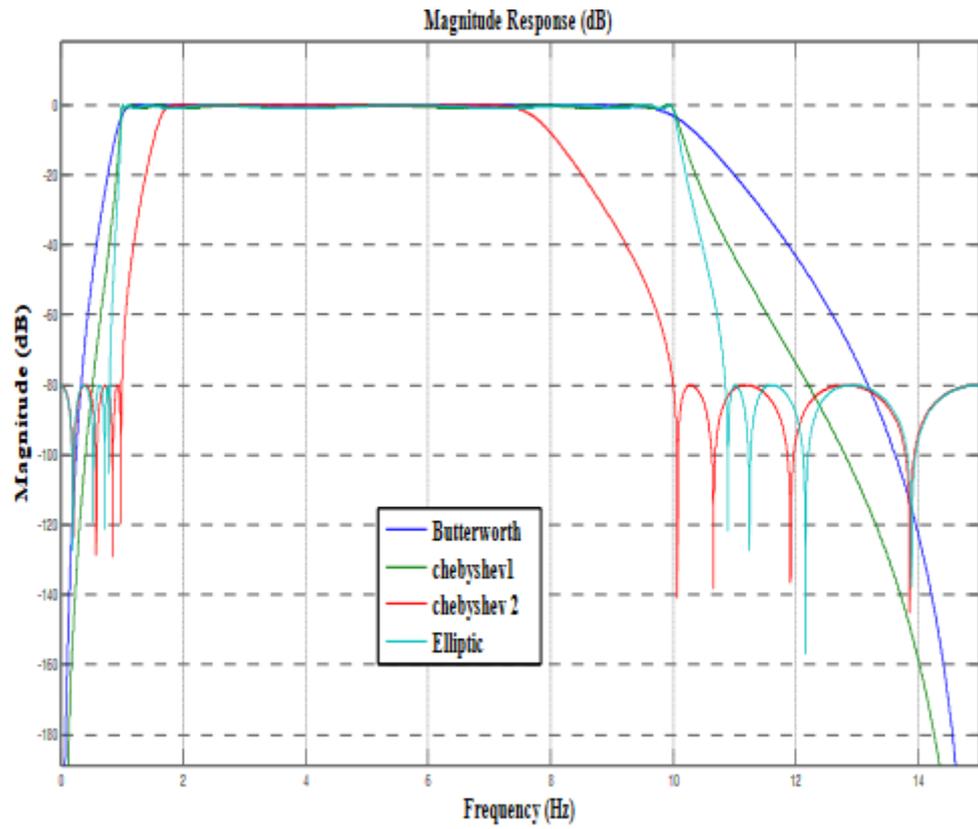


Figura 2. 12: Aplicaciones prácticas de UWB con redes WPAN, WBAN, IWAN, SPIN, OPPN.

Fuente: (Singh & Mehra, 2016)

Capítulo 3: Diseño y evaluación del sistema UWB.

3.1. Descripción de los escenarios de simulación del sistema de UWB.

Este capítulo muestra el diseño de los escenarios de simulación de los esquemas de modulación digital que son utilizados en sistemas UWB. Para el diseño de los escenarios de simulación se utiliza el software MatLab/Simulink, cuya versión es R2013b. Este software es robusto, debido a que proporciona una plataforma para diferentes cálculos numéricos y con representación gráfica.

MatLab consiste en seguir parámetros importantes, por ejemplo, adquisición, exploración de datos, análisis y visualización, gráficas de ingeniería compleja y gráficos científicos, análisis de diseño algorítmico, funciones matemáticas y computacionales, modelado y plataforma de simulación.

En los escenarios desarrollados se emplean diferentes esquemas de modulación digital que permite realizar el análisis comparativo del comportamiento de los sistemas CDMA, OFDM y del sistema UWB. El primer escenario se desarrolla el sistema CDMA, posterior el sistema OFDM y finalmente el sistema UWB mediante canales de desvanecimiento por trayectorias múltiples y del canal de ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN).

3.2. Escenario 1: Diseño de sistema CDMA utilizando modulación QAM.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques correspondiente al diseño del sistema de acceso múltiple por división de código (*Code Division Multiple Access, CDMA*). Se puede observar las diferentes etapas del sistema CDMA con su respectivo modulador y demodulador 256-QAM de banda base, en la que se incluye codificadores y combinadores de códigos de bloque espacio-temporales ortogonales (OSTBC). Para evaluar el desempeño del sistema CDMA se configuran diferentes parámetros sobre MatLab 2013a. A continuación, se describen los bloques de la figura 3.1.

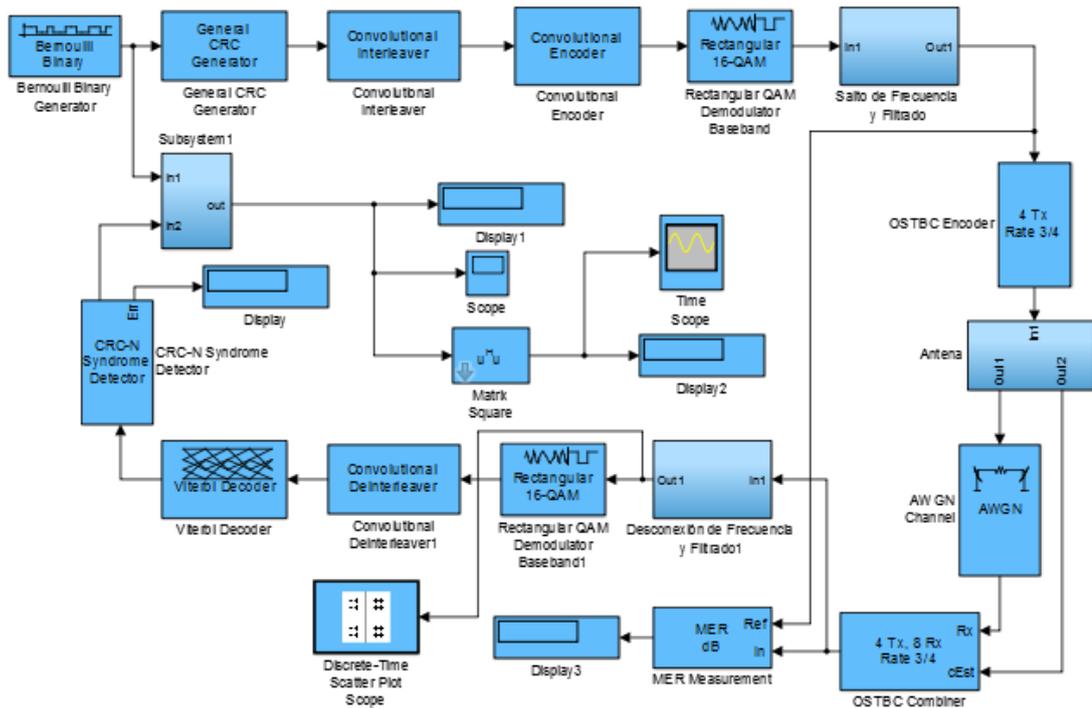


Figura 3. 1: Diagrama de bloques del transmisor y receptor del sistema CDMA.
Elaborado por: Autor.

El primer bloque es Bernoulli Binary (véase la figura 3.2) que permite generar números binarios aleatorios usando una distribución de Bernoulli

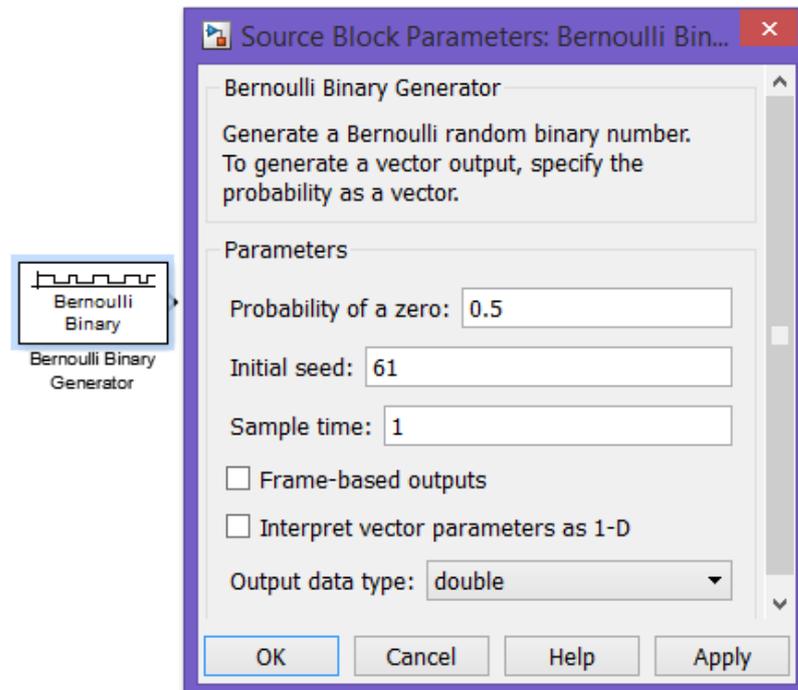


Figura 3. 2: Parámetros del bloque generador de bits aleatorio de bernoulli.
Elaborado por: Autor.

También, se utiliza el bloque *General CRC Generator* que permite generar bits de código de redundancia cíclica (*Cyclic Redundancy Code, CRC*) para cada trama de datos de entrada y los agrega a la trama, tal como se muestra en la figura 3.3.

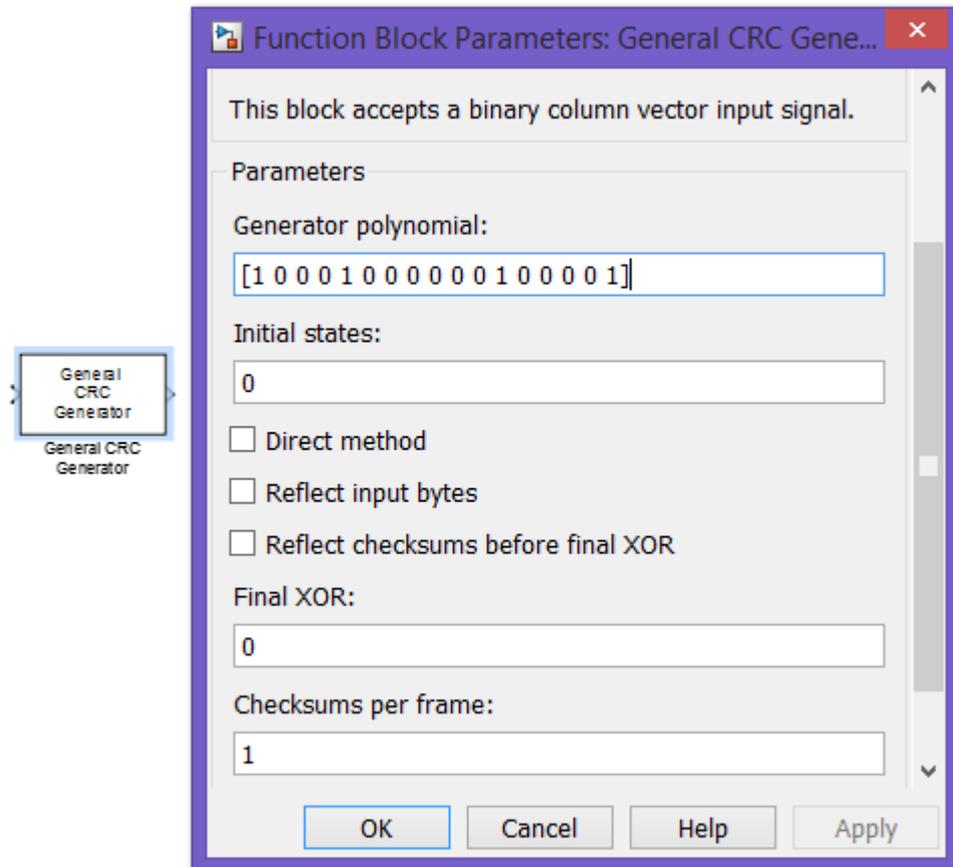


Figura 3. 3: Parámetros del bloque generador de bits CRC.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.4 se muestra el bloque *Convolutional Encoder*, que se encarga de codificar una secuencia de vectores de entrada binarios para producir una secuencia de vectores de salida binarios. Después, se utiliza el bloque *Convolutional Interleaver* (véase la figura 3.5) que se encarga de permutar los símbolos en la señal de entrada. Internamente, utiliza un conjunto de registros de desplazamiento. El valor de retardo del registro de desplazamiento k es $(k-1)$ multiplicado por el parámetro de paso de longitud de registro. El número de registros de desplazamiento es el valor del parámetro de filas de registros de desplazamiento. El parámetro de condiciones iniciales indica los valores que llenan cada registro de

desplazamiento al comienzo de la simulación (a excepción del primer registro de desplazamiento, que tiene retardo cero). Si la condición inicial es un escalar, entonces su valor llena todos los registros de desplazamiento excepto el primero; si la condición inicial es un vector de columna cuya longitud es el parámetro de filas de registros de desplazamiento, cada entrada rellena el registro de desplazamiento correspondiente. El valor del primer elemento del parámetro condición inicial no es importante, ya que el primer registro de desplazamiento tiene retardo cero.

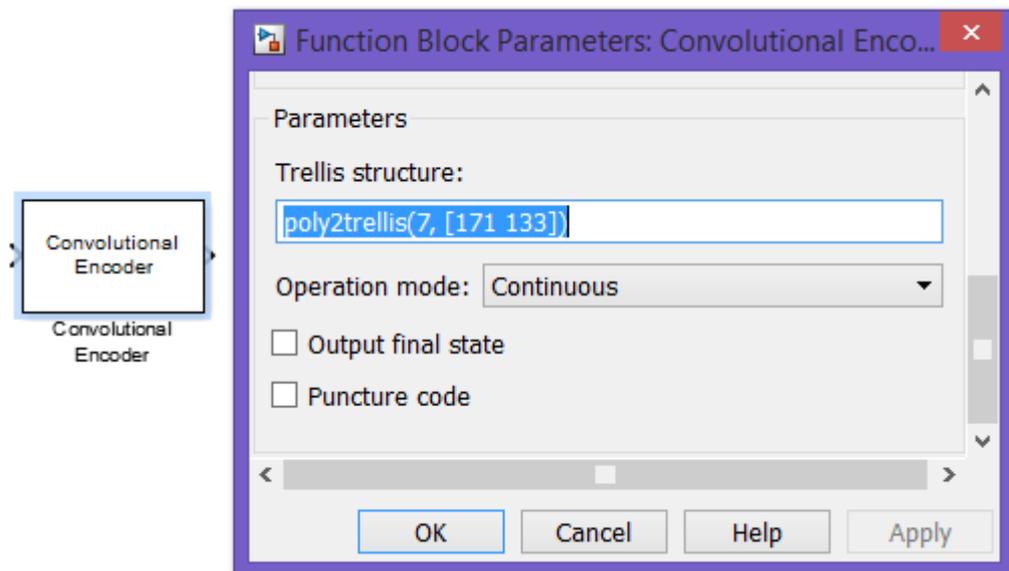


Figura 3. 4: Parámetros del bloque codificador convolucional.
Elaborado por: Autor.

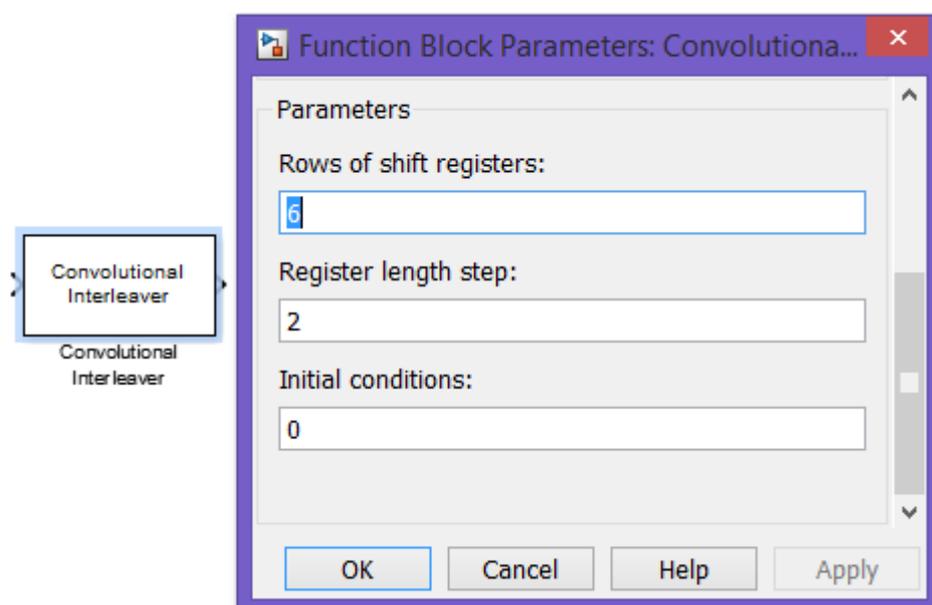


Figura 3. 5: Parámetros del bloque intercalador convolucional.
Elaborado por: Autor.

La figura 3.6 muestra el bloque de modulación QAM rectangular de banda base que se encarga de modular el uso de la modulación de amplitud en cuadratura (M-aria) con una constelación en un enrejado rectangular. La salida es una representación de banda base de la señal modulada.

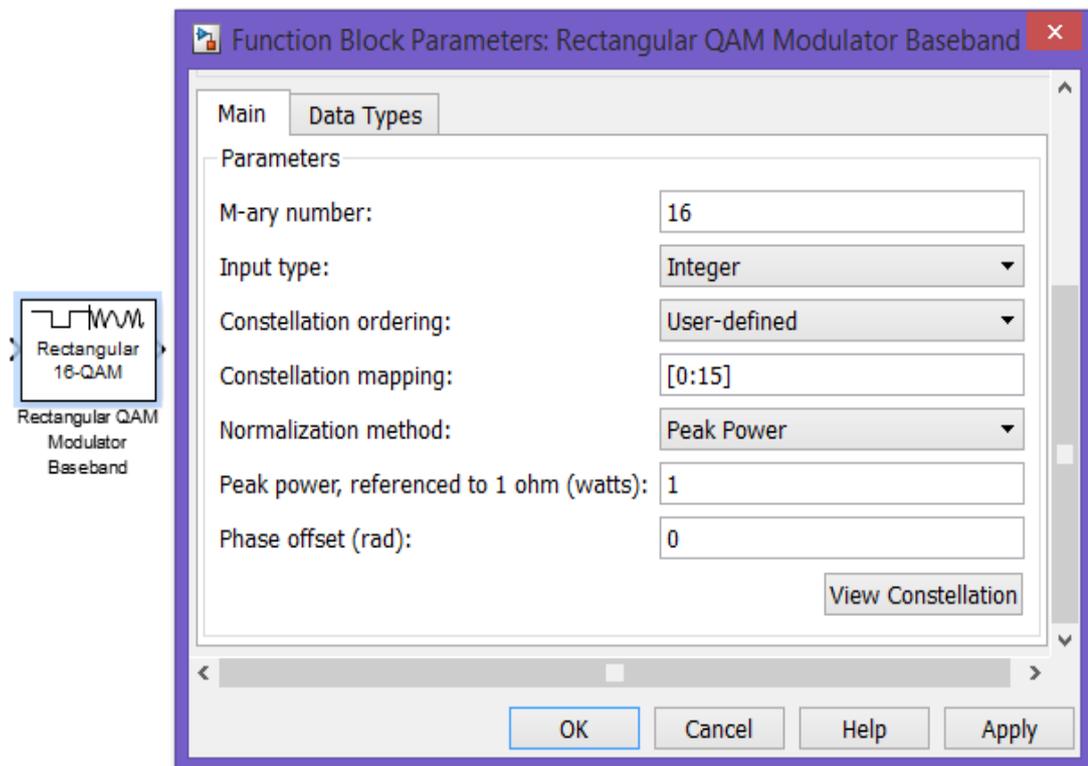


Figura 3. 6: Parámetros del bloque de modulación QAM rectangular de banda base.
Elaborado por: Autor.

La constelación de señales tiene M puntos, donde M es el parámetro numérico M aria. M debe tener la forma 2^K para un entero positivo K . El bloque de la escala de la constelación de la señal en función de cómo establece el parámetro del método de normalización. La tabla 3.1 enumera las posibles condiciones de escala. (MathWorks, 2017c)

Tabla 3. 1: Condiciones de escalamiento de QAM rectangular de banda base.

Valor del parámetro del método de normalización	Condición de escala
Distancia mínima entre símbolos	El par de puntos más cercano en la constelación está separado por el valor del parámetro distancia mínima.
Energía promedio	La potencia promedio de los símbolos en la constelación es el parámetro de potencia promedio.
Potencia máxima	La potencia máxima de los símbolos en la constelación es el parámetro de potencia máxima.

Fuente: (MathWorks, 2017c)

La figura 3.7 muestra el bloque OSTBC Encoder, que se encarga de codificar una secuencia de símbolos de entrada utilizando el código de bloque de espacio-tiempo ortogonal (OSTBC). El bloque mapea los símbolos de entrada en bloque y concatena las matrices de palabras de código de salida en el dominio del tiempo. Para obtener más información, se puede consultar la sección de algoritmos de codificación de OSTBC en (MathWorks, 2017b).

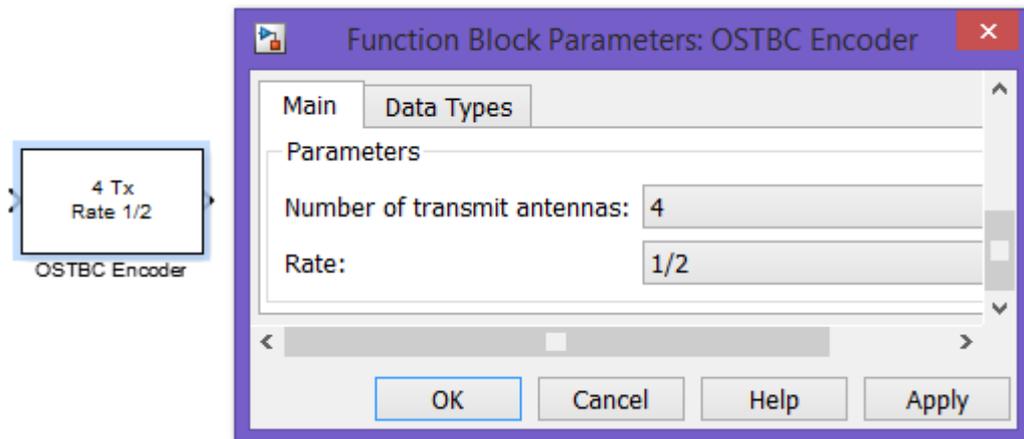


Figura 3. 7: Parámetros del bloque de codificación OSTBC.

Elaborado por: Autor.

Adicionalmente, admite el tiempo y los dominios espaciales para transmisiones OSTBC. También es compatible con una dimensión opcional, sobre la cual el cálculo de codificación es independiente. Esta dimensión se puede considerar como el dominio de frecuencia. La figura 3.8 muestra las dimensiones admitidas para las entradas y salidas del bloque OSTBC Encoder.

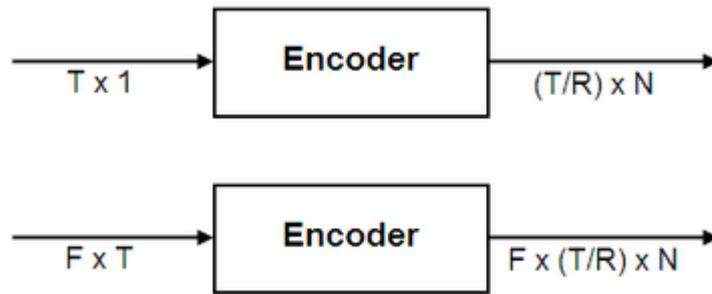


Figura 3. 8: Dimensiones admitidas para el bloque codificador OSTBC.

Fuente: (MathWorks, 2017b)

En la tabla 3.2 se describen cada una de las variables (F, T, R y N) de las dimensiones admitidas tanto en la entrada como salida del bloque codificador mostrada en la figura 3.8.

Tabla 3. 2: Dimensionalidades admitidas en el codificador OSTBC.

Variables	Descripción
F	La dimensión adicional; típicamente el dominio de frecuencia. La codificación no depende de esta dimensión.
T	Longitud de secuencia de símbolo de entrada para el dominio de tiempo.
R	Velocidad de símbolo del código.
N	Número de antenas de transmisión.

Fuente: (MathWorks, 2017b)

La figura 3.9 muestra el bloque del canal de ruido blanco gaussiano aditivo conocido como AWGN, que permite agregar ruido gaussiano blanco a una señal de entrada real o compleja. Cuando la señal de entrada es real, este bloque agrega ruido gaussiano real y produce una señal de salida real. Cuando la señal de entrada es compleja, este bloque agrega ruido gaussiano complejo y produce una señal de salida compleja. Este bloque hereda su tiempo de muestreo de la señal de entrada.

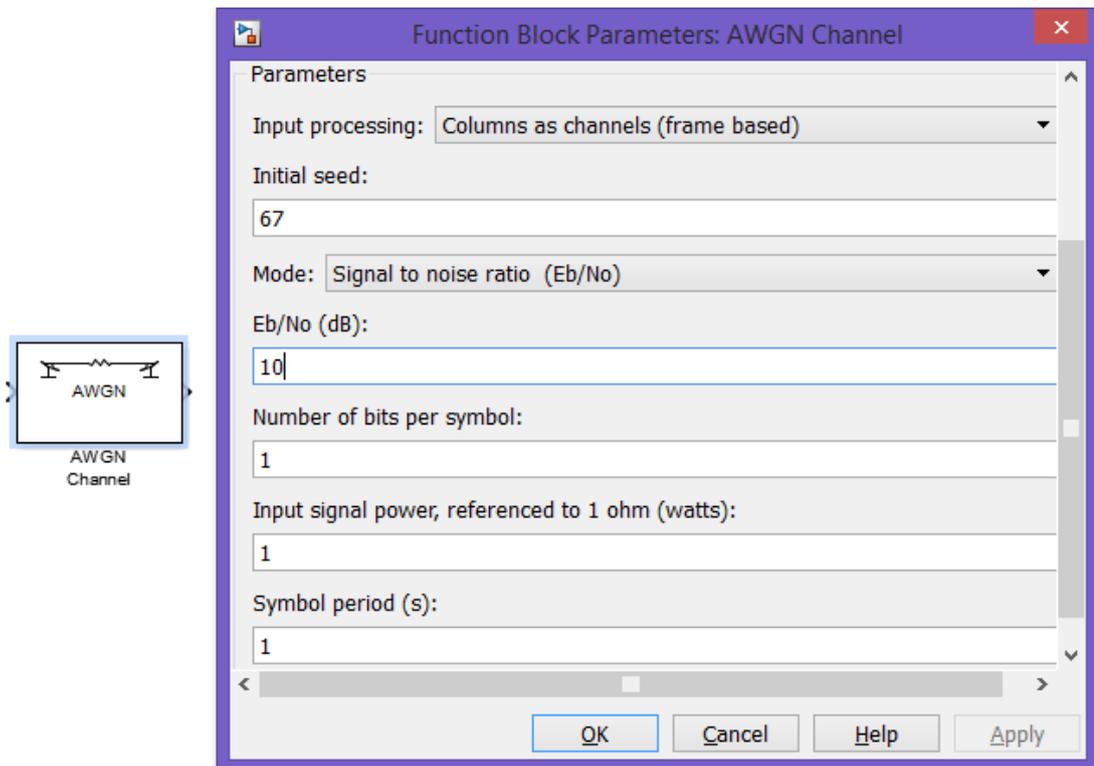


Figura 3. 9: Parámetros del bloque de canal AWGN.
Elaborado por: Autor.

El bloque combinador OSTBC (véase la figura 3.10) permite combinar la señal de entrada (de todas las antenas de recepción) y la señal de estimación de canal para extraer la información de los símbolos que se codificaron utilizando un OSTBC. La estimación del canal de entrada puede no ser constante durante cada transmisión de bloque de palabra de código y el algoritmo de combinación usa solo la estimación para el primer período de símbolo por bloque de palabra de código. Un demodulador o decodificador de símbolos seguiría el bloque Combiner en un sistema de comunicaciones MIMO.

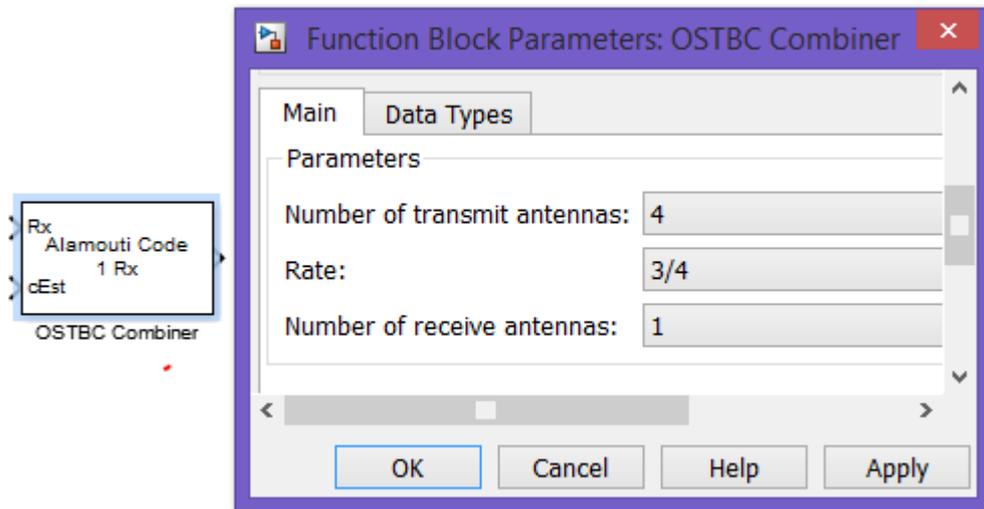


Figura 3. 10: Parámetros del bloque combinador OSTBC.
Elaborado por: Autor.

Junto con el tiempo y los dominios espaciales para la transmisión OSTBC, el bloque admite una dimensión opcional, sobre la cual el cálculo combinado es independiente. Esta dimensión se puede considerar como el dominio de frecuencia para las aplicaciones basadas en OFDM. La figura 3.11 muestra las dimensiones admitidas para las entradas y salidas del bloque combinador OSTBC.

En la tabla 3.3 se describen cada una de las variables (F, N, M, T, y R) de las dimensiones admitidas tanto en la entrada como salida del bloque combinador mostrada en la figura 3.11.

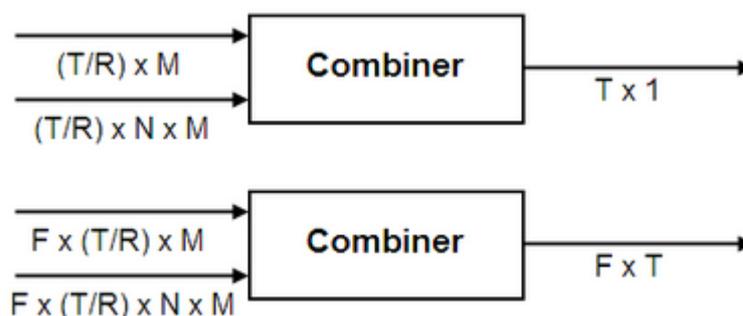


Figura 3. 11: Dimensiones admitidas para el bloque codificador OSTBC.
Fuente: (MathWorks, 2017a)

Tabla 3. 3: Dimensionalidades admitidas en el codificador OSTBC.

Variables	Descripción
F	La dimensión adicional, típicamente la dimensión de frecuencia. El cálculo combinado es independiente de esta dimensión.
N	Número de antenas de transmisión.
M	Número de antenas de recepción.
T	Longitud de la secuencia del símbolo de salida en el dominio del tiempo.
R	Velocidad de símbolo del código.

Fuente: (MathWorks, 2017a)

En la figura 3.12 se muestra el bloque de tasa de errores de modulación (*Modulation Error Ratio, MER*) disponible en la herramienta de Sistemas de Comunicaciones de Simulink de MatLab. En otras palabras, MER es una medida de la relación señal/ruido (SNR) en una aplicación de modulación digital. Estos tipos de mediciones son útiles para determinar el rendimiento del sistema en aplicaciones de comunicaciones. Por ejemplo, determinar si un sistema EDGE se ajusta a los estándares de transmisión de radio 3GPP requiere RMS, EVM, EVM pico y percentil 95 exactos para las mediciones de EVM. (MathWorks, 2017d)

Según lo definido por el estándar DVB, la unidad de medida para MER es decibelios (dB). Para consistencia, la unidad de medida para las mediciones mínimas MER y el percentil MER también está en decibelios. (MathWorks, 2017d)

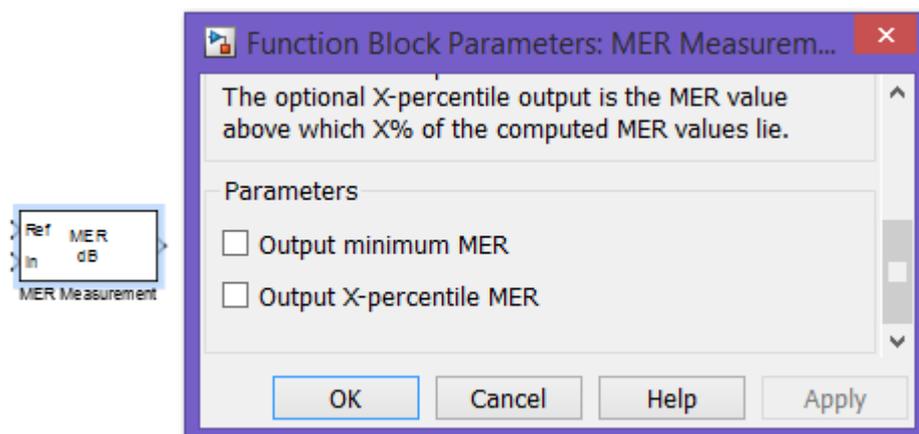


Figura 3. 12: Parámetros del bloque de la tasa de error de modulación (MER).

Elaborado por: Autor.

En la figura 3.13 se muestra el bloque CRC-N Syndrome Detector, que permite calcular sumas de comprobación para toda su trama de entrada. Este bloque tiene dos puertos de salida, el primero contiene el conjunto de palabras de mensaje con los bits CRC eliminados; el segundo contiene el resultado de suma de comprobación, que es un vector de un tamaño igual al número de sumas de comprobación. Un valor de 0 indica que no hay errores de suma de comprobación. Un valor de 1 indica que se ha producido un error de suma de comprobación. Puede seleccionar el polinomio generador para el algoritmo CRC a partir de una lista de polinomios de uso común, dada en el campo de método CRC-N en el cuadro de diálogo del bloque. Donde, N es el grado del polinomio del generador.

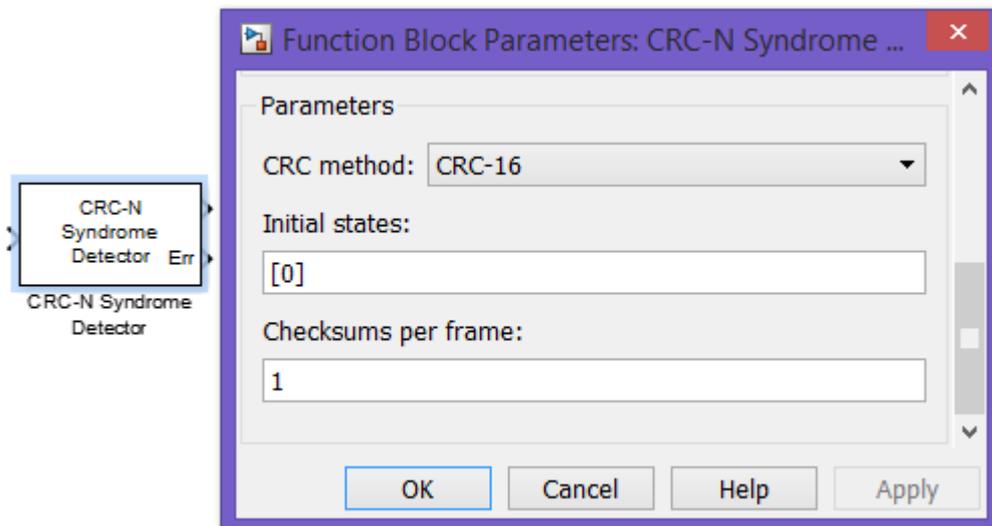


Figura 3. 13: Parámetros del bloque de relación de error de modulación (MER).
Elaborado por: Autor.

La figura 3.14 muestra el bloque Decodificador de Viterbi, que se encarga de la decodificación de símbolos de entrada para producir símbolos de salida binarios. Este bloque puede procesar varios símbolos a la vez para un rendimiento más rápido. Este bloque puede generar secuencias que varían en longitud durante la simulación

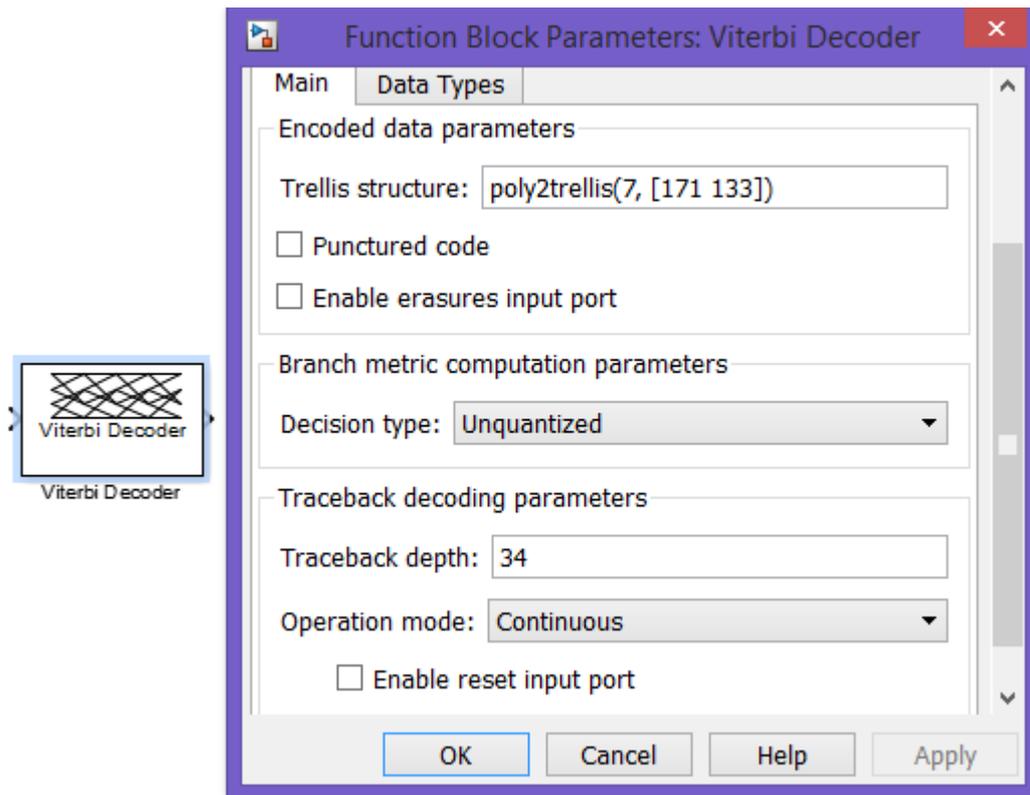


Figura 3. 14: Parámetros del bloque decodificador de Viterbi.
Elaborado por: Autor.

3.3. Resultados obtenidos del escenario 1: análisis del rendimiento del sistema CDMA

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la simulación del sistema CDMA. En la figura 3.15 se muestra el espectro de la señal transmitida, mientras que en la figura 3.16 se observa en el osciloscopio virtual la señal recibida del sistema CDMA utilizando modulación 256-QAM. Se puede observar en la figura 3.16 que en la señal recibida existe una distorsión debido a diversas condiciones como recorrido de la señal a través de la atmósfera.

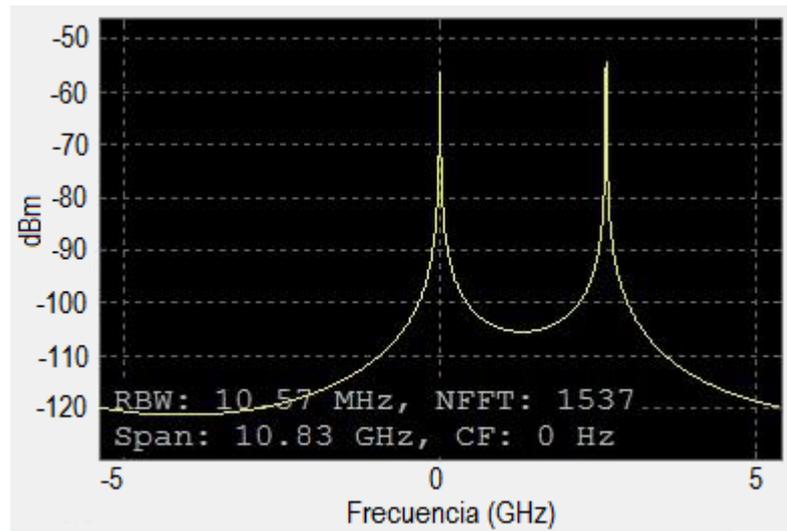


Figura 3. 15: Espectro de la señal transmitida en el sistema CDMA.
Elaborado por: Autor.

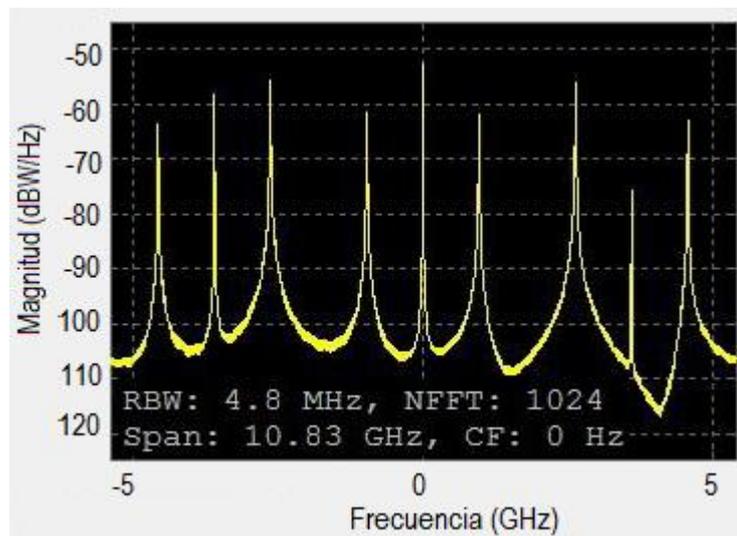


Figura 3. 16: Espectro de la señal recibida del sistema CDMA.
Elaborado por: Autor.

Ahora, se puede pensar en mejorar el sistema propuesto reduciendo al mínimo el valor del error cuadrático medio. Debido a que el proceso llevado a cabo, es de forma digital y que se debe transmitir bits en forma binaria con la ayuda de varios generadores utilizando la librería de Simulink. En la figura 3.17 se muestra el gráfico que representa el error cuadrático medio (*Mean Square Error, MSE*), mientras que la figura 3.18 muestra la tasa de error de bits (*Bits Error Rate, BER*) del sistema CDMA utilizando la modulación 256-QAM. Al momento de ejecutar el diseño de la simulación del sistema CDMA, podemos ver estos datos en la pantalla del sistema Simulink.

En forma general, el sistema CDMA transmitió la señal al canal. Después de eso, esta señal pasó por diferentes desvanecimientos y el canal utilizado en la simulación fue AWGN. Después de pasar esta señal del canal, se obtiene la señal recibida del sistema CDMA. El diagrama de dispersión o scatter plot (véase la figura 3.19) representa el efecto de la fluctuación de señal en la constelación de señal. La señal transmitida y recibida tiene el mismo BW para todo el entrelazado, pero su efecto adverso es que, tanto la BER y la velocidad de transmisión varían.

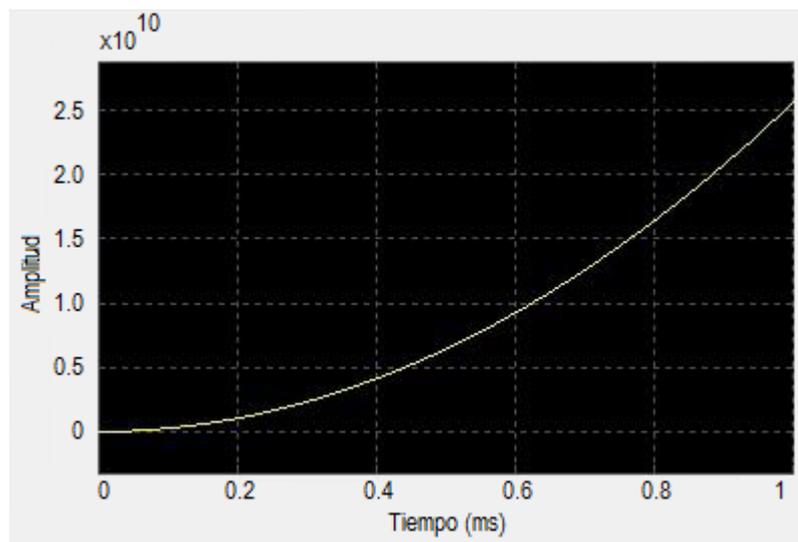


Figura 3. 17: Gráfica del error cuadrático medio (MES) para el sistema CDMA.
Elaborado por: Autor.

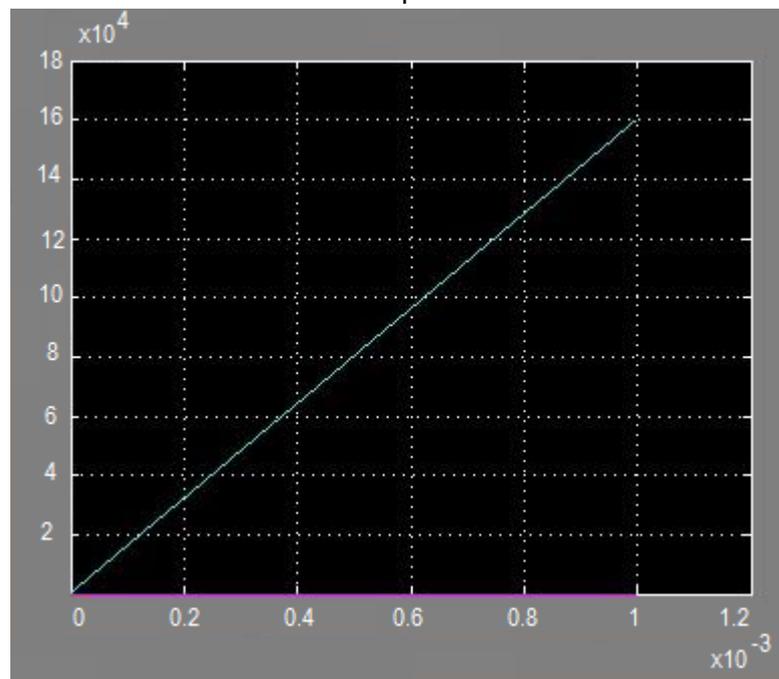


Figura 3. 18: Gráfica de la tasa de error de bits (BER) para el sistema CDMA.
Elaborado por: Autor.

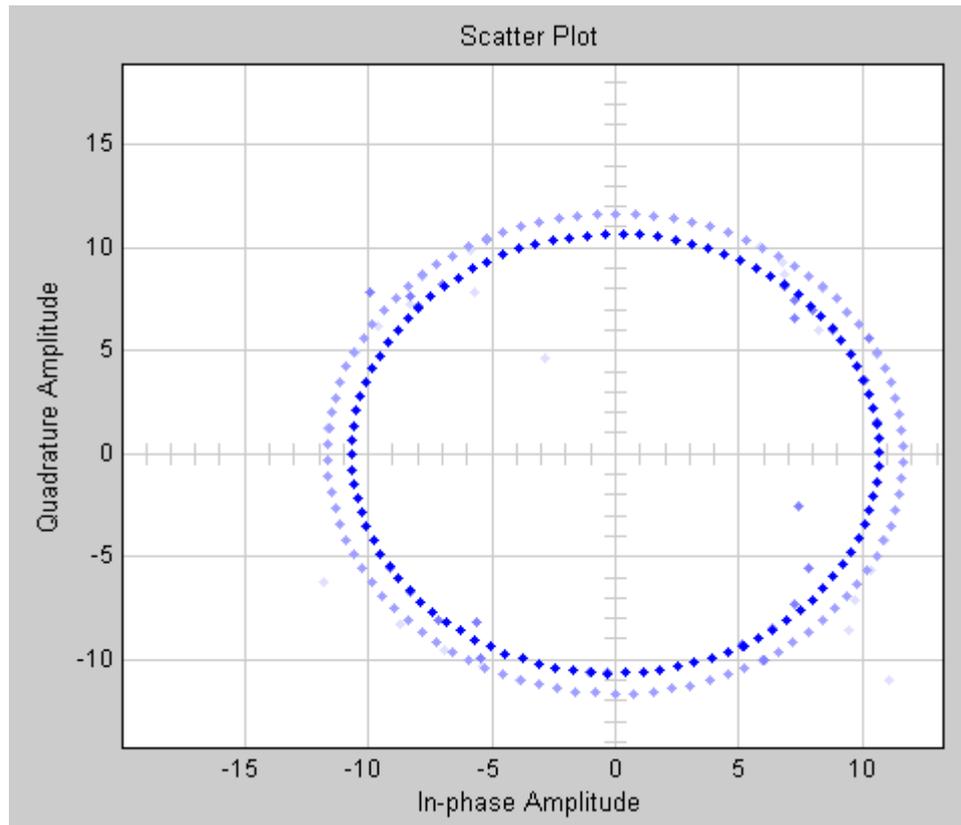


Figura 3. 19: Constelación de señales del sistema CDMA usando modulación 256-QAM.

Elaborado por: Autor.

3.4. Escenario 2: Diseño de sistema OFDM utilizando modulación QPSK.

Para el segundo escenario se procede a desarrollar el sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*) utilizando el esquema de modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (*Quadrature Phase Shift Key, QPSK*). En la figura 3.20 se muestra el diagrama de bloques correspondiente al diseño del sistema OFDM. De manera similar a la figura 3.1 se observan los bloques del sistema OFDM con su respectivo modulador y demodulador QPSK. También, se incluyen codificadores y combinadores de códigos de bloque espacio-temporales ortogonales (OSTBC).

El mapeo del sistema OFDM utiliza diferentes tipos de esquemas de modulación tales como QPSK y m-QAM (4-QAM, 16-QAM, 32-QAM). Esto

permite comparar, los parámetros importantes como lo son: la tasa de error de bits (BER) y la relación señal/ruido (SNR). En primer lugar, se calculan estos parámetros y los comparamos con otras tecnologías digitales. El codificador de OFDM utiliza la verificación de redundancia cíclica y el codificador RS. Los resultados de la simulación del sistema OFDM se muestran a continuación:

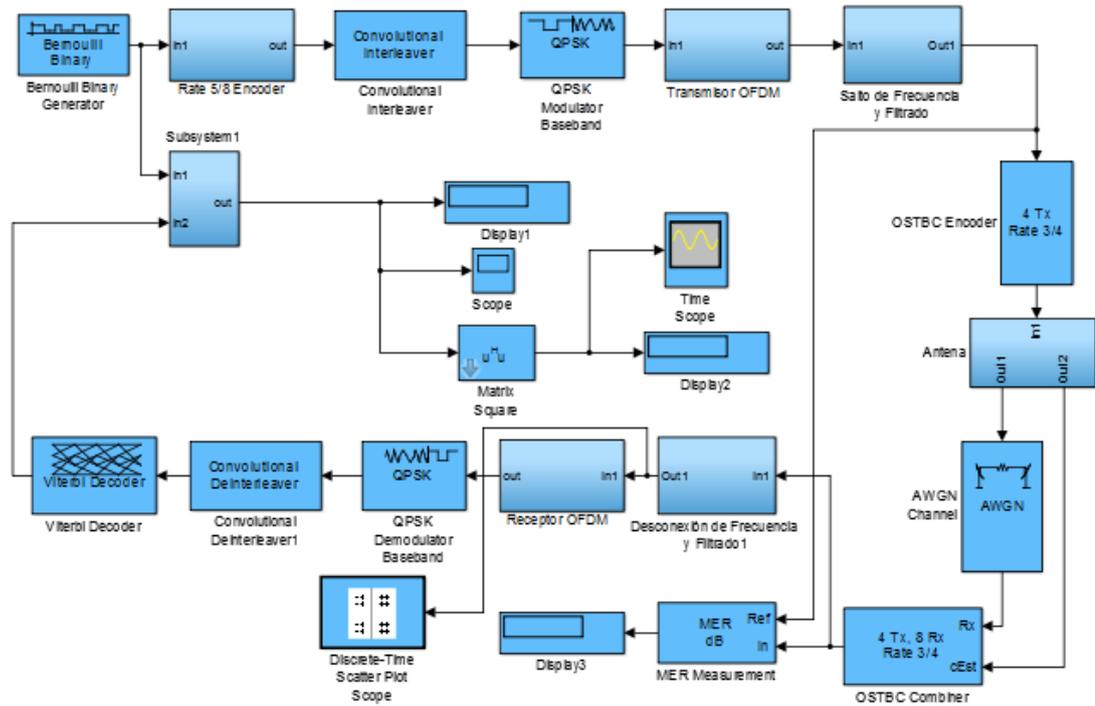


Figura 3. 20: Diagrama de bloques del transmisor y receptor del sistema OFDM. Elaborado por: Autor.

3.5. Resultados obtenidos del escenario 2.

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la simulación del sistema OFDM. En la figura 3.21 se muestra el espectro de la señal transmitida, mientras que en la figura 3.22 se observa en el osciloscopio virtual la señal recibida del sistema OFDM utilizando modulación y demodulación digital QPSK. Se puede observar en la figura 3.22 que en la señal recibida existen picos de fluctuación en la señal debido al ruido y también ocasionada por las diversas condiciones como recorrido de la señal a través de la atmósfera.

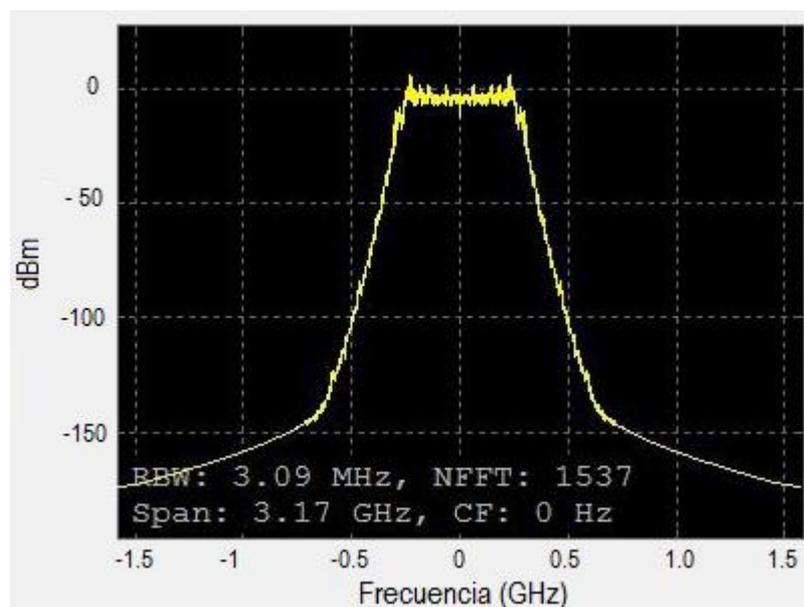


Figura 3. 21: Espectro de la señal transmitida en el sistema OFDMA.
Elaborado por: Autor.

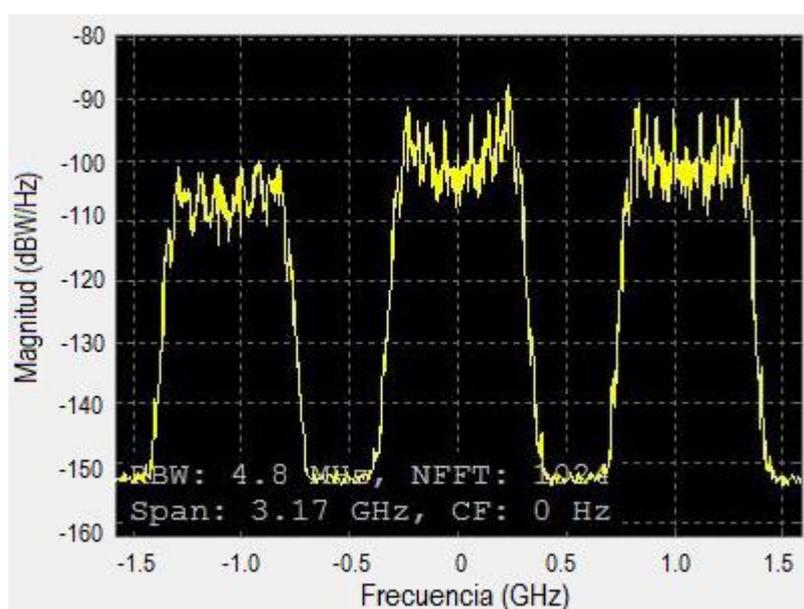


Figura 3. 22: Espectro de la señal recibida en el sistema OFDMA.
Elaborado por: Autor.

Similar a los resultados obtenidos del escenario de la sección 3.3, el mejoramiento del sistema, consiste en reducir al mínimo el error cuadrático medio. Como el proceso llevado a cabo, es en forma digital, tenemos que transmitir bits en forma binaria con la ayuda de varios generadores de la librería de Simulink. En la figura 3.23, el gráfico representa a MSE y otro

muestra la tasa de error de bits del sistema OFDM usando modulación QPSK.

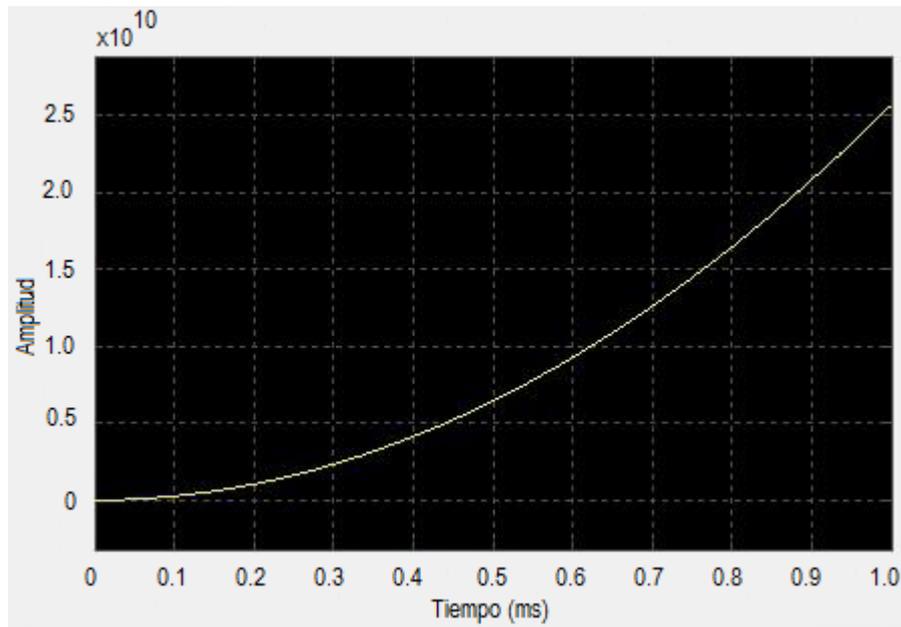


Figura 3. 23: Gráfica del error cuadrático medio (MES) para el sistema OFDM.
Elaborado por: Autor.

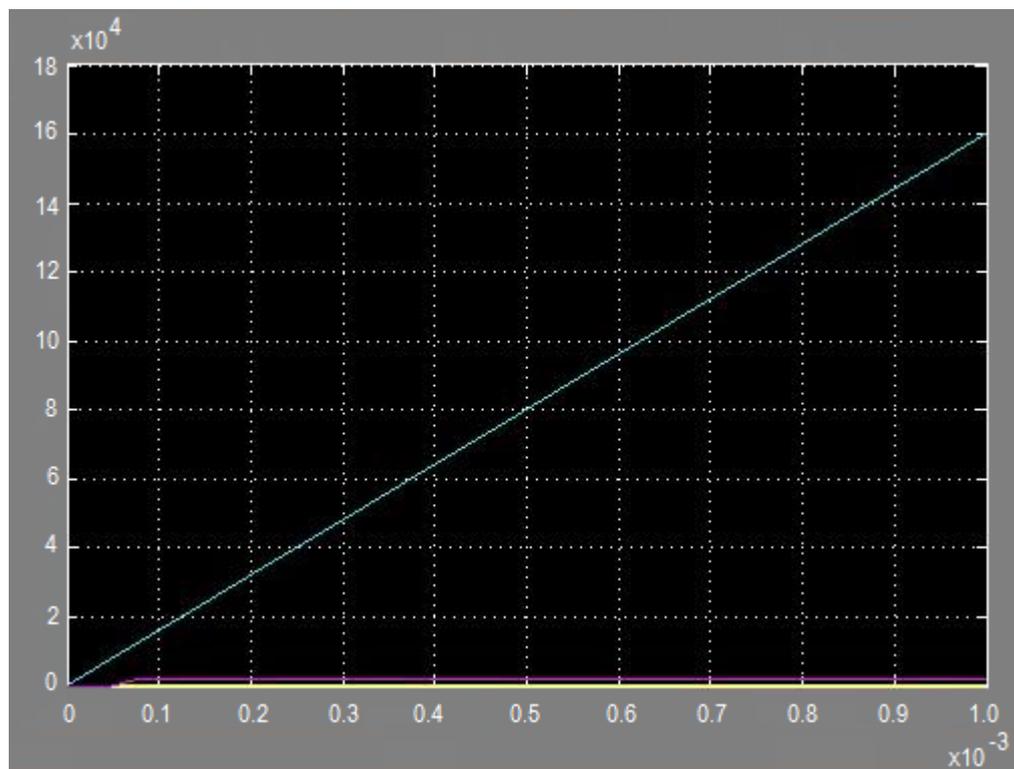


Figura 3. 24: Gráfica de la tasa de error de bits (BER) para el sistema OFDM.
Elaborado por: Autor.

En primer lugar, el sistema OFDM binario se modela después de que se realizan diferentes tipos de comparación de esquemas de modulación y, finalmente, el mejor esquema se lleva a cabo usando análisis BER y en este caso, el esquema de modulación QPSK es mejor para el sistema OFDM.

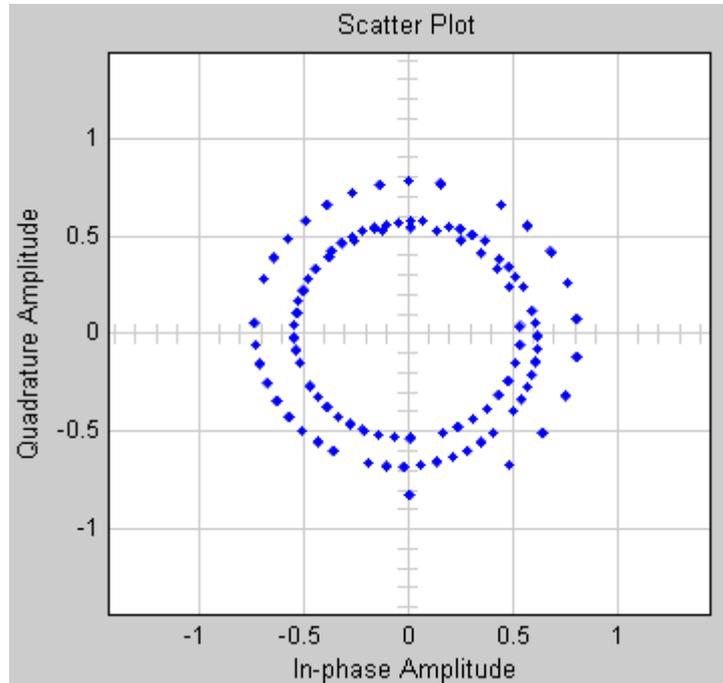


Figura 3. 25: Constelación de señales del sistema OFDM usando modulación QPSK.

Elaborado por: Autor.

3.6. Escenario 3: Diseño de sistema UWB utilizando modulación BPSK.

En este tercer escenario se desarrolla el sistema UWB usando OFDM multibanda y el esquema de modulación por desplazamiento de fase binaria (*Binary Phase Shift Key, BPSK*). La principal ventaja del sistema de UWB es que funciona en alta frecuencia, por ejemplo, 10 GHz y es por eso que la tasa de datos también sería alta y consiste en una baja tasa de errores de bits (BER). La transmisión UWB sería a través del desvanecimiento multitrayecto y el canal de transmisión AWGN. Se utiliza el sistema cíclico de verificación de redundancia y encriptador RS requeridos por el codificador del sistema UWB

En la figura 3.26 se muestra el diagrama de bloques correspondiente al diseño del sistema UWB. De manera similar a la figura 3.1 se observan los

bloques del sistema OFDM con su respectivo modulador y demodulador BPSK. También, se incluyen codificadores y combinadores de códigos de bloque espacio-temporales ortogonales (OSTBC).

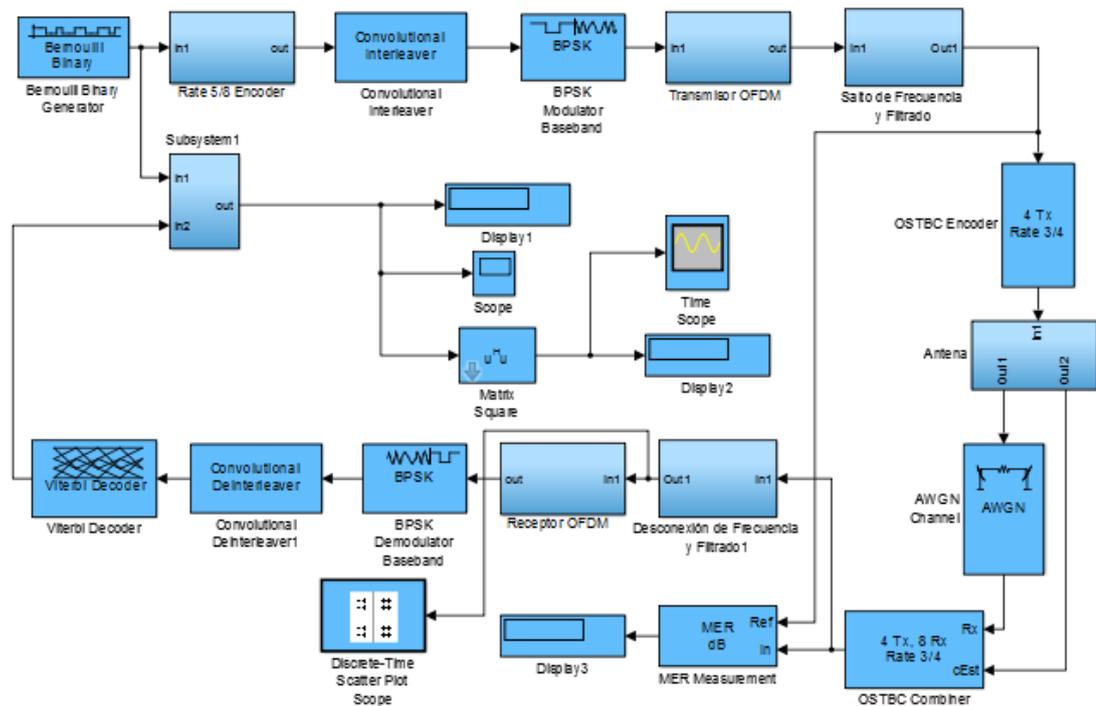


Figura 3. 26: Diagrama de bloques del transmisor y receptor del sistema UWB. Elaborado por: Autor.

3.7. Resultados obtenidos de simulación del sistema UWB.

La figura 3.27 representa el espectro de la señal transmitida y la figura 3.28 representa la señal recibida del sistema UWB utilizando la modulación digital BPSK. Cuando la información o los datos pasan por diferentes tipos de atmósfera, se presentan condiciones peligrosas y debido a que la información se distorsiona, o puede decirse que se produce un efecto de desvanecimiento.

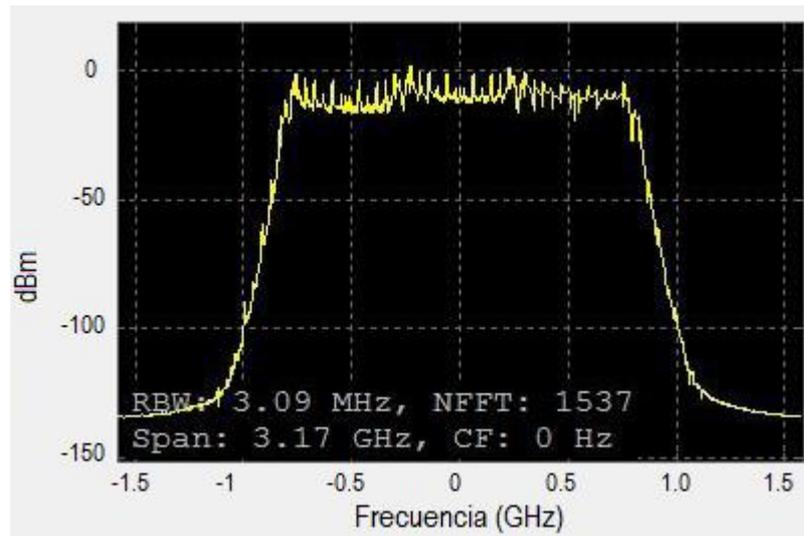


Figura 3. 27: Espectro de la señal transmitida en el sistema UWB.
Elaborado por: Autor.

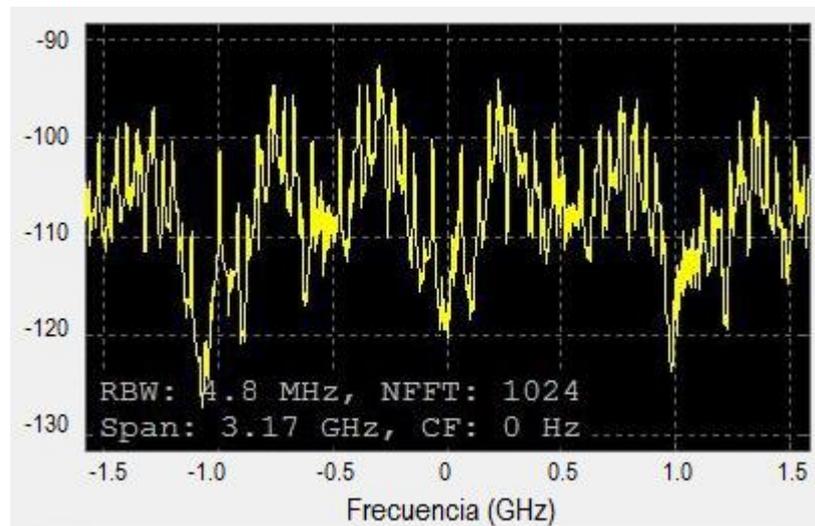


Figura 3. 28: Espectro de la señal recibida en el sistema UWB.
Elaborado por: Autor.

La figura 3.29 representa la MSE y la figura 3.30 muestra la tasa de error de bit del sistema UWB con modulación digital BPSK.

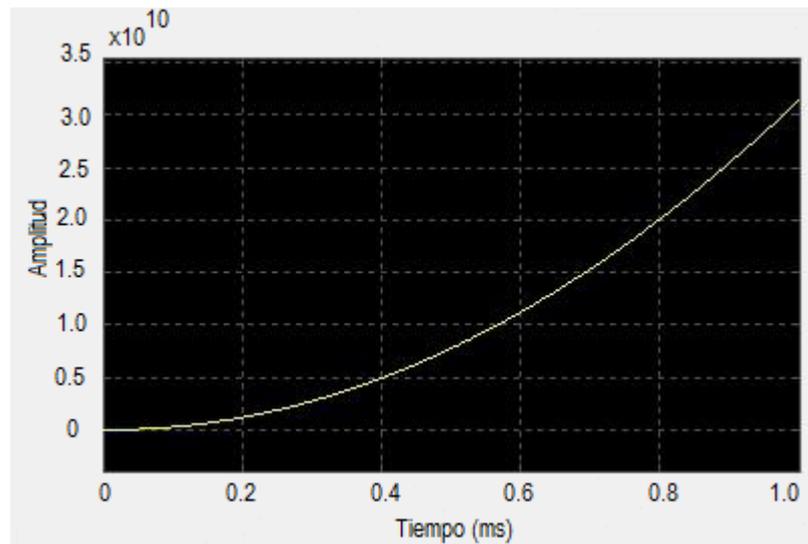


Figura 3. 29: Gráfica del error cuadrático medio (MES) para el sistema UWB.
Elaborado por: Autor.

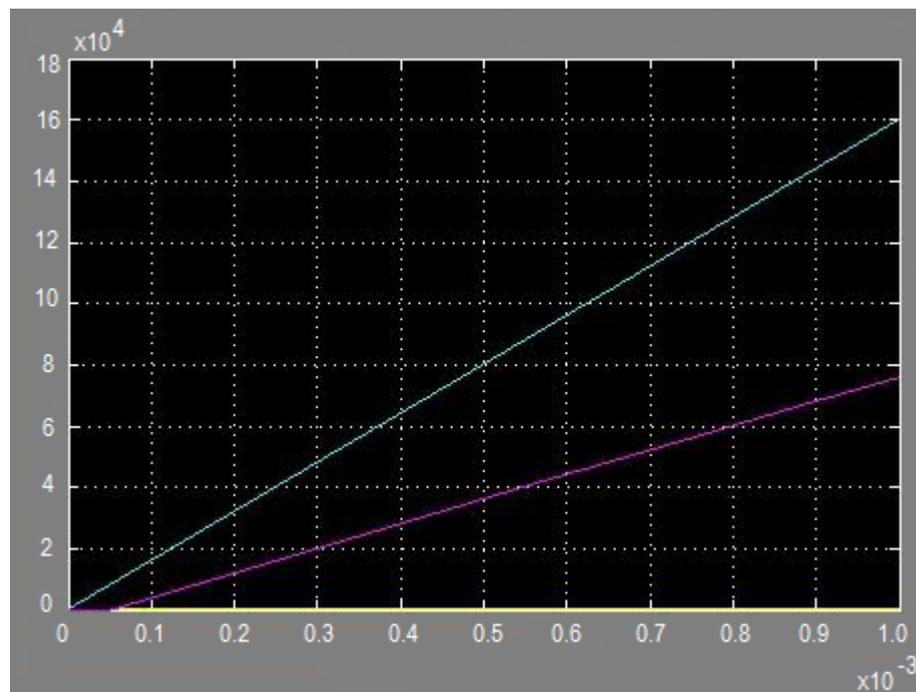


Figura 3. 30: Gráfica de la tasa de error de bits (BER) para el sistema UWB.
Elaborado por: Autor.

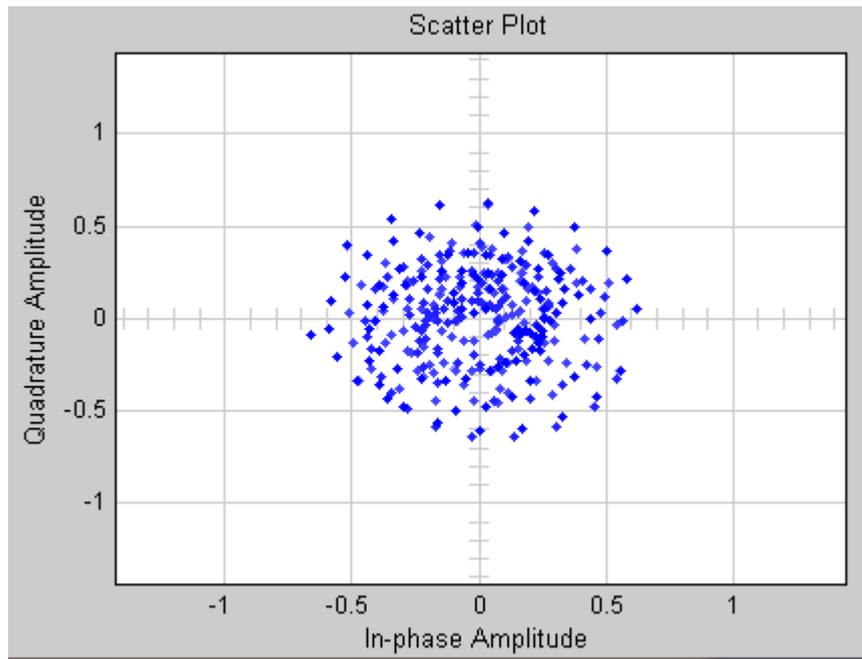


Figura 3. 31: Constelación de señales del sistema UWB usando modulación BPSK.
Elaborado por: Autor.

Conclusiones

1. La descripción realizada en la fundamentación teórica permitió conocer el comportamiento de las señales en el dominio del tiempo y frecuencia, así como también la generación de la densidad espectral de potencia, filtrado y transmisión de señales. Todo esto es fundamental para cualquier sistema de comunicación que se pretenda diseñar o modelar.
2. Los tres escenarios de simulación diseñados en Simulink, fueron creados para realizar una comparativa de los tres sistemas implementando diferentes esquemas de modulación digital utilizando los diagramas de bloques de la librería de Communication Toolbox.
3. Los resultados obtenidos durante la ejecución de los tres escenarios de simulación fueron varias gráficas relacionadas con: el espectro de la señal transmitida/recibida, el error cuadrático medio (MES), la tasa de errores de bits (BER) y la constelación de las señales de cada sistema. En el caso que la BER es menor, entonces ese esquema se consideraría el mejor y viceversa, y de manera similar con los otros parámetros. Finalmente, la técnica de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura es la mejor para OFDM y la modulación de amplitud en cuadratura es mejor para CDMA y el sistema de banda ultra ancha tiene una tasa de error de bits mínima, lo cual indica que el sistema UWB es más eficiente que los otros dos escenarios.

Recomendaciones

1. Profundizar la modelación de los sistemas de banda ultra ancha utilizando protocolos de enrutamiento dinámicos sobre plataforma Riverbed Modeler.
2. Análisis comparativo del rendimiento de 4 elementos de antenas UWB compactas para sistemas MIMO-OFDM.

Bibliografia

- Alarifi, A., Al-Salman, A., Alsaleh, M., Alnafessah, A., Al-Hadhrami, S., Al-Ammar, M. A., & Al-Khalifa, H. S. (2016). Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/s16050707>
- Ammar, A. A., Julboub, M., & Elmghairbi, A. (2013). Digital Filter Design (FIR) using Frequency Sampling Method. *University Bulletin*, 3(15), 39–48.
- Chaparro, L. F. (2015). *Signals and systems using MATLAB* (2nd ed). Amsterdam: AP, Academic Press/Elsevier.
- Intel. (2004). Ultra-Wideband (UWB) Technology: Enabling high-speed wireless personal area networks. Intel in Communications. Recuperado a partir de <http://www.usb.org/wusb/docs/Ultra-Wideband.pdf>
- Kaur, S., & Kaur, S. (2013). Analysis of zone routing protocol in MANET. *International Journal of Research in Engineering and Technology, IJRET*, 2(9), 520–524.
- Kaur, S., & Kaur, S. (2015). Design of FIR filter using hanning window, hamming window and modified hamming window. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 4(5), 2440–2443.
- Leis, J. W. (2013). *Digital signal processing using matlab for students and researchers*. Hoboken, N.J.: Wiley. Recuperado a partir de http://www.123library.org/book_details/?id=19281
- MathWorks. (2017a). Combine inputs for received signals and channel estimate according to orthogonal space-time block code (OSTBC) -

Simulink. Recuperado el 29 de septiembre de 2017, a partir de https://www.mathworks.com/help/comm/ref/ostbccombiner.html?searchHighlight=OSTBC&s_tid=doc_srchttitle

MathWorks. (2017b). Encode input message using orthogonal space-time block code (OSTBC) - Simulink. Recuperado el 28 de septiembre de 2017, a partir de https://www.mathworks.com/help/comm/ref/ostbcencoder.html?searchHighlight=OSTBC&s_tid=doc_srchttitle

MathWorks. (2017c). Modulate using rectangular quadrature amplitude modulation - Simulink. Recuperado el 27 de septiembre de 2017, a partir de https://www.mathworks.com/help/comm/ref/rectangularqammodulator_baseband.html

MathWorks. (2017d). Modulation Error Ratio (MER) - MATLAB & Simulink. Recuperado el 30 de septiembre de 2017, a partir de https://www.mathworks.com/help/comm/ug/modulation-error-ratio-mer.html?searchHighlight=MER&s_tid=doc_srchttitle#responsive_offcanvas

Pinto García, R. (2015). *Fundamentos de sistemas de comunicaciones analógicas*. Recuperado a partir de <http://www.digitaliapublishing.com/a/40807/>

Podder, P., Hasan, M., Islam, R., & Sayeed, M. (2014). Design and Implementation of Butterworth, Chebyshev-I and Elliptic Filter for Speech Signal Analysis. *International Journal of Computer Applications*, 98(7), 12–18.

Rajput, S. (2012). Implementation of FIR filter using efficient window function and its application in filtering a speech signal. *International Journal of Electrical, Electronics and Mechanical Controls (IJEEMC)*, 1(1), 12.

- Reed, J. H. (Ed.). (2005). *An introduction to ultra wideband communication systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR.
- Santra, A. B., & Mallick, A. K. (2015). Overview of Various Bandwidth Enhancement Techniques for Ultra-Wide Band Antennas. En *Computational Advancement in Communication Circuits and Systems* (pp. 47–50). Springer, New Delhi. Recuperado a partir de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2274-3_6
- Sharma, S., Sharma, A., & Bhatia, V. (2015). Performance of pulse position modulation using various UWB pulses (pp. 650–654). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IADCC.2015.7154787>
- Shi, G., & Ming, Y. (2016). Survey of Indoor Positioning Systems Based on Ultra-wideband (UWB) Technology. En *Wireless Communications, Networking and Applications* (pp. 1269–1278). Springer, New Delhi. Recuperado a partir de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2580-5_115
- Singh, V., & Mehra, R. (2016). Design and performance analysis of band pass IIR filter for sonar application. En *ICRTIET* (pp. 114–118). Recuperado a partir de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/162/A6.pdf?sequence=6>
- Zhang, C., & Wang, A. (2012). IIR Digital Filter Design Research and Simulation on MATLAB. *International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS)*, 58, 138–142.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Suarez Murillo, Efraín Oswaldo** con C.C: # 0908142409 autor del trabajo de titulación: **Implementación de esquemas de modulación digital para sistemas de banda ultra ancha utilizando Simulink**, 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, 11 de junio de 2018

f. _____

Nombre: **Suarez Murillo, Efraín Oswaldo**

C.C: 0908142409

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Implementación de esquemas de modulación digital para sistemas de banda ultra ancha utilizando Simulink		
AUTOR(ES)	Suarez Murillo, Efraín Oswaldo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; MSc. Zamora Cedeño Néstor Armando / MSc. Romero Paz, Manuel		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	11 de junio de 2018	No. DE PÁGINAS:	59
ÁREAS TEMÁTICAS:	Teoría de la Comunicación, Comunicaciones Inalámbricas, Instrumentación Virtual.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Señales, Filtrado, Modulación Digital, Espectro, UWB, Simulink.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Para el desarrollo del trabajo de examen complejo fue necesaria la búsqueda de información relacionada a los sistemas CDMA (Acceso Múltiple por División de Código), OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) y, UWB (Ultra Banda Ancha) y con diferentes esquemas de modulación digital, tales como: QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura), QPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase Cuaternaria), BPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria). También, fue necesario encontrar la herramienta de simulación apropiada. Las plataformas disponibles para simulación, son: MatLab/Simulink, Riverbed Modeler y OMNeT. El software de simulación utilizado en el examen complejo fue Simulink. Los escenarios de simulación diseñados para modelar los sistemas CDMA, OFDM y UWB permitieron validar que la tecnología UWB es más eficiente y tiene mejor rendimiento en comparación a los otros dos sistemas diseñados. La ventaja del sistema UWB es que trabaja con OFDM multibanda y que proporciona mayor accesibilidad en el ancho de banda para servicios de datos.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0939337923	E-mail: efrain_suarez@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: mromeropaz@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):			