



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Implementación del sistema UWB aplicando símbolos OFDM y técnicas  
de diversidad de múltiples portadoras utilizando LabView**

AUTOR:

Coello Vásquez, VicenteJavier

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

TUTOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

10 de Noviembre del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Coello Vásquez, Vicente Javier** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

---

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

---

Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, a los 10 días del mes de noviembre del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Coello Vásquez, Vicente Javier**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación **“Implementación del sistema UWB aplicando símbolos OFDM y técnicas de diversidad de múltiples portadoras utilizando LabView”**, 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 10 días del mes de noviembre del año 2017

EL AUTOR

---

Coello Vásquez, Vicente Javier



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Coello Vásquez, Vicente Javier**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución de la Tesis de Maestría titulada: **“Implementación del sistema UWB aplicando símbolos OFDM y técnicas de diversidad de múltiples portadoras usando instrumentos virtuales de LabView”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 10 días del mes de noviembre del año 2017

EL AUTOR

---

Coello Vásquez, Vicente Javier

# REPORTE DE URKUND

**URKUND**

<b>Documento</b>	<a href="#">Coello Javier MET Final.docx</a> (D31355096)
<b>Presentado</b>	2017-10-16 02:43 (-05:00)
<b>Presentado por</b>	fernandopm23@hotmail.com
<b>Recibido</b>	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
<b>Mensaje</b>	Revisión Javier Coello Vásquez <a href="#">Mostrar el mensaje completo</a> 1% de estas 22 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques
	<a href="http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/...">http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/...</a> <input type="checkbox"/>
	<a href="#">TESIS MOISES MONTOYA Final.docx</a> <input type="checkbox"/>
	<a href="https://doi.org/10.12691/ajjee-5-4-3">https://doi.org/10.12691/ajjee-5-4-3</a> <input type="checkbox"/>
	<a href="https://doi.org/10.7716/aem.v6i1.424">https://doi.org/10.7716/aem.v6i1.424</a> <input type="checkbox"/>
	<a href="http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proylic/Lic_2...">http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proylic/Lic_2...</a> <input checked="" type="checkbox"/>
	<a href="https://doi.org/10.2478/jee-2014-0029">https://doi.org/10.2478/jee-2014-0029</a> <input type="checkbox"/>
	<a href="https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00232879/...">https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00232879/...</a> <input type="checkbox"/>

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencias

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

TEMA: Implementación del sistema UWB aplicando símbolos  
OFDM y técnicas de diversidad de múltiples portadoras  
utilizando LabView

AUTOR: Coello Vásquez, Vicente Javier

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

TUTOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo con todo amor a mi madre por su constante aliento comprensión y apoyo, a mis profesores por su orientación y guía, a mis familiares como un acto de reciprocidad por su cariño siempre presente.

## **Agradecimientos**

Mi agradecimiento al creador supremo por haberme dado la oportunidad de completar una meta mas en mi vida. A los docentes de la facultad técnica para el desarrollo por su invaluable apoyo, por la transmisión de sus conocimientos y por sobre todo su permanente guía. A mis padres por su apoyo constante imperecedero y desinteresado. A todas aquellas personas con las que ha cruzado mi camino durante esta experiencia.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**

TUTOR

f. \_\_\_\_\_

**CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO**

REVISOR

f. \_\_\_\_\_

**BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO**

REVISOR

f. \_\_\_\_\_

**ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS**

DIRECTOR DEL PROGRAMA

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
Resumen .....	XIII
Abstract.....	XIV
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.....	15
1.1.    Introducción.....	15
1.2.    Antecedentes.....	16
1.3.    Definición del problema .....	17
1.4.    Objetivos.....	17
1.5.    Hipótesis.....	18
1.6.    Metodología de investigación.....	18
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.....	19
2.1.    Definición de señales UWB.....	19
2.2.    Historia de la tecnología de banda ultra ancha.....	21
2.3.    Importancia de la tecnología de banda ultra ancha.....	24
2.4.    Ventajas y aplicaciones de la tecnología UWB.....	26
2.5.    Inconvenientes de los sistemas de banda ultra ancha.....	29
2.6.    Relevancia en el procesamiento de señales de UWB.....	30
2.6.1.    Coexistencia con otros sistemas de comunicación de banda estrecha.....	30
2.6.2.    Interferencia de los sistemas UWB.....	31
2.6.3.    Interferencia de otros sistemas.....	31
2.7.    Normativas de los sistemas de banda ultra ancha.....	33
2.8.    Frecuencias de operación .....	34
2.9.    Esquemas de modulación en sistemas de banda ultra ancha.....	35
2.9.1.    Esquema de modulación BPSK.....	35
2.9.2.    Esquema de modulación PAM.....	36

2.9.3.	Esquema de modulación OOK. ....	37
2.9.4.	Esquema de modulación por posición de pulsos. ....	38
2.9.5.	Esquema de modulación por forma de pulsos. ....	40
Capítulo 3: Simulación y análisis de resultados. ....		42
3.1.	Descripción general del modelo de simulación de UWB. ....	42
3.2.	Descripción del sistema transmisor OFDM multibanda. ....	42
3.3.	Descripción del sistema receptor OFDM multibanda. ....	44
3.4.	Parámetros de simulación del sistema UWB. ....	46
3.5.	Resultados obtenidos de simulación del sistema UWB. ....	48
3.5.1.	Rendimiento de la BER en canales AWGN. ....	48
3.5.2.	Rendimiento de la BER para sistemas con y sin técnicas de diversidad. ....	49
3.5.3.	Efecto de los componentes de múltiples trayectos. ....	54
3.5.4.	Efecto del retardo en los componentes de múltiples trayectos. ....	55
Conclusiones .....		58
Recomendaciones .....		59
Bibliografía .....		60

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Intervalos de porcentajes de la densidad de potencia espectral.	20
Figura 2. 2: Densidades espectrales de potencia en sistemas NB, WB y UWB. ....	20
Figura 2. 3: Niveles máximos de potencia isotrópica radiada equivalente en sistemas UWB en los Estados Unidos. ....	22
Figura 2. 4: Niveles máximos de potencia isotrópica radiada equivalente en sistemas UWB de Europa. ....	23
Figura 2. 5: Coexistencia de UWB con otras tecnologías inalámbricas. ....	25
Figura 2. 6: Rangos de propagación y velocidades de datos de sistemas UWB y demás tecnologías coexistentes. ....	26
Figura 2. 7: Rol de UWB en los sistemas actuales de comunicaciones inalámbricas. ....	28
Figura 2. 8: Aplicaciones prácticas de UWB con redes WPAN, WBAN, IWAN, SPIN, OPPN. ....	29
Figura 2. 9: Gráfica del tren de pulsos para la modulación por desplazamiento de fase binaria. ....	36
Figura 2. 10: Gráfica del esquema de modulación por amplitud de pulsos. ....	37
Figura 2. 11: Gráfica del esquema de modulación OOK. ....	38
Figura 2. 12: Gráfica del esquema de modulación por posición de pulsos. ....	39
Figura 2. 13: Gráfica del tren de pulsos para la modulación PPM usando wavelets. ....	39
Figura 2. 14: Gráfica del esquema de modulación por forma de pulsos. ....	40

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Diagrama de bloques del transmisor del sistema UWB. ....	42
Figura 3. 2: Diagrama de bloques del transmisor del sistema UWB. ....	44
Figura 3. 3: Autocorrelación de una secuencia de sincronización entre símbolos. ....	45

Figura 3. 4: Interfaz gráfica de los parámetros de modulación QPSK en LabView. ....	47
Figura 3. 5: Interfaz gráfica de los parámetros de canales en LabView.....	48
Figura 3. 6: Tasa de error de bits (BER) del rendimiento en canales AWGN.	49
Figura 3. 7: Rendimiento BER (escenario 1) del canal UWB para una derivación. ....	51
Figura 3. 8: Rendimiento BER (escenario 2) del canal UWB para cuatro derivaciones.....	51
Figura 3. 9: Rendimiento BER (escenario 3) del canal UWB para siete derivaciones.....	52
Figura 3. 10: Rendimiento BER (escenario 4) del canal UWB para una derivación. ....	53
Figura 3. 11: Rendimiento BER (escenario 5) del canal UWB para cuatro derivaciones.....	53
Figura 3. 12: Rendimiento BER (escenario 6) del canal UWB para siete derivaciones.....	54
Figura 3. 13: Rendimiento BER (escenario 7) del canal UWB con diferentes derivaciones.....	55
Figura 3. 14: Rendimiento BER (escenario 8) del canal UWB para siete derivaciones.....	55
Figura 3. 15: Rendimiento BER (escenario 9) del canal UWB para diferentes retardos.....	56
Figura 3. 16: Rendimiento BER (escenario 10) del canal UWB para diferentes retardos. ....	57

## Resumen

Durante la formación de magister en telecomunicaciones, surge la idea de implementar un sistema de banda ultra ancha, generalmente conocida como UWB y comúnmente operan en comunicaciones de radiofrecuencia (RF), ya sea utilizando cualquier plataforma de simulación. MatLab y LabView son dos herramientas de simulación robustas al momento de ejecutar las simulaciones. Cada plataforma cuenta con librerías y herramientas disponibles para el modelamiento de sistemas UWB y otros. Se escogió a LabView porque permite diseñar interfaces gráficas de usuarios (llamados GUIDE), aunque también lo tiene MatLab, pero LabView es más interactivo. Después se describen los fundamentos teóricos de los sistemas UWB, también se explican los diferentes esquemas de modulación. Posteriormente, se desarrolla la interfaz gráfica del sistema UWB aplicando símbolos OFDM y técnicas de diversidad de múltiples portadoras utilizando LabView. Finalmente, se analizaron los resultados obtenidos de los diez escenarios de simulación para observar el rendimiento de la tasa de error de bits (BER).

**Palabras claves:** MODULACIÓN, SISTEMAS, SÍMBOLOS, COMUNICACIONES, UWB, OFDM, BER.

## **Abstract**

During the training of magister in telecommunications, the idea arises to implement an ultra wide band system, generally known as UWB and commonly operate in radiofrequency (RF) communications, either using any simulation platform. MatLab and LabView are two robust simulation tools at the time of the simulations. Each platform has libraries and tools available for modeling UWB and other systems. LabView was chosen because it allows to design graphical user interfaces (called GUIDE), although MatLab also has it, but LabView is more interactive. Then the theoretical foundations of the UWB systems are described, the different modulation schemes are also explained. Subsequently, the graphical interface of the UWB system is developed applying OFDM symbols and multi-carrier diversity techniques using LabView. Finally, we analyzed the results obtained from the ten simulation scenarios to observe the performance of the bit error rate (BER).

**Key words:** MODULATION, SYSTEMS, SYMBOLS, COMMUNICATIONS, UWB, OFDM, BER.

## **Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.**

### **1.1. Introducción.**

A fines del siglo XX, los estudios en el campo de las telecomunicaciones habían logrado un progreso significativo. El advenimiento de las nuevas tecnologías de radiocomunicaciones permitió que la telefonía cambiara de un soporte de transmisión telegráfico a un soporte de transmisión de radio. En los últimos años, la velocidad de procesamiento y el tamaño de almacenamiento de las computadoras se han incrementado considerablemente. Esto explica la pasión del público en general por la comunicación de objetos, que requieren la transferencia de alta velocidad de una gran cantidad de información. (Pagani, Talom, Pajusco, & Uguen, 2008)

Las comunicaciones de banda ultra ancha son fundamentalmente diferentes de todas las demás técnicas de comunicación porque emplean pulsos de radio frecuencia (RF) extremadamente estrechos para comunicarse entre transmisores y receptores. La utilización de pulsos de corta duración como bloques de construcción para las comunicaciones genera directamente un ancho de banda muy amplio y ofrece varias ventajas, como un alto rendimiento, blanqueo, robustez a la compresión y la coexistencia con los servicios de radio actuales.

Los canales de propagación inalámbrica se han investigado durante más de dos décadas y muchos investigadores diseñaron una gran cantidad de modelos de canales. El sistema de comunicación de banda ultra ancha (UWB) se ha convertido en el más prometedor para sistemas de comunicación de alta velocidad y alta velocidad de datos. (Mohanty, Bhol, Mishra, & Mishra, 2014)

Consecuentemente, este sistema UWB ha atraído grandes intereses desde el punto de vista académico, investigativo e industrial. Debido a su alta capacidad de canal, un sistema de banda ultra ancha (UWB) es una solución

atractiva para la implementación de una velocidad de datos muy alta en redes inalámbricas de corto alcance. La banda de frecuencia utilizada por el sistema UWB convencional de una sola banda es hasta 7.5 GHz, sin embargo, el amplio espectro fijo hizo que el receptor careciera de flexibilidad para administrar los recursos de radio de manera eficiente.

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal conocida como OFDM se está convirtiendo en una multi-técnica muy popular para la transmisión de señales a través de canales inalámbricos. OFDM divide el flujo de alta velocidad en datos de baja velocidad en paralelo y, por lo tanto, prolonga la duración del símbolo, lo que ayuda a eliminar la interferencia entre símbolos (ISI). También permite que el ancho de banda de las sub-portadoras se superponga sin la interferencia de inter-portadora (ICI) siempre que las portadoras moduladas sean ortogonales. Por lo tanto, OFDM se considera una técnica de modulación eficiente para el acceso de banda ancha en un entorno muy dispersivo.

## **1.2. Antecedentes.**

Los trabajos realizados en la Maestría en Telecomunicaciones no se evidencian investigaciones relacionados con sistemas de banda ultra ancha, aunque existen proyectos en los que modelan o simulan redes de comunicaciones a través de modulaciones digitales. Se realizó una revisión bibliográfica de trabajos en revistas y tesis publicadas que tengan relación con los sistemas UWB.

El trabajo publicado por los autores Matary, Hagra, & Abdel-Kader, (2017) abordan el rendimiento de la codificación LDPC-IDMA basada en el sistema de comunicación OFDM-UWB bajo canales de ruido gaussianos y no gaussianos. Para lo cual utilizaron tres modelos diferentes, tales como: (1) modelo  $\alpha$  estable simétrico (*Symmetrical  $\alpha$  Stable, SS*), modelo Laplaciano y modelo gaussiano mixto (*Gaussian Mixture Model, GMM*), que permitan aproximar el ruido no gaussiano, ya que son más realistas para sistemas UWB.

Mientras, que los autores Perrat, Smith, Mason, Rhodes, & Goosey-Tolfrey, (2015) realizaron la evaluación de calidad sobre el uso de un sistema de posicionamiento comercial de banda ultra ancha para el seguimiento de los atletas durante los deportes en pista cubierta en silla de ruedas. Durante la investigación se incluyeron varios aspectos tales como, configuración del sistema, calibración, posicionamiento de sensores, determinación de indicadores de desempeño deportivo y evaluación de la calidad de la producción.

El trabajo de Goyal & Dhaliwal, (2017) presenta una aproximación para la generación de una forma de pulso óptima con la generación óptima de valores de forma de pulso que pueden proporcionar resultados efectivos cuando se transmiten usando técnicas de modulación de acceso múltiple a través de un canal de trayectos múltiples y recibidos por un receptor de tipo RAKE.

Finalmente, los autores Ali, Siddiqua, & Matin, (2014) analizan diferentes esquemas de modulación para la comparación de rendimiento en términos de BER con mono pulso de segunda derivada gaussiane UWB y mono pulso basado en wavelets. En el cual los resultados de simulación demuestran que el mono pulso basado en wavelet estuvo el mejor rendimiento.

### **1.3. Definición del problema**

Necesidad de implementar una interfaz gráfica de sistemas de banda ultra ancha mediante la aplicación de la multiplexación por división de frecuencias ortogonales y técnicas de diversidad de múltiples portadoras utilizando la herramienta de simulación LabView.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General:**

Realizar la implementación del sistema UWB aplicando símbolos OFDM y técnicas de diversidad de múltiples portadoras utilizando LabView

#### **1.4.2. Objetivos específicos:**

- ✓ Fundamentar el estado del arte de los sistemas de banda ultra ancha.
- ✓ Diseñar el sistema de banda ultra ancha utilizando la multiplexación por división de frecuencias ortogonales y técnicas de diversidad de múltiples portadoras usando el software LabView.
- ✓ Evaluar los resultados obtenidos del sistema de banda ultra ancha sobre LabView.

#### **1.5. Hipótesis**

Con el desarrollo de una interfaz gráfica en LabView se evaluará el rendimiento de la tasa de error de bits (BER) del sistema de banda ultra ancha aplicando la multiplexación OFDM y técnicas de diversidad para diferentes escenarios.

#### **1.6. Metodología de investigación.**

La metodología de investigación del trabajo de examen complejo corresponde al analítico empírico y cuyo enfoque es cuantitativo. El diseño de investigación es descriptivo y explicativo ya que se analizará la tecnología de banda ultra ancha en comunicaciones inalámbricas.

## Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.

### 2.1. Definición de señales UWB.

Para Suárez Páez & Llano Ramírez, (2010) el sistema de radio de banda ultra ancha (*Ultra-Wide Band, UWB*), es una tecnología revolucionaria, limitada en potencia y de rápida evolución, que emplea impulsos cortos con una potencia ultra-baja para la comunicación y el alcance. Un sistema de radio de impulsos de UWB es extremadamente útil y consta de varias características satisfactorias, tales como, alta velocidad de datos, alcance de alta precisión, robustez de desvanecimiento y despliegue de transceptores de bajo costo.

También, UWB es muy prometedor para redes de sensores de bajo coste. Es decir, que UWB es una tecnología emergente con características únicas que invitan a los principales avances en comunicaciones inalámbricas, redes, radar, imágenes y sistemas de posicionamiento. En general, los sistemas de radio de impulsos de UWB transmiten información de impulsos cortos (nano segundos). Estos pulsos extremadamente cortos producen un ancho de banda muy ancho, y por lo tanto estos sistemas se llaman sistemas de banda ultra ancha.

De acuerdo con la regulación de la Comisión Federal de Comunicaciones (*Federal Communications Commission, FCC*), una señal se define como una señal UWB si el ancho de banda (*Bandwidth, B*) absoluto de una señal  $B \geq 500 \text{ MHz}$  o el ancho de banda fraccional  $B_f \geq 0.2$ . Según Blanco Barreto, Justo Morales, & Lavandera Hernández, (2014),  $B_f$  está definida como:

$$B_f = \frac{B}{f_c} = \frac{f_H - f_L}{\frac{(f_H + f_L)}{2}}$$

$f_H$  y  $f_L$  son las frecuencias de corte más altas y más bajas del ancho de banda de la señal, y  $\frac{(f_H+f_L)}{2}$  es igual a la frecuencia central. El ancho de banda tiene una definición diferente, como el ancho de banda nulo a nulo, el ancho de banda de -3 dB, el ancho de banda de -10 dB y así sucesivamente. En sistemas UWB, se utiliza un ancho de banda de -10 dB.



Figura 2. 1: Intervalos de porcentajes de la densidad de potencia espectral.  
Fuente: (Ruiz Cruz, 2008)

UWB ha ganado un interés de los fenómenos en la industria académica después de la aprobación de FCC. En el nivel de emisión, las señales UWB tienen una máscara que limita su densidad espectral de potencia (*Power Spectral Density, PSD*) a  $-41.3\text{dBm/MHz}$  entre 3.1 y 10.6 GHz (véase la tabla 2.1). En la figura 2.2 se muestran las gráficas de la densidad espectral de potencia para sistemas de ultra banda ancha (UWB), banda ancha (*Wide Band, WB*) y banda estrecha (*Narrow Band, NB*).

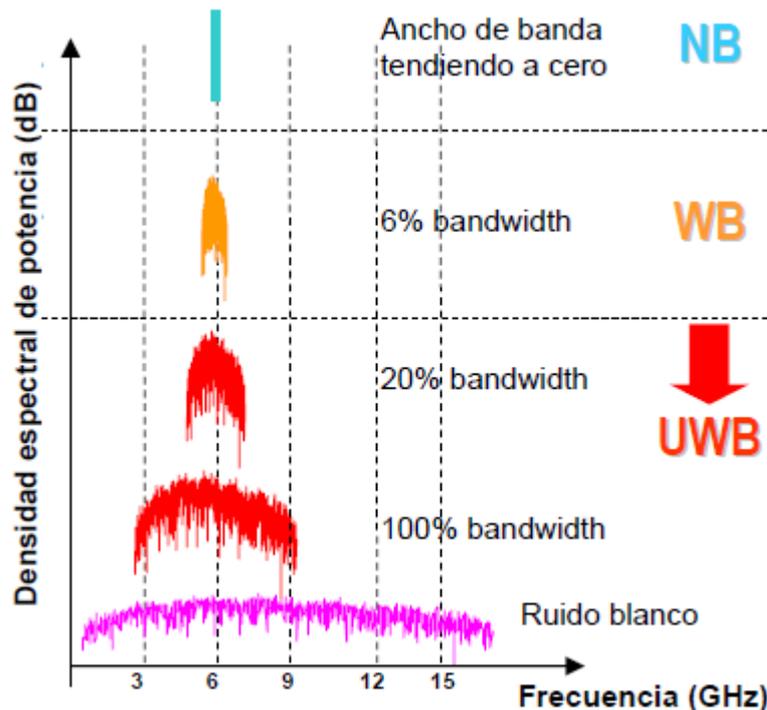


Figura 2. 2: Densidades espectrales de potencia en sistemas NB, WB y UWB.  
Fuente: (Ruiz Cruz, 2008)

En la tabla 2.2 se observa los intervalos (rangos) de frecuencias técnicamente utilizados en países que disponen regulaciones de UWB.

Tabla 2. 1: Regulaciones de la densidad espectral de potencia en sitios internos

Intervalo de frecuencias en GHz	Densidad de potencia espectral en dBm/MHz
< 1.6	-90
[1.6, 2.7)	-85
[2.7, 3.4)	-70
[3.4, 3.8)	-80
[3.8, 4.2)	-70
[4.2, 4.8)	-70 / -41.3
[4.8, 6.0)	-70
[6.0, 8.5)	-41.3
[8.5, 10.6)	-65
>10.6	-85

Fuente:(Zwick, Wiesbeck, Timmermann, & Adamiuk, 2013)

Tabla 2. 2: Intervalos de frecuencias utilizado en naciones con normativas de UWB.

País	1er intervalo de f (GHz)	2do intervalo de f (GHz)
EEUU	3.1 a 10.6	
Europa	4.2 a 4.8	6.0 a 8.5
Japón	3.4 a 4.8	7.25 a 10.25
Corea	3.1 a 4.8	7.2 a 10.2
Singapur	4.2 a 4.8	6.0 a 9.0
China	4.2 a 4.8	6.0 a 9.0

Fuente:(Zwick et al., 2013)

## 2.2. Historia de la tecnología de banda ultra ancha.

La tecnología UWB sigue siendo unatématica muy utilizada en investigaciones, aunque el prototipo más antiguo de la tecnología UWB se remonta en el año 1901 cuando Guglielmo Marconi transmitió el código Morse utilizando transmisores de radio de chispa. Sin embargo, esta tecnología de radio de impulsos no atrajo demasiada atención en ese

momento y la capacidad potencial de proporcionar un ancho de banda ultra ancho de esta tecnología ha sido enterrada durante muchos años desde entonces.

Aproximadamente en la década de 1950, la radio de impulsos tuvo mayor aplicación militar en el desarrollo de radares. Esta actividad de acuerdo a Sachs, (2012) fue impulsada fundamentalmente por tres comunidades, que son: radar, comunicaciones y alta potencia. Aunque, entre los años 1960 y 1990, la tecnología UWB fue desarrollada específicamente para aplicaciones militares y de defensa. Estas permitían comunicaciones seguras y bajo estricta gestión. Pero la creciente demanda de servicios de alta velocidad de datos en comunicaciones inalámbricas, cada vez más las organizaciones e institutos apelaron a los gobiernos para que liberaran la regulación que permitieran el desarrollo de la tecnología UWB para aplicaciones comerciales.

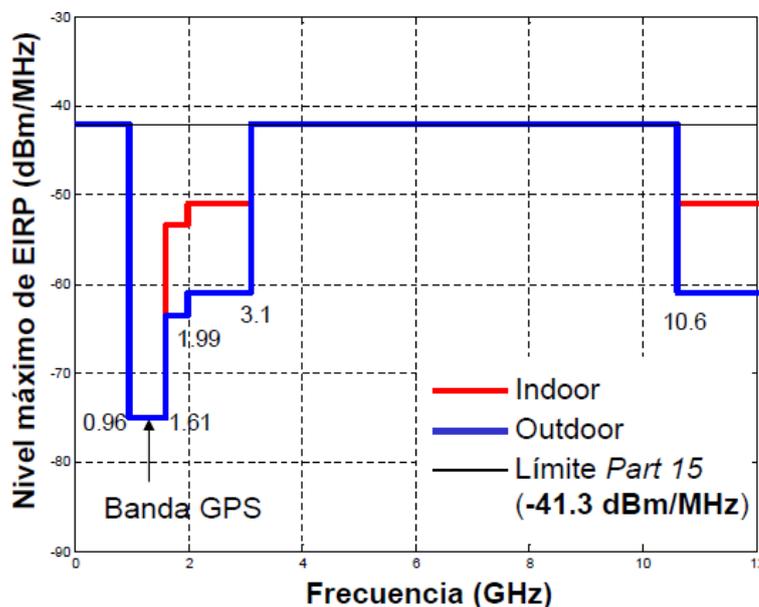


Figura 2. 3: Niveles máximos de potencia isotrópica radiada equivalente en sistemas UWB en los Estados Unidos.

Fuente: (Di Benedetto, 2006; Ruiz Cruz, 2008)

De acuerdo a Nekoogar, (2011) en el año 2002, la FCC de Estados Unidos emitió las normativas para aplicaciones comerciales de UWB, y con eso empezó el despliegue de la tecnología UWB. Posteriormente, potencias

mundiales como, Japón, Corea del Sur y mayoría de Europa también publicaron normativas en septiembre de 2005, julio de 2006 y febrero de 2007, respectivamente. La figura 2.3 muestra los límites de emisión máximo de la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE o en inglés Equivalent Isotropic Radiated Power, EIRP) de las señales de ultra banda ancha en los Estados Unidos.

Mientras que, la figura 2.4 muestra los límites de emisión máximo de la PIRE de las señales UWB regulados por el Comité de Comunicaciones Europeo (*European Communications Committee, ECC*) en el continente europeo.

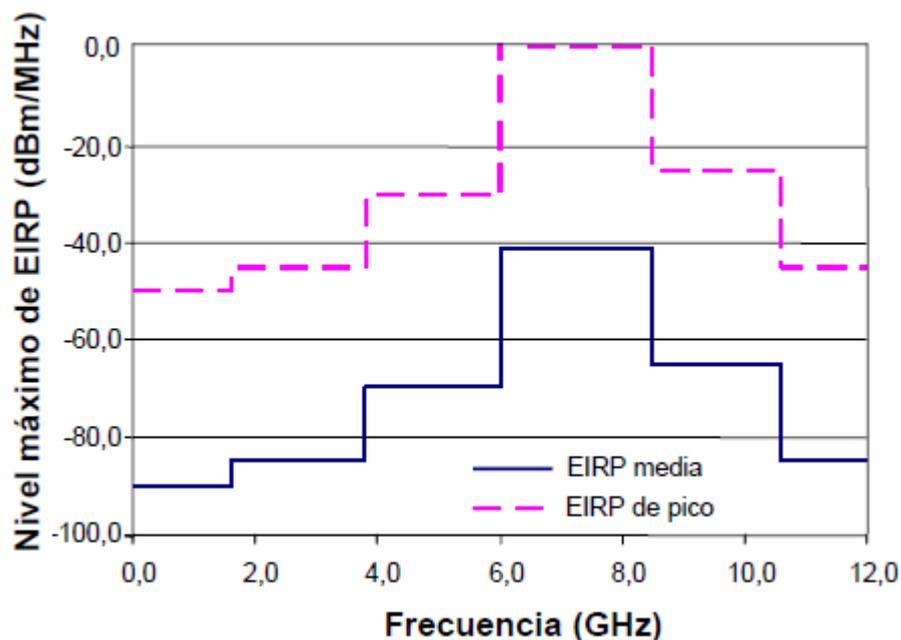


Figura 2. 4: Niveles máximos de potencia isotrópica radiada equivalente en sistemas UWB de Europa.

Fuente: (Di Benedetto, 2006; Ruiz Cruz, 2008)

En la actualidad, la mayoría de instituciones de educación superior nacionales e internacionales y empresas multinacionales se unen a la alianza de investigación para mejorar el despliegue de la tecnología UWB y estas actividades de investigación generan un gran número de valiosos artículos publicados en diferentes revistas y conferencias internacionales.

Además, la industria participa no solamente en la investigación teórica sino también en la implementación de hardware que proporcionará plataformas experimentales pioneras para la investigación basada en hardware UWB. Estas empresas líderes incluyen Intel, Time Domain, Mitsubishi, Bosch, Xtreme Spectrum, Motorola y así sucesivamente. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) han publicado los estándares de aplicaciones de UWB, tales como, IEEE 802.15.3 e IEEE 802.15.4a.

### **2.3. Importancia de la tecnología de banda ultra ancha.**

Los objetivos de diseño de los sistemas de comunicación UWB se pueden ver desde la capacidad del canal AWGN dada por el teorema de Shannon:

$$C = B \log_2(1 + S/N)$$

Donde,

$C$ , es la capacidad del canal en bps;  $B$ , es el ancho de banda del canal en Hz; y  $S/N$ , es la relación señal-ruido (*Signal to Noise Ratio, SNR*).

En los sistemas ordinarios de banda estrecha, un ancho de banda determinado se asigna al servicio y sólo se utiliza por este servicio. Como el espectro de frecuencias es un recurso escaso, el ancho de banda generalmente se seleccionará lo más pequeño posible. El único parámetro de la capacidad del canal que se puede ajustar es, por tanto, la SNR, que es un parámetro de diseño que permite decidir el rendimiento del sistema.

Un problema obvio con la capacidad del canal es que aumenta por el logaritmo de la SNR. Esto significa que sólo se puede lograr una pequeña ganancia a partir de la mejora de la SNR, que es un gran problema cuando se desean conexiones inalámbricas de alta velocidad binaria. El sistema UWB no está limitado en banda como en el caso de banda estrecha, sino en lugar ilimitado.

La capacidad del canal aumenta proporcionalmente con el ancho de banda, el ancho de banda comercial para SNR es ventajoso, es decir, SNR es considerable. Otro beneficio es que la SNR se hace tan baja que la capacidad del canal aumenta casi proporcionalmente a la SNR, haciendo esfuerzos para mejorar la SNR más beneficiosa que los sistemas de banda estrecha (Narrow Band, NB).

Los sistemas NB requieren codificación excesiva para cumplir con las demandas de calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*). Por tanto, UWB debe ser capaz de coexistir en el mismo espectro de frecuencias que los servicios ya asignados sin perturbarlos y tratar con la interferencia de estos servicios. Esto pone un límite superior en la potencia emitida de una señal UWB, así como su espectro emitido. La coexistencia de UWB con otras tecnologías de comunicaciones inalámbricas se puede observar en la figura 2.5.

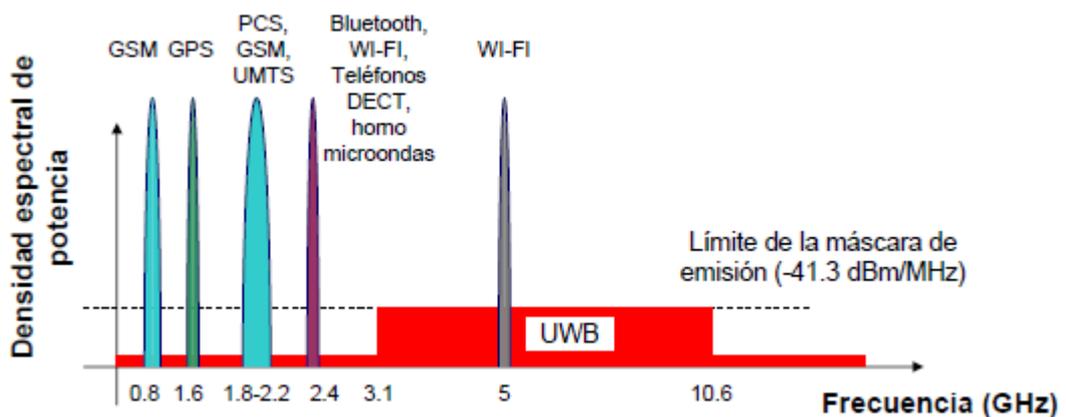


Figura 2. 5: Coexistencia de UWB con otras tecnologías inalámbricas.  
Fuente: (Ruiz Cruz, 2008)

La figura 2.6 muestra el rango de propagación y la velocidad de datos de las diferentes tecnologías compatibles con sistemas UWB, inclusive la tecnología 4 G entre 2010 a 2015. Otra característica interesante es la baja potencia inherente necesaria en el transmisor, ya que la potencia de salida se limita a una fracción de miliwatt. Por lo tanto, la potencia total necesaria para un sistema UWB no se ve severamente limitada por la potencia transmitida, lo que a veces es el caso con sistemas de banda estrecha que

hacen que los sistemas UWB sean atractivos para equipos con baterías, como por ejemplo teléfonos móviles inteligentes.

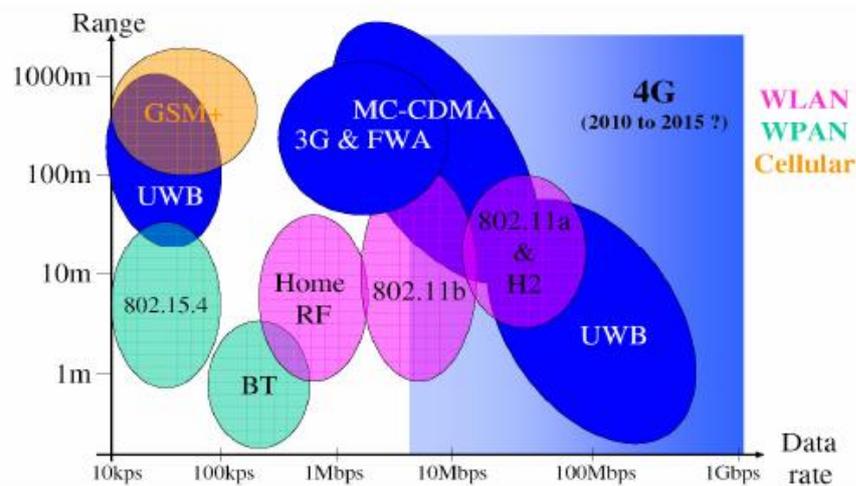


Figura 2. 6: Rangos de propagación y velocidades de datos de sistemas UWB y demás tecnologías coexistentes.

Fuente: (Ruiz Cruz, 2008)

#### 2.4. Ventajas y aplicaciones de la tecnología UWB.

Cuando se compara con sistemas de banda estrecha, los sistemas UWB tienen muchas ventajas: capacidad de canal grande, capacidad para trabajar en condiciones de baja relación S/N, inmunidad para interceptación y recepción, resistencia a interferencias, alto rendimiento en los canales de trayectorias múltiples y una sencilla estructura del transceptor. Es por esto, que la tecnología UWB resulta ser factible para muchas aplicaciones en comunicaciones inalámbricas.

Inclusive con las restricciones de energía significativas, los sistemas UWB tienen un enorme potencial para redes inalámbricas Ad-hoc (*Mobile Ad-hoc NETWORKS, MANETs*) y redes compañero a compañero (*Peer-to-Peer, P2P*). Una de las principales ventajas potenciales de los sistemas basados en impulsos radioeléctricos, es la capacidad de intercambiar la velocidad de datos por la distancia del enlace simplemente usando pulsos más o menos concatenados para definir un bit. Es decir, que, sin cambiar radicalmente la interfaz aérea, la velocidad de datos se puede cambiar en órdenes de magnitud dependiendo de los requisitos del sistema.

En otras palabras, los dispositivos de alta velocidad de datos (*High Data Rate, HDR*) y de baja velocidad de datos (*Low Data Rate, LDR*) tendrán que coexistir. El pulso estrecho en el dominio del tiempo significa que el sistema UWB ofrece la posibilidad de muy alta precisión de posicionamiento. Sin embargo, cada dispositivo de la red debe ser "oído" por una serie de otros dispositivos con el fin de generar una posición a partir de una estimación de retardo o ángulo de llegada de la señal. Estos beneficios potenciales, junto con el hecho de que un pulso de baja potencia de UWB individual resulta difícil de detectar, por lo cual ofrecen algunos retos importantes para el diseño del control de acceso al medio (*Media Access Control, MAC*).

Las áreas de aplicación de los sistemas UWB con respecto a las redes existentes y futuras se muestran en la figura 2.7. La baja potencia restringe de los sistemas UWB en aplicaciones de datos de gran alcance de muy corto alcance, o tasas de datos muy bajas para aplicaciones de rango moderado. Entonces, las restricciones de energía en la transmisión de UWB prohíben de manera efectiva la mayoría de aplicaciones al aire libre. La creciente tendencia de los usuarios a combinar tanto tecnologías celulares como ad hoc (por ejemplo, 802.11b WLAN y 2G celular) es un fuerte indicador para la inclusión de alta velocidad inalámbrica de corto alcance en una visión global de futuras redes inalámbricas.

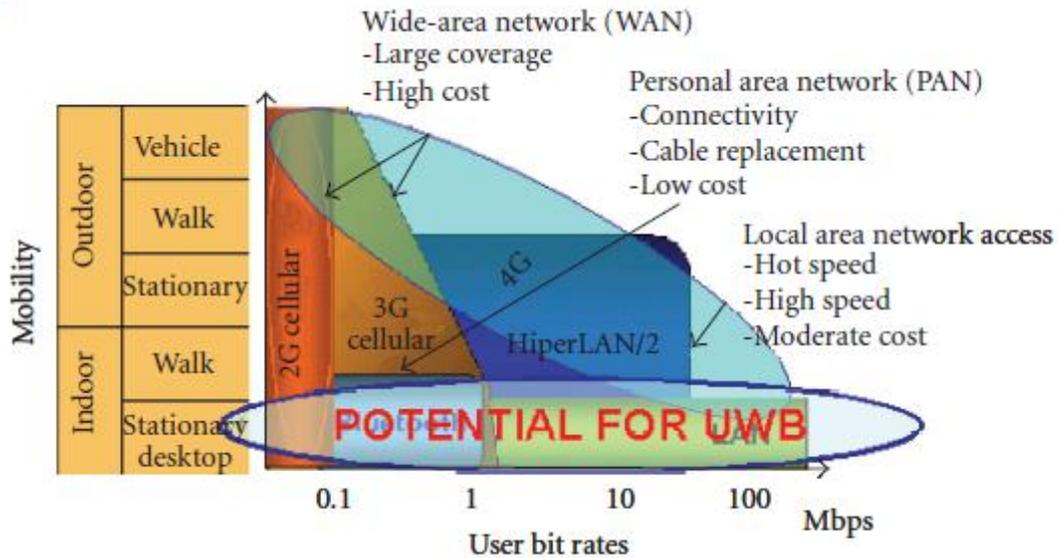


Figura 2. 7: Rol de UWB en los sistemas actuales de comunicaciones inalámbricas.  
Fuente: (Di Benedetto, 2006)

Los sistemas UWB han sido dirigidos en aplicaciones de muy HDR en distancias cortas, como reemplazo de USB, así como aplicaciones de muy LDR a distancias más largas, tales como sensores y etiquetas RF. Los dispositivos LDR tiene una complejidad muy baja y un costo muy bajo. La proliferación esperada de dispositivos de UWB de bajo costo significa que deben diseñarse soluciones para que los dispositivos conviven o, preferiblemente, interpielen con diferentes tipos de dispositivos UWB con capacidades diferentes.

Las limitaciones de complejidad de los dispositivos LDR significan que requieren soluciones muy sencillas. Mientras, que los dispositivos HDR, tiene una mayor complejidad, pero disponen de soluciones mucho más sofisticadas. En la figura 2.8 se muestran varios escenarios que abarcan las redes inalámbricas de área local (*Wireless Local Area Network, WLAN*), redes de área personal inalámbricas (*Wireless Personal Area Network, WPAN*), redes de sensores y redes P2P de corto alcance.

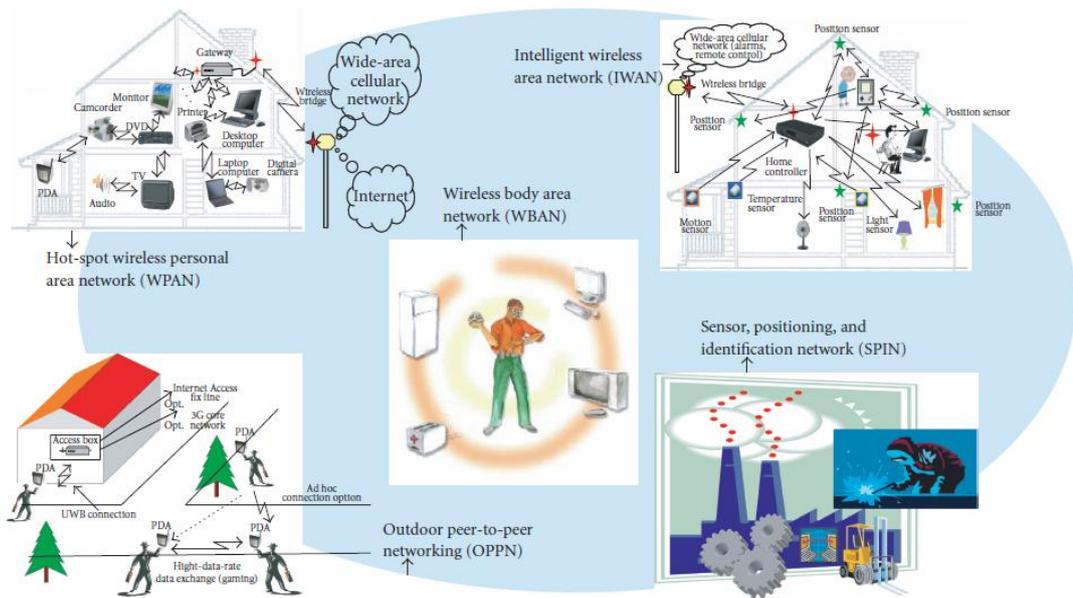


Figura 2. 8:Aplicaciones prácticas de UWB con redes WPAN, WBAN, IWAN, SPIN, OPPN.

Fuente: (Di Benedetto, 2006)

## 2.5. Inconvenientes de los sistemas de banda ultra ancha.

Quizás el factor más limitante es la restricción de potencia que limita la operatividad de UWB en una distancia de 10m en torno a una velocidad de 100 Mbps. Otro sistema de UWB con distancia corta y la velocidad de datos más alta o la distancia más alta y la velocidad de datos más baja, son por supuesto también posibles. El interés actual en los sistemas UWB es problemático para generar y modular estos pulsos cortos. Los avances recientes en la tecnología de proceso de semiconductores permiten integrar generadores de pulsos UWB de una manera rentable y, de este modo, permitir el uso generalizado de los sistemas UWB.

Sin embargo, la adquisición y sincronización de sistemas UWB siguen siendo un problema abierto, ya que el seguimiento de los pulsos muy cortos con suficiente precisión es muy difícil. Puede ser que el transmisor sea fácil de utilizar y con menos potencia que los transmisores de banda estrecha, pero el receptor debe ser capaz de demodular la señal de una manera razonable y sin usar demasiada energía y sin costar demasiado. Esto podría resultar un desafío, ya que la señal tiene un ancho de banda de varios GHz.

## **2.6. Relevancia en el procesamiento de señales de UWB.**

El uso del tratamiento o procesamiento de señales, resulta una parte importante de todos los sistemas de comunicación utilizados en la actualidad para mejorar el rendimiento. Este aumento gradual en el rendimiento es necesario para satisfacer las expectativas del usuario y el procesamiento de señal eficiente está de acuerdo con un factor clave que determina el éxito de un sistema de comunicación.

El área del procesamiento de señales para sistemas de UWB sigue desarrollándose investigaciones de manera activa, por lo que es un tema interesante y caliente. Uno de los hechos interesantes de los sistemas de UWB es que utiliza "frecuencia sin portadora", y la señal es por lo tanto puramente de banda base en naturaleza. Esto hace posible eliminar los componentes tradicionales tales como el mezclador utilizado para convertir hacia abajo la señal antes del muestreo. A su vez, los métodos de procesamiento de señales utilizados, se vuelven aún más críticos para el rendimiento del sistema.

### **2.6.1. Coexistencia con otros sistemas de comunicación de banda estrecha.**

Los sistemas inalámbricos de UWB son interesantes por varias razones, pero lo más importante es la posibilidad de reutilizar el espectro ya asignado. Esto es posible debido al bajo PSD de la señal radiada UWB, pero esto plantea la cuestión de la coexistencia. Como el sistema de UWB para fines de comunicación está principalmente permitido en la banda de frecuencia 3.1 hasta 10.6 GHz, quizás el contendiente más desafiante en la banda de frecuencia es el sistema IEEE802.11a ya que operan en el mismo entorno. Es decir, que la tecnología de banda estrecha utilizada en el mismo entorno que los sistemas UWB y utilizando bandas de frecuencia superpuestas.

La coexistencia se puede dividir en 2 partes:

- Interferencia de los sistemas UWB a otros sistemas de banda estrecha.

- Interferencias de otros sistemas de banda estrecha a sistemas UWB.

Para estimar el nivel de interferencia, es importante conocer las condiciones de propagación bajo las cuales el sistema opera. Como las interferencias no están correlacionadas con la señal deseada, las propiedades estadísticas del modelo de canal de los interferentes se vuelven menos importantes. En su lugar, se puede utilizar la potencia de interferencia recibida para estimar el impacto sobre la señal deseada y, por lo tanto, sólo es necesario conocer la pérdida de trayectoria (*Path Loss, PL*) de las fuentes de interferencia. La pérdida de trayectoria se calcula:

$$PL = \frac{c^2}{16\pi^2 r^n f_c^2}$$

Donde,

c es la velocidad de la luz, r es el rango,  $f_c$  es la frecuencia central y, n es el exponente de pérdida de trayectoria como una función de entorno cuyo intervalo es de 1.5 a 6. Por ejemplo, la propagación del espacio libre donde  $n=2$ , que es buena aproximadamente a 10m.

### **2.6.2. Interferencia de los sistemas UWB.**

Aunque el procesamiento de señales emitido de un sistema de UWB es bajo, puede interferir potencialmente con otros sistemas si los sistemas se colocan juntos. Ahora se calcula la separación entre el interferente y el receptor, proporcionando una potencia de interferencia igual al nivel de ruido. Por lo tanto, los sistemas de UWB pueden causar interferencia con sistemas de banda estrecha utilizando la misma banda de frecuencias en un rango de hasta aproximadamente 18 m.

### **2.6.3. Interferencia de otros sistemas.**

En el rango de frecuencias utilizados por los sistemas de UWB, numerosos sistemas funcionan en espectro ya asignado, pero se puede plantear un problema para el funcionamiento de UWB, éstos deben estar cerca del receptor de UWB. En segundo lugar, estas señales de interferencia

son normalmente de banda estrecha y por lo tanto sólo cubren una pequeña parte del ancho de banda de la señal.

Las fuentes de interferencias más probables son los sistemas IEEE802.11a, que operan en la banda ISM de 5 GHz con un ancho de banda de canal de 20 MHz que irradia 200 mW. El sistema está basado en OFDM, con 52 sub-portadoras moduladas cada una con BPSK, QPSK, 16-QAM o 64-QAM que suministran hasta 54 Mbps por canal. La señal a interferencia (SIR) en el receptor UWB debido a WLAN se calcula como:

$$SIR_{WLAN} = \frac{75 \frac{nW}{MHz} \cdot B \cdot PL_{UWB}}{200 mW \cdot PL_{WLAN}}$$

donde,

$B$  es el ancho de banda de UWB,  $PL_{UWB}$  y  $PL_{WLAN}$  son las pérdidas de trayectoria de los sistemas de UWB y WLAN respectivamente.

Se asume, que un sistema de UWB funciona en las bandas de frecuencias de 3.1 a 6.1 GHz, el ancho de banda resultante es 3 GHz y la frecuencia central de ambos sistemas serán prácticamente iguales. Por lo tanto, es posible reducir esto a:

$$SIR_{WLAN} = -30 + 10 \cdot n_{WLAN} \cdot \log_{10}(r_{WLAN}) - 10 \cdot n_{UWB} \cdot \log_{10}(r_{UWB})$$

donde,

$n_{WLAN}$  y  $n_{UWB}$ , son los exponentes de la pérdida de trayectoria en los sistemas WLAN y UWB, respectivamente. Mientras que  $r_{WLAN}$  y  $r_{UWB}$  son los rangos de los sistemas WLAN y UWB. Por ejemplo, si los sistemas utilizan los mismos exponentes de distancia y pérdida de trayectoria, el receptor del sistema de UWB va experimentar una  $SIR = 30 dB$ .

Ahora, se puede dar un escenario más desfavorable para la SIR. Por ejemplo, si  $n_{WLAN} = n_{UWB} = 2$  entonces se tiene una  $SIR = -50 dB$ , lo que correspondería a que el sistema WLAN sea 10 veces más cercano del

receptor de UWB que el mismo transmisor de UWB. Es decir, que si los sistemas UWB logran un alcance de 10 m, entonces el transmisor de WLAN está a 1 m del receptor de UWB y, por lo tanto, es necesario cambiar el receptor de WLAN o del receptor de UWB para así lograr reducir la interferencia.

Para que el receptor funcione, se debe reducir los niveles de interferencia. Esto se puede hacer usando 2 estrategias diferentes:

- Suprimir la interferencia sin utilizar la banda de frecuencia en la que opera el interferido.
- Cancelación de interferencia en el receptor.

El uso de la supresión de interferencias puede ser implementado de esta manera: se usa el filtro de rechazo de banda (conocido como filtro notch) para que detecte la interferencia y luego filtre las bandas que están influenciadas por la interferencia.

## 2.7. Normativas de los sistemas de banda ultra ancha.

Los dispositivos que utilizan espectro UWB están sujetos a requisitos más estrictos porque el espectro UWB subyace a otras asignaciones de espectro existentes y sin licencia. Con el fin de optimizar el uso del espectro y reducir la interferencia a los sistemas existentes, los organismos reguladores de Europa y Estados Unidos imponen normas muy restrictivas a los dispositivos UWB.

Tabla 2. 3: Normativas de UWB dadas por la FCC para aplicaciones en interiores y portátiles.

<b>Frecuencias</b>	<b>PIRE en interiores (dBm/MHz)</b>	<b>PIRE en portátiles (dBm/MHz)</b>
0.96 GHz – 1.61 GHz	-75.3	-75.3
1.61 GHz – 1.99 GHz	-53.3	-63.3
1.99 GHz – 3.10 GHz	-53.3	-63.3
3.10 GHz – 10.60 GHz	-41.3	-41.3
por encima de 10.60 GHz	-51.3	-61.3

Fuente:(Siwiak & McKeown, 2004)

Las normativas de los sistemas UWB se da como la máxima potencia isotrónica radiada equivalente por MHz y se divide en dos, una para aplicaciones en interiores y otro para aplicaciones en dispositivos portátiles. En la tabla 2.3 se muestran las normativas definidas por la FCC.

## 2.8. Frecuencias de operación

Los diferentes sistemas funcionan a diferentes frecuencias de radio. Cada rango de frecuencias ofrece su propio rango de funcionamiento, requisitos de potencia y rendimiento. Los diferentes rangos pueden estar sujetos a diferentes regulaciones o restricciones que limitan las aplicaciones para las que se pueden usar. La frecuencia de funcionamiento determina qué materiales físicos propagan las señales de radio frecuencia (*Radio Frequency, RF*).

Los metales y líquidos típicamente presentan el mayor problema en la práctica. En particular, las etiquetas que funcionan en el rango de frecuencia ultraalta (*Ultra High Frequency, UHF*) no funcionan adecuadamente cerca de líquidos o metal. Los diferentes tamaños y formas de las antenas funcionarán a diferentes frecuencias. La frecuencia de funcionamiento también determina cómo las etiquetas interactúan físicamente entre sí. En la tabla 2.4 se muestra el listado de los rangos de frecuencias.

Tabla 2. 4: Listado del rango de frecuencias de operación en RF.

Frecuencias	Frecuencias	Distancia de lectura pasiva
Baja Frecuencia ( <i>LowFrequency, LF</i> )	120 – 140 KHz	10 a 20 cm
Alta Frecuencia ( <i>High Frequency, HF</i> )	13.56 MHz	10 a 20 cm
Ultra Alta Frecuencia (UHF)	868 – 928 MHz	3 m
Microondas (Microwave)	2.45 a 5.8 GHz	3 m
UWB	3.1 a 10.6 GHz	10 m

Fuente:(Siwiak & McKeown, 2004)

## 2.9. Esquemas de modulación en sistemas de banda ultra ancha.

En el trabajo de los autores (Ali et al., 2014) las señales UWB están diseñadas para suavizar el espectro de la señal y proteger los sistemas de interferencias de radio a las señales existentes de banda estrecha y banda ancha. El monopulso basado en wavelets se utiliza para generar trenes de impulsos que son modulados utilizando BPSK, PPM y OOK.

Por ejemplo, el esquema de modulación M-aria PPM necesita una muy buena resolución de tiempo. A continuación, se describen los diferentes esquemas de modulación que son utilizados en los sistemas UWB.

### 2.9.1. Esquema de modulación BPSK.

La modulación por desplazamiento de fase binaria (*Binary Phase Shift Keying, BPSK*) es la técnica de modulación donde dos valores de fase diferentes indican dos símbolos de datos diferentes. Este esquema de modulación puede expresarse de la siguiente manera: (Ali et al., 2014)

$$S(t) = \sum_j w(t \cdot jT_f - \varphi)$$

donde,

$\varphi$  es la fase que tiene los valores de 0 y 180° para los símbolos de datos 1 y 0, respectivamente. Por ejemplo, una secuencia de datos dada como {0 1 0 1 0 0 1 1} se puede obtener un tren de pulsos usando wavelet para la modulación BPSK, tal como se ilustra en la figura 2.9.

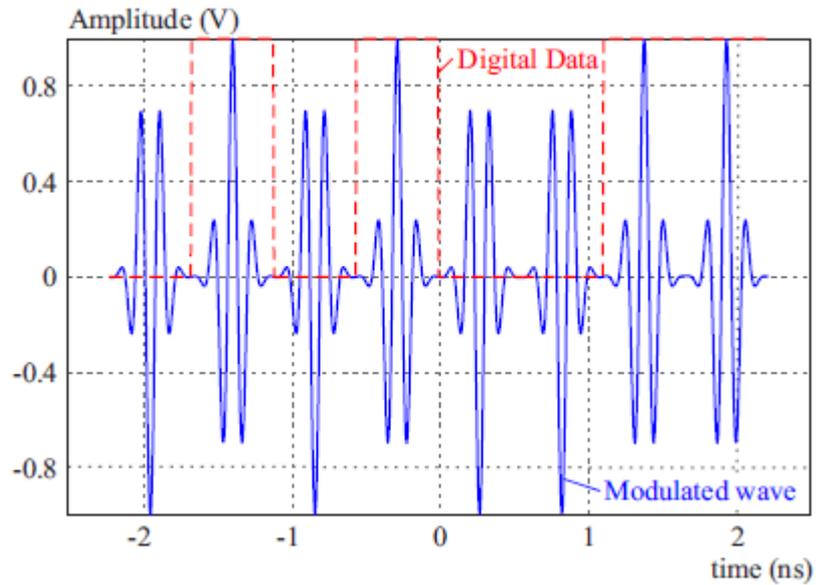


Figura 2. 9: Gráfica del tren de pulsos para la modulación por desplazamiento de fase binaria.

Fuente: (Ali et al., 2014)

### 2.9.2. Esquema de modulación PAM.

De acuerdo a Sadough, (2008) la clásica modulación por amplitud de pulsos (*Pulse Amplitude Modulation, PAM*) binarios se implementa usando dos pulsos gaussianos antipodales, tal como se muestra en la figura 2.10. La señal modulada de amplitud de impulso binario transmitida  $s_{tx}(t)$  puede representarse como:

$$s_{tx}(t) = d_k \omega_{tx}(t)$$

donde,  $\omega_{tx}$  es la forma de onda de pulso de UWB y,  $k$  representa al bit transmitido, ya sea "0" o "1" y que:

$$d_k = \begin{cases} -1 & \text{si } k = 0 \\ +1 & \text{si } k = 1 \end{cases}$$

se utiliza para la representación antipodal del bit  $k$  transmitido. El pulso transmitido es la primera derivada del pulso gaussiano definido como:

$$\omega_{tx}(t) = -\frac{t}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$$

donde,  $\sigma$  está relacionada con la longitud de pulso  $T_p$  por  $\sigma = \frac{T_p}{2\pi}$

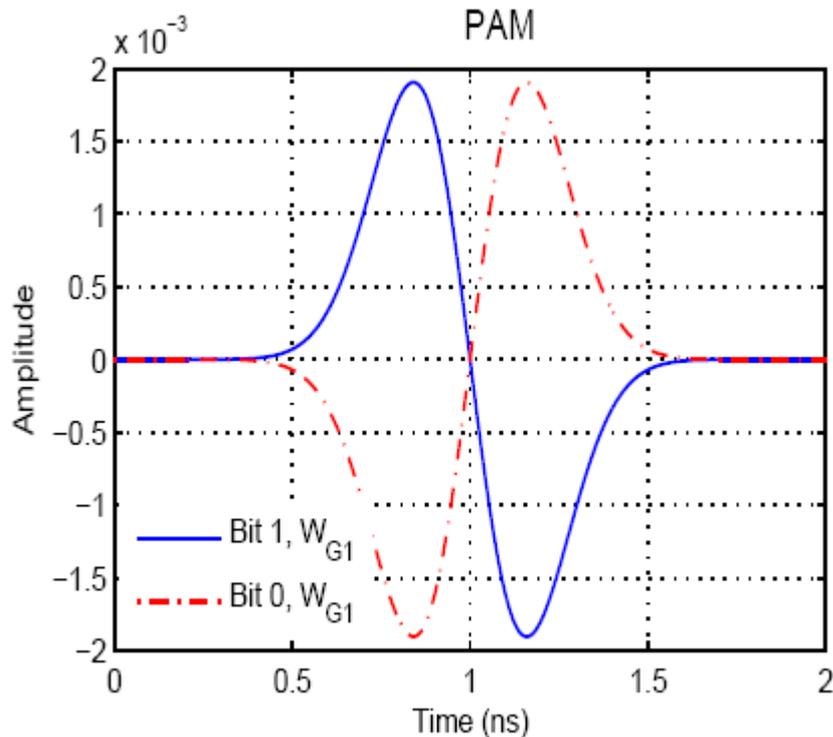


Figura 2. 10: Gráfica del esquema de modulación por amplitud de pulsos.  
Fuente: (Sadough, 2008)

### 2.9.3. Esquema de modulación OOK.

De acuerdo a la publicación de los autores Del Risco Sánchez & Cruz Hurtado, (2013), la modulación OOK, (*On Off Keying*), es un caso especial de la modulación ASK. Mientras que para Sadough, (2008) el esquema de modulación es la codificación binaria de encendido/apagado (OOK), tal como se muestra en la figura 2.11. De manera similar al esquema de modulación presentado en la sección 2.9.2, la forma de onda utilizada para esta modulación se define como:

$$d_k = \begin{cases} 0 & \text{si } k = 0 \\ 1 & \text{si } k = 1 \end{cases}$$

La diferencia entre OOK y PAM es que en la modulación OOK, no se transmiten señales en el caso del bit "0". Una ventaja obvia al usar la modulación OOK, es la simplicidad de la implementación física, ya que es necesario utilizar un generador de pulsos, en oposición a dos, como es el caso con la modulación bifásica. Un único interruptor de RF puede controlar los impulsos transmitidos activando un bit de datos "1" y desactivándolo para

un bit de datos "0". Esta configuración de transmisor sin esfuerzo hace que OOK sea popular para sistemas UWB menos complejos.

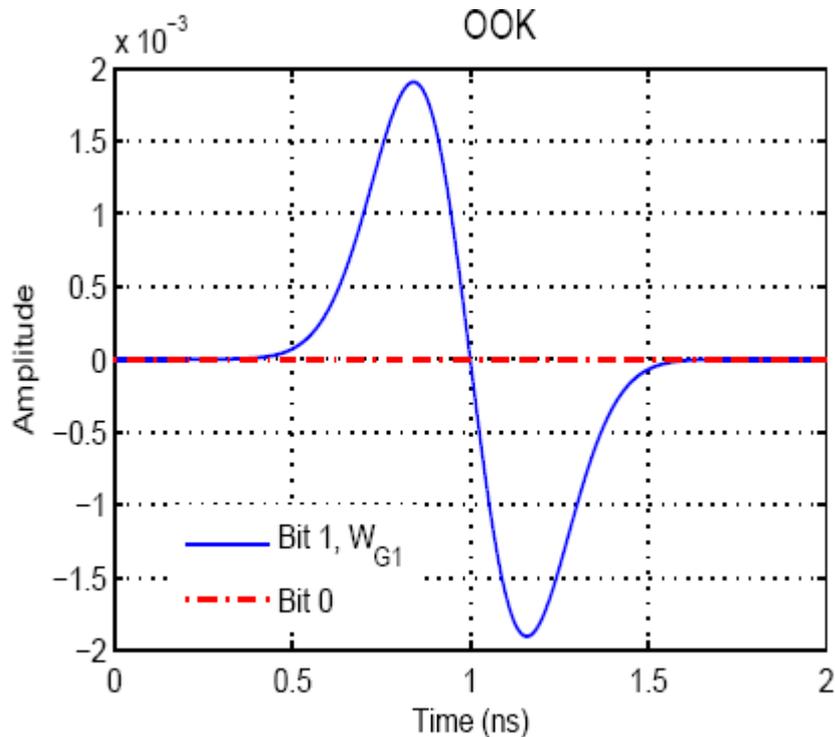


Figura 2. 11: Gráfica del esquema de modulación OOK.  
Fuente: (Sadough, 2008)

#### 2.9.4. Esquema de modulación por posición de pulsos.

Según Sadough, (2008) con la modulación por posición de pulsos (*Pulse Position Modulation, PPM*), la información del bit de datos a transmitir es codificada por la posición del pulso transmitido con respecto a una posición nominal. Más precisamente, mientras que el bit "0" está representado por un pulso que se origina en el instante de tiempo 0, el bit "1" se desplaza en el tiempo en la cantidad de  $\delta$  desde 0. En la figura 2.12 se muestra el esquema de modulación por posición de pulsos.

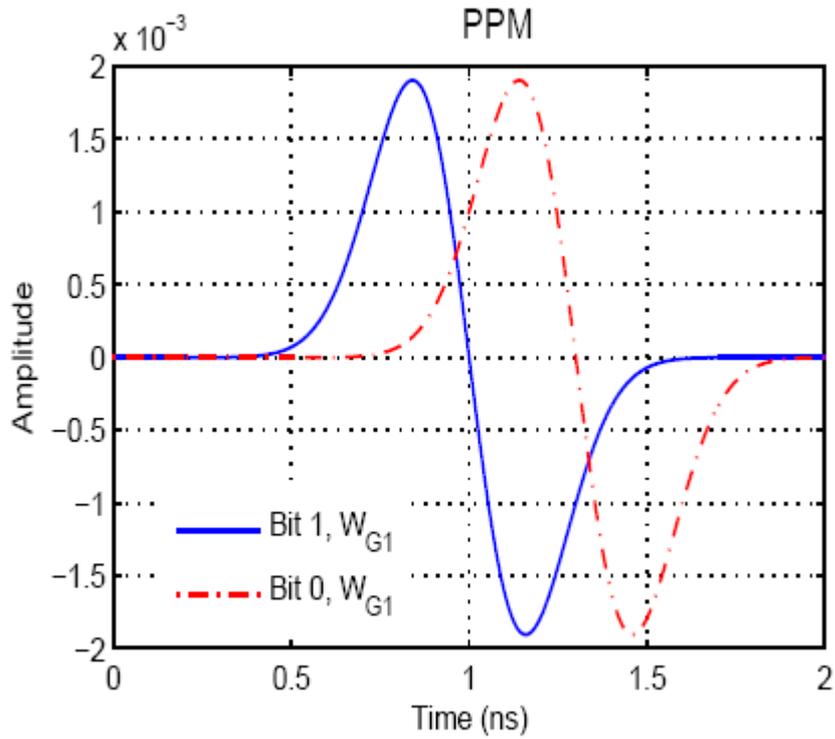


Figura 2. 12: Gráfica del esquema de modulación por posición de pulsos.  
Fuente: (Sadough, 2008)

Dada la siguiente secuencia de datos {0 1 0 1 0 0 1 1} se puede obtener el tren de pulsos basados en wavelets para PPM tal como se muestra en la figura 2.13.

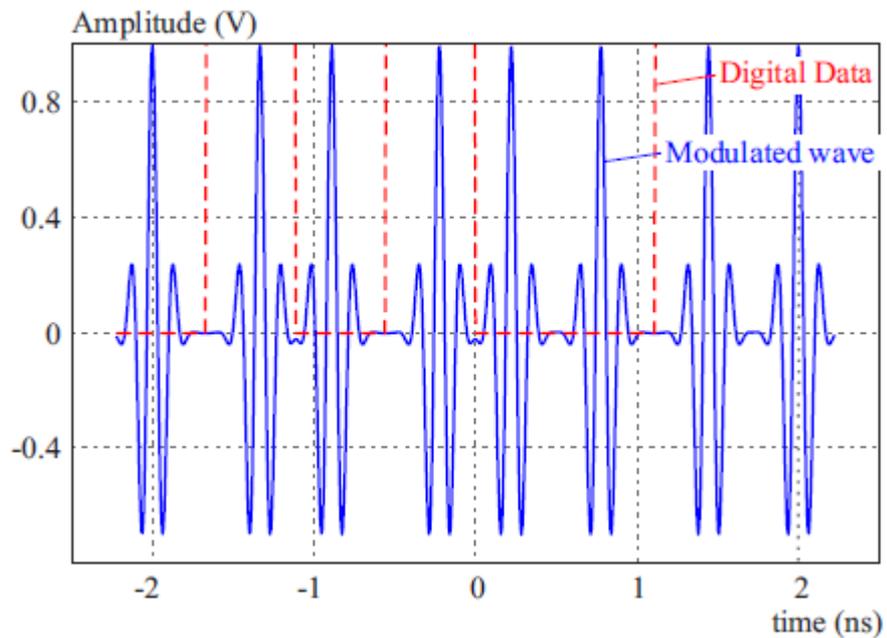


Figura 2. 13: Gráfica del tren de pulsos para la modulación PPM usando wavelets.  
Fuente: (Ali et al., 2014)

Mientras que para Ali et al., (2014) la modulación PPM es el esquema de modulación donde se utiliza un cambio de tiempo adicional para indicar el símbolo de cambio de datos. La PSD de la modulación PPM se puede suavizar utilizando la secuencia de pseudo ruido (*Pseudo-Noise, PN*), y los parámetros pueden ser elegidos para mover líneas espectrales discretas para minimizar la interferencia en otras señales de comunicación.

### 2.9.5. Esquema de modulación por forma de pulsos.

La modulación por forma de pulsos (*Pulse Shape Modulation, PSM*) es una alternativa a las modulaciones PAM y PPM. Según Abarca Calderón, (2013)

esta modulación utiliza diferentes formas de pulsos para modular la información binaria. La figura 2.14 muestra la modulación PSM con los datos de información que están codificados por diferentes formas de pulsos. Esto requiere un conjunto adecuado de pulsos para modulaciones de orden superior.

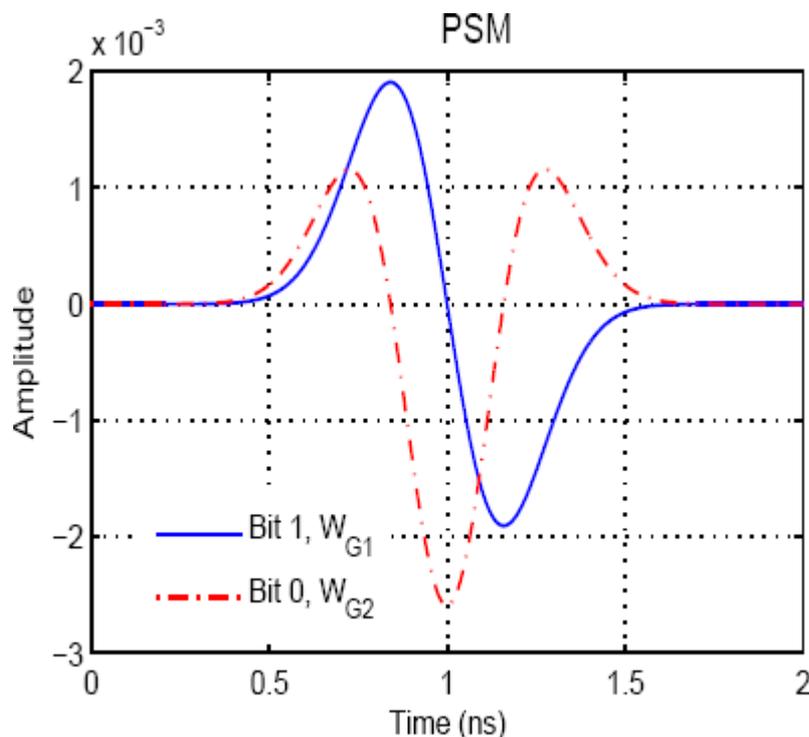


Figura 2. 14: Gráfica del esquema de modulación por forma de pulsos.  
Fuente: (Sadough, 2008)

La ortogonalidad de las señales utilizadas en PSM es una propiedad deseable ya que permite una detección más fácil en el receptor. La

aplicación de conjuntos de señales ortogonales también permite considerar múltiples técnicas de acceso. Esto puede lograrse asignando un grupo de pulsos ortogonales a cada usuario, que utiliza el conjunto asignado para PSM. La transmisión será entonces mutuamente ortogonal y diferentes señales de usuario no interferirán entre sí.

## Capítulo 3: Simulación y análisis de resultados.

### 3.1. Descripción general del modelo de simulación de UWB.

En el presente capítulo se desarrolla el diseño de una aplicación de interfaz gráfica utilizando instrumentos virtuales de LabView para sistemas de banda ultra ancha. Antes de diseñar la interfaz gráfica, es necesario realizar la descripción y explicación a través de diagramas de bloques de la etapa del transmisor y receptor del sistema UWB, que son tratadas en las secciones 3.2 y 3.3.

### 3.2. Descripción del sistema transmisor OFDM multibanda.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques del sistema transmisor mediante la multiplexación OFDM multibanda. A continuación, se describen cada uno de los bloques del transmisor.

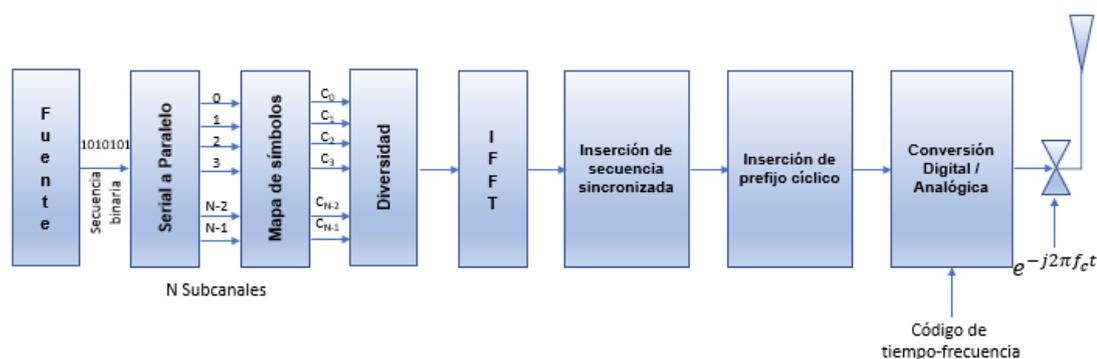


Figura 3. 1:Diagrama de bloques del transmisor del sistema UWB.

Elaborado por: Autor.

La parte inicial (Fuente) se utiliza un generador de secuencias binarias para generar un flujo de bits aleatorios (ver figura 3.1) en la salida se observa una matriz 1-dimensional de bits. A continuación, se realiza la conversión de serie a paralelo enviando los bits a flujos paralelos, y cada uno representando una subportadora.

En el transmisor se incluirá el esquema de modulación QPSK en cada una de las subportadoras. También, se tiene la opción de utilizar la técnica de diversidad de múltiple portadora enviando el mismo flujo de bits en dos subportadoras diferentes.

A continuación, se realiza la IFFT de todos los flujos de datos paralelos juntos asegurando la ortogonalidad entre las subportadoras y la conversión de los símbolos a dominio del tiempo. Por ortogonalidad, se entiende que todas las subportadoras sobre las que se han enviado los datos se superponen entre sí de tal manera que no interfieren entre sí y aseguran un uso mínimo de ancho de banda. Por lo tanto, la IFFT para un conjunto de N puntos de datos complejos de N corrientes ortogonales paralelas viene dado por la fórmula:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot e^{j\left(\frac{2\pi}{N}\right)nk} ; (n=0,1,\dots,N-1)$$

Donde,  $X(k)$  es un dato complejo en el dominio de la frecuencia enviados sobre subportadoras de frecuencia  $k/N$ , si  $k = 0, 1, \dots, N$ .

Antes de enviar señales a través de la antena transmisora, se tiene la opción de aumentar el rendimiento de la tasa de error de bits (*Bits Error Rate, BER*) enviando la misma señal en diferentes bandas o enviando los datos en múltiples subportadoras dentro de un símbolo OFDM. Cuando se tiene más de una copia de los datos transmitidos, es decir, el símbolo completo o subportadoras individuales de un símbolo, se debe utilizar el esquema de diversidad como combinación de relación máxima y obtener una BER inferior para la misma relación S/N.

Después se inserta el Prefijo Cíclico en todos los símbolos, es decir, se envía símbolos en una de las tres bandas basándonos en el código de tiempo-frecuencia (TFC). Cada TFC corresponde a una secuencia de preámbulo específica que a su vez corresponde al tipo de entorno. Podemos mejorar el rendimiento mediante el envío del símbolo en 2 bandas diferentes y hacer uso de los esquemas de diversidad como combinación de relación máxima en el receptor.

### 3.3. Descripción del sistema receptor OFDM multibanda.

En la figura 3.2 se muestra el diagrama de bloques del sistema receptor mediante la multiplexación OFDM multibanda. A continuación, se describen cada uno de los bloques del transmisor.

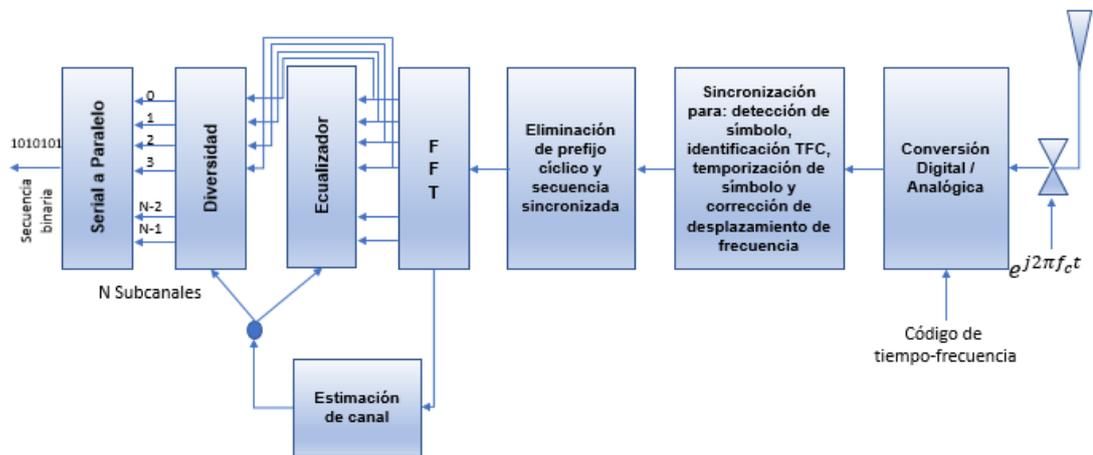


Figura 3. 2:Diagrama de bloques del transmisor del sistema UWB.  
Elaborado por: Autor.

Dado que los sistemas de UWB son potentes y sensibles al costo, se debe adoptar una sincronización de baja complejidad. La estructura de correlacionador automático realiza la autocorrelación de un símbolo con símbolos retardados por 1, 3, 5 y 6 períodos de símbolos para realizar la detección conjunta de símbolos, la identificación de TFC, el desplazamiento de temporización y la corrección de desplazamiento de frecuencia, tal como se muestra en la figura 3.2.

Antes de que se adquiera la sincronización y se identifique a TFC, el receptor debe explorar todas las sub-bandas, es decir, se queda en una banda y "escucha" las posibles señales de preámbulo entrantes durante un período de tiempo. Si no se detecta ningún paquete, el receptor cambia a una banda diferente y continúa escuchando. Para cualquier paquete entrante, debido al salto de frecuencia, solo se pueden "escuchar" los símbolos en la sub-banda que el receptor está escuchando.

Después de que se detecta la señal del preámbulo y se identifica su TFC, la parte de sincronismo (SYNC) necesita buscar el inicio de un símbolo

OFDM. Un tiempo impreciso no solo introduce interferencia interportadora (*Inter-Carrier Interference, ICI*) y posiblemente interferencia intersimbólica (*Inter-Symbol Interference, ISI*), sino que también afecta la calidad de la estimación del canal y la energía total de la señal recolectada por el bloque FFT.

La autocorrelación de una secuencia de sincronización conocida en la secuencia recibida consigo misma da un pico de autocorrelación, tal como se muestra en la figura 3.3. Dado que el preámbulo tiene una alta propiedad de autocorrelación, obtenemos un pico de autocorrelación alto cuando existe una autocorrelación perfecta. La autocorrelación de una secuencia de sincronización conocida en la secuencia recibida consigo misma da un pico de autocorrelación. Dado que el preámbulo tiene una alta propiedad de autocorrelación, obtenemos un pico de autocorrelación alto cuando existe una autocorrelación perfecta.

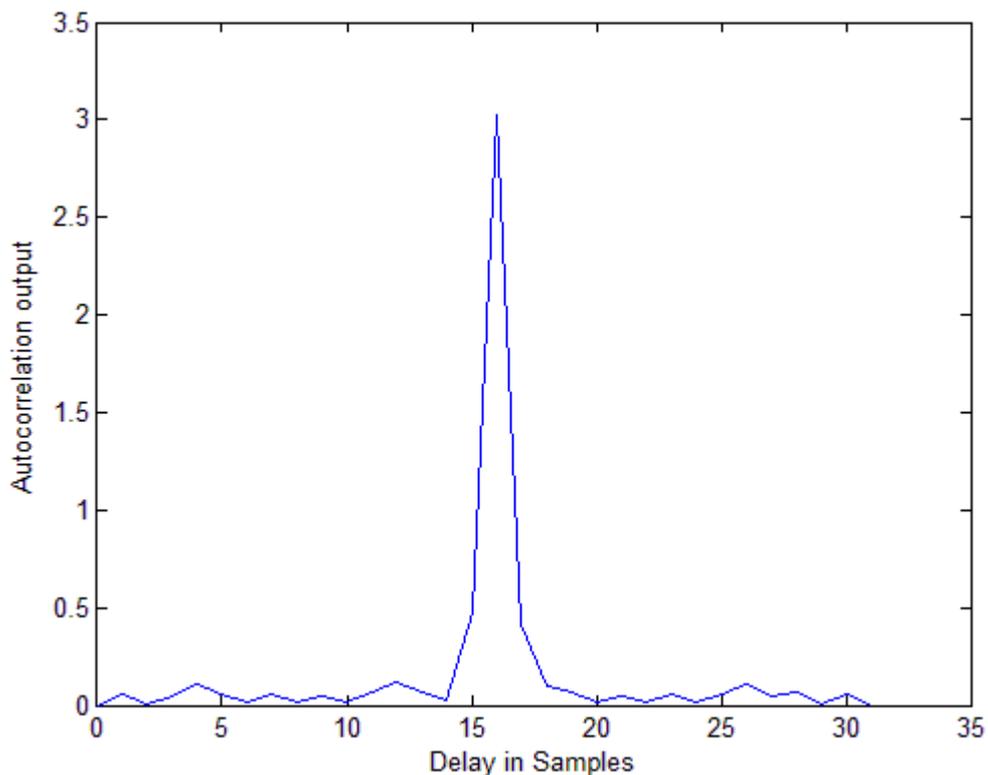


Figura 3. 3:Autocorrelación de una secuencia de sincronización entre símbolos.  
Elaborado por: Autor.

Utilizando una estructura de sincronización unificada, la corrección de desplazamiento de frecuencia se produce en paralelo con la temporización

de símbolos. La diferencia de fase máxima entre dos símbolos de preámbulo repetidos en la misma banda no excederá de  $0.3\pi$ . Dado que el intervalo mínimo entre dos símbolos de preámbulo repetidos en la misma banda en todos los TFC no excederá de 3 períodos de símbolo, se estimala fase del valor de autocorrelación para 2 símbolos consecutivos.

Una vez que se elimina el prefijo cíclico de cada símbolo, se envía al bloque FFT que convierte los símbolos en el dominio de la frecuencia. La salida FFT toma dos caminos: uno para crear una estimación de canal y el otro como entrada para un ecualizador, tal como se mostró en la figura 3.2. Como cada subcanal OFDM se puede ver como un canal de desvanecimiento plano, se procedió a utilizar el estimador de canal de mínimos cuadrados con símbolos piloto insertados en la cabecera del paquete (en el dominio de la frecuencia). El símbolo piloto recibido en cada subcanal se relaciona con el símbolo piloto transmitido en el mismo subcanal por la ecuación.

Posteriormente, el ecualizador de OFDM se simplifica significativamente debido a la propiedad del subcanal de banda estrecha. Dado que cada símbolo OFDM se envía en 2 bandas, se podría utilizar tanto las señales que utilizan diversidad para mejorar el rendimiento de BER. También, se usa la técnica de combinación de máxima relación donde se combinan todas las señales debido a la multitrayectoria de forma escalonada y ponderada para tener la relación S/N alcanzable más alta en el receptor en todo momento.

#### **3.4. Parámetros de simulación del sistema UWB.**

En esta sección se muestran los parámetros de simulación de la modulación QPSK utilizada en el sistema de banda ultra ancha. El diseño del front panel fue realizado con instrumentos virtuales de la plataforma LabView. La figura 3.4 muestra la interfaz gráfica de los parámetros de modulación QPSK. Los tipos de canales escogidos son: canal de ruido blanco aditivo gaussiano (*Additive White Gaussian Noise, AWGN*) y canal

UWB. Mientras que la diversidad, se utilizan tres parámetros que son: diversidad de símbolos, diversidad de múltiples portadoras. Para el caso de múltiples portadoras, se utilizan subportadoras aleatorias e información de canales previos (anteriores).

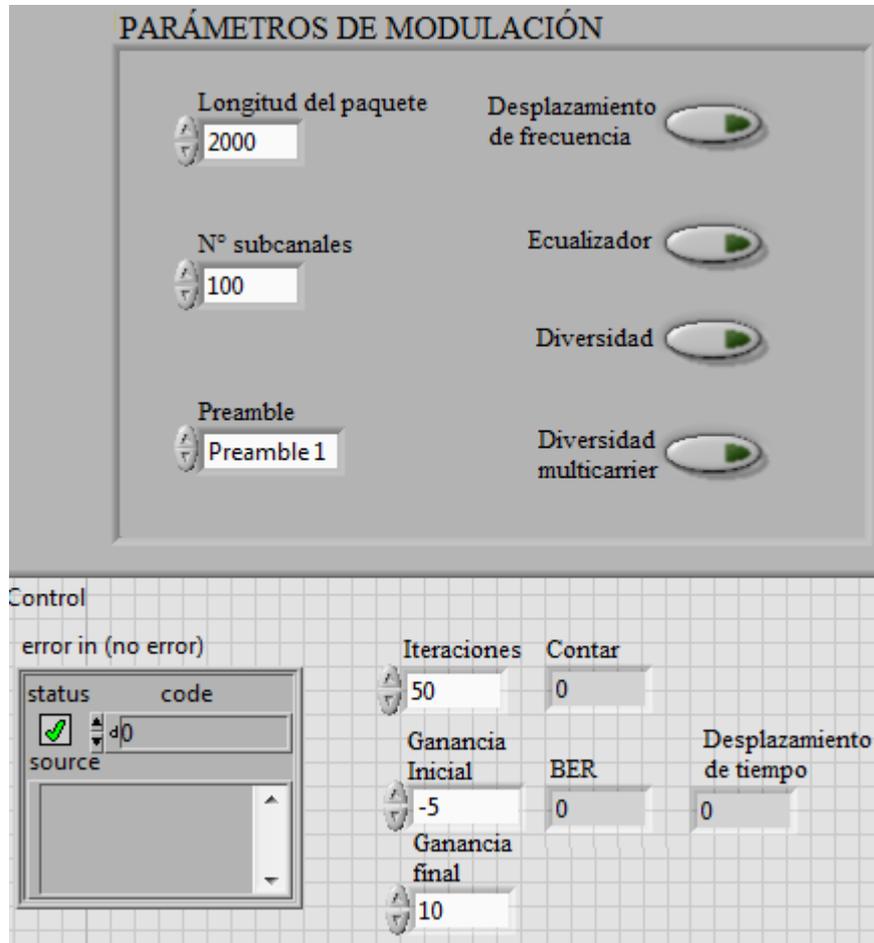


Figura 3. 4: Interfaz gráfica de los parámetros de modulación QPSK en LabView.  
Elaborado por: Autor.

Los dos tipos de canales definidos en este experimento y el rendimiento de BER serán evaluados en cada canal considerando varios factores críticos. De acuerdo con las especificaciones del canal AWGN, la señal recibida  $y(t)$  se puede expresar como una adición de la señal transmitida  $x(t)$  y el ruido gaussiano blanco como  $w(t)$ , es decir:

$$y(t) = x(t) + w(t)$$

Mientras que el canal UWB incorpora un multitrayecto fuerte, con varias réplicas superpuestas de una señal transmitida. Las réplicas de la señal de

propagación están igualmente espaciadas en el tiempo, con amplitudes que dependen tanto de la distancia como del retardo. El modelo asume que todos los parámetros de canal son variables aleatorias con distribuciones específicas y bien definidas.

En la figura 3.5 se muestra la interfaz gráfica del control de parámetros de canales del sistema UWB.

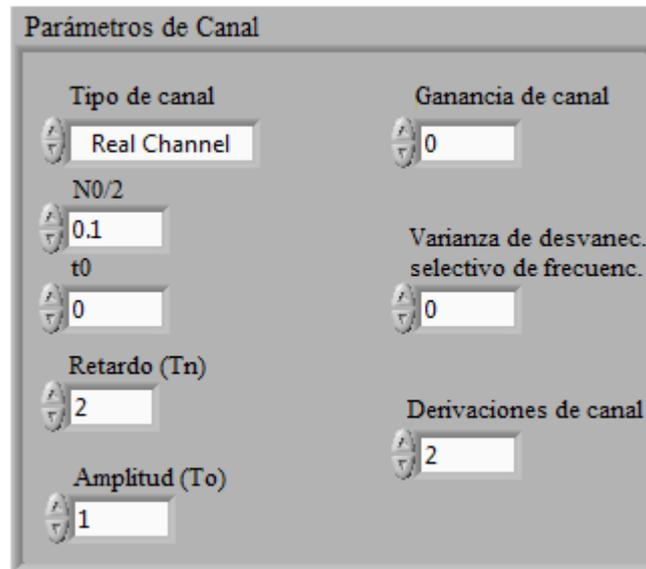


Figura 3. 5: Interfaz gráfica de los parámetros de canales en LabView.  
Elaborado por: Autor.

### 3.5. Resultados obtenidos de simulación del sistema UWB.

Esta sección muestra los resultados obtenidos del desempeño de la BER sobre el canal AWGN y de las técnicas de diversidad de múltiples portadoras.

#### 3.5.1. Rendimiento de la BER en canales AWGN.

La prueba realizada en esta sección fue la de evaluar el rendimiento de la BER del sistema cuando la señal UWB pasa a través de un canal AWGN. Cada componente de ruido  $w(n)$  es una variable aleatoria gaussiana compleja con una variación de 0.01/0.1 y se agrega a cada símbolo transmitido. El ecualizador sencillo ha sido diseñado para cancelar las degradaciones del canal al ecualizar la salida utilizando la estimación del canal.

En la figura 3.6 se observa que a medida que aumenta la potencia de la señal, disminuye la BER.

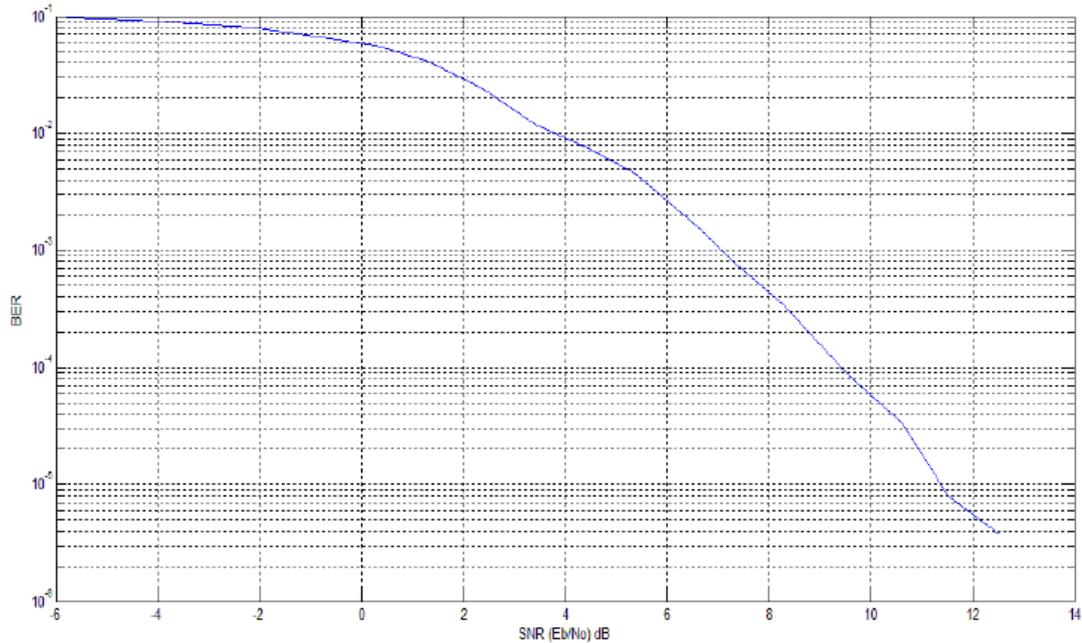


Figura 3. 6:Tasa de error de bits (BER) del rendimiento en canales AWGN.  
Elaborado por: Autor.

### 3.5.2. Rendimiento de la BER para sistemas con y sin técnicas de diversidad.

La prueba realizada en esta sección fue la de evaluar el rendimiento de la BER del sistema utilizando la diversidad de símbolos y la diversidad de múltiples portadoras y comparar los resultados para ver cualquier mejora. Se evalúa la curva SNR-BER para seis escenarios de canales diferentes basados en los valores de  $\tau_n$ ,  $\tau_0$  y N (número de componentes multitrayecto). Para evaluar la mejora del rendimiento, los experimentos se realizaron enviando los datos en más de una banda y en más de una subportadora en un símbolo OFDM. A continuación, se describen los escenarios a evaluar en esta sección:

1. Sin esquema de diversidad, en el cual simplemente se realiza ecualización para eliminar los efectos del canal, la dispersión, ISI, etc.

2. Esquema de diversidad multibanda, donde se transmite un símbolo OFDM en diferentes frecuencias y realizamos múltiples copias de la misma señal para mejorar el rendimiento de la BER.
3. Esquema de diversidad de múltiples portadoras, donde se transmiten los mismos datos en diferentes subportadoras ortogonales entre sí en un símbolo OFDM y con eso se mejora el rendimiento de la BER.
4. Esquema de diversidad de múltiples portadoras conociendo la información del canal, donde se mejora el rendimiento conociendo la periodicidad de la función de transferencia de canales y enviando los datos de manera diferente a las diferentes subportadoras.

Cuando se envía un símbolo OFDM en la banda de frecuencias desde 2.41GHz ~ 2.46GHz, se sabe que la primera frecuencia de subportadora tiene menos desvanecimiento y la última frecuencia de subportadora tiene mayor desvanecimiento. Al conocer esta información de canal, enviamos los mismos datos en la subportadora 1 y la subportadora 100 con sensatez para aprovechar al máximo la diversidad de los portadores múltiples.

Finalmente, se evalúa el rendimiento de la BER del sistema mediante la realización de diversidad multibanda y diversidad multiportadora y vemos su influencia en el siguiente conjunto de curvas que se muestran en la figura 3.7. Las figuras 3.7 a 3.9 se muestran las gráficas para los tres escenarios simulados, el primer escenario utilizamos 1 derivación, para el segundo escenario 4 derivaciones y el tercer escenario con 7 derivaciones. Los retardos ( $\tau_n$ ) en las muestras simuladas entre dos componentes de trayectorias múltiples consecutivas, es igual a 6 ns.

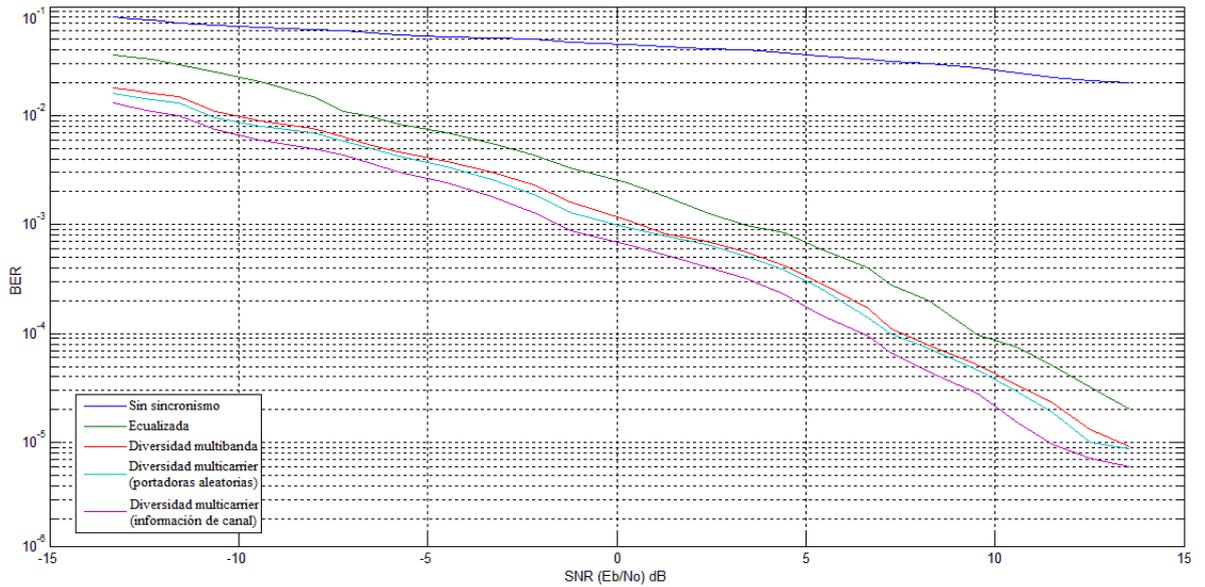


Figura 3. 7: Rendimiento BER (escenario 1) del canal UWB para una derivación.  
Elaborado por: Autor.

Los resultados muestran que la BER mejora mediante el uso de un mecanismo de diversidad. Como se tiene un modelado de canal de línea de retardo con  $n$  derivaciones igualmente espaciados y una función de transferencia exponencial, las frecuencias de subportadoras en cada símbolo OFDM experimentarán un desvanecimiento similar para las constantes  $\tau_0$  y  $N$ .

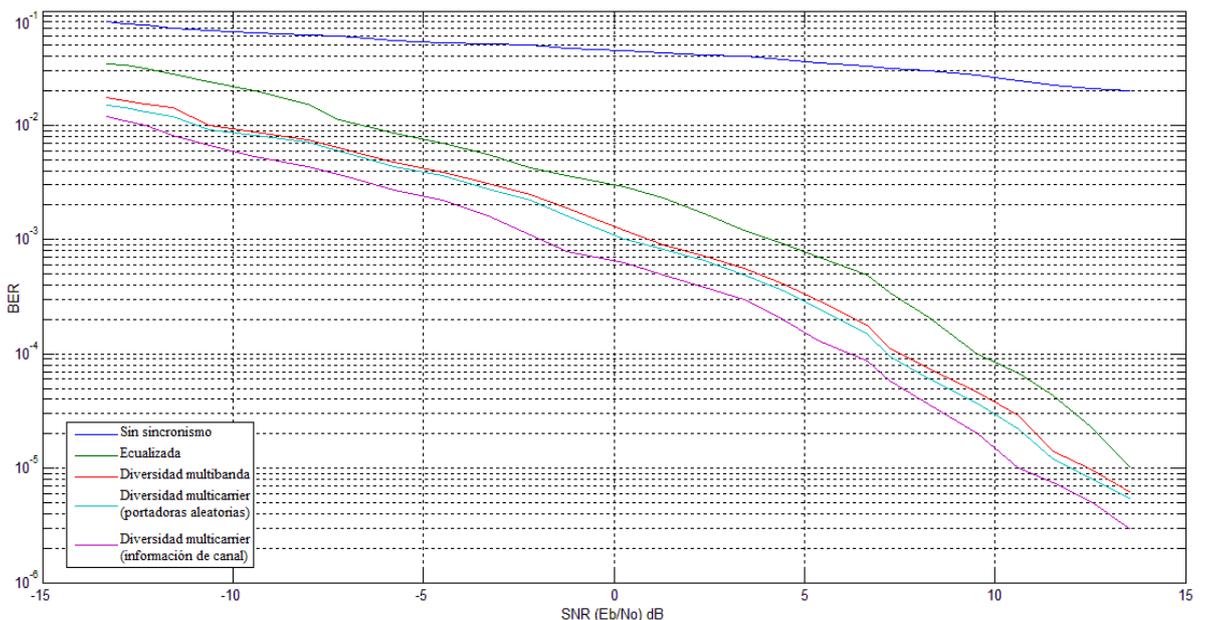


Figura 3. 8: Rendimiento BER (escenario 2) del canal UWB para cuatro derivaciones.  
Elaborado por: Autor.

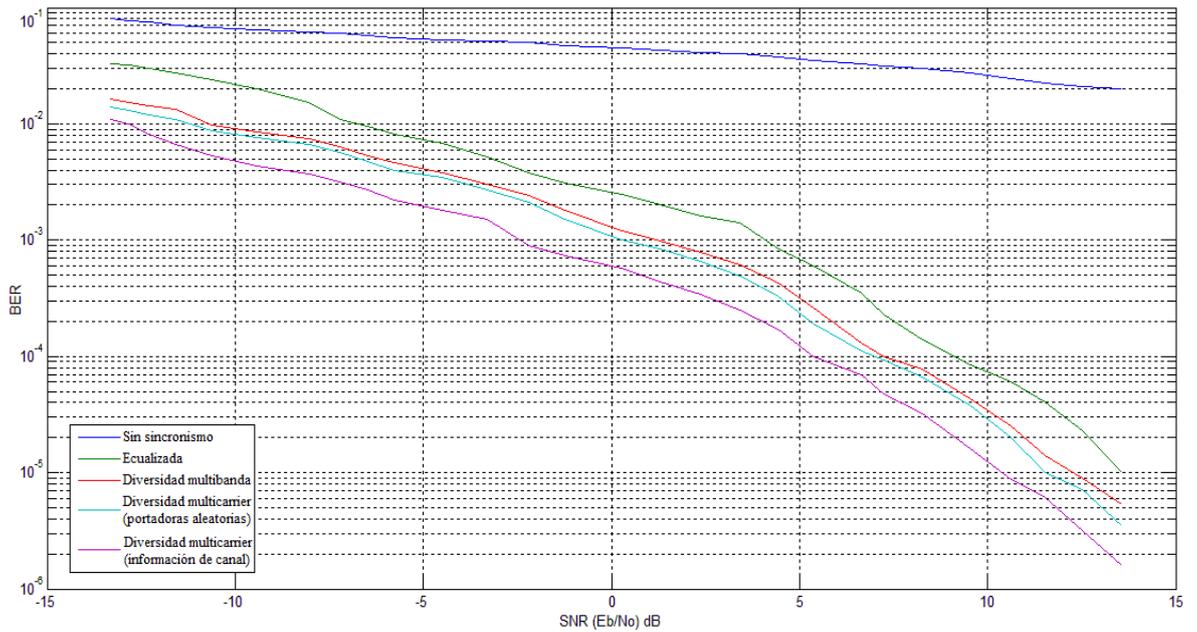


Figura 3. 9: Rendimiento BER (escenario 3) del canal UWB para siete derivaciones. Elaborado por: Autor.

La diversidad de múltiples portadoras muestra un aumento marginal en el rendimiento sobre la diversidad ya que la posibilidad de enviar los datos en dos frecuencias con diferentes desvanecimientos es alta. El rendimiento de BER es el mejor cuando realizamos la diversidad de múltiple portadora conociendo la información del canal de antemano.

A medida que aumenta el retardo entre los componentes multitrayecto (para este caso  $\tau_n = 12 \text{ ns}$ ), el rendimiento general de la BER del sistema mejora tanto para la diversidad multibanda como para la diversidad de múltiples portadoras en comparación con el escenario anterior en que se considera a  $\tau_n = 6 \text{ ns}$ .

En las figuras 3.10 a 3.12 se muestran las curvas de rendimiento de la BER en canales UWB utilizando ecualización, diversidad de símbolos y diversidad de múltiples portadoras con las mismas derivaciones o taps de los tres primeros escenarios vistos en las figuras 3.7 a 3.9.

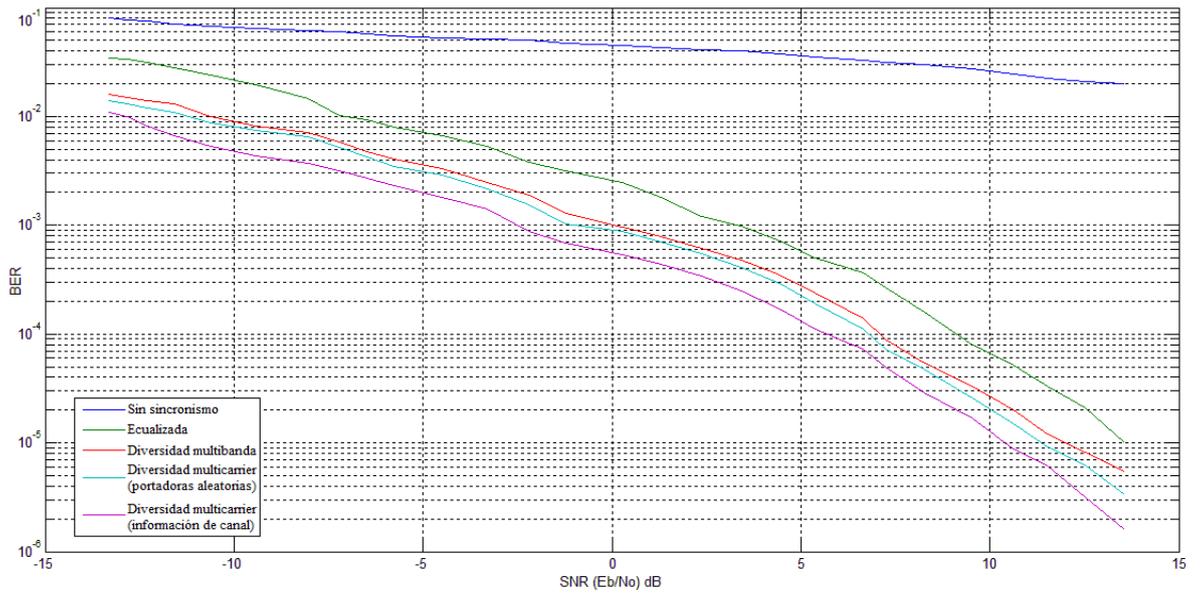


Figura 3. 10: Rendimiento BER (escenario 4) del canal UWB para una derivación.  
Elaborado por: Autor.

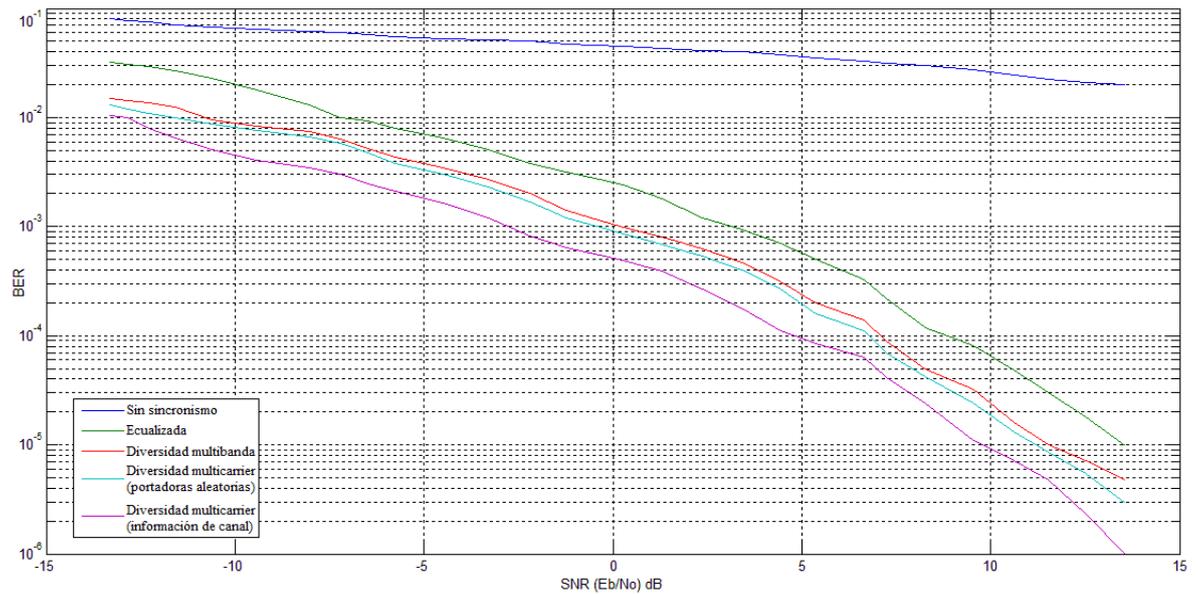


Figura 3. 11: Rendimiento BER (escenario 5) del canal UWB para cuatro derivaciones.  
Elaborado por: Autor.

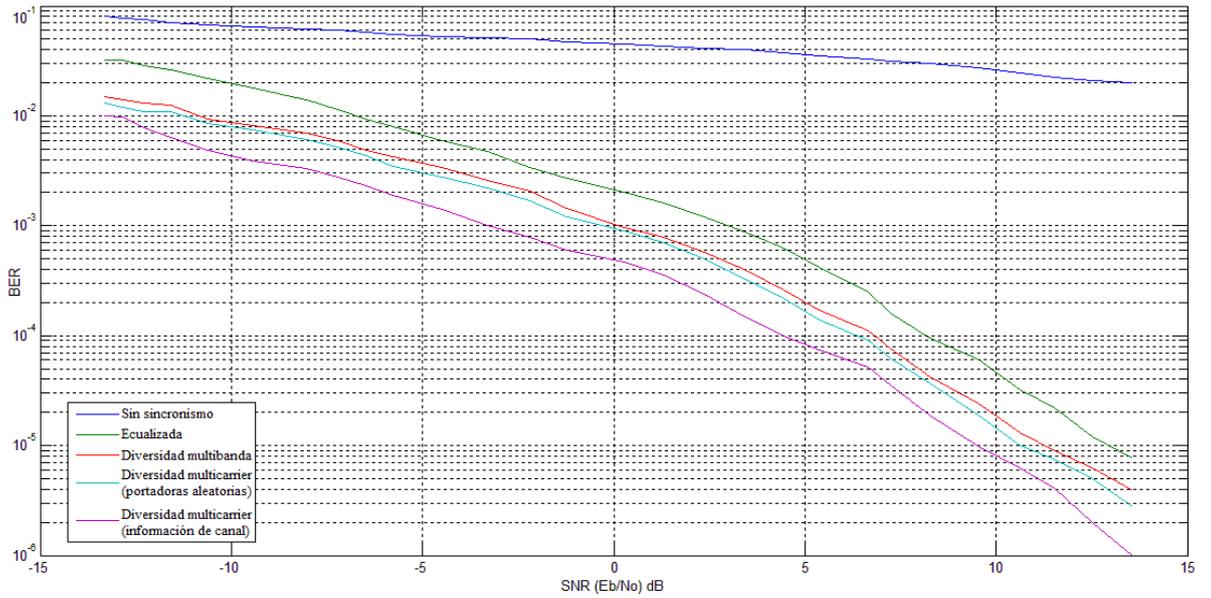


Figura 3. 12: Rendimiento BER (escenario 6) del canal UWB para siete derivaciones.

Elaborado por: Autor.

### 3.5.3. Efecto de los componentes de múltiples trayectos.

En esta sección se realizaron las simulaciones para ver cómo influyen los componentes multitrayectos en la BER manteniendo  $\tau_n$  y  $\tau_0$  constantes. Para el mismo retardo entre 2 copias de trayectos múltiples consecutivos (para  $\tau_n = 6$  y 12 muestras), el BER mejora marginalmente cuando aumenta la cantidad de derivaciones (taps) del canal UWB para la diversidad y diversidad de múltiples portadoras. El aumento en el número de derivaciones de canal aumenta el número de copias de multitrayectos de la misma señal UWB. Cuanta más cantidad de copias, mejor es el rendimiento de BER. En esta simulación, comparamos los resultados de BER del sistema sin diversidad, diversidad y diversidad multiportadora para 2, 4 y 7 derivaciones. En las figuras 3.13 y 3.14 se muestran las curvas de BER para  $\tau_n = 6$  y 12.

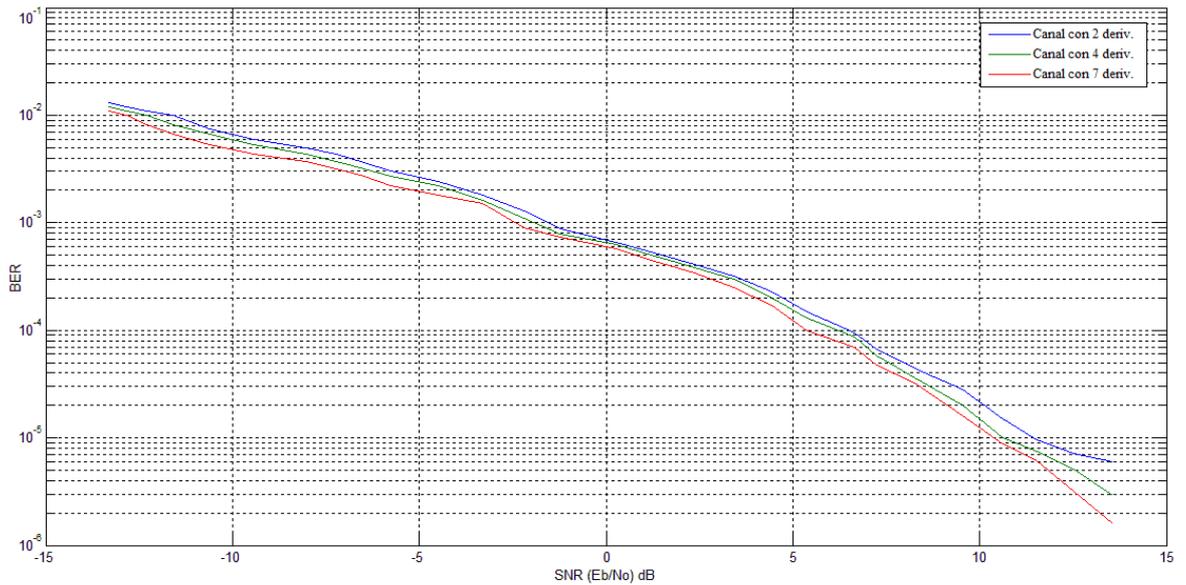


Figura 3. 13: Rendimiento BER (escenario 7) del canal UWB con diferentes derivaciones.

Elaborado por: Autor.

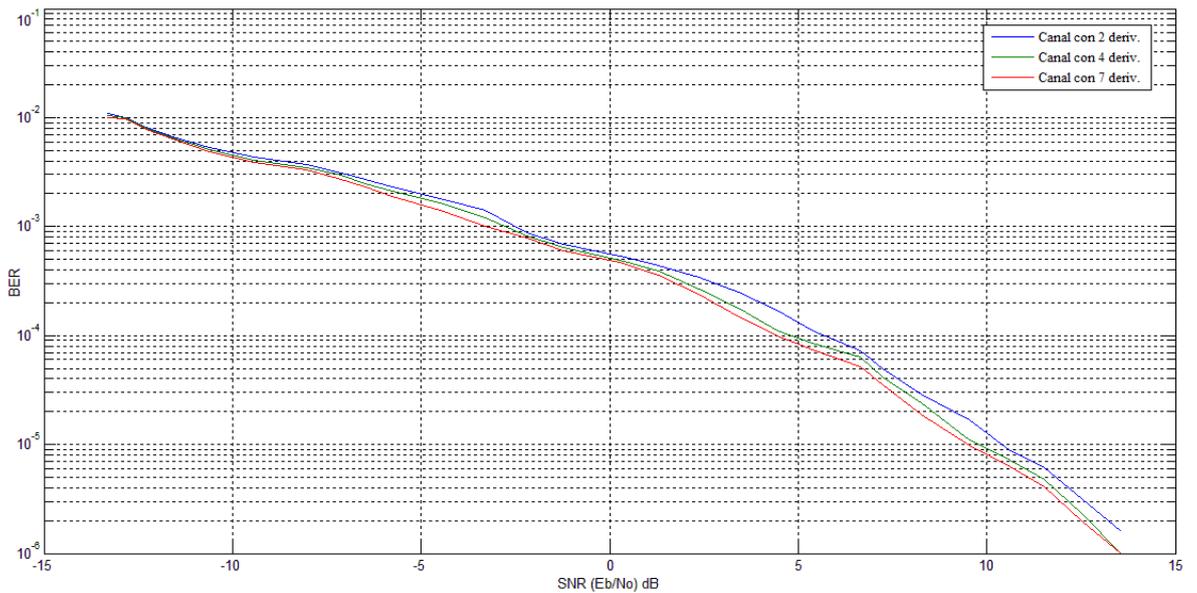


Figura 3. 14: Rendimiento BER (escenario 8) del canal UWB para siete derivaciones.

Elaborado por: Autor.

### 3.5.4. Efecto del retardo en los componentes de múltiples trayectos.

Finalmente, esta sección se realizaron las simulaciones para ver la influencia del retardo entre los componentes multitrayecto en la BER manteniendo constantes  $\tau_n$  y  $\tau_0$ . A medida que aumenta el retardo entre los componentes multitrayectorias, la función de transferencia de canales se vuelve más plana con menos desvanecimiento y el rendimiento del BER

mejora. El aumento de  $\tau_n$  disminuye el efecto de multitrayecto y la BER también disminuye para la misma relación S/N (llamada SNR). En este experimento, comparamos el rendimiento de BER para un sistema sin diversidad, con diversidad y diversidad multiportadora para diferentes valores de  $\tau_n$ .

En las figuras 3.15 y 3.16 se muestran las curvas del rendimiento de BER en el canal UWB para diferentes valores de retardos. Cabe señalar que los dos últimos escenarios de simulación, se trabajaron con 4 y 7 derivaciones respectivamente.

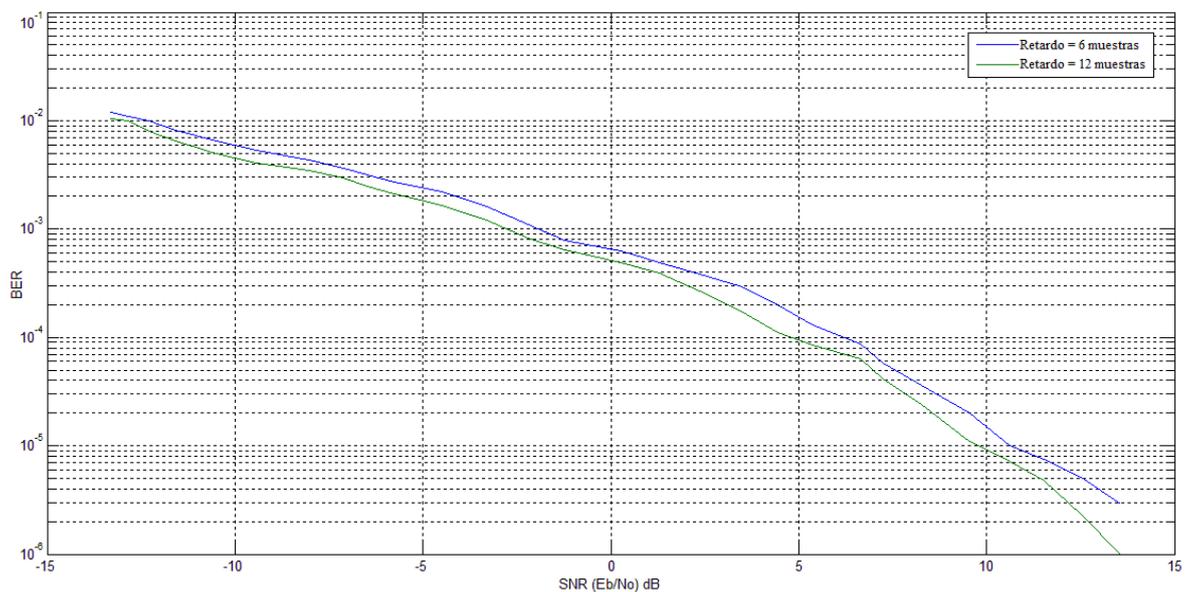


Figura 3. 15: Rendimiento BER (escenario 9) del canal UWB para diferentes retardos.

Elaborado por: Autor.

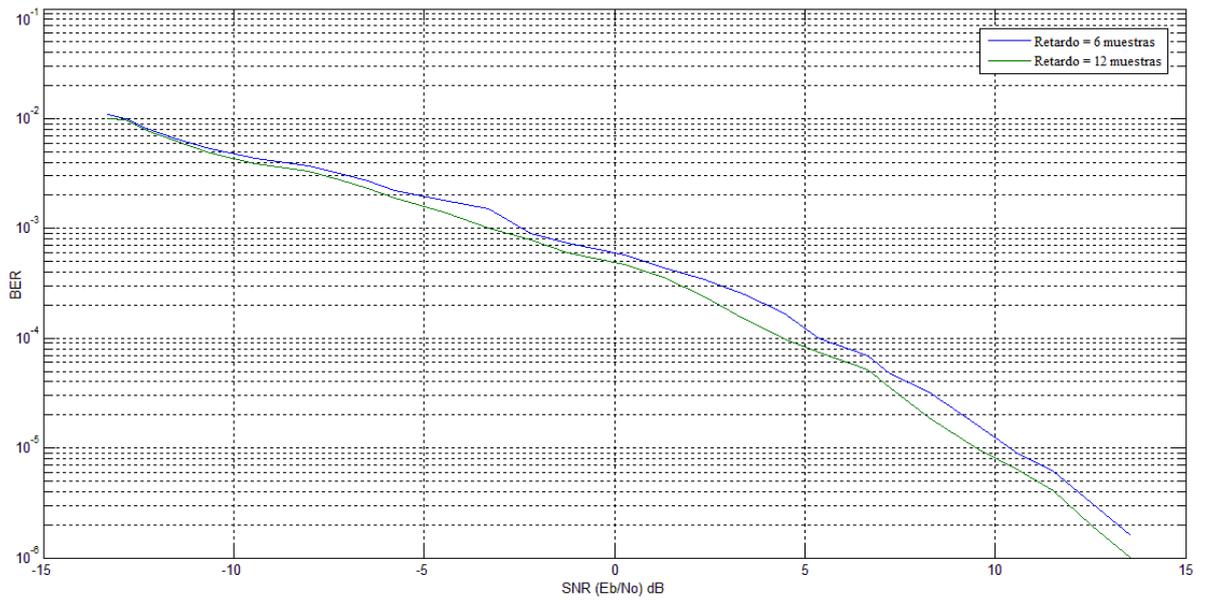


Figura 3. 16: Rendimiento BER (escenario 10) del canal UWB para diferentes retardos.

Elaborado por: Autor.

## Conclusiones

1. El examen complejo describe y explica la fundamentación teórica de sistemas de banda ultra ancha, con lo que permitió realizar el diseño e implementación del sistema UWB sobre la plataforma de instrumentos virtuales (LabView) y así poder evaluar su rendimiento pasando la señal UWB a través de diferentes escenarios de canales controlados por pocas variables.
2. Las simulaciones permitieron estudiar el aumento relativo del rendimiento del sistema utilizando la diversidad de símbolos, la diversidad de multi-portadoras sin conocer la información del canal y la diversidad de multi-portadoras conociendo la información del canal de antemano.
3. Los resultados muestran que el rendimiento de diversidad de símbolos es mejor que un sistema sin esquema de diversidad y la diversidad de multi-portadoras es mejor que la diversidad de símbolos. El rendimiento de BER es el mejor cuando se realiza la diversidad de multi-portadora conociendo la información del canal de antemano.

## **Recomendaciones**

1. Realizar modelos de simulación de sistemas de comunicación o del procesamiento de señales digitales utilizando la plataforma de instrumentos virtuales (LabView)
2. Implementar un detector de caídas basado en la detección de radares de banda ultra ancha.

## Bibliografía

- Abarca Calderón, F. (2013). *Diseño en Ingeniería Eléctrica mediante las funciones de onda esféricas prolatas*. Universidad de Costa Rica. Recuperado a partir de [http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proylic/Lic\\_2013\\_II/lic13\\_14.pdf](http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proylic/Lic_2013_II/lic13_14.pdf)
- Ali, T., Siddiqua, P., & Matin, M. A. (2014). Performance Evaluation of Different Modulation Schemes for Ultra Wide Band Systems. *Journal of Electrical Engineering*, 65(3), 184–188. <https://doi.org/10.2478/jee-2014-0029>
- Blanco Barreto, A., Justo Morales, J., & Lavandera Hernández, I. (2014). Análisis y diseño de un monopolo impreso para UWB. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 35(1), 16–32.
- Del Risco Sánchez, A., & Cruz Hurtado, J. C. (2013). Diseño de un Modulador/Demodulador OOK con portadora y tasa de transmisión configurable para el estándar de baja frecuencia de dispositivos RFID. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 34(3), 52–62.
- Di Benedetto, M.-G. (Ed.). (2006). *UWB communication systems: a comprehensive overview*. New York, NY: Hindawi Publ.
- Goyal, V., & Dhaliwal, B. S. (2017). Performance Improvement of Ultra Wideband Multiple Access Modulation System using a new Optimal Pulse Shape. *Advanced Electromagnetics*, 6(1), 20–28. <https://doi.org/10.7716/aem.v6i1.424>
- Matary, D. E. E., Hagra, E. A. A., & Abdel-Kader, H. M. (2017). Multi-user Communication Based OFDM-UWB System under Gaussian and Non-Gaussian Noisy Channel. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 5(4), 136–143. <https://doi.org/10.12691/ajeee-5-4-3>

- Mohanty, M., Bhol, M., Mishra, L., & Mishra, S. (2014). Design and analysis of MIMO system for UWB communication. *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, 6(2), 101–109.
- Nekoogar, F. (2011). *Ultra-wideband communications: fundamentals and applications*. Place of publication not identified: Prentice Hall.
- Pagani, P., Talom, F., Pajusco, P., & Uguen, B. (Eds.). (2008). *Ultra-wideband radio propagation channels: a practical approach*. London, UK : Hoboken, NJ, USA: ISTE ; Wiley.
- Perrat, B., Smith, M. J., Mason, B. S., Rhodes, J. M., & Goosey-Tolfrey, V. L. (2015). Quality assessment of an Ultra-Wide Band positioning system for indoor wheelchair court sports. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 229(2), 81–91.  
<https://doi.org/10.1177/1754337115581111>
- Ruiz Cruz, J. (2008). Introduccion a los Sistemas de Banda Ultra Ancha (UWB) [Apuntes]. Recuperado el 1 de agosto de 2017, a partir de [http://arantxa.ii.uam.es/~tac/Documentacion/Tema\\_IV\\_Introduccion\\_UWB\\_ver0.pdf](http://arantxa.ii.uam.es/~tac/Documentacion/Tema_IV_Introduccion_UWB_ver0.pdf)
- Sachs, J. (2012). *Handbook of ultra-wideband short-range sensing: theory, sensors, applications*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Sadough, S. (2008). *Ultra Wideband OFDM Systems: Channel Estimation and Improved Detection Accounting for Estimation Inaccuracies* (Tesis Doctoral). Signal and Image processing, Paris, Janvier. Recuperado a partir de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00232879/document>
- Siwiak, K., & McKeown, D. (2004). *Ultra-wideband radio technology*. Chichester, England: Hoboken, NJ : Wiley. Recuperado a partir de <http://www.books24x7.com/marc.asp?bookid=31915>

Suárez Páez, J., & Llano Ramírez, G. (2010). Revisión del estado del arte de IR-Ultra-Wideband y simulación de la respuesta impulsiva del canal IEEE 802.15.4a. *Ingeniería y Ciencia*, 6(11), 105–127.

Zwick, T., Wiesbeck, W., Timmermann, J., & Adamiuk, G. (Eds.). (2013). *Ultra-Wideband RF System Engineering*. Cambridge: Cambridge University Press. Recuperado a partir de <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781139058957>

## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **Coello Vásquez, Vicente Javier** con C.C: # 120492439-1 autor del trabajo de titulación: Implementación del sistema UWB aplicando símbolos OFDM y técnicas de diversidad de múltiples portadoras utilizando LabView, 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, 10 de noviembre del 2017

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Coello Vásquez, Vicente Javier**

C.C: 120492439-1

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Implementación del sistema UWB aplicando símbolos OFDM y técnicas de diversidad de múltiples portadoras utilizando LabView		
<b>AUTOR(ES)</b>	Coello Vásquez, Vicente Javier		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	MSc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; MSc. Bohórquez Escobar Celso / MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>PROGRAMA:</b>	Maestría en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	22 de junio de 2017	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	60
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Teoría de la Comunicación, Comunicaciones Inalámbricas, Instrumentación Virtual.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Modulación, Sistemas, Símbolos, Comunicaciones, UWB, OFDM, BER.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>Durante la formación de magister en telecomunicaciones, surge la idea de implementar un sistema de banda ultra ancha, generalmente conocida como UWB y comúnmente operan en comunicaciones de radiofrecuencia (RF), ya sea utilizando cualquier plataforma de simulación. MatLab y LabView son dos herramientas de simulación robustas al momento de ejecutar las simulaciones. Cada plataforma cuenta con librerías y herramientas disponibles para el modelamiento de sistemas UWB y otros. Se escogió a LabView porque permite diseñar interfaces gráficas de usuarios (llamados GUIDE), aunque también lo tiene MatLab, pero LabView es más interactivo. Después se describen los fundamentos teóricos de los sistemas UWB, también se explican los diferentes esquemas de modulación. Posteriormente, se desarrolla la interfaz gráfica del sistema UWB aplicando símbolos OFDM y técnicas de diversidad de múltiples portadoras utilizando LabView. Finalmente, se analizaron los resultados obtenidos de los diez escenarios de simulación para observar el rendimiento de la tasa de error de bits (BER).</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0997223934	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:coello88@hotmail.com">coello88@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Manuel Romero Paz		
	<b>Teléfono:</b> 0994606932		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:mromeropaz@yahoo.com">mromeropaz@yahoo.com</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			