



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE  
LOCALIZACIÓN DE PERSONAS BAJO ESCOMBROS  
UTILIZANDO TECNOLOGÍA UWB PARA ZONAS DE  
DESASTRES”

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

XAVIER FERNANDO AGUAYO MURILLO

ALEX CHRISTIAN ZAMBRANO MORA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro más sincero agradecimiento a Dios, a la Santísima Virgen María, y a nuestros padres y hermanos que nos ayudaron a seguir adelante en los momentos difíciles de nuestra carrera.

También le agradezco la ayuda y apoyo en la materia integradora con la revisión de mi proyecto de grado e información de la cual se pudo realizar los temas propuestos, al MSc. Vladimir Sánchez Padilla.

Por la ayuda en la sección de simulación del proyecto se le agradece al Ing. Franklin Kounqui por la paciencia en darnos un curso intensivo de Simulink.

Al MSc. Efrén Herrera Muentes se le agradece el apoyo prestado con información de simulaciones en MATLAB-SIMULINK.

**Xavier Fernando Aguayo Murillo**

**Alex Christian Zambrano Mora**

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios y a mi querida familia, por su apoyo en todo esta etapa de mi vida; y también a mi tío y padrino José Antonio Murillo González quien fue, es y será mi ángel de la guarda por encontrarse en este momento en el cielo, seguro que feliz, ya que su mayor anhelo se ha cumplido al verme culminar mi carrera de ingeniero, y todo lo que de ahora en adelante realice será en nombre de ellos.

**Xavier Fernando Aguayo Murillo**

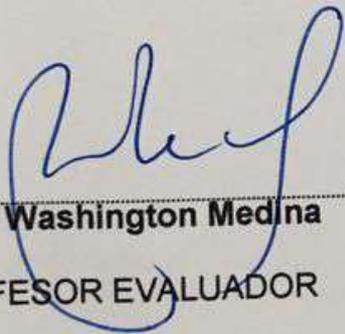
Dedico el presente proyecto en primer lugar a Dios Todopoderoso y a la Santísima Virgen María, ya que sin ellos no hubiéramos podido concretar el proyecto.

En segundo lugar a mis padres, mis hermanos y a mi sobrino y espero que pueda servir de inspiración para el cuando él tenga que decidir su futuro profesional.

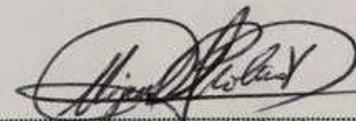
A mis maestros y compañeros de aula quienes estuvieron a lo largo de mi carrera profesional y que contribuyeron a que hoy pueda culminar este proyecto.

**Alex Christian Zambrano Mora**

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



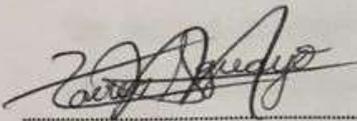
-----  
**MSc., Washington Medina**  
PROFESOR EVALUADOR



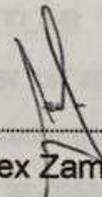
-----  
**MSc., Miguel Molina V.**  
PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Xavier Aguayo Murillo



Alex Zambrano Mora

## RESUMEN

Luego de un fenómeno natural, como puede ser un derrumbe o terremoto, muchas personas quedan atrapadas bajo los escombros de edificaciones, quedando con poco oxígeno y con heridas, por lo que los rescatistas al no conocer la posición exacta invierten muchos días o incluso semanas en hallar a las víctimas.

Teniendo el tiempo en contra, para dicho rescate, se ha de hacer la búsqueda en puntos específicos en el menor tiempo posible, ya que sabiendo el lugar de ubicación del objetivo se podría rescatar más personas rápidamente.

En Europa se implementó un radar que permite localizar personas desaparecidas bajo escombros, diseñado por RADIOTEC, logrado en alianza estratégica con la Institución de Educación Superior Alemana LImenau y Crabbe Consulting.

Se realiza el diseño del receptor, transmisor y canal en MATLAB 2014 donde recurriremos a bloques propios de telecomunicaciones para tener un medio lo más cercano a la realidad, tomando en cuenta las pérdidas por los distintos materiales propios de una edificación, donde se busca el cambio que hace la respiración y las palpitaciones del corazón, como un modulador natural, lo cual es un aviso de un sobreviviente.

Los resultados de la simulación en MATLAB muestran que un cambio en las palpitaciones del cuerpo humano implica tener alteraciones en la señal, que para efectos de simulación será un coseno alzado, que se usa para representar a la persona atrapada bajo los escombros, si este sigue vivo su corazón sigue generando una señal de la cual se detecta la onda reflejada para indicar que hay una persona bajo el dispositivo.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA UWB .....	1
1.1. Problemática .....	1
1.2. Justificación.....	2
1.2.1. Justificación Social .....	2
1.2.2. Justificación Técnica .....	3
1.3. Objetivo General .....	4
1.4. Objetivos Específicos .....	4
1.5. Estado del arte .....	4
1.6. Metodología .....	7
1.7. Alcance del proyecto.....	8
CAPÍTULO 2.....	10
2. CONCEPTOS, REGULACIÓN Y DISPOSITIVOS DE LA TECNOLOGÍA UWB .....	10
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA UWB.....	10
2.2. HISTORIA .....	11
2.3. REGULACIONES DEL UWB EN DIFERENTES PAÍSES .....	14
2.4. ANTENAS UWB.....	18

2.5.VENTAJAS.....	20
2.6.PROPIEDADES DEL UWB .....	21
2.6.1. PODER DE TRANSMISIÓN .....	21
2.6.2. CAPACIDAD.....	21
2.6.3. RESISTENCIA AL DESVANECIMIENTO POR MULTITRAYECTO .....	23
2.6.4. EXCELENTE RESOLUCIÓN TEMPORAL.....	24
2.6.5. FACTOR DE PROPAGACION .....	24
2.6.6. ASIGNACION NO EXCLUSIVA DEL ESPECTRO .....	25
2.7.UWB SOBRE CABLES .....	25
2.8.UWB COMO COMPETENCIA .....	25
2.9.CARACTERÍSTICAS EN TIEMPO Y EN FRECUENCIA DE LAS SEÑALES UWB .....	26
2.10.DESARROLLO DEL SISTEMA DE PULSOS UWB EN RADARES .....	33
2.10.1. Selección de la F.O. (Frecuencia de Operación):.....	33
2.10.2. Sistema UWB de Radar de Pulso 8-10 GHz: .....	36
2.10.3. Comparaciones de varias formas de pulsos para DS-UWB sobre canal UWB.....	37
2.11.DETECCIÓN Y MECANISMO PARA DETECTAR PERSONAS .....	39
2.11.1. Localización y Rastreo UWB vs RF e infrarrojo:.....	39
2.12.OFDM.....	40
2.12.1. OFDM DIVIDIDO EN MULTI-BANDAS.....	40
2.12.2. RESISTENCIA AL MULTI-CAMINO .....	42
2.12.3. ASIGNANDO TONOS .....	44
2.12.4. PROMEDIO PICO DE RELACION DE POTENCIA (PAPR).....	44
2.12.5. ESPECTRO FLEXIBLE .....	45
2.12.6. COMPLEJIDAD Y EL CONSUMO DE ENERGIA.....	45

2.13. Análisis de signos vitales usando IR-UWB .....	46
CAPÍTULO 3 .....	49
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE PERSONAS Y PARÁMETROS A USARSE .....	49
3.1. Diagrama de bloques del sistema de detección de personas usando UWB .....	49
3.2. Desarrollo de los bloques y selección de parámetros del sistema. ..	50
3.2.1. Tabla de parámetros relevantes. ....	50
3.2.2. Tabla de pérdidas en diferentes materiales .....	51
3.3. Sistema UWB en MATLAB .....	52
3.3.1. Sistema Transmisor UWB .....	52
3.3.2. Diseño del Canal en Matlab-Simulink .....	53
3.3.3. Sistema Receptor UWB .....	55
CAPÍTULO 4 .....	59
4. SIMULACIONES Y RESULTADOS DEL SISTEMA UWB EN MATLAB-SIMULINK .....	59
4.1. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN MATLAB SIMULINK .....	59
4.2. Problemas que se presentaron durante el diseño del Sistema. ....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	66
BIBLIOGRAFÍA .....	68
ANEXOS .....	72
ABREVIATURAS .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Bombero busca sobreviviente en un domicilio de manta [17] .....	5
Figura 1.2 Una aplicación del UWB al detectar movimiento [18] .....	6
Figura 1.3 El Lenovo T61p incorpora UWB [9] .....	7
Figura 1.4 Simulaciones con MATLAB de El efecto de banda estrecha y banda ancha de interferencia en la VER de enlaces MB-OFDM UWB [19]....	8
Figura 1.5 Gráfico de Densidad de espectral de potencia vs frecuencia [20] .	9
Figura 2.1 XeThru UWB radar utilizado para localización en lugares interiores [21].....	14
Figura 2.2 Estructura del sistema matricial de UWB Loop [22] .....	19
Figura 2.3 Modelo BroadSpec en el mercado, marca pulson [23] .....	20
Figura 2.4 PSD de varios sistemas [16] .....	21
Figura 2.5 Capacidad vs rango [16] .....	23
Figura 2.6 Espectro de una banda estrecha y UWB en presencia de desvanecimiento por multi-trayecto [16] .....	24
Figura 2.7 Sistemas inalámbricos [16] .....	26
Figura 2.8 Diagrama detallado de un diseño previo de un Sistema de Imagen de Radar [24] .....	34
Figura 2.9 Diagrama detallado del Sistema Transmisor-Receptor de Imagen de Radar 8-10 GHz [25].....	37
Figura 2.10 Reglamentación del espectro [29].....	41
Figura 2.11 Frecuencias de las sub-bandas para sistemas multi-banda OFDM que usaremos para la simulación [27] .....	41
Figura 2.12 Código de dispersión tiempo-frecuencia para modo 2 en MB-OFDM UWB [28].....	42
Figura 2.13 Arquitectura de un sistema OFDM multi-banda para lo que es transmisión de datos [27].....	42

Figura 2.14 Captura de energía multi-camino en función de la longitud del CP para 4 a 10 m en canales NLOS [27].....	43
Figura 2.15 Prefijo cíclico e intervalo de guarda en MB-OFDM [28] .....	44
Figura 2.16 UWB-radar para monitorear [31].....	47
Figura 2.17 Forma de ondas de tiempo normalizado[31].....	48
Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema UWB. ....	49
Figura 3.2 A) Diagrama de bloques Transmisor UWB y B) Modulador del sistema. ....	52
Figura 3.3 Diagrama de bloques del Canal.....	54
Figura 3.4 Diagrama de bloques del Receptor.....	55
Figura 3.5 Diagrama de Bloques en Simulink del Sistema Total UWB. ....	57
Figura 3.6 Diagrama de Bloques en Simulink del Canal de la onda reflejada con las atenuaciones para distintos materiales.....	58
Figura 4.1 Parte Compleja de la Señal Transmitida.....	59
Figura 4.2 Parte Real de la Señal Transmitida. ....	59
Figura 4.3 Simulación a la Salida del transmisor. ....	60
Figura 4.4 Análisis Espectral a la salida del transmisor .....	61
Figura 4.5 Señal sin persona con su intervalo de frecuencia de muestra y su potencia en ese intervalo .....	61
Figura 4.6 Análisis Espectral reconocimiento de persona (a) .....	62
Figura 4.7 Análisis Espectral reconocimiento de persona (c). ....	62
Figura 4.8 Señal con la persona con su intervalo de frecuencia de muestra y su potencia en ese intervalo .....	63
Figura 4.9 Análisis Espectral reconocimiento de persona (b). ....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Limitaciones para varias aplicaciones [16].....	13
Tabla 2 Bandas de frecuencia en diferentes países [16] .....	17
Tabla 3 Clasificación de capa superior y capa inferior [16].....	18
Tabla 4 Características de materiales típicos de una construcción [25] .....	35
Tabla 5 Estimaciones de energía consumida para un sistema OFDM en 90 nm con CMOS [27] .....	46
Tabla 6 El noventa por ciento de éxito enlace distancia de probabilidad para un sistema OFDM multi-banda como una función de la velocidad de datos y el medio ambiente del canal [27] .....	46
Tabla 7 Parámetros Relevantes usados para el sistema.....	50
Tabla 8 Pérdidas en diferentes materiales [30].....	51

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA UWB

#### 1.1 Problemática

En el Cantón Pedernales, ubicado en la provincia de Manabí, epicentro de la catástrofe natural de magnitud 7,8 grados que azotó a Ecuador el 16 de abril del 2016, una gran cantidad de edificaciones y viviendas se desplomaron; según estimaciones del Profesor de la Universidad de San Francisco de Quito Dr. Florencio Delgado, relatadas a la Cadena BBC Mundo [1], la localidad fue destruida entre 70 y 80% [1]. Muchos de los habitantes de la ciudad que permanecían en el interior de las instalaciones de hospitales, centros comerciales, tiendas, viviendas, quedaron sepultados bajo los escombros de dichas edificaciones, unos a un par de metros, otros bajo varias capas de cemento.

En estas condiciones, el aire no llega al interior con facilidad y las personas en muchos casos mueren por asfixia, otros mueren al instante por golpe contundente con estructuras y otros con las horas van deshidratándose, para luego morir.

Al tratarse de una ciudad, la búsqueda de cuerpos se vuelve una lucha en extremo difícil ya que hay mucha gente bajo los escombros, toma tiempo encontrar el lugar donde se hallan las personas, y cubrir tanto terreno implica tener un grupo de búsqueda especializado muy numeroso para abarcar dicha de terreno; además como no se conoce a qué profundidad se encuentran los cuerpos y no se identifica el lugar exacto donde se hallan se puede convertir en una búsqueda poco eficiente, frustrante, desesperante y estropear entre sí las tareas de hallazgo, además de que al pasar algunos días las personas que hayan fallecido, sus restos comienzan a descomponerse provocando malos olores, dificultando las demás búsquedas para los socorristas y también pueden desencadenar epidemias.

Se conoce que para el método de rescate, el tiempo es un factor determinante, considerando que la cantidad de rescatistas no es suficiente cuando se da una

catástrofe como la que hubo en la zona norte de la provincia de Manabí y en la provincia de Esmeraldas, por lo que hubieron algunos sectores de esta región que no se atendieron con la inmediatez requerida. En Pedernales muchas personas quedaron bajo escombros y como no se sabía una ubicación específica, se tomaba como alternativa encontrar al azar o utilizar perros rescatistas para tratar de ubicar a las personas.

Al pensar en sacar personas entre escombros muy grandes, se tiende a utilizar maquinaria pesada que pueden terminar con la vida o mutilar a alguna persona que esté entre los cimientos, ya que no se conoce su ubicación exacta y se debe de tener mucho más cuidado en estas situaciones de rescate con estas maquinarias.

Otra afectación existe a nivel económico. Si bien es cierto se debe tener como prioridad salvar vidas, sin embargo el desconocer el lugar exacto de las víctimas obliga a usar los recursos de una manera ineficiente como: búsquedas a ciegas, desperdicio de tiempo, maquinaria y personal de rescate o voluntarios con poca o nula posibilidad de tener éxito en su labor.

Ante la necesidad inminente de salvar vidas en el menor tiempo posible, usando todos los recursos disponibles (tecnológico, de maquinaria pesada, y por supuesto humano) de la manera más eficiente, y con responsabilidad social y compromiso ético-profesional se presenta un diseño basado en la tecnología Ultra Wide Band (UWB), para contribuir como solución al problema arriba expuesto.

## **1.1. Justificación**

### **1.1.1 Justificación Social**

Según el Plan Nacional de Buen Vivir (resumen) pág. 54 y 55 el segundo objetivo planteado es: "Auspiciar la igualdad, la cohesión, la inclusión y la equidad social y territorial en la diversidad" [2].

El correspondiente reconocimiento igualitario de nuestros derechos como individuos conlleva la cohesión de políticas igualitarias que fomenten la inclusión y promuevan la convivencia político-social de los

individuos. Nuestro desafío es conseguir una plena igualdad en diversidad, rechazando la exclusión en todas sus formas, con el fin de tener una existencia digna, pudiendo tener educación, protección, salud, y la debida atención especial.

Esto quiere decir que todos los individuos necesitan ayuda sin importar su situación social, raza o religión.

### **1.1.2 Justificación Técnica**

Siempre se está buscando un sistema que pueda ser implementado con tecnología en la que se pueda tener más velocidad de transmisión, autonomía de funcionamiento y seguridad, siendo UWB una tecnología que puede cumplir con estas tres características.

Como es de conocimiento, el espectro radioeléctrico es limitado, UWB logra trabajar en bandas con licencia ya existentes, ya que por su potencia muy baja no causa interferencia en los usuarios que estén utilizando su canal de transmisión.

Por lo que el transmisor y receptor están sincronizadas, este último está en condiciones de rechazar señales que no sean de su respectivo emisor, y este puede enviar muchas emisiones para un control más exacto, ya sea para monitoreo o transferencias de datos.

Un aspecto de consideración del UWB es el consumo de la batería ya que por su baja potencia duraría más que otros dispositivos [3], dando una autonomía para que el usuario lo pueda tener en cualquier parte por más tiempo.

Por el lado de la seguridad es muy óptima, ya que para interferir se deberá conocer la secuencia de transmisión de los bits de información, que por tener una baja potencia se lo confunde como ruido de ambiente [3].

## 1.2 Objetivo General

Diseñar un sistema de localización de personas bajo escombros utilizando tecnología UWB

## 1.3 Objetivos Específicos

- Reconocer las bondades de la tecnología UWB frente a sistemas similares.
- Analizar los aspectos técnicos de la tecnología UWB.
- Adaptar la necesidad con las funciones que se podrían obtener mediante la correcta manipulación del UWB.
- Diseñar el sistema basándonos en el problema de ubicación bajo escombros, utilizando la respiración o latidos del corazón de la persona sepultada para encontrarlos, tomando las bases que los militares adoptaban para localizar las minas.
- Simular en software, para observar el comportamiento de las diferentes variables de dicha tecnología.
- Proponer un sistema en futuras catástrofes donde queden personas atrapadas y poder encontrarlas en el menor tiempo posible.

## 1.4 Estado del arte

Esta clase de sistemas son efectivos en catástrofes naturales (como sismos) o por acción humana (como accidentes en minas), o situaciones en donde personas quedan sepultadas vivas, debido a ello el tiempo es un factor de vital importancia al momento de rastrear cuerpos, tal como vemos en la Figura 1.1 donde el rescatista debe tomar decisiones contra el tiempo.



**Figura 1.1.1 Bombero busca sobreviviente en un domicilio de manta**  
**[17]**

En Europa se implementó un radar que permite localizar personas desaparecidas bajo escombros, diseñado por RADIOTEC, logrado en alianza estratégica con la Institución de Educación Superior Alemana LImenau y Crabbe Consulting [4].

En América del sur se hizo un estudio sobre cómo localizar personas bajo escombros realizada por la Fundación Universitaria San Martín [5].

Específicamente en Ecuador también se llevaron a cabo muchas investigaciones de las características de esta tecnología, describiéndolo como una futura herramienta para usos en la vida civil, ya que originalmente se lo usaba para capturar señales de minas por medios de imágenes de las mismas, y ya en la actualidad se pudo con ciertas normas aplicar en radares, pero en estos últimos años recién están con la idea de ubicar personas bajo escombros utilizando esta tecnología.

Otras de sus aplicaciones que se están estudiando es hacer monitoreo a personas con insuficiencias cardíacas.

En investigaciones realizadas de esta tecnología, se puede comparar con:

- Bluetooth, con respecto a la transferencia de datos.
- Wifi para la transmisión de señales, atravesando las paredes.

- Dispositivos Zigbee (son módulos que comunican microcontroladores o cualquier dispositivo que tenga un puerto serial).
- GPS, en el área de exactitud para localización, por lo que también el UWB se lo quiere usar para interiores.



**Figura 1.1.2 Una aplicación del UWB al detectar movimiento [18]**

La Figura 1.2 muestra las funciones que pueden realizar con un ancho de banda mayor de 500MHz o del 25% de la frecuencia central, y que también superan los 100Mbps, por lo que normalmente es inalámbrico, pero también se puede por medio de cables, ya que se lo puede definir como: “Transmisión de pulsos cortos con poca energía” [6].

La Universidad del Centro Nacional para la voz y el habla de Iowa y la Universidad de California en Davis Voz/habla están trabajando activamente en los sensores de voz utilizando la tecnología UWB [7], mientras Intel está impulsando el desarrollo de una plataforma basados en tecnología UWB para múltiples aplicaciones trabajen con un canal de radio que sea común para hacer más fácil la comunicación entre usuarios [8].

Una de las marcas de PCs es LENOVO (Ver Figura 1.3) que con una versión que es ThinkPad T61p que viene incluido UWB para el tema de transferencia de datos [9].

Una empresa francesa Move 'N See está usando unos chips transmisores de Ultra Wide Band de otra que se llama DecaWave, la cual es Irlandesa, que pueden usarse en aplicaciones de RFID (Radio Frequency Identification) & RTLS (Real Time Location System) que se quiere incorporar a los deportistas para crear videos con ellos practicando las diversas disciplinas que existen ya sea paracaidismo, atletismo, entre otros [10].

El caso de los miembros de la IEEE Yakup Kilic y Mark J. Bentum acerca de la Detección de Personas en Redes UWB [11].

El trabajo de Cheng Chang y Anant Sahai, ingenieros de la Universidad de California, Berkeley acerca de seguimiento de objetos en una red de sensores UWB en 2 dimensiones [12].



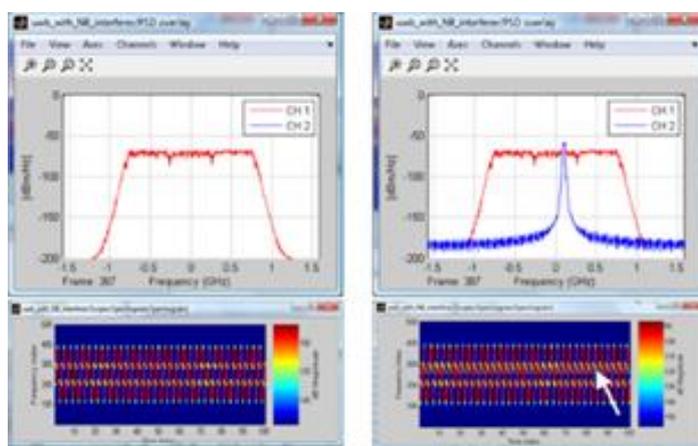
**Figura 1.1.3 El Lenovo T61p incorpora UWB [9]**

## **1.5 Metodología**

Para nuestro proyecto primero reconoceremos las bondades de la tecnología UWB frente a sistemas similares aprovechando que la banda en que trabaja es licenciada, con ello se mitiga la interferencia, esta tecnología trabaja a muy baja potencia lo que evita afectar a otros servicios del mismo canal; además analizaremos aspectos técnicos como el rango de precisión porque en nuestra simulación involucra posicionamiento y rastreo, la emisión de potencia la cual por ser muy baja no tiene efectos dañinos en el cuerpo humano [13], el bajo consumo de energía ya que favorece a que el dispositivo use baterías; otro aspecto importante a analizar es la adaptación de las funciones que se podrían

obtener mediante la correcta manipulación del UWB: En Japón la banda para UWB está regulada entre los 7,25-10,25 GHz [14]. Según el Plan Nacional de Frecuencias, dicho rango involucra Radiolocalización, Radionavegación y Exploración por tierra y por satélite, lo cual nos asegura que en Ecuador trabajamos en la banda apropiada [15].

Se finaliza con una simulación en software de alto desempeño (Ver Figura 1.4) para observar el comportamiento de las distintas variables del sistema.



**Figura 1.1.4 Simulaciones con MATLAB de El efecto de banda estrecha y banda ancha de interferencia en la VER de enlaces MB-OFDM UWB [19]**

## 1.6 Alcance del proyecto

Para esta sección se mencionarán limitaciones que se tienen, debido al ambiente que se trabaja y la aplicación que se tendría con la Tecnología UWB; como por ejemplo sería que la distancia no sea superior a 7 m debido a que su potencia es de 100-250mW. Sabiendo que esta tecnología no utiliza onda portadora no está en condiciones de transmitir a mucha distancia, por lo que la ganancia de las antenas es baja y la banda de operación en UWB es de 3.1 a 10.6 GHz (Ver Figura 1.5) [4].

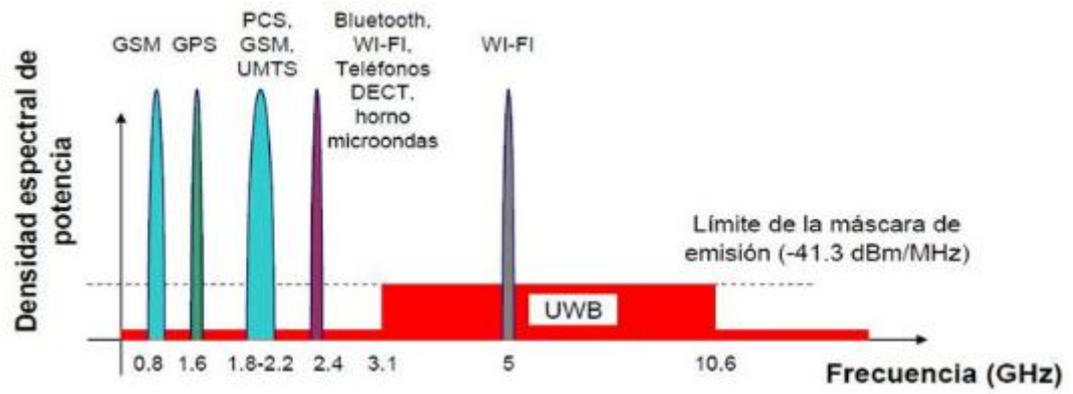


Figura 1.1.5 Gráfico de Densidad de espectral de potencia vs frecuencia [20]

## CAPÍTULO 2

### 2 CONCEPTOS, REGULACIÓN Y DISPOSITIVOS DE LA TECNOLOGÍA UWB

#### 2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA UWB

Entre 1950 y 1990 se inició una forma no convencional de un sistema de comunicaciones, donde se lo denominó como radio sin portadora, IR (impulso de radio), transmisores no sinusoidales o modulación banda base. Por no tener una frecuencia portadora estos sistemas tienen un muy largo ancho de banda.

El primero en proveer de esta tecnología fue DARPA (Defence Advanced Research Project Agency) que es una agencia del Departamento de Defensa de Estados Unidos responsable del desarrollo de nuevas tecnologías para uso militar, que en 1989 definió el término UWB (Ultra Banda Ancha) para esta clase de sistemas que las señales con un ancho de banda fraccional  $B_f$  igual o más largo que 0.25 son clasificados como señales UWB, esta fracción es la relación de ancho de banda de 3 dB de la frecuencia central de la señal como se indica en la ecuación 2.1 [16].

$$B_f = \frac{\text{ancho de banda}(3dB)}{\text{frecuencia central}} \quad (2.1)$$

En Febrero del 2002 la FCC (Comisión Federal de Radio), que es un agencia creada para hacer regulación de las comunicaciones llamadas interestelares de cable, satélite, radio y TV por cable, declaró la definición y orden de estas tecnologías, la cual es que UWB es cualquier sistema cuyo ancho de banda de -10dB es más grande que 500MHz o su ancho de banda fraccionaria es por lo menos 0.2 [16].

El ancho de banda fraccionaria fue definido como:

$$B_f = \frac{\text{ancho de banda}(10dB)}{\text{frecuencia central}} = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2.2)$$

Donde  $f_H$  y  $f_L$  son el superior e inferior respectivamente de frecuencias de 10dB de la potencia espectral con respecto a los picos PSD (Densidad espectral de potencia) [16].

Esta definición que la FCC introdujo para los sistemas no convencionales de comunicaciones engloba otras señales UWB como tipos de modulaciones [16].

Hay un par de diferencias entre estas definiciones (FCC y DARPA) en la que la primera es que la FCC se define con ancho de banda, el cual a DARPA no le gusta, ya que se basa en puntos con frecuencias de -10dB, y la segunda es que la FCC toma como límite del UWB un ancho de banda fraccionaria de 0.2, en cambio DARPA es de 0.25; siendo como consecuencia que la definición FCC es más inclusivo.

## 2.2 HISTORIA

El trabajo en IR y transmisiones libres de portadoras comenzó en 1940 y 1950, en los cuales la primera aplicación en la que se usó fue en los radares, en cambio para las comunicaciones no fue sino en los finales de 1960[16]. Harmuth, Facultad de América, trabajó con propiedades electromagnéticas de las señales no sinusoidales, por lo que Ross con su investigación definió el UWB a los inicios de 1960 y en 1970 y en los 1980 con Robins y Bennett, trabajaron en aplicaciones en radio banda base [16].

A los finales de 1980, patentaron y publicaron una comunicación no convencional, del cual sus esquemas fueron agrupados y etiquetados como UWB por DARPA; Se hicieron aplicaciones comerciales de esta tecnología y en ellas se la incluyó al FCC, entre estas aplicaciones lo más importante fue que se publicó mucha información sobre las distancias cortas y que no necesitaban de una banda dedicada para trabajar [16].

La relación con la FCC continuó en 1990 y para finalmente legalizarlo comercialmente en aplicaciones UWB en 2002[16].

En estos años se han hecho investigaciones y patentes en las cuales se han llegado a conocer como es hoy en día la tecnología UWB.

La meta de la legalización del UWB fue ubicar un rango de frecuencia a dispositivos UWB no licenciadas, en el cual su nivel de radiación sería limitada por  $-41.3$  dBm/MHz, por lo cual en 1998 la FCC hace un aviso de investigación; junto con NTIA (Agencia de Información Nacional de Telecomunicaciones), la FCC examinó los beneficios del UWB frente a potenciales interferencias con otras bandas [16].

En el 2000 la FCC señaló el comienzo de la era de UWB con aviso de reglamentación, para luego en el 2002, UWB ya fue legalmente reglamentada en los Estados Unidos el uso con el primer reporte [16].

Como primer reporte se mencionó que los dispositivos UWB deberían operar desde 3.1 a 10.6GHz con PSD limitado a  $-41.3$ dBm/MHz y que sólo para UWB que operan en exteriores son portátiles, por lo que esta tecnología con respecto a la radiación que se requiere es mucho más pequeña que la que se utiliza en la banda GPS (Sistema de posicionamiento global), que sería una buena protección para celulares, PCs y televisión satelital, por lo que para exteriores es más exigente la parte de protección de estos dispositivos [16].

UWB también trabaja con aplicaciones comerciales, como son aplicaciones de imagen y radar vehicular, además se desarrollan aplicaciones militares para rastreo de objetivos y los niveles de radiación dependen del propósito con el que se use el dispositivo [16].

UWB en el área de sistemas de radar, utiliza un rango de operación desde 22 hasta los 29 GHz; en cambio en sistemas de imágenes son limitados, como se muestra en la tabla 1 [16].

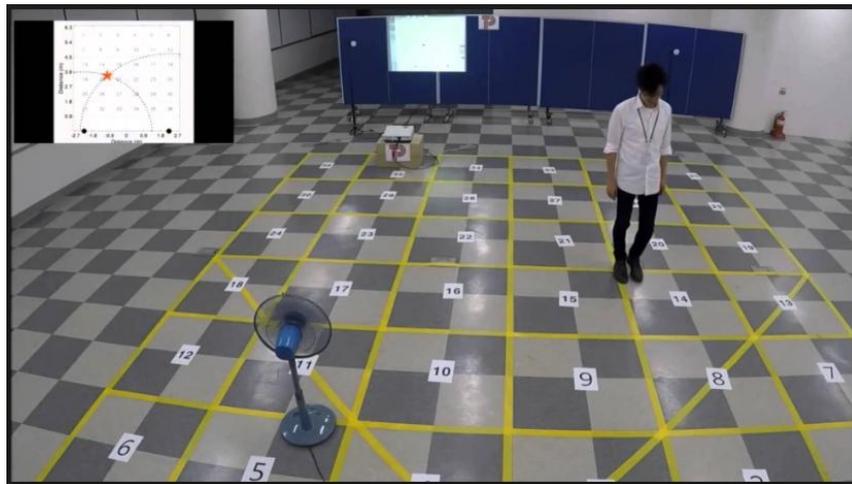
Rango de frecuencia(MHz)	960-1,610	1,610-1,990	1,990-3,100	3,100-10,600	Por encima de los 10,600	1,164-1,240 <sup>a</sup> 1,559-1,610 <sup>a</sup>
GPR(Georradar)	-65.3	-53.3	-51.3	-41.3	-51.3	-75.3
Atravesando paredes por debajo de 960 MHz	-65.3	-53.3	-51.3	-51.3	-51.3	-75.3
Atravesando paredes en un rango (1.99-10.6 GHz)	-46.3	-41.3	-41.3	-41.3	-51.3	-56.3
Sistemas de vigilancia	53.3	-51.3	-41.3	-41.3	-51.3	-63.3
a Estas emisiones son para mediciones con modulaciones de ancho de banda no menos que 1 KHz mientras los demás son para mediciones con una resolución de ancho de banda de 1MHz.						

**Tabla 1 Limitaciones para varias aplicaciones [16]**

UWB es una tecnología inalámbrica capaz de transmitir datos sobre un ancho espectro de frecuencia con una baja potencia, esto quiere decir que transmite y recibe cortos pulsos de energía RF (radio frecuencia). Esto hace que esta tecnología use una parte amplia del espectro radioeléctrico, con miles o millones de pulsos de emisiones de baja potencia por segundo, en comparación con otras sistemas de radio que operan dentro de frecuencias pequeñas para propósitos específicos y así disminuir la interferencia [22].

Esta tecnología (UWB) ha tenido críticas, ya que se sostiene que pueden hacer interferencia con otros sistemas inalámbricos como el GPS que se utiliza en casi todos los dispositivos de navegación y aplicaciones militares, y por esta razón desde 1998 se establecieron restricciones en el área comercial, que las dispuso la FCC, en frecuencias que estén sobre los 3.1 GHz, estando con las transmisiones de dispositivos inalámbricos como el 802.11 e impuso fuertes restricciones para los equipos que tengan esta tecnología y operan a frecuencias inferiores a los 960 MHz, aunque sólo los dispositivos que son radares y penetran los subsuelos pueden trabajar en estas frecuencias [22].

En la figura 2.1 se muestra con módulos de radar XeTru un posicionamiento exacto de la persona, con discriminación de los objetos a su alrededor.



**Figura 2.1 XeThru UWB radar utilizado para localización en lugares interiores [21]**

### **2.3 REGULACIONES DEL UWB EN DIFERENTES PAÍSES**

El espectro UWB puede cubrir un amplio espacio de frecuencias que han sido el hogar de un número de diferentes sistemas y servicios wireless, de los cuales pueden ser WiMAX, 3G/4G, comunicaciones satelitales, varios tipos de radares y radiolocalizadores [16].

El usuario principal siente incomodidad en compartir recursos con el UWB por dos razones:

- La primera: por costumbre a una asignación de espectro ya dado.
- La segunda: es que la división espectral basado en primario/secundario es una área desconocida para ellos. [16].

Las regulaciones alrededor del mundo pueden ser más conservadores con el espectro UWB superior/inferior, ya que en las regulaciones de Europa y más al oriente se han propuesto un par de mecanismos de protección para los espectros de usuarios principales [16].

Detectar y evadir (DAA) es el principal mecanismo de protección, y consiste en la detección del usuario primario y que el usuario secundario deje la banda o que tenga una muy baja emisión para poder añadirse [16].

El otro mecanismo es el LDC (low duty cycle), para saber este mecanismo se tiene:

- El tiempo de transmisión en cada segundo deberá ser superior delimitada por el 5% [16].
- El tiempo de transmisión en cada hora debe de ser menos que el 0.5% [16].
- La duración de cada transmisión debe de tener un límite de 5 ms [16].

A continuación se hará una revisión de las bandas de trabajo de UWB para varios países:

Los dispositivos UWB en Japón solo pueden ser interiores con el siguiente rango [16]:

$$UWB_{\text{Spectrum}_{\text{japon}}} = [(3.4 - 4.8)U(7.25 - 10.25)]\text{GHz} \quad (2.3)$$

Cuando se trabaja en bandas bajas (3.4-4.8 GHz), la funcionalidad DAA es un requisito que se la puede ceder si el nivel de emisión es más baja de lo normal (-41.3 a -70 dBm/MHz). En Japón operan en altas bandas (7.25-10.25 GHz), lo cual son emisiones al límite de -41.3 dBm/MHz y no usan DAA, por lo que en Japón se requiere un mínimo de velocidad de datos de 50Mbps [16].

El espectro UWB en Corea es definido por:

$$UWB_{\text{Spectrum}_{\text{Corea}}} = [(3.1 - 4.8)U(7.2 - 10.2)]\text{GHz} \quad (2.4)$$

El DAA o LDC es solo un requisito si los dispositivos UWB operan en bandas de 3.1-4.8 GHz y tiene las regulaciones similares que en Japón, en cambio están

operando en bandas altas (7.2-10.2 GHz), el requisito de emisión es que sea de -41.3 dBm/MHz por lo que en Corea solo se lo puede utilizar en interiores [16].

El espectro UWB para China es el siguiente:

$$UWB_{\text{SpectrumChina}} = [(4.2 - 4.8)U(6 - 9)]\text{GHz} \quad (2.5)$$

La parte baja es solo para interiores, por lo que se requiere implementar DAA que se lo cede bajo emisiones de -70 dBm/MHz, mientras que la alta puede ser para interiores y exteriores, operando en 6-9 GHz bajo emisiones limitadas con -41.3 dBm/MHz. Los chinos no finalizan sus regulaciones por lo que están sujetos a cambios [16].

Para Europa el espectro UWB tiene el siguiente rango:

$$UWB_{\text{SpectrumEurope}} = [(3.1 - 4.8)U(6 - 9)]\text{GHz} \quad (2.6)$$

A los que trabajan en 3.1-4.8 GHz y tengan un nivel de emisión de -41.3 dBm/MHz deberán tener DAA, por lo que este requisito se lo puede perder si es muy bajo como -80 dBm/MHz para 3.4-3.8 GHz y -70 dBm/MHz para 3.1-3.4 y 3.8-4.2 GHz [16].

Hoy en día se opera en 6-8.5 GHz para dispositivo UWB sin DAA como requisito, y sujeto a la limitante de -41.3 dBm/MHz. LDC es solicitado para operaciones en 8.5-9 GHz, sin embargo si el nivel de emisión es muy bajo como -65 dBm/MHz, el requisito DAA se pierde, y como mínimo de ancho de banda es de 50 MHz para dispositivo en Europa [16].

En Singapur se siguen las publicaciones IDA (Infocomm Development Authority of Singapur) que regula los dispositivos UWB para consumidores y negocios de sistemas de comunicaciones de datos, por lo que operando en 3.4-4.8 GHz deben de utilizar técnicas de mitigación como el DAA, sin embargo pueden operar en 6-9 GHz sin DAA y en cualquiera que sea el caso estarían limitados por -41.3 dBm/MHz [16].

En las Tablas 2 y 3 se muestran las diferentes regulaciones del espectro con los países antes mencionados.

a)

País	Banda inferior	Banda superior
Japón	3.4-4.8 GHz Si $-70\text{dBm/MHz} < \text{PSD} < -41.3\text{ dBm/MHz}$  Capa superior  Si $\text{PSD} < -70\text{ dBm/MHz}$  Capa inferior	7.25-10.25 GHz  Capa inferior
Corea	3.1-4.8 GHz Si $-70\text{dBm/MHz} < \text{PSD} < -41.3\text{ dBm/MHz}$  Capa superior  Si $\text{PSD} < -70\text{ dBm/MHz}$ Capa inferior	7.2-10.2 GHz  Capa inferior
China	4.2-4.8 GHz Si $-70\text{dBm/MHz} < \text{PSD} < -41.3\text{ dBm/MHz}$  Capa superior  Si $\text{PSD} < -70\text{ dBm/MHz}$ Capa inferior	6-9 GHz  Capa inferior
Singapur	3.4-4.8 GHz  Capa superior	6-9 GHz  Capa inferior

**Tabla 2 Bandas de frecuencia en diferentes países [16]**

b)

Región	3.1-3.4 GHz	3.4-3.8 GHz	3.8-4.2 GHz	6-8.5 GHz	8.5-9 GHz
Europa	Si - 70dBm/MHz<P SD<-41.3 dBm/MHz	Si - 80dBm/MHz<P SD<-41.3 dBm/MHz	Si - 70dBm/MHz<P SD<-41.3 dBm/MHz	Cap a inferi or	Si - 65dBm/MHz<P SD<-41.3 dBm/MHz
	Capa superior	Capa superior	Capa superior		Capa superior
	Si PSD<-70 dBm/MHz	Si PSD<-80 dBm/MHz	Si PSD<-70 dBm/MHz		Si PSD<-65 dBm/MHz
	Capa inferior	Capa inferior	Capa inferior		Capa inferior

**Tabla 3 Clasificación de capa superior y capa inferior [16]**

## 2.4 ANTENAS UWB

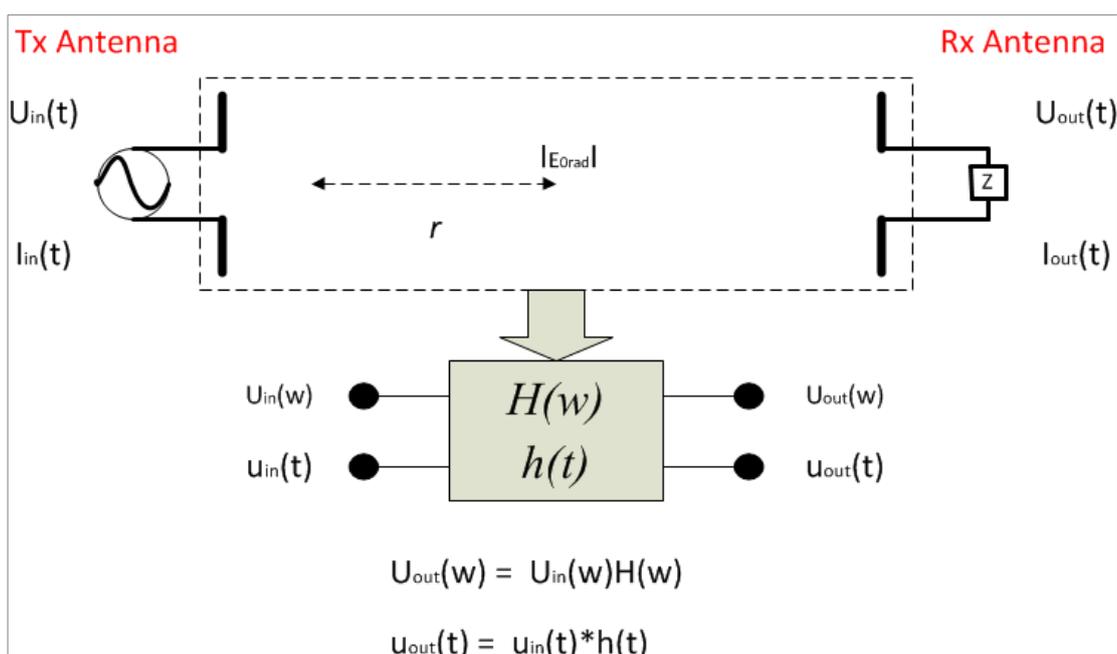
Las antenas UWB es una parte de esta tecnología difícil en desarrollar, ya que comúnmente las antenas sólo irradian en un rango pequeño en banda estrecha o mejor dicho en una fracción del ancho de banda menor al 25%, por lo que si un impulso alimenta a dicha antena, la hace resonar, provocando una distorsión aguda del pulso, extendiéndolo fuera de tiempo [22].

Existen varias antenas, las llamadas espirales, las logarítmicas y periódicas, varias de ellas puede que no sean adecuadas para transmitir pulsos cortos, por lo que irradian componentes distintas de frecuencia en partes diferentes de la antena, haciendo que se distorsione la forma de onda, en cambio hay otras que tienen un comportamiento idóneo pero con las desventaja de tener reflexiones grandes, por lo que para combatir esto otras antenas utilizan cargas resistivas, que producen cortas reflexiones y mucha impedancia en ancho de banda, haciendo que tengan una pobre eficiencia de radiación. Hay antenas UWB que están disponibles comercialmente y trabajan sobre anchos de banda de 10 dB [22].

Matemáticamente la función de campo eléctrico es una derivada de la corriente que fluye por el material:

- $E(t) = \frac{dA}{dt}$  donde E es el campo eléctrico y A guarda proporcionalidad a la corriente circulante (potencial magnético) [22].
- $E(t) \propto \frac{di}{dt}$

Esto quiere decir que una antena UWB a parte de irradiar es también un filtro como se muestra en la figura 2.2



**Figura 2.2 Estructura del sistema matricial de UWB Loop [22]**

### La Antena BroadSpech:

Este dispositivo tiene el tamaño de una tarjeta de crédito y trabaja de 5.5 -10 GHz y la ganancia es de 1dBi, por lo que la respuesta en fase es lineal, haciendo que sea óptima para transmisiones confiables y recepciones de la forma UWB [22]. Se muestra en la Figura 2.3 la antena.

Las antenas BroadSpec no utilizan cargas resistivas y que tienen una eficiencia de radiación del 95% [22].



**Figura 2.3 Modelo BroadSpec en el mercado, marca pulson [23]**

## 2.5 VENTAJAS

Los sistemas UWB pueden funcionar con 40 Mbps, aunque Intel presentó en el primer trimestre del 2003 un prototipo de enlace inalámbrico UWB con 100 Mbps, queriendo en un futuro alcanzar 500 Mbps, que según expertos se aplicaría la Ley de Moore ya que se querrá aumentar las velocidades mediante tarjetas con tecnología CMOS rápidas y de pulsos cortos. Vale tomar en cuenta que su bajo consumo de potencia, por lo que los integrados son baratos, pequeños y fáciles de construir, consumiendo en el orden de los mW por lo que hace factible para dispositivos portátiles. En el sistema mencionado la energía de pulso se va distribuyendo en el espectro hasta alcanzar los 15 GHz para lo cual la energía que sea absorbida por los respectivos obstáculos tiene poco efecto, ya que los dispositivos UWB toman el dato en dato en el impulso de tiempo, no en la frecuencia [24].

Este sistema no tiene inconveniente en operar simultáneamente en pares de emisor-receptor, ya que casi en todo momento tiene transmisores inactivos, porque el ancho del pulso comparado con el periodo es mucho más pequeño. UWB es más apto en aplicaciones multimedia por ser un sistema basado en paquetes como 802.11x. En el área de la arquitectura (transmisor-receptor), el UWB es más simple por lo que este es una ventaja muy importante [24].

## 2.6 PROPIEDADES DEL UWB

### 2.6.1 PODER DE TRANSMISIÓN

Con la Ecuación (2.7) se puede obtener el total de potencia en la banda que se está trabajando.

$$P = \text{PSD} \left( \frac{\text{dBm}}{\text{MHz}} \right) + 10 \log(\text{ancho de banda en MHz}) \quad (2.7)$$

Por lo que realmente, los dispositivos UWB solo utilizan una fracción (1/3 o 1/5) del espectro, esto quiere decir que lo que el total de potencia es en mili-watt (0.1-0.2 mW) [16].

### 2.6.2 CAPACIDAD

Para saber la capacidad se usa el teorema de Shannon, como se muestra en la ecuación 2.8, que es la relación de la señal con el ruido (SNR) y el ancho de banda B [16].

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.8)$$

En la Figura 2.4 se nota como el bajo nivel de PSD (Densidad Espectral de Potencia) con respecto al UWB hace posible que pueda coexistir con los demás sistemas.

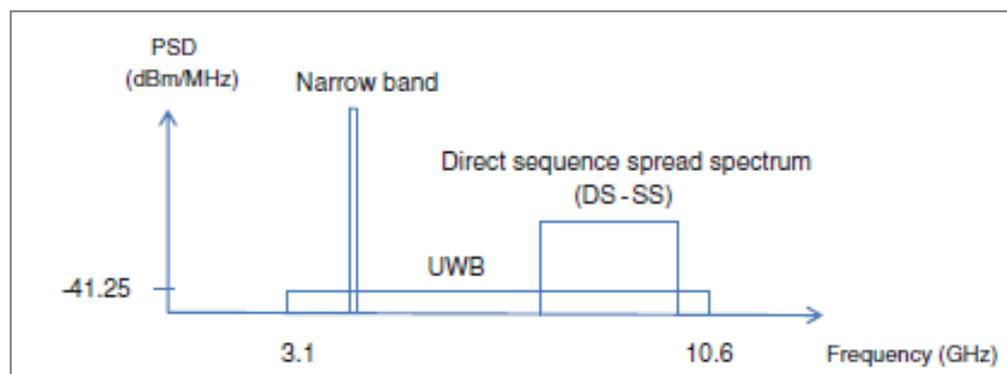


Figura 2.4 PSD de varios sistemas [16]

La capacidad en términos UWB, se lo puede denotar con S y N que son la potencia recibida y el ruido de fondo, y en dB se la expresaría como en la ecuación (2.9) [16]

$$SNR_{dB} = S - N \quad (2.9)$$

La señal en el lado del transmisor sería como en la ecuación (2.10) [16]

$$S = P_T + G_T + G_R + L - I \quad (2.10)$$

P<sub>T</sub>: es la potencia que se transmite

G<sub>T</sub>: es la ganancia que se transmite

G<sub>R</sub>: es la potencia que se recibe

L: son todas las pérdidas consideradas del espacio libre

I: son todas las pérdidas consideradas de implementación

Donde la pérdida de espacio libre es mostrada en la ecuación (2.11). [16]

$$L = 20 \log \left( \frac{4\pi d f_c}{c} \right) \quad (2.11)$$

d: es la distancia entre el emisor y el receptor

f<sub>c</sub>: es la frecuencia central

La potencia del ruido se la podría denotar con la ecuación (2.12). [16]

$$N = 10 \log(KT) + 10 \log(B) + 10 \log(F) \quad (2.12)$$

Entonces por ultimo tenemos en la ecuación (2.13) la capacidad, convirtiendo el  $SNR_{db}$  a una escala lineal y sustituirla en la ecuación (2.8) [16]:

$$C = B \log_2 \left( 1 + 10^{\frac{P_T + G_T + G_R + L - I - N}{10}} \right) \quad (2.13)$$

En la figura 2.5 se muestra la comparación de la capacidad entre dos sistemas, lo cual se ve que el UWB tiene una gran capacidad a corto alcance.

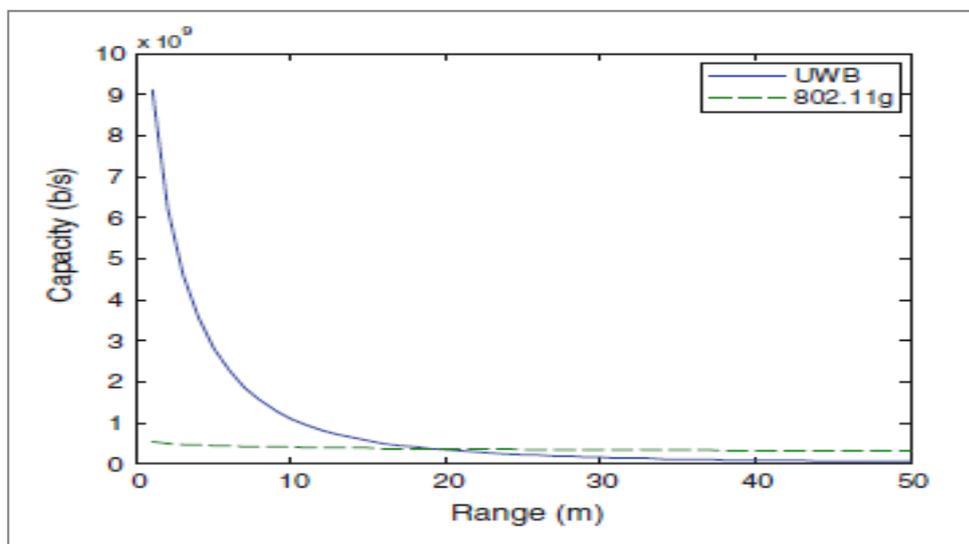
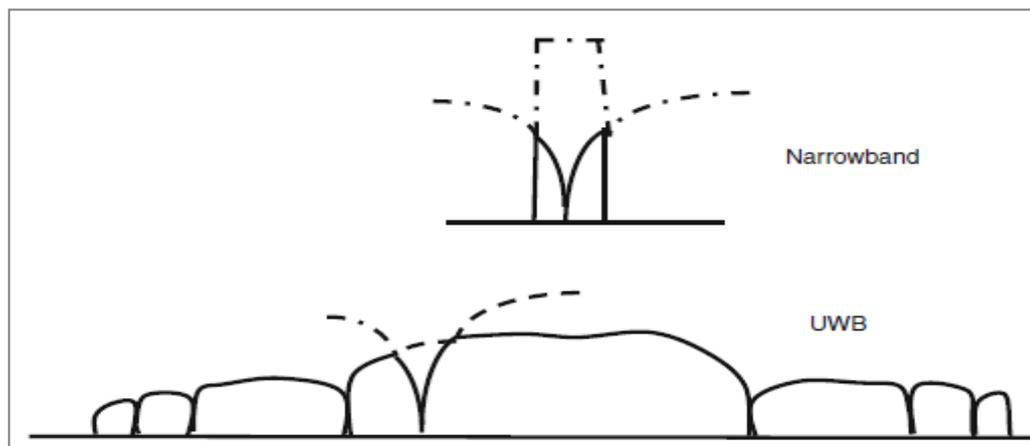


Figura 2.5 Capacidad vs rango [16]

### 2.6.3 RESISTENCIA AL DESVANECIMIENTO POR MULTITRAYECTO

Normalmente el desvanecimiento por multi-trayectos hace que el espectro de una banda angosta desaparezca, provocando una seria degradación en el desempeño, por otro lado en una señal UWB, como tiene más ancho de banda comparada con un sistema de banda angosta es más resistente a este desvanecimiento como se muestra en la figura 2.6 que en la señal UWB solo afecta una parte pequeña la presencia de multi-trayecto [16].



**Figura 2.6 Espectro de una banda estrecha y UWB en presencia de desvanecimiento por multi-trayecto [16]**

#### **2.6.4 EXCELENTE RESOLUCIÓN TEMPORAL**

Los pulsos cortos y la alta resolución hacen de UWB óptimo para barridos, los cuales se los puede tratar con un método que es CRLB (Cramer-Rao lower bound) para comparar sistemas de barridos [16].

Por ejemplo, con un SNR de 10 dB a 500 MHz de una señal UWB consigue un límite inferior de 2 cm, en cambio un 802.11 a/g con un ancho de banda de 20MHz tiene un límite inferior de aproximadamente 50 cm, esto quiere decir que la resolución temporal del UWB es superior a cualquier sistema de banda angosta [16].

#### **2.6.5 FACTOR DE PROPAGACION**

El sistema UWB tiene un gran efecto de propagación debido a que tiene un largo ancho de banda, por lo que la señal puede ganar rango pero reduciendo la velocidad, de esta característica se ofrecen aplicaciones comerciales [16].

Mientras sistemas de altas velocidades de transmisión pueden repartir contenido de alta definición, también hay los sistemas de bajo rendimiento como los de IEEE 802.15.4a, que ofrecen aplicaciones como la detección y automatización que la definición es baja, pero el factor de propagación es grande para recorrer mas distancias [16].

### **2.6.6 ASIGNACION NO EXCLUSIVA DEL ESPECTRO**

Normalmente cuando se tiene un nuevo servicio o tecnología inalámbrica, se designan espectros para su uso y el costo de este es pasado al consumidor final, uno de los atractivos de los sistemas UWB es que no necesitan una designación exclusiva, ya que es esencialmente un espectro de tecnología capa superior/inferior, por lo que ellos comparten el espectro con los usuarios primarios [16].

### **2.7 UWB SOBRE CABLES**

Se asocia UWB con transmisiones inalámbricas, pero también se puede hacer por cable coaxial y teniendo como atenuadores de la señal como: Splitter, couplers y el mismo cable.

Por otro lado estos cables tienen propiedades de soportar alta velocidad de transmisión sobre los 600 Mbps entre 3 a 5 GHz en un rango de 300 ft [16].

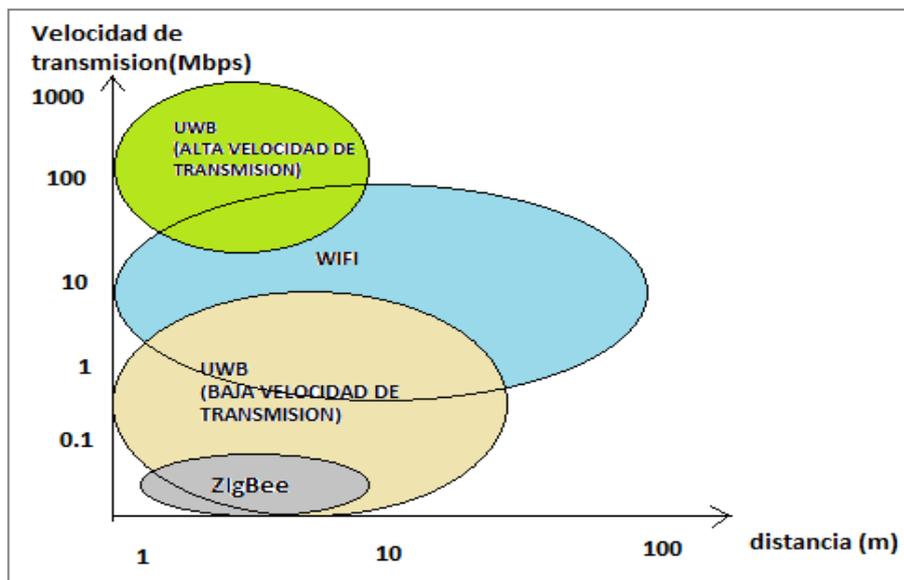
Para esta implementación dependerá del tamaño, para cubrir hoy en día un hogar es difícil hacerlo solamente con wireless, por lo que se puede hacer una red troncal coaxial para repartir a los cuartos, por lo que la parte inalámbrica sería para proveer cada uno de los cuartos [16].

Pulselink y Sigma Designs son empresas que ofrecen soluciones en UWB sobre cable, lo cual el Pulselink es propiedad de CWave Technology mientras Sigma Designs soluciona basado en WiMedia [16].

### **2.8 UWB COMO COMPETENCIA**

Cada sistema inalámbrico, como se muestra en la figura 2.7, se destaca en distintas aplicaciones, como por ejemplo Zigbee que es baja en transmisión de datos en aplicaciones para 250kbps y rangos de 10 m, Wifi se destaca en distribuir señal de internet para aplicaciones, con una velocidad de hasta 10 Megabits por segundo en un rango de 100 m, por lo que se ve el UWB es el candidato perfecto para rangos cortos para un alto rendimiento con quizás más

de 1 Gbps y también para aplicaciones de baja velocidad de datos con más de 3 Mbps con un rango de 30 a 50 m [16].



**Figura 2.7 Sistemas inalámbricos [16]**

## 2.9 CARACTERÍSTICAS EN TIEMPO Y EN FRECUENCIA DE LAS SEÑALES UWB

Un apropiado análisis teórico de señales UWB puede dar información de cómo las emisiones de estas señales pueden o no afectar a dispositivos de comunicación de radio frecuencia. También se puede obtener resultados de cuanta interferencia generan las señales UWB, dichos resultados nos ayudan a planificar, valorar medidas y hacer diseño de sistemas que usan dicha tecnología. A continuación presentaremos algunas de las características de Ultra Banda Ancha

Densidad Espectral de Potencia en señales UWB.

La densidad espectral es igual a la magnitud de la potencia media en la señal dividida por el ancho de banda en la señal, esto nos da información relevante respecto a cuanta potencia hay distribuida sobre el espectro de Radio Frecuencia RF, UWB utiliza para su densidad espectral de potencia la modulación por posición de Pulsos PPM (Pulse Position Modulation) los cuales son de cortísima duración con una tasa nominal de repetición PRR (Pulse

Repetition Rate). Es aleatoria la posición del pequeño pulso y se selecciona al azar respecto al periodo del pulso (nominal) [24], a continuación describiremos la forma aleatoria.

Señales con incertidumbre de tiempo-base fija para sistemas UWB [24].

En este esquema de incertidumbre fija de tiempo-base, cada uno de los pulsos se da justo en el período del nominal, al que se le resta un delta de tiempo [24], que es aleatoriamente distribuido sobre una mínima porción del pulso llamado nominal, como vemos en la ecuación (2.14). En la que incluye modulación binaria de pulso por lo propuesto para aplicaciones de comunicaciones [24].

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cdot \sum_{k=0}^1 \alpha_{kn} p_k (t - nT - \theta_n) \quad (2.14)$$

En esta forma de aleatoriedad cada uno de los pulsos se da en el periodo de pulso nominal, a esto se debe restar un valor equivalente a una fracción del periodo nominal ( $nT$ ),  $p_k$  es la forma de pulso, el cual es binario ( $p_0 = 0$  y  $p_1 = 1$ ). Además los coeficientes  $a_{kn}$  hacen referencia a que el  $n$ ésimo bit de información  $a_n$  es cero o uno, siguiendo las reglas de las ecuaciones de correspondencia (2.15) y (2.16) [24].

$$\alpha_{kn} = \begin{cases} 1 - a_n, & k = 0 \\ a_n, & k = 1 \end{cases} \quad (2.15)$$

$$\alpha_n = \begin{cases} 0 & \text{con prob } g_0 \\ 1 & \text{con prob } g_1 = 1 - g_0 \end{cases} \quad (2.16)$$

$g_k$  establece la probabilidad de bit de información, mejor dicho la probabilidad de que el bit tome el valor de cero, y  $g_1 = 1 - g_0$  la probabilidad de que tome el valor de uno.  $\theta_n$  es la variable aleatoria definida por una función de densidad  $q(\theta)$  en la cual se detalla en la ecuación (2.17).

$$P_r\{\theta \leq \Theta \leq \theta + d\theta\} = q(\theta)d(\theta) \quad (2.17)$$

Tomar en consideración que para la Incertidumbre de tiempo-base fija, asumimos que  $\theta_n$  y  $a_n$  son idénticamente distribuidas e independientes.

En la ecuación (2.17) la señal viene dada en términos de su forma del pulso, dicha estrategia usada para la modulación y la estadística de aleatoriedad del pulso, debido a esto se puede predecir la densidad espectral de potencia para varios puntos de un enlace RF entre un emisor que trabaja con UWB y un receptor afectado, por ejemplo en la etapa de salida de un emisor UWB que afecta a al receptor de radio frecuencia de la banda estrecha. Como intervienen sistemas lineales, las formas de pulso son asociadas por las respectivas convoluciones con las funciones de transferencia adecuadas [24].

La DSP (Densidad Espectral de Potencia) es la TF (transformada de Fourier) de la autocorrelación. Dicha autocorrelación es obtenida del valor de la señal en dos tiempos distintos, lo cual se define matemáticamente en la ecuación (2.18) y (2.19) [24].

$$r_{xx}(t, s) = \xi\{x(t)z(s)\} \quad (2.18)$$

$$= E \left\{ \sum_n 1 \sum_m 1 \sum_k 1 \sum_l \alpha_{kn} \alpha_{lm} p_k(t - nT - \theta_n) p_l(s - mT - \theta_m) \right\} \quad (2.19)$$

Trabajando la ecuación (2.19) tenemos:

$$\begin{aligned}
r_{xx}(t,s) = \frac{1}{T^2} & \left\{ \sum_n \left| \sum_{k=0}^1 g_k P\left(\frac{n}{T}\right) \right|^2 |Q\left(\frac{n}{T}\right)|^2 e^{i2\pi n\tau/T} \right. \\
& + \sum_{n \neq -m} \left( \sum_{k=0}^1 g_k P\left(\frac{n}{T}\right) \right) \left( \sum_{k=0}^1 g_k P\left(\frac{m}{T}\right) \right) Q\left(\frac{n}{T}\right) Q\left(\frac{m}{T}\right) e^{i2\pi(n\tau+ms)/T} \left. \right\} \\
& + \frac{1}{T^2} \sum_n i^{2\pi ns/T} \left\{ Q\left(\frac{n}{T}\right) \sum_{k=0}^1 g_k p_k(\tau) \otimes p_k(-\tau) e^{\frac{i2\pi n\tau}{T}} \right. \\
& - \left( \sum_{k=0}^1 g_k p_k(\tau) \otimes \sum_{l=0}^1 g_l p_l(-\tau) e^{\frac{i2\pi n\tau}{T}} \right) \\
& \left. \otimes \left( q(\tau) \otimes q(-\tau) e^{\frac{i2\pi n\tau}{T}} \right) \right\} \quad (2.20)
\end{aligned}$$

El símbolo  $\otimes$  significa el operador de convolución, y el retraso de tiempo viene dado por  $\tau = s - t$ . Las letras (P, Q) son transformadas de Fourier del pulso y funciones incertidumbre [24].

Los procesos son ciclo-estacionarios ya que sus estadísticas tienen periodo T, eso está puesto en evidencia en la ecuación (2.20), eso significa que cuando el proceso es observado en un periodo, sus estadísticas son dependientes. El receptor RF puede ver el proceso en un tiempo arbitrario en la duración del periodo lo que es muy útil para calcular un promedio de los tiempos de observación que son posibles en un periodo.

Si se toma este promedio sobre un periodo con la transformada de Fourier de la ecuación (20) tenemos la DSP media de señales UWB con su respectiva Incertidumbre tiempo-base fija como se muestra en las ecuaciones (2.21), (2.22) y (2.23) [24].

$$\bar{R}_{xx}(f) = L + C \quad (2.21)$$

$$L = \frac{1}{T^2} \left| \sum_{k=0}^1 g_k p_k(f) \right|^2 |Q(f)|^2 \sum_n \delta\left(f - \frac{n}{T}\right) \quad (2.22)$$

$$C = \frac{1}{T} \left[ \sum_{k=0}^1 g_k |P_k(f)|^2 - \left| \sum_{k=0}^1 g_k P_k(f) \right|^2 |Q(f)|^2 \right] \quad (2.23)$$

Nótese que la DSP tiene L componentes discretos y C componentes continuos, estos a su vez dependen de la TF de la función de densidad que se usa para aleatorizar la señal y del espectro de Pulso. Además cuando  $Q(f)$  es casi cero, dicho espectro es de manera predominante Continuo “C” y cuando  $Q(f)$  es casi uno, dicho espectro es de manera predominante Discreto “L” como se muestra en las ecuaciones (2.25) y (2.26) [24].

En caso de ser equiprobables los valores ( $g_k = \frac{1}{2}$ ) y dicho pulso de “1” es solo un “0” desfasado  $p_{1(t+\xi)} = p_{0(t)} = p(t)$  y la expresión queda:

$$\bar{R}_{xx}(f) = L + C \quad (2.24)$$

$$L = \frac{1}{2T^2} |P(f)Q(f)|^2 [1 + \cos(2\pi\xi f)] \sum_n \delta\left(f - \frac{n}{T}\right) \quad (2.25)$$

$$C = \frac{1}{T} |P(f)|^2 \left( 1 - \frac{|Q(f)|^2 [1 + \cos(2\pi\xi f)]}{2} \right) \quad (2.26)$$

Vale acotar que cuando  $\xi$  (tiempo de información del bit) es pequeño comparado con el retardo de la incertidumbre  $\cos(2\pi\xi f) \approx 1$  donde  $Q(f)$  es valorable, los efectos de la PPM en el espectro de la potencia no tienen ninguna consecuencia para las duraciones que son finitas y las señales repetidas [24].

Se diseñó con la asunción de que la señal es infinita en el tiempo, pero en la realidad las señales tienen un determinado tiempo de duración, por lo cual ampliaremos el estudio para señales finitas en el tiempo y repetidas (duran un periodo de tiempo T y posteriormente se repiten), y la función como se muestra en las ecuaciones (2.27) y (2.28) ayudan a obtener la potencia de una señal de duración finita [24].

$$w(t) = \begin{cases} 1 & -T' \leq t \leq T' \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2.27)$$

$$W(f) = 2T' \text{sinc}(2\pi T' f) \quad (2.28)$$

La ecuación (2.27) o (2.28) se multiplica por  $x(t)$ . El resultado viene dado en la ecuación (2.25) y (2.26), haciendo convolución con  $W(f)$ , es de esperarse que mientras la duración de la ventana sea mayor, más se asemeja a  $\bar{R}_{xx}(f)$  [24].

Después del proceso anterior con  $x(t)$ , la función de correlación es como se muestra en la ecuación (29), dando como espectro resultante la ecuación (2.30).

$$E \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} w(t - nT')x(t - nT') \sum_{m=-\infty}^{\infty} w(s - mT')x(s - mT') \right\} \quad (2.29)$$

$$\frac{1}{T'^2} \sum_k \bar{R}_{xx} \left( \frac{k}{T'} \right) \otimes \left| W \left( \frac{k}{T'} \right) \right|^2 e^{\frac{i2\pi k \tau}{T'}} \quad (2.30)$$

Haciendo una observación desde un receptor RF afectado, la señal UWB con una determinada Incertidumbre Tiempo-Base Fija en realidad es un proceso aleatorio o randómico. El conocer las estadísticas de dicho proceso permite predecir la afectación de la interferencia generada por el emisor UWB sobre el receptor RF. Si la tasa de repetición UWB es mayor que el BW (Ancho de Banda) del receptor esperamos que la señal y el Ruido Gaussiano no se distingan una de la otra. Esto es muy útil debido a que se conoce el comportamiento del receptor en un entorno con Ruido Gaussiano lo que hace de la interferencia del Emisor UWB un problema tratable respecto a un receptor RF generando nuevos requisitos de diseño en el receptor. Además si queremos caracterizar el proceso del Ruido solo nos hace falta el parámetro de la potencia media.

Para propósitos de análisis vamos a obtener la función de probabilidad de densidad la cual conoce como actúa la estadística de la señal UWB como la observa el receptor. La correspondencia entre la función densidad  $a(y)$ , y la característica  $\phi(u)$  se muestra en la ecuación (2.31) y la Función de aleatoriedad del Pulso  $q(\theta)$  es parte de la expresión aproximada de la función recibida [24].

$$\phi(u) = \int e^{iuy} a(y) dy = E\{e^{iux}\} = \int e^{iux(\theta)} q(\theta) d\theta \quad (2.31)$$

La función  $\phi(u)$  o también llamada función característica es periódica debido a que el proceso es de carácter Cicloestacionario. Para nuestro análisis la estadística de promedio de tiempo se halla haciendo un promedio del periodo al igual que con la función DPS [24].

$$\bar{\phi}(u) = \int_0^T \prod_n \int e^{iup(t-nT-\theta)} q(\theta) d\theta \frac{dt}{T} \quad (2.32)$$

Podemos expandir la función de densidad y llevarla a la serie de Edgeworth, en la ecuación (2.33) tenemos los cuatro primeros términos y en la ecuación (2.34) la forma del enésimo término:

$$f(x) = \varphi^{(0)}(x) - \frac{\gamma_1}{3!} \varphi^{(3)}(x) + \frac{\gamma_2}{4!} \varphi^{(4)}(x) - \frac{10\gamma_1^2}{6!} \varphi^{(6)}(x) \quad (2.33)$$

$$\varphi^{(n)}(x) = \frac{dn}{dx^n} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2.34)$$

Para relacionar la función deseada  $a(y)$  con  $f(x)$  se usa la relación  $x = (y - m)/\sigma$  siendo  $m$  desviación media,  $\sigma$  la desviación estándar, de donde se saca que  $a(y) = f((y - m)/\sigma) / \sigma$ . El término número uno es la Normal Estándar, además tenemos objetos de signos en alternación llamados la oblicuidad ( $\gamma_1$ ) y el llamado exceso ( $\gamma_2$ ) [24].

Ambas son consideradas funciones de en extremo complejas de analizar y contienen la aleatoriedad y su forma  $q$  de pulso. Esto se simplifica mucho para el caso de un receptor de banda estrecha con su frecuencia central mayor a dos veces la tasa de repetición del pulso (PRR). Las fórmulas siguientes asumen que la potencia en líneas espectrales es muchísimo más pequeña en ellas por la potencia de BW (Ancho de Banda) del receptor al espectro continuo. También si  $P(f)$  (Espectro del Pulso UWB) es casi constate en torno al ancho de banda; la variabilidad ( $\sigma^2$ ), la respectiva oblicuidad ( $\gamma_1$ ) y el respectivo exceso ( $\gamma_2$ ) pueden ser presentados en términos de la  $h(t)$  como se indica en las ecuaciones (2.35) y (2.36):

$$m \approx 0$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2T} \int_{-\infty}^{\infty} h^2(t) dt = \frac{1}{2T} \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df \quad (2.35)$$

$$\gamma_1 \approx 0$$

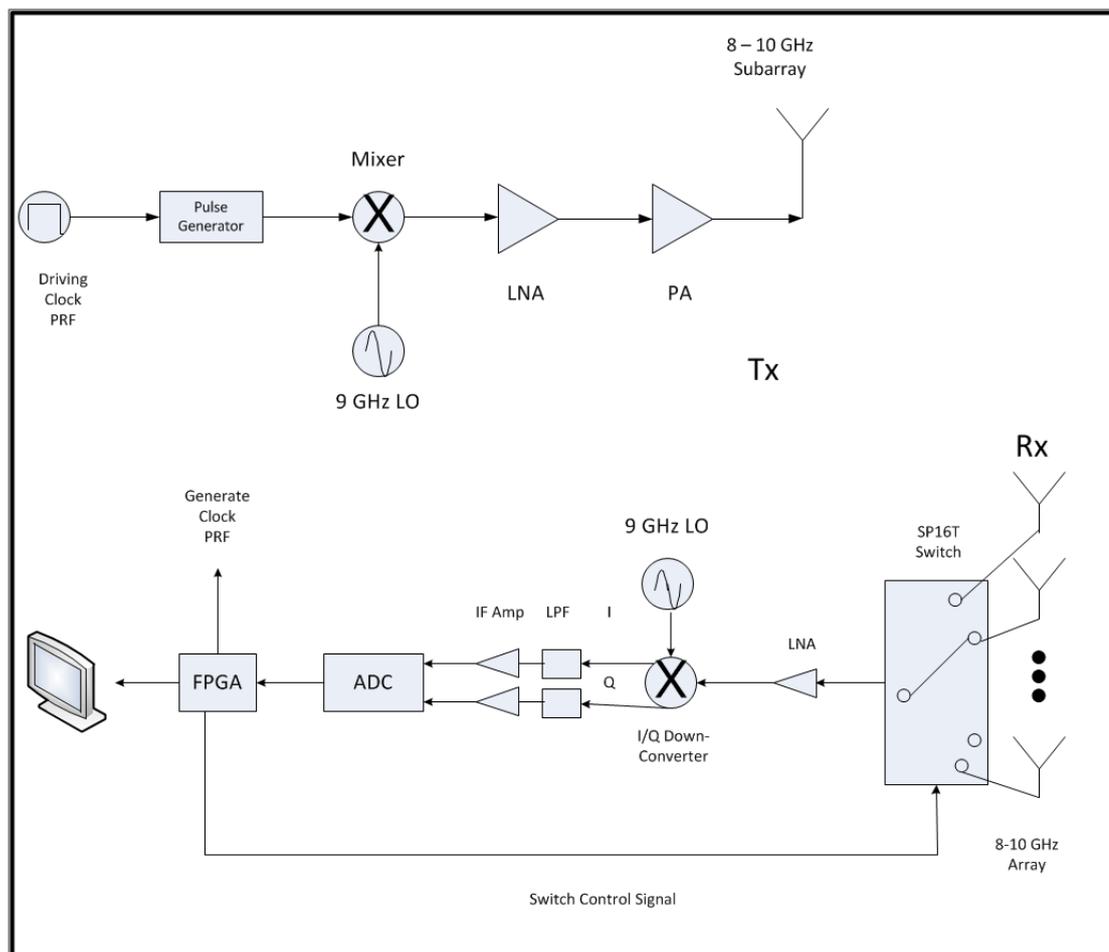
$$\gamma_2 = \frac{3}{4\sigma^2 T} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{h^4(t)}{2} - (h^2 \otimes q(t))^2 \right] dt \quad (2.36)$$

Lo anterior indica que el Ancho de Banda del Receptor y la varianza son proporcionales (eso es lo esperado), la media y la llamada Oblicuidad son despreciables por efectos de las características oscilatorias de la señal pasabanda filtrada y el exceso está relacionado con un receptor de poseer la cualidad de ser Pasabajo de Coseno Levantado, asumiendo una señal UWB de PRR con incertidumbre del 50% del periodo en que se repite el pulso [24].

## 2.10 DESARROLLO DEL SISTEMA DE PULSOS UWB EN RADARES

### 2.10.1 Selección de la F.O. (Frecuencia de Operación):

La selección está basada en el diseño óptimo del radar (Ver Figura 2.8), muchas veces el radar tendrá que buscar cuerpos humanos en un ambiente áspero, con restos, escombros o bloques; por tanto se debe tomar en cuenta las pérdidas por atenuación para el radar de pulsos UWB.



**Figura 2.8 Diagrama detallado de un diseño previo de un Sistema de Imagen de Radar [24]**

Se toman en consideración dos características importantes del sistema: La Atenuación de la onda al atravesar barreras y el Azimut de la resolución de Imagen.

Vale la pena tener en cuenta que la atenuación aumenta con la frecuencia (a frecuencias más altas mayor atenuación de la Onda, y a frecuencias más bajas menor atenuación de la onda), en cambio para tener un mejor azimut de resolución de imagen se debe operar a altas frecuencias. Esto lleva a un compromiso entre un valor aceptable de atenuación y una permisible resolución [24].

Una forma para entender mejor la atenuación de una señal de pulso UWB es analizar sus características para varios materiales (los que probablemente existen en una edificación) como por ejemplo: madera, vidrio, concreto y bloque.

Material	$\epsilon'$	$\epsilon''$	Pérdida tangencial*
Paneles de yeso	2.0	0.01	0.005
Madera	2.5	0.05	0.02
Vidrio	6.4	0.032	0.005
Ladrillo	4.0	0.2	0.05
Concreto	6.8	0.9	0.13

\* Valores de pérdidas tangenciales, se asume aproximadamente constante en el rango de las microondas

**Tabla 4 Características de materiales típicos de una construcción [25]**

La permitividad típica de los materiales esta descrita en la tabla 4 teniendo en cuenta que los materiales son homogéneos, y la parte real e imaginaria son constantes para el estudio de frecuencia a 12 GHz (Ver Tabla 4).

Para el análisis se asume una estructura de pared homogénea de capa simple con permitividad compleja de  $\epsilon'$  y un grosor  $d$ .  $\theta_0$  es el ángulo de incidencia y  $\theta_1$  es el ángulo de refracción de de la pared con ello tenemos  $k_0 \sin \theta_0 = k_1 \sin \theta_1$  de acuerdo a la ley de Snell. Entonces el coeficiente de reflexión  $\Gamma_1$  y el coeficiente de Transmisión  $T_1$  están definidos en la ecuación (2.37), (2.38), (2.39) y (2.40):

$$\Gamma_1 = \frac{\Gamma_{0w}(1 - e^{-j2k_1 \cos \theta_1 d})}{1 - \Gamma_{0w}^2 e^{-j2k_1 \cos \theta_1 d}} \quad (2.37)$$

$$T_1 = \frac{(1 - \Gamma_{0w}^2) e^{-jk_1 \cos \theta_1 d}}{1 - \Gamma_{0w}^2 e^{-j2k_1 \cos \theta_1 d}} \quad (2.38)$$

Dónde:

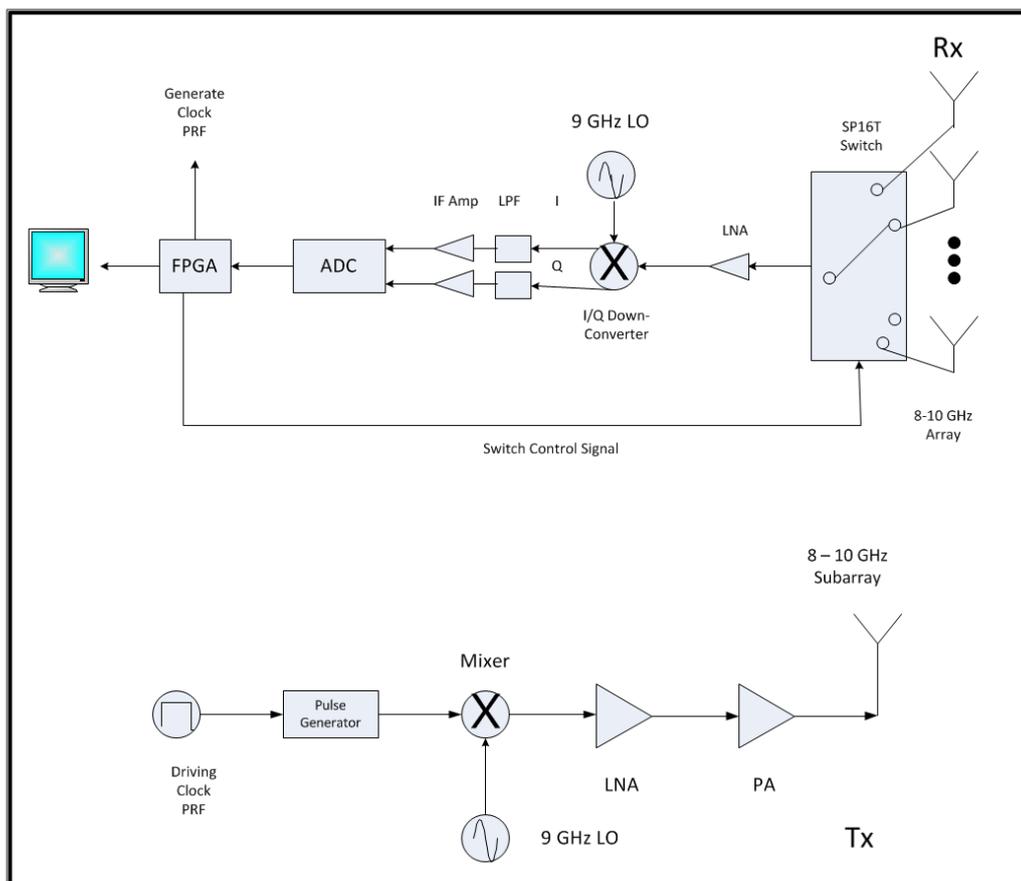
$$k_1 = w\sqrt{\mu\epsilon^*} \quad (2.39)$$

$$\Gamma_{0w} = \frac{\sqrt{\epsilon_0} \cos\theta_0 - \sqrt{\epsilon^*} \cos\theta_1}{\sqrt{\epsilon_0} \cos\theta_0 + \sqrt{\epsilon^*} \cos\theta_1} \quad (2.40)$$

### 2.10.2 Sistema UWB de Radar de Pulso 8-10 GHz:

Un sistema de radar de Pulso fue diseñado por Yunquiang Yang [25] para ver las pérdidas al atravesar materiales. Un pulso de 1 ns fue usado en el sistema y convertido a 9 GHz del lado del transmisor, una frecuencia de portadora de 9 GHz se escogió con el propósito de tener un alto Azimut de resolución cuando se penetra a través de dichos materiales. La señal modulada pasa a través de dos etapas de amplificación antes de ser llevada al sub-arreglo Vivaldi antipodal de banda ancha (simulación de Antenas Vivaldi).

El modelo de la Figura 2.9 cuenta con Dieciséis sub-arreglos que fueron empleados del lado del receptor para capturar la señal reflejada, luego la señal recibida es debidamente amplificada y demodulada, las señales I y Q fueron conseguidas con un convertidor de analógico - digital (ADC) para muestreo usando el esquema equivalente para el tiempo de muestreo, posteriormente todo el muestreo de datos fue enviado a una FPGA para hacer el procesamiento de imagen y un monitor muestra la imagen en 2 – D (el monitor es manejado por la FPGA) [25].



**Figura 2.9 Diagrama detallado del Sistema Transmisor-Receptor de Imagen de Radar 8-10 GHz [25]**

### 2.10.3 Comparaciones de varias formas de pulsos para DS-UWB sobre canal UWB

Señal Transmitida:

En el sistemas DS-UWB (Secuencia Directa – Ultra Banda Ancha) la señal transmitida es similar a la del sistema BPSK/DS-CDMA descrito en Öztürk and Sahin [25], con la diferencia de que aquí no tenemos señal de portadora; y para una cantidad de usuarios  $U$  viene dado por la ecuación (2.41)

$$S(t) = \sum_{u=1}^U s^u(t) \quad (2.41)$$

Donde la señal para el U-ésimo usuario está dada por la ecuación (2.42):

$$s^u(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b^u[\lfloor n/N \rfloor] c^u[n] \psi(t/T_c - n) \quad (2.42)$$

Donde  $u \in \{1, 2, \dots, U\}$  es la secuencia de datos del U-ésimo usuario. Los elementos de  $b^u[n]$  para todo valor de  $u$ , y  $n$  son independientes e idénticamente distribuidos, con bits equiprobables  $\{+1, -1\}$ .  $\{c^u[n] \in \{-1, 1\}\}_{n=-\infty}^{\infty}$  es añadido para generar una secuencia aleatoria extendida. Los elementos de  $c^u[n]$  para todos los valores de  $u$  y  $n$  también son independientes e idénticamente distribuidos e igualmente probables y reales  $\{+1, -1\}$ . Los códigos de expansión y las secuencias de datos son individuales y mutuamente independientes.  $[y]$  denota la más larga integración menor o igual que  $y$  [26].

En la ecuación (2.42) la tasa de bit y tasa de chip son  $R_c=1/T_c$  y  $R_b=1/T_b$ , eso nos lleva a concluir que  $(T_b=NT_c)$  respectivamente. El proceso de ganancia se denota por la letra  $N$  y es el mismo para todos los usuarios el mismo esta descrito en la ecuación (2.43) y (2.44). La energía por bit ( $E_b$ ) es  $T_b$ . La forma del pulso  $\psi(t)$  es una función real en el tiempo continuo con duración  $T_w$  [26].

$$p_0(t) = \exp\left(-2\pi\left(\frac{t}{\tau_m}\right)^2\right) \leftrightarrow p_0(f) \quad (2.43)$$

$$= \frac{\sqrt{2} \tau_m}{2} \exp\left[-\frac{\pi}{2} (\tau_m f)^2\right] \quad (2.44)$$

Donde  $\tau_m$  determina el ancho del pulso. La enésima derivada del Pulso de Gauss se define en las ecuaciones (2.45) y (2.46):

$$p_n(t) = \frac{d^n p_0(t)}{dt^n} \quad (2.45)$$

$$p_n(f) = (2\pi f)^n P_0(f) \quad (2.46)$$

Seleccionando valores propios para  $\tau_m$  y  $n$ , una forma del pulso apropiada puede ser obtenida con una DSP contenida en la emisión de la máscara FCC UWB. Otras formas de pulso ortogonales UWB se dan modificando Funciones Hermite dadas por la ecuación (2.47) [26].

$$h_n(t) = (-1)^{n-1} \exp\left[\frac{(t/\tau_m)^2}{4}\right] \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} \left( \exp\left[\frac{(t/\tau_m)^2}{2}\right] \right) \quad (2.47)$$

Donde el integrador  $n$  denota el orden del pulso,  $\tau_m$  determina el ancho del pulso. Además las formas de onda ortogonales son usadas como formas de pulso de señales DS-UWB. Es de conocimiento que las Ondas Ortogonales son también Ondas Daubechies, representadas por db-q, donde  $2q$  es el número de los coeficientes del filtro FIR (Respuesta Finita al impulso). Estas ondas no tienen expresiones matemáticas, ellas son generadas de los coeficientes FIR (Respuesta Finita al Impulso) usando dos ecuaciones, llamadas Ecuación de Dilatación y Ecuación de Onda Strange y Nguyen [26]. Las ondas Daubechies son usadas por la simplicidad de su generación [26]

## 2.11 DETECCIÓN Y MECANISMO PARA DETECTAR PERSONAS

### 2.11.1 Localización y Rastreo UWB vs RF e infrarrojo:

Ultra Wide Band es una prometedora tecnología para escenarios de interiores debido fundamentalmente a dos características: su alto rango de resolución y su capacidad de penetrar obstáculos. Muchos sistemas prácticos de localización UWB cuentan con la ventaja de poder transportar un dispositivo UWB activo, eso suele facilitar la diferencia del tiempo de llegada de los datos o mediciones capturadas. En algunos casos como detección de intrusos o respuesta de emergencia lo más útil sería tener la habilidad de rastrear personas y bienes de forma pasiva, es decir, sin la necesidad de estar equipado con ningún dispositivo de RF; esto es lo que se

conoce como “Device-Free Localization” (Dispositivo de Detección Libre).

Antes se solían usar detectores infrarrojos y sofisticadas cámaras de visión panorámica, pero son limitadas en línea de vista y tienen problemas de “Desvanecimiento” en el enlace de transmisión [26].

## **2.12 OFDM**

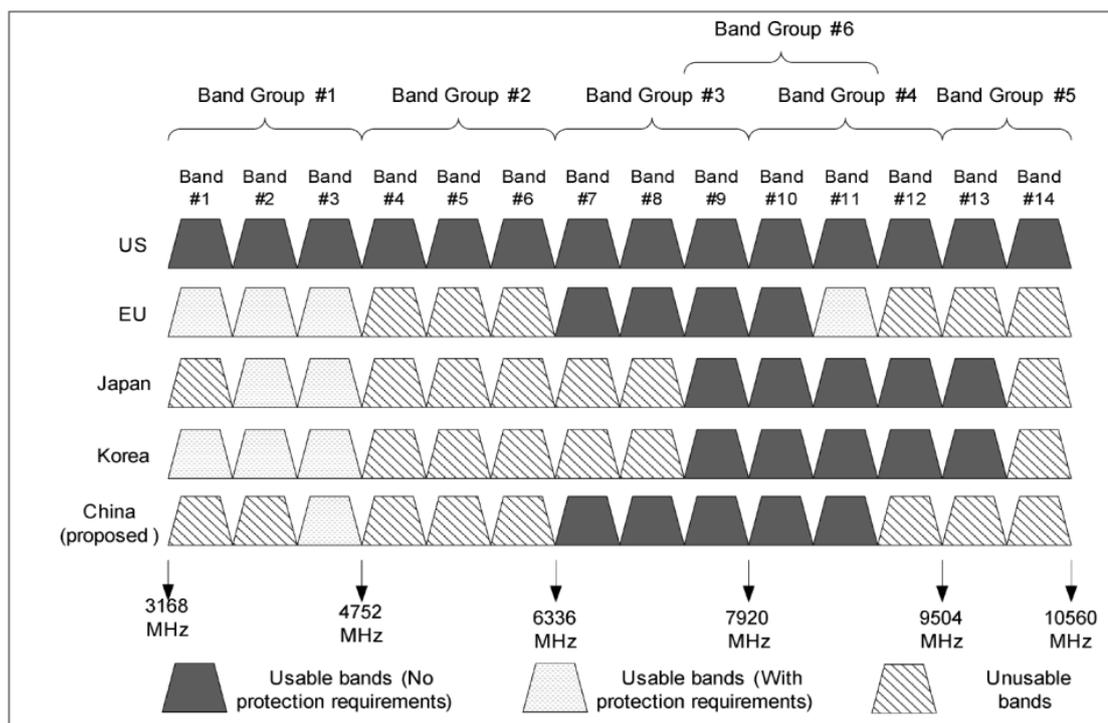
### **2.12.1 OFDM DIVIDIDO EN MULTI-BANDAS**

Sabiendo anteriormente las características de los diseños de multi-bandas examinaremos OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia) basados en multi-bandas.

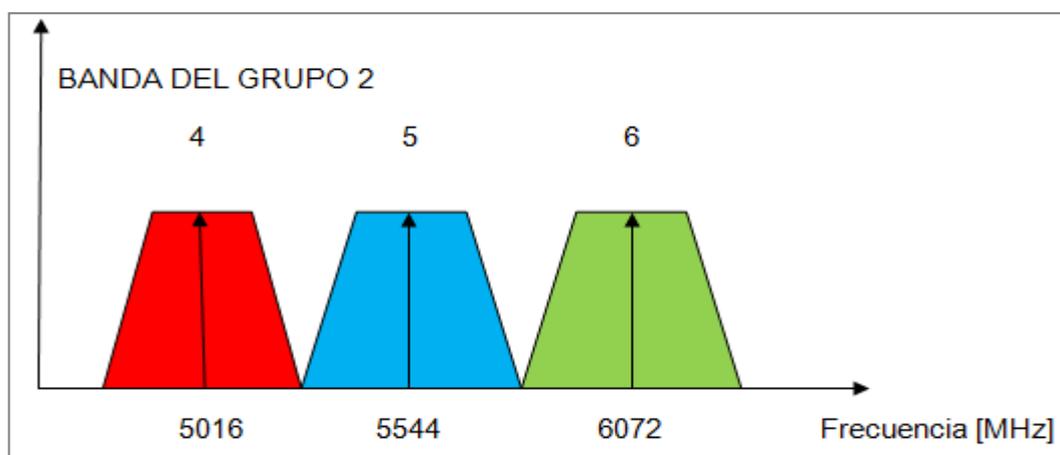
Tomando las frecuencias desde 3.1 GHz a 4.8 GHz y los requerimientos que la FCC dispuso de las señales UWB de tener más de 500 MHz de ancho de banda, dispondremos de 3 sub-bandas que se muestran en la Figura 2.11 que se pueden usar para el desarrollo de sistemas OFDM. Las frecuencias que se muestran son escogidas por dos razones [27]:

1. Permite tener una banda de guarda suficiente sobre el lado bajo del canal 1 y el lado alto del canal 3 simplifica el diseño del filtro pre-selector
2. Aseguran que el transmisor y el receptor puedan conmutar al siguiente centro de frecuencia en unos pocos segundos.

En la Figura 2.10 se muestra como todo los 7.5 GHz de donde trabaja UWB se divide según el país con una modulación OFDM



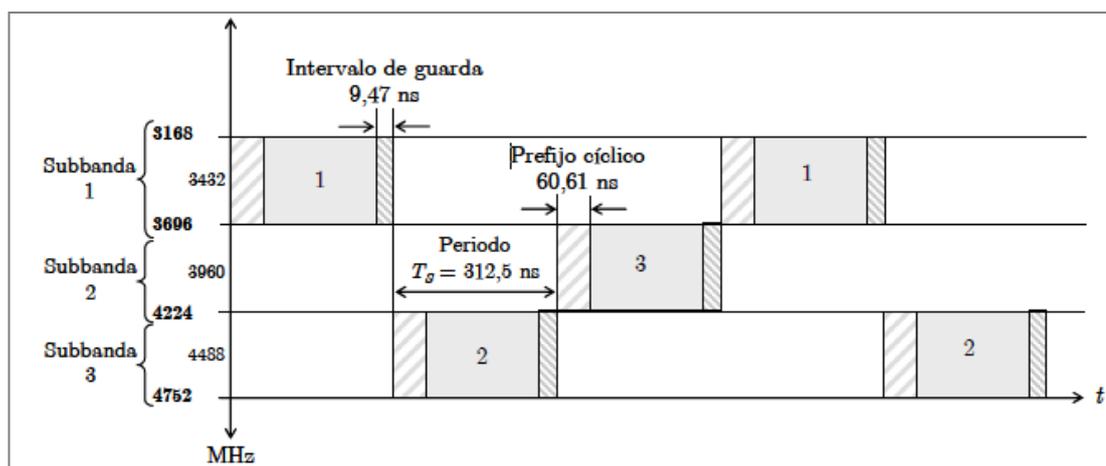
**Figura 2.10 Reglamentación del espectro [29]**



**Figura 2.11 Frecuencias de las sub-bandas para sistemas multi-banda OFDM que usaremos para la simulación [27]**

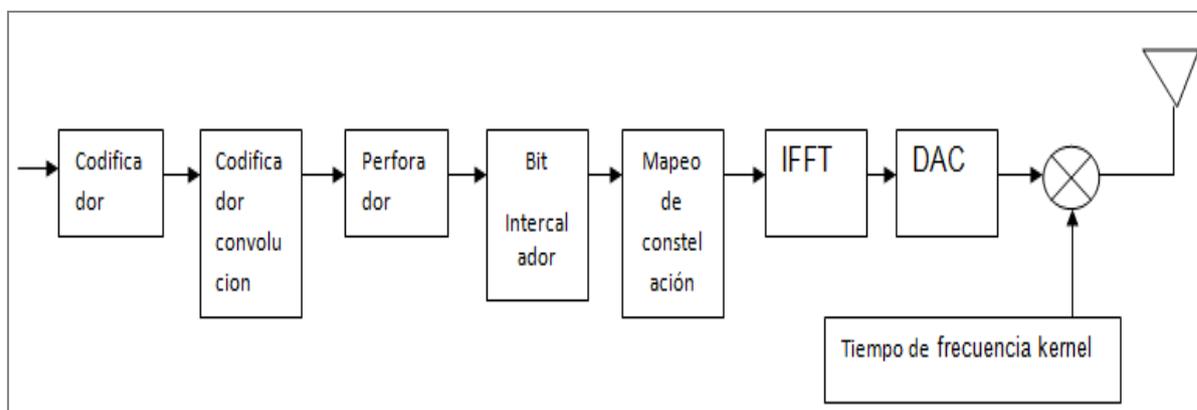
En la figura 2.11 se muestra un ejemplo de cómo se transmite un sistema OFDM de multi-bandas. En este ejemplo se asume tres símbolos, ya que en la vida real pueden ser aún más; el prefijo cíclico es insertado al comienzo de cada símbolo y un intervalo de guarda de 9.5 ns es añadido a cada símbolo, dicho intervalo es para asegurar

que solo la señal simple RF del transmisor y la cadena del receptor son necesarias para todo el entorno del canal y todas las tasas de transferencias y el suficiente tiempo para transmitir y recibir conmutando los canales como se muestra en la figura 2.12 [27].



**Figura 2.12 Código de dispersión tiempo-frecuencia para modo 2 en MB-OFDM UWB [28]**

En la Figura 2.13 se muestra un diagrama de un transmisor OFDM para la transmisión de datos



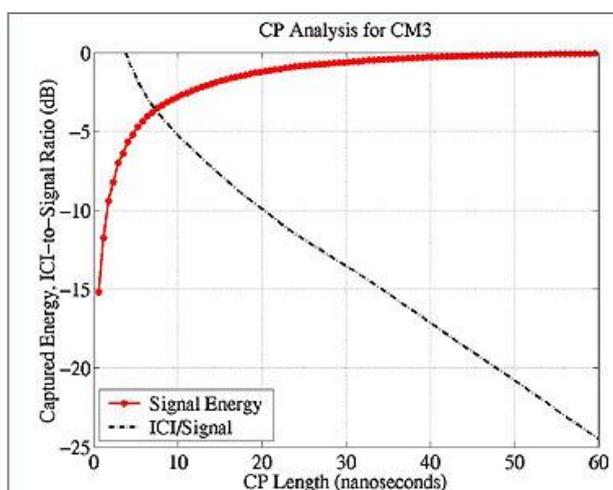
**Figura 2.13 Arquitectura de un sistema OFDM multi-banda para lo que es transmisión de datos [27]**

### 2.12.2 RESISTENCIA AL MULTI-CAMINO

Este sistema OFDM es resistente y tiene una baja complejidad del receptor. Haciendo un prefijo cíclico (CP) que obliga a realizar una

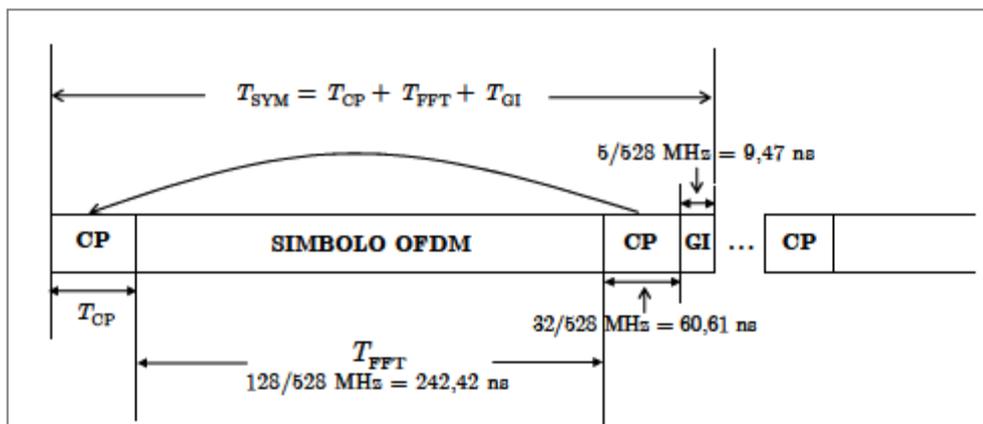
convolución lineal con un canal de respuesta del impulso para re-ensamblar la convolución circular, el cual en el dominio del tiempo es equivalente a una multiplicación en la Transformada Discreta de Fourier. Lo cual hace que en el dominio de la frecuencia del ecualizador sea suficiente para desaparecer los efectos de canal del multi-camino [27].

En los sistemas de transmisión inalámbricos es común que aparezca el IES (interferencia entre símbolos), y en las transmisiones de multi-portadoras, como MB-OFDM, genera la pérdida de la ortogonalidad temporal de las sub-portadoras, provocando un efecto offset en frecuencia, el cual genera interferencia entre portadoras (ICI) adyacentes; con lo cual el prefijo cíclico se lo incorpora para superar este efecto en transmisiones de multi-portadoras, como se muestra en la Figura 2.14 [28].



**Figura 2.14 Captura de energía multi-camino en función de la longitud del CP para 4 a 10 m en canales NLOS [27]**

El uso del CP (prefijo cíclico) hace es una copia de las muestras finales del símbolo OFDM que son insertados en su parte inicial, por lo que la longitud temporal del CP debe de ser mayor que la dispersión de retardo del canal, en la Figura 2.15 se muestra como se compacta la señal OFDM [28].



**Figura 2.15 Prefijo cíclico e intervalo de guarda en MB-OFDM [28]**

### 2.12.3 ASIGNANDO TONOS

El incremento de los tonos hace que un sistema OFDM decremente la sobre-carga provocado por los CP, por otro lado la complejidad del (FFT/IFFT) incrementa, mientras que el espacio entre los tonos adyacentes decrece. Y para el mejor equilibrio entre estos dos factores el sistema OFDM tiene 128 tonos, por lo que para ser compatible con las regulaciones del FCC, se usan al menos 122 tonos; de los 128 tonos son particionados en 100 tonos de datos, 22 tonos de piloto y 6 nulos; además de los 22 tonos pilotos, 12 son estándares y 10 son de usuarios; y los 12 estándares son suficientes para variaciones de la fase de estimación/localización debido a la frecuencia de desajuste portadora/sincronización [27].

### 2.12.4 PROMEDIO PICO DE RELACION DE POTENCIA (PAPR)

El PAPR es el que indica si el sistema OFDM se puede implementar en CMOS, un gran PAPR manda un alto pico de potencia transmitida para la transmisión DAC(Digital Analog Converter), permitiendo un pequeño porcentaje de recorte al DAC, decrementa el PAPR [27].

Para un sistema OFDM de multi-banda de UWB es restringido a 9 dB que resulta de una degradación de menos que 0.1 dB y como FCC ha limitado la potencia a -41.25 dBm/MHz y el promedio de potencia de

un sistema multi-banda OFDM es de -9.5 dBm. Por lo que en PAPR de 9 dB resulta en el pico de poder transmitido de menos de 0 dBm, lo que nos permite saber que es realizable utilizar CMOS sin utilizar una fuente de voltaje externo [27].

#### **2.12.5 ESPECTRO FLEXIBLE**

Por lo que el sistema UWB tiene un espectro no licenciado, esto hace posible que pueda subsistir con otros dispositivos compartiendo el mismo espectro; y como ya vimos que un espectro UWB es diferente en varias partes del mundo. Un sistema OFDM puede cumplir con los reglamentos locales apagando ciertos canales o tonos en software, por lo que esta capacidad hace que este sistema se adopte en cualquier parte del mundo [27].

El espacio entre los tonos es de 4.125 MHz y la banda de resolución del OFDM es más angosta que la banda de 500 MHz para sistemas de multi-banda basado en pulsos; y si ocurre alguna interferencia solo afectara a un par de tonos, en los cuales se puede recuperar dichos dato aplicando un código de corrección de errores [27].

#### **2.12.6 COMPLEJIDAD Y EL CONSUMO DE ENERGIA**

Como se vió el sistema OFDM se puede ver que es un técnica de modulación compleja, pero se le puede bajar el grado de complejidad limitando la transmisión de símbolo a QPSK(Quadrature Phase-Shift Keying), la resolución de DAC/ADC y la precisión interna en la banda base digital, especialmente el FFT(Fast Fourier Transform) puede ser menos compleja [27] (Ver Tabla 5 y Tabla 6).

El OFDM multi-banda tiene ventaja sobre otras implementaciones del UWB con respecto a la simplicidad, como la eficiencia de capturas de energía de los multi-caminos; para un clock muy rápido de 102.4 MHz, tiene 128 puntos FFT/IFFT, que son requeridos para un multi-banda OFDM presenta 10 complejas multiplicaciones en cada ciclo

de clock, la cual es equivalente a un complejo receptor RAKE 4-tap, para alguna aplicación multi-banda de una sola portadora de 250 MHz.

DATA RATE	POTENCIA TRANSMITIDA	POTENCIA RECIBIDA
110 Mbps	93 mW	155 mW
200 Mbps	93mW	169 mW

**Tabla 5 Estimaciones de energía consumida para un sistema OFDM en 90 nm con CMOS [27]**

DATA RATE	AWGN	LOS De 0 a 4 metros	N-LOS De 0 a 4 metros	N-LOS De 4 a 10 metros	RETARDO DE DISPERSION
CIENTO DIEZ Mbps	20.5 metros	11.5 metros	10.9 metros	11.6 metros	11 metros
DOSCIENTOS Mpps	14.1 metros	6.9 metros	6.9 metros	6.8 metros	5 metros
CUATROSCIENTOS OCHENTA Mbps	7.8 metros	2.9 metros	2.9 metros	-	-

**Tabla 6 El noventa por ciento de éxito enlace distancia de probabilidad para un sistema OFDM multi-banda como una función de la velocidad de datos y el medio ambiente del canal [27]**

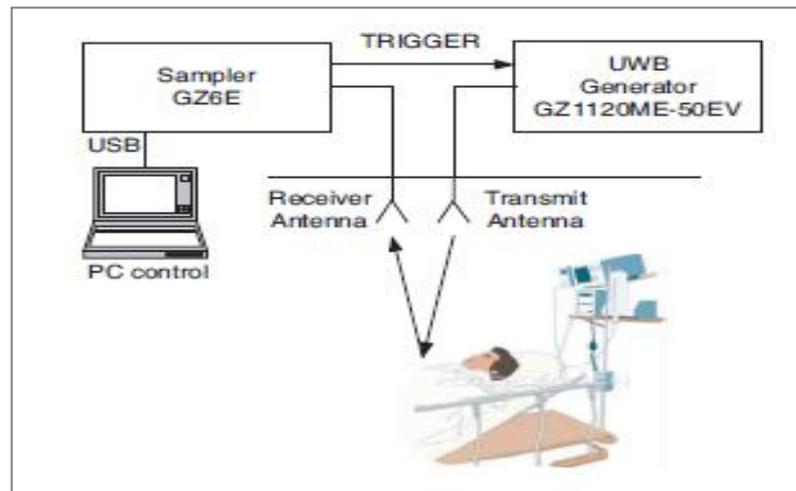
### 2.13 Análisis de signos vitales usando IR-UWB

La tecnología UWB tiene unas características distintas, por su gran ancho de banda, por lo que puede ser transmisión y recepción de pulsos sin portadora o moduladas en pulsos cortos con portadoras.

Esta característica hace que tenga un bajo grado de complejidad, bajo costo, bajo consumo de energía y alta velocidad de transmisión.

Otras de las ventajas es que por su radiación y consumo bajo, pueden coexistir con otros instrumentos, por lo que son robustos a interferencias [31].

En la medicina se han encontrado usos para monitorear signos vitales como se muestra en la Figura 2.16.



**Figura 2.16 UWB-radar para monitorear [31]**

El generador de pulsos GZ1120ME-50EV es usado para generar monociclos de pulsos con una frecuencia central de 5GHz y una amplitud de  $\pm 5 V$  y una transferencia de pulsos de repetición de 250 kHz, que está conectada a una antena transmisora de UWB con un rango de frecuencia de 3.1 GHz a 10.6 GHz [31].

La radiación del pulso reflejado por la persona es detectada por la antena receptora y el GZ6E las convierte para la respectiva lectura [31].

Existe un modelo matemático que incluye como variables la respiración y la acción del movimiento del corazón. Donde cabe señalar que la señal viaja hacia el humano, y parte de esta se refleja. El tiempo de vuelo de arribo (TOA) es denotado con  $\tau_0$  y la distancia de la antena es  $d_0$ . La respiración y el movimiento del corazón hacen que el pecho se expanda y se contraiga periódicamente, denotado como distancia de vuelo  $d_t(t)$  como se muestra en la ecuación (2.48) que tendría variaciones periódicas con respecto a  $d_0$  nominal, para monitorear signos vitales.  $m_b$  y  $m_h$  son desplazamientos, y  $f_b$  y  $f_h$  son sus frecuencias. [31].

$$d(t) = d_0 + m(t) = m_b \sin(2\pi f_b t) + m_h \sin(2\pi f_h t) \quad (2.48)$$

La señal recibida también puede ser representada por una sumatoria de respuesta de canales con las variaciones debido a la respiración y el corazón como muestra la ecuación (2.49) [31].

$$r(t, \tau) = \sum_i A_i p(\tau - \tau_i) + A p(\tau - \tau_d(t)) \quad (2.49)$$

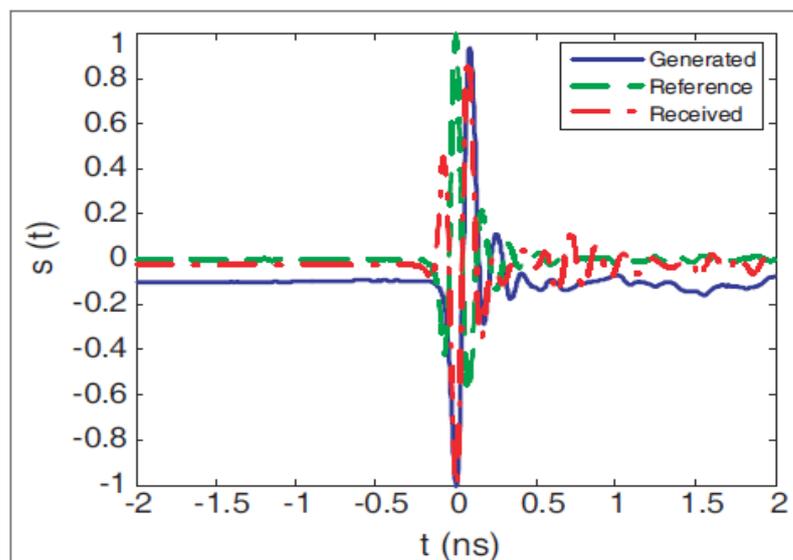
Donde  $p(t)$  es el pulso normalizado y  $A_i$  es la amplitud de cada componente de multitrayecto, con su retardo  $\tau_i$  y  $A$  es la amplitud reflejado en el cuerpo.

Como es de notar de la ecuación (2.48) la respiración y el movimiento del corazón modulan la señal recibida, y el  $\tau_d$  es asociado con los signos vitales que es modelado como una sumatoria de tiempos de vuelo  $\tau_o$  como se muestra en la ecuación (2.50) [31].

$$\tau_d(t) = \frac{2d(t)}{c} = \tau_o + \tau_b \sin(2\pi f_b t) + \tau_h \sin(2\pi f_h t) \quad (2.50)$$

Donde  $c$  es la velocidad de la luz y  $\tau_b$  y  $\tau_h$  son el desplazamiento de la respiración y palpitaciones del corazón respectivamente

En la Figura 2.17 se observa los diferentes patrones de señales de onda las cuales son: la generada, la recibida y la obtenida desde el generador de pulso que es la de referencia [31].

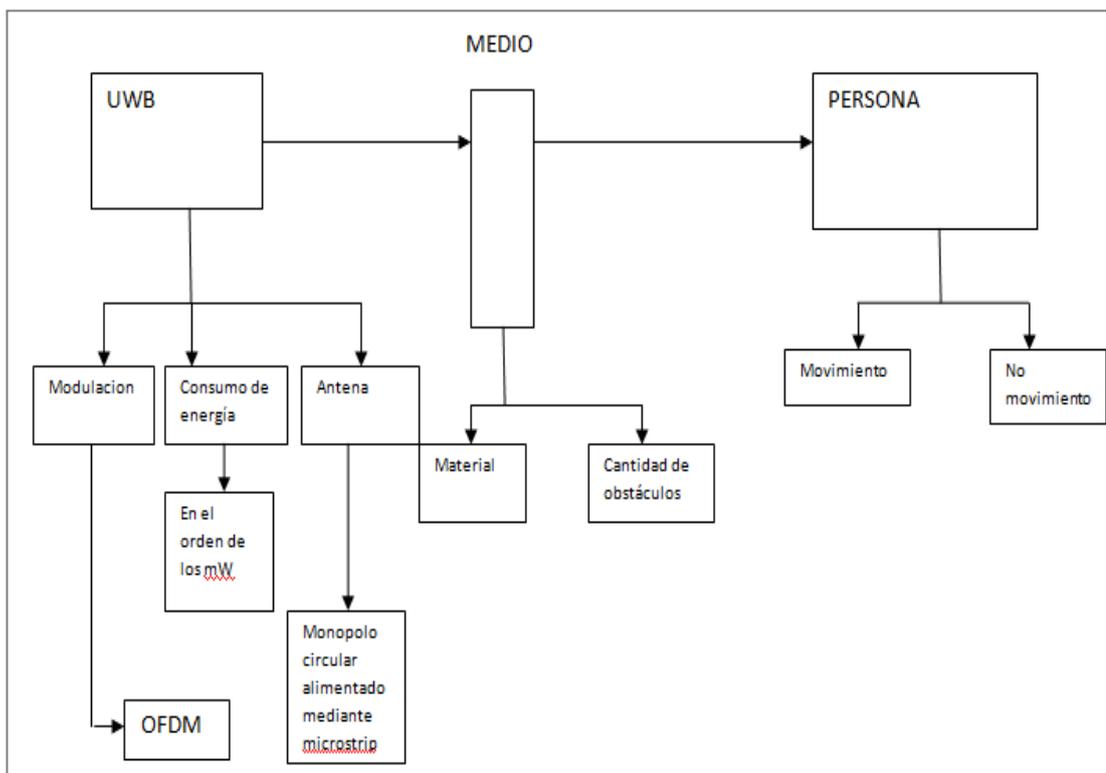


**Figura 2.17 Forma de ondas de tiempo normalizado[31]**

## CAPÍTULO 3

### 3 DISEÑO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE PERSONAS Y PARÁMETROS A USARSE.

#### 3.1 Diagrama de bloques del sistema de detección de personas usando UWB.



**Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema UWB.**

El sistema en general presenta tres partes bien definidas: la parte del equipo UWB, la de la persona viva que se encuentra bajo escombros, y el medio entre ambos (cemento, madera, entre otros). El sistema UWB describe tres componentes importantes del diseño: la modulación OFDM, cuanta energía consume el sistema, y el tipo de antena a usar; en cuanto a la persona solo tomaremos en consideración si la persona atrapada está respirando o no, ya que de ello y de las palpitations del corazón depende que el sistema la detecte. Por último en cuanto al medio tomamos en consideración las

atenuaciones de inserción de los materiales que estén entre el dispositivo y la persona, tanto en dirección al material como su reflejada, porque simularemos teniendo en cuenta la naturaleza y características de propagación de los mismos.

### 3.2 Desarrollo de los bloques y selección de parámetros del sistema.

#### 3.2.1 Tabla de parámetros relevantes.

PARÁMETRO	VALOR
Frecuencia de Operación	5.5 [GHz]
Alcance del Equipo	7 m
Modulación	256QAM y OFDM
Ancho de banda	4.128 [MHz]

**Tabla 7 Parámetros Relevantes usados para el sistema.**

Para el diseño del sistema se usó OFDM porque es útil al transmitir señales en multitrayecto y atravesar obstáculos, en el cual se observa en la Figura 2.10 la configuración que se tiene en dicho sistema para diferentes Países, y en la Figura 2.11 está el sector que usaremos para el sistema que se diseña. Para la simulación se escogió la frecuencia central de 5.5 [GHz] debido a que UWB trabaja en el orden de los Gigahertz, con un ancho de banda de 528 [MHz]. Según los conceptos vistos en el capítulo 2 usando la tecnología UWB tenemos un alcance máximo de 7 m (Ver Tabla 7).

### 3.2.2 Tabla de pérdidas en diferentes materiales

TIPO DE MATERIAL DEL OBSTÁCULO	PÉRDIDAS DE INSERCIÓN DE REFERENCIA (db)		
	2.4 GHz	3.3 GHz	5.5 GHz
Metal	37	42	47
Cristal doble	3	4	7
Muro de hormigón	8	12	16
Tres puertas de madera	3	4	5
Ser humano	8	12	16
Columna de hormigón	15	20	28
Tronco de árbol	2	3	5
Copa con hojas de árbol	3	7	12
Copa sin hojas árbol	3	4	5
Pino-Abeto	12	15	25
Copa de palmeras	7	9	11

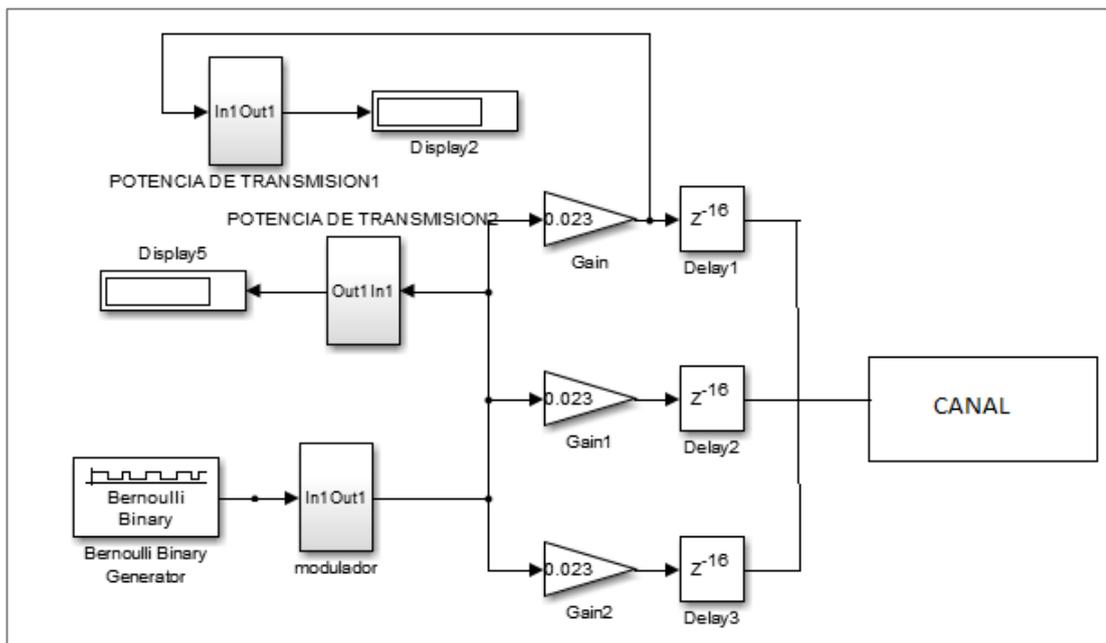
**Tabla 8 Pérdidas en diferentes materiales [30].**

En la tabla 8 se encuentran detalladas las diferentes pérdidas en decibelios para los diferentes tipos de materiales, para efectos del proyecto se considera las pérdidas a una frecuencia de 5.5 GHz.

### 3.3 Sistema UWB en MATLAB

#### 3.3.1 Sistema Transmisor UWB

A)



B)

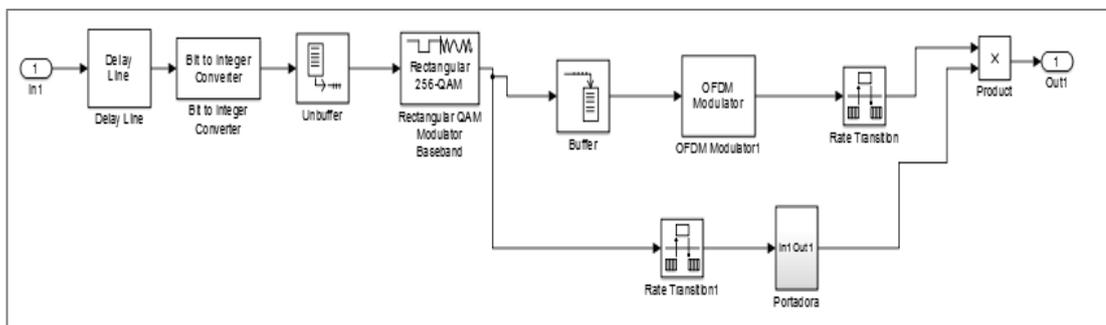


Figura 3.2 A) Diagrama de bloques Transmisor UWB y B) Modulador del sistema.

El sistema transmisor diseñado en Matlab contiene en su inicio un bloque de generación de bits (Bernoulli Binary Generator) que entrega una trama de 16 bits, seguido por un retardo y un bloque que convierte de bits a enteros, para poder trabajar sin problemas las etapas siguientes, luego se prepara la señal con un sistema de buffer y se la

lleva a la etapa de modulación basada en QAM donde se transmite los 256 símbolos.

Posteriormente la señal será tratada en modulación OFDM, en el cual se le agregará un prefijo cíclico que evita el ICI (interferencia intersimbólica) y unos bits de guarda para que en el camino no sean afectados a los datos principales y se le colocará la portadora para que la señal viaje a través del medio.

### 3.3.2 Diseño del Canal en Matlab-Simulink

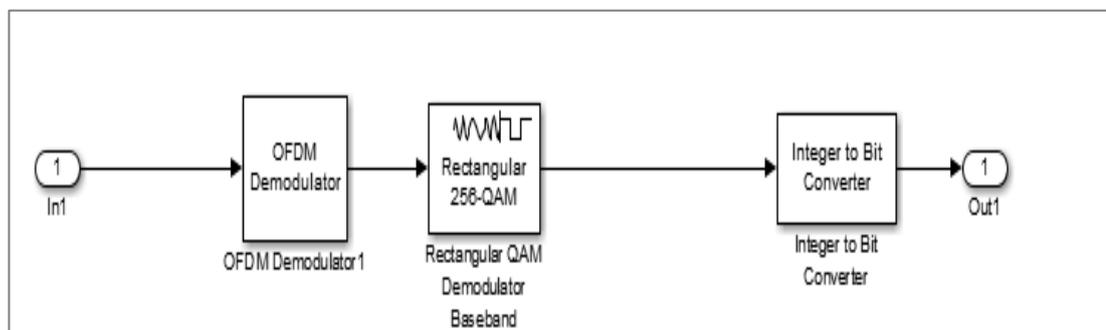
En la Figura 3.3 se tienen las etapas en las que el modelo muestra presencia de persona y materiales, poniendo al individuo en distintos lugares para que se distinga la onda reflejada después de varios obstáculos, por lo que el sistema toma en cuenta la onda reflejada, esto se simula con la atenuación por inserción que se lo obtendría de la ecuación (2.51) de cada material, ya que el sistema es ideal no se toma en cuenta la absorción de los obstáculos, simulando la onda reflejada que sea la inserción en positivo para que se atenué cuando pasa por los materiales siguientes.

$$10 \log_{10} \frac{P_{sal}}{P_{ent}} = IL_{db} \quad (2.51)$$

Atenuación por inserción de la señal



### 3.3.3 Sistema Receptor UWB



**Figura 3.4 Diagrama de bloques del Receptor.**

En la Figura 3.4 se muestran los bloques del receptor, donde se empieza, tomando los bits generados por el bloque generador Bernoulli y se inicia el proceso inverso al del transmisor, es decir primero pasar por los bloques demoduladores OFDM y el rectangular QAM de 256, posteriormente se desempaqueta y con ello generamos una señal la cual presentaremos usando un Scope.

En esta simulación se utilizará un método en el cual la tecnología UWB modulado en QAM que será el mapeo de bits y después pasara por OFDM que será el que proteja los datos importantes de cualquier obstáculo que se presentará en el canal, para luego poner la señal en la portadora deseada que es 5,5GHz.

Teniendo una frecuencia entre sub-portadoras de 4.128 MHz se saca el periodo como se muestra en la ecuación (2.52).

$$T = \frac{1}{f} = 0.2424 * 10^{-6} \text{ s.} \quad (2.52)$$

El sistema está diseñado para estar a 0.5 m encima del suelo, el cual se lo saco con la ecuación (2.53) y el resultado lo muestra la (2.54). Si hay reflexiones se las considera solo hasta 0.5 m.

$$d = 0.5 = CT_m \Rightarrow T_m = 0.17 * 10^{-8} s \quad (2.53)$$

$T_m$ : Tiempo de bit

$$\frac{0.17 * 10^{-8}}{2 * 10^8} = 0.085 * 10^{-16} \approx 8.85 * 10^{-18} \quad (2.54)$$

Cálculo del tiempo de muestreo.

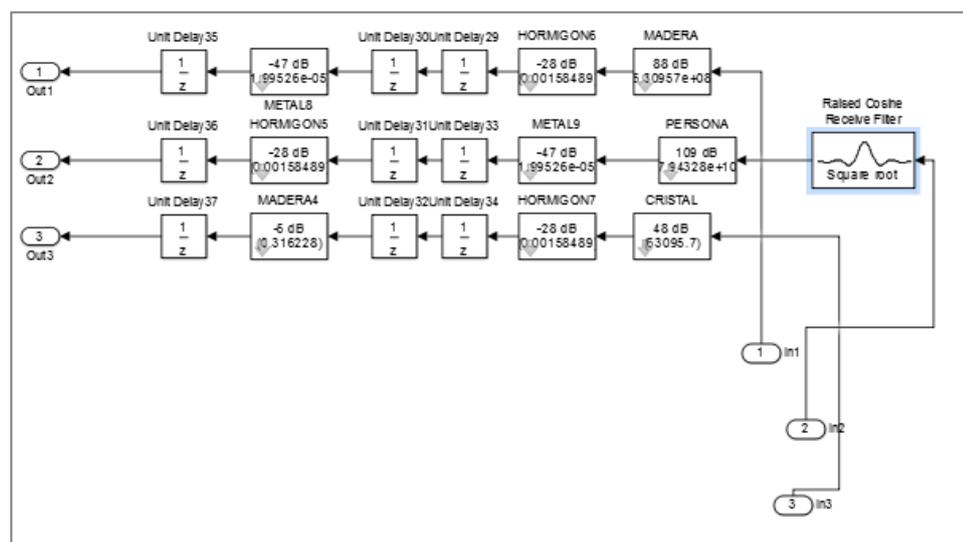
Para efectos de simulación, el tiempo de muestreo se lo sacó de la ecuación (2.54), se escogió  $8.85 * 10^{-12}$  que es un aproximado. Este muestreo se da por los tiempos que estamos a una frecuencia de 5.5 GHz.

Para el transmisor se toma un generador de BERNOULLI binario en el cual se hace un retardo para darle espacios entre las tramas, para después hacer la parte de mapeo que es la modulación.

La Figura 3.5 muestra el modelo en Matlab del Sistema UWB, la cual cuenta con el modelo de canal, modelo del transmisor UWB, y modelo del receptor. En el canal cuenta con la simulación de las pérdidas por materiales como: hormigón, metal, madera, y el de espacio vacío.



En la Figura 3.6 se definieron bloques de las reflejadas, ya que el sistemas lo que se toma en cuenta son dichas ondas, con sus respectivos retardos. Las atenuaciones que se escogieron son de la Tabla 8, y para efectos de la simulación se hizo una diferencia entre potencia que salen y entran al bloque de atenuación, tomando el ambiente ideal sin absorción de la señal por lo que saldría el mismo valor de la inserción pero en sentido positivo para hacer el efecto de atenuaciones con las demás bloques en negativos.



**Figura 3.6 Diagrama de Bloques en Simulink del Canal de la onda reflejada con las atenuaciones para distintos materiales.**

Esta es la etapa de la señal reflejada, tomando la tercera reflejada, se nota que para que salga el valor de la inserción en la salida, pero positivo, se le sumaría la inserción a la salida del bloque atenuado antes de entrar a este de reflejo.

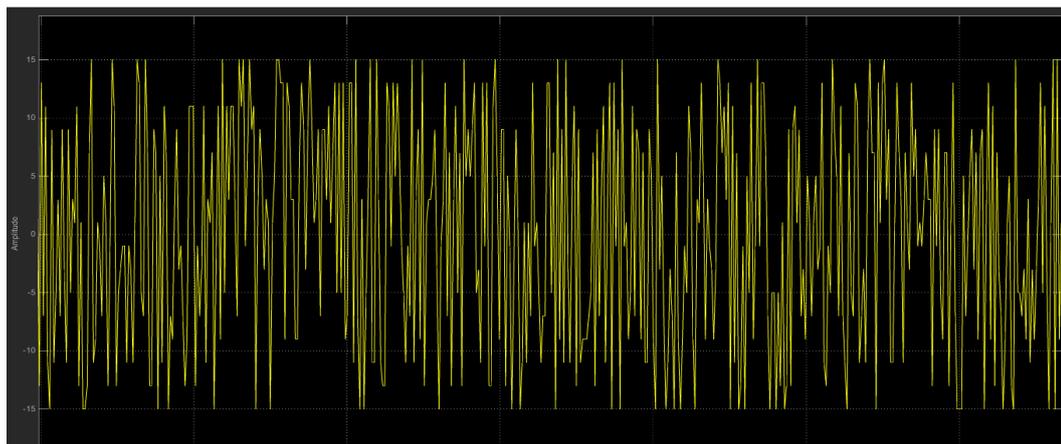
Después se hace que pase otra vez por los materiales atenuándose en cada uno pero con la de inserción en positivo.

Para simular la parte de la persona se introduce un bloque que sería la respiración con las palpitations del corazón que enviaría una señal reflejada diferente.

## CAPÍTULO 4

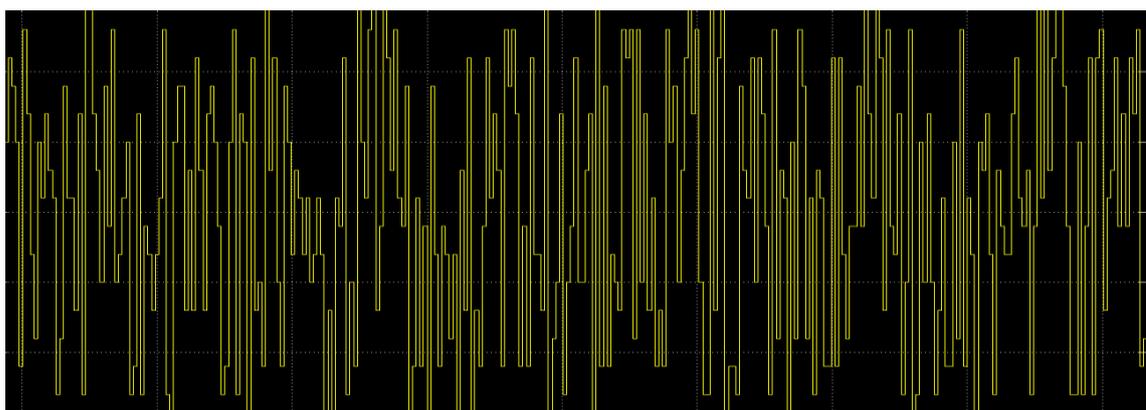
### 4 SIMULACIONES Y RESULTADOS DEL SISTEMA UWB EN MATLAB-SIMULINK

#### 4.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN MATLAB SIMULINK



**Figura 4.1 Parte Compleja de la Señal Transmitida.**

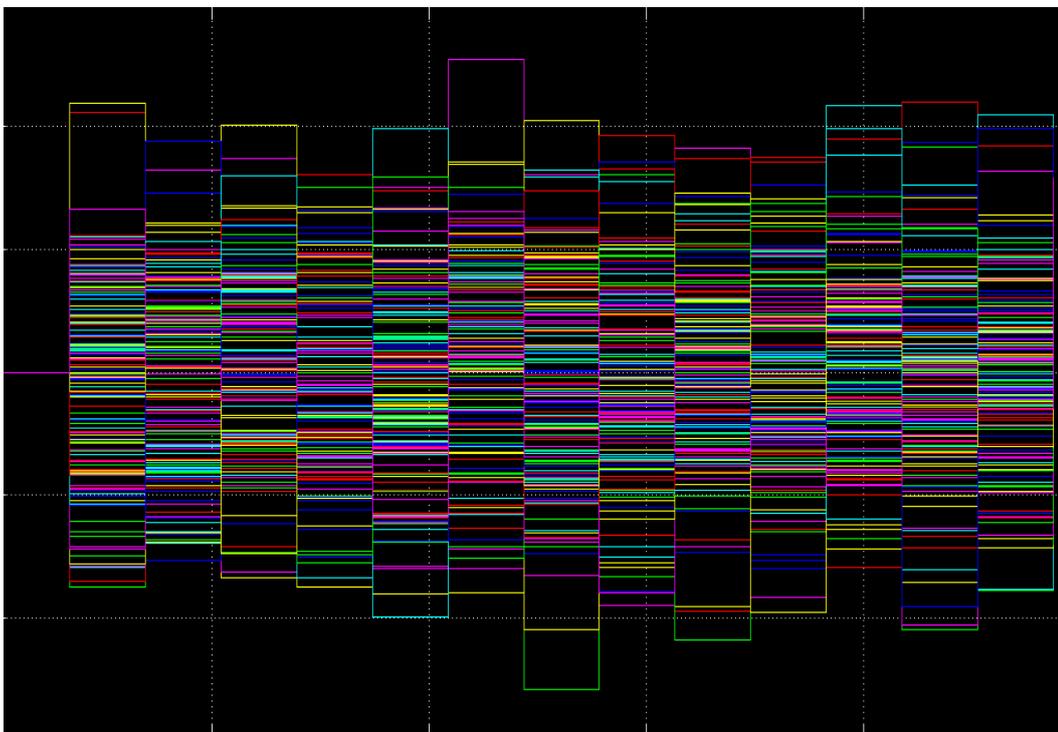
En la figura 4.1 se denota como se transmite los símbolos en la parte real de pasar el modulador OFDM, para luego enviarlos por el canal, en este caso son 256, y en la figura la parte real que debe de ser idéntica a la compleja.



**Figura 4.2 Parte Real de la Señal Transmitida.**

El modulador OFDM hace en insertar al símbolo un prefijo cíclico y un margen de guarda para que al ser transmitido por el canal no se afecten los datos importantes que se envía y así el receptor podrá tener completa o en su mayoría lo que se ha transmitido.

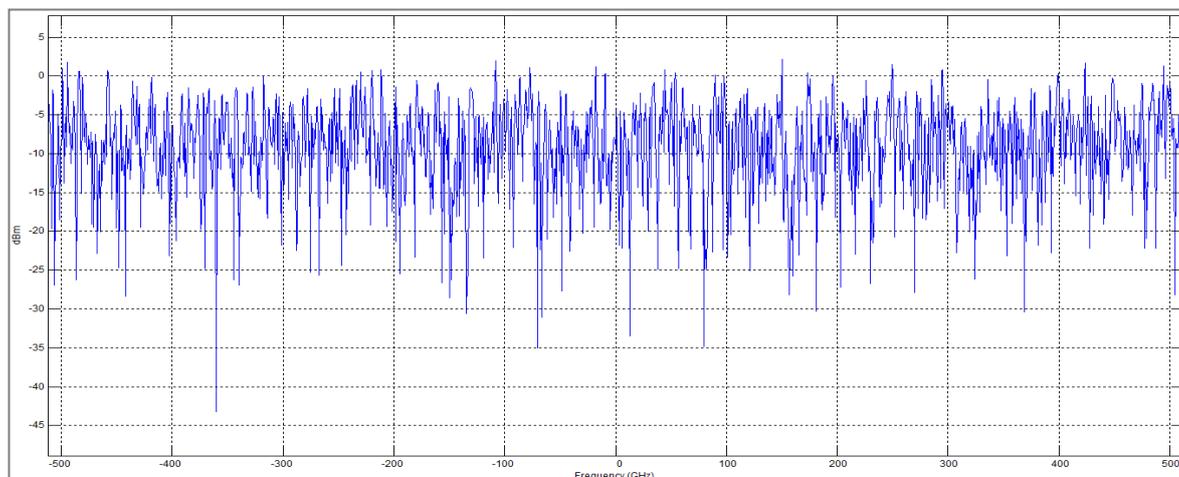
También se denota en la Figura 4.2 que la información se comprime para que con lo que se le añade no pierda su ancho de banda.



**Figura 4.3 Simulación a la Salida del transmisor.**

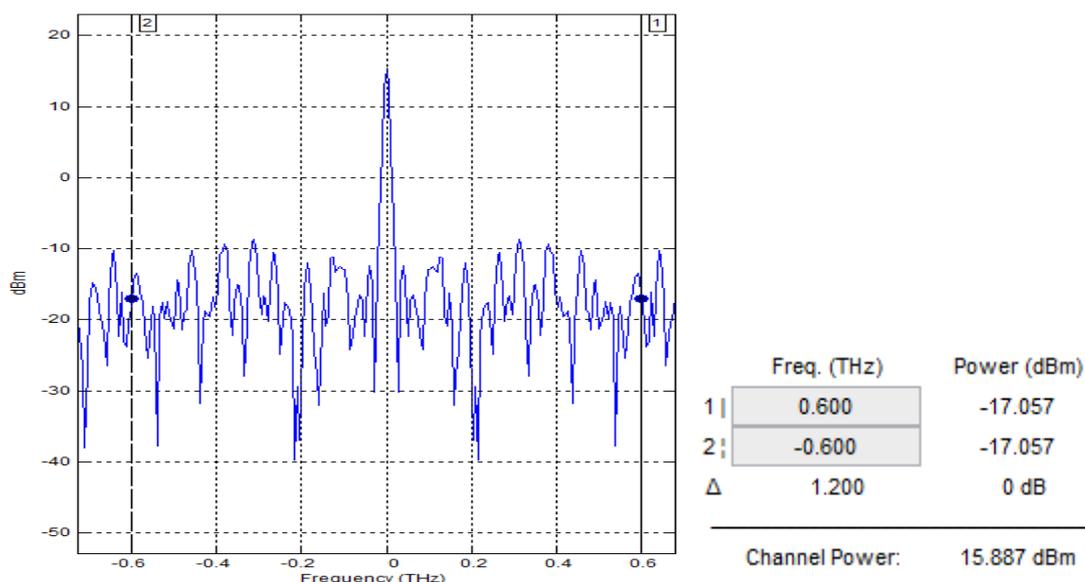
En la Figura 4.3 se observa como a la salida del transmisor, transporta la señal en símbolos, los cuales son 128 mas los de guarda, pero los datos estarían en 100, para dejar el resto para el prefijo cíclico y así proteger la información.

También se distingue, cómo se menciono anteriormente que se comprimen y que no se alcanzan a notar algunas por estar casi pegadas, pero esto es bueno ya que así el efecto del canal no afectara en su mayoría al sistema y el receptor podrá captar o interpretar la señal recibida



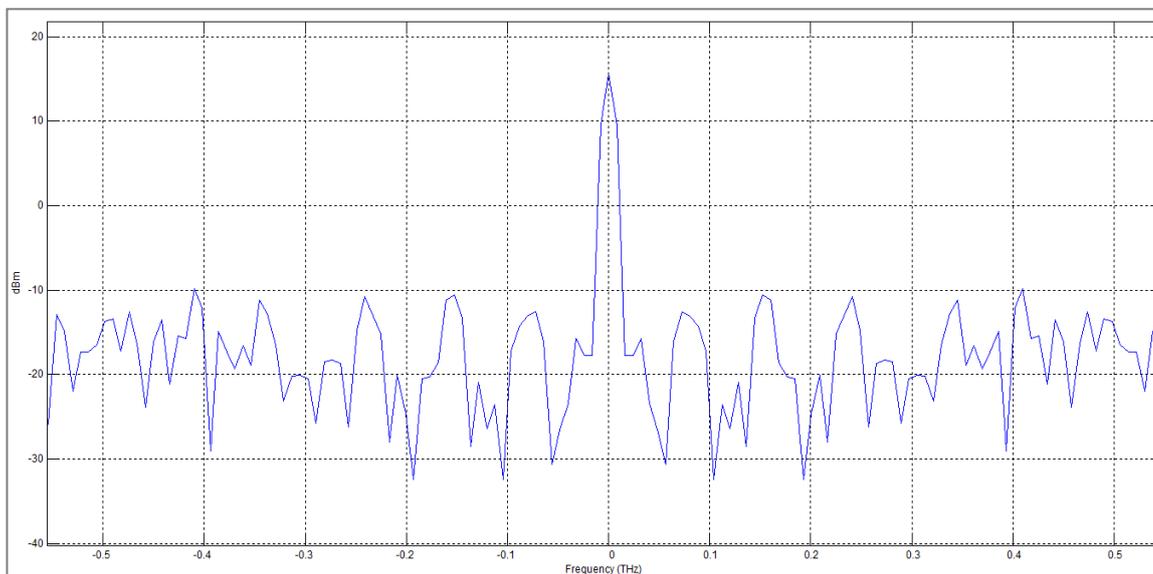
**Figura 4.4 Análisis Espectral a la salida del transmisor**

Para distinguir a la persona se toma en cuenta el análisis espectral, en el cual, donde se encuentra la persona entonces es diferente. No es otra señal, sino que es la misma señal pero por efectos de la respiración, y movimiento del corazón entonces cambia su aspecto, en la Figura 4.4 se muestra la señal al salir del transmisor, antes de entrar al canal, esto quiere decir que es la señal incidente antes de pasar por el proceso de reflejos con los materiales, para luego encontrar a la persona.



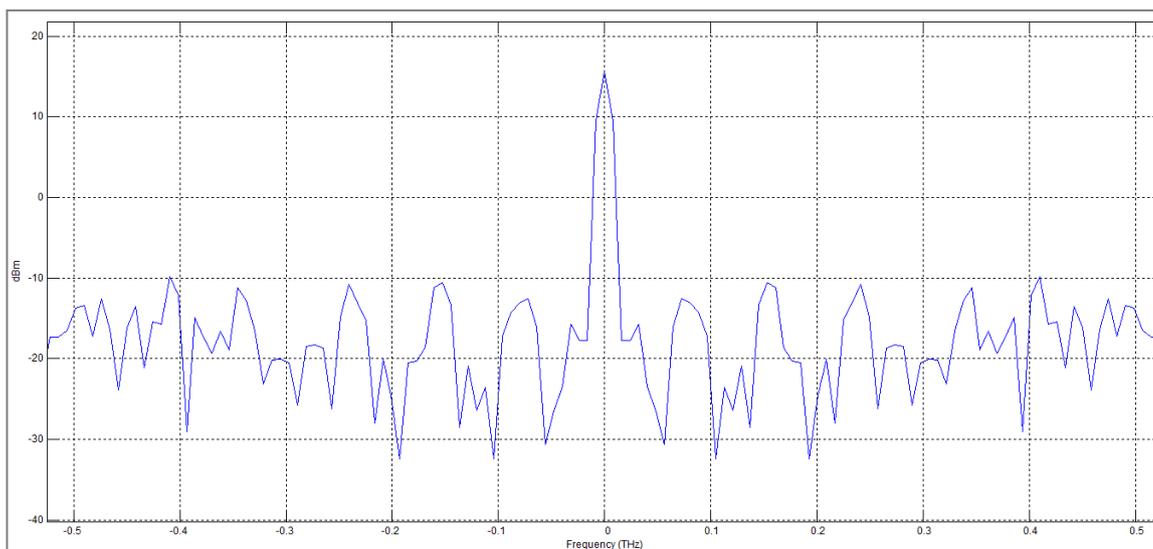
**Figura 4.5 Señal sin persona con su intervalo de frecuencia de muestra y su potencia en ese intervalo**

En la Figura 4.5 se observa la señal típica cuando no hay la presencia de persona en el área de búsqueda. Además se posee información de la potencia del canal.



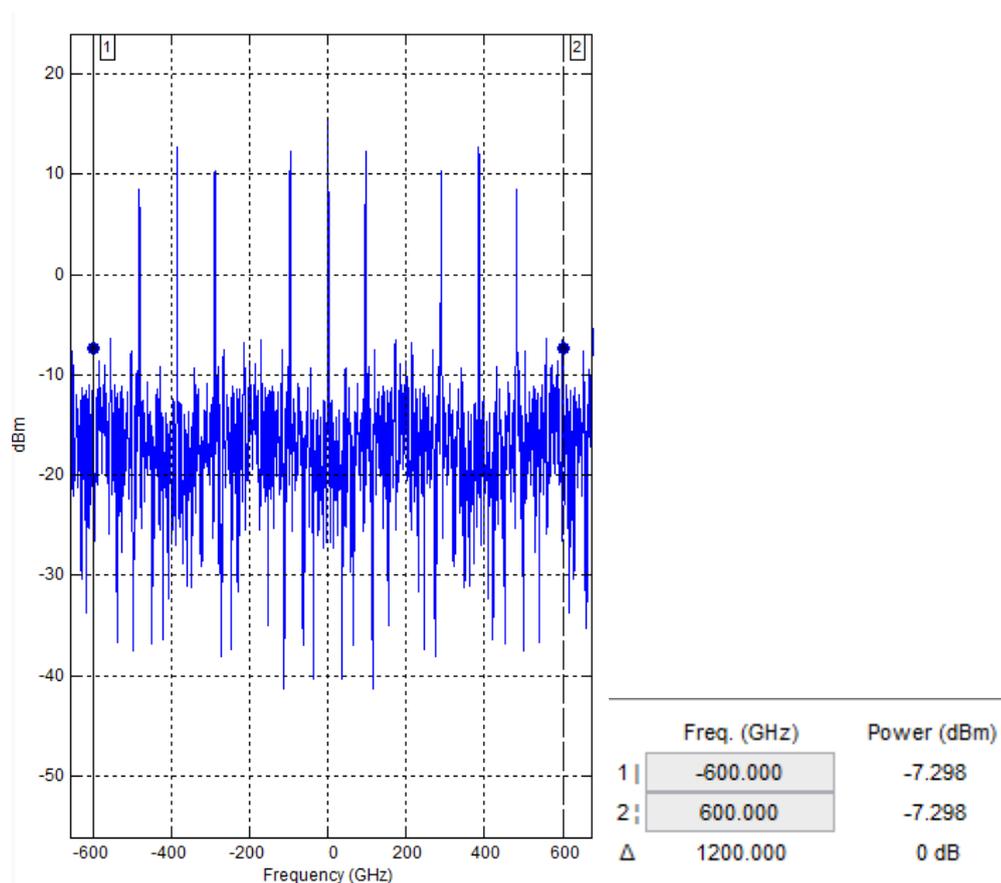
**Figura 4.6 Análisis Espectral reconocimiento de persona (a)**

La Figura 4.6 contiene información del análisis espectral de potencia del reconocimiento de personas en zonas de búsqueda. Además se observa que la potencia a 0.1 THz es diferente que a 0.5 THz.



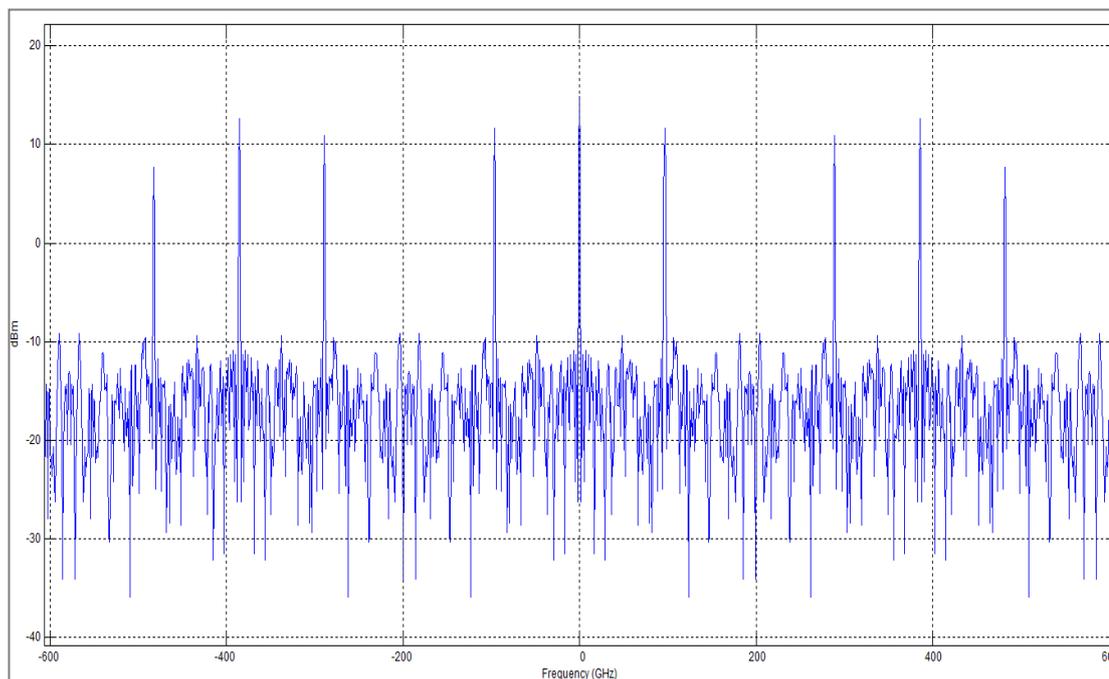
**Figura 4.7 Análisis Espectral reconocimiento de persona (c).**

La Figura 4.7 es otro ejemplo del análisis espectral de potencia del reconocimiento de personas, el cual cuenta con información acerca del análisis espectral.



**Figura 4.8 Señal con la persona con su intervalo de frecuencia de muestra y su potencia en ese intervalo**

La Figura 4.8 es un claro ejemplo de una señal de UWB cuando hay la presencia de una persona bajo los escombros en zonas de desastres.



**Figura 4.9 Análisis Espectral reconocimiento de persona (b).**

La Figura 4.9 indica que la potencia a 10dB en los puntos de 0, 540, 390, 110 THz son casi idénticas debido a la naturaleza espectral de la señal.

Se hará una comparación entre las gráficas **(a)**, **(b)** y **(c)** para identificar en cual se halla a la persona.

**Análisis:** En las figuras **(a)**, **(b)** y **(c)** para reconocer cual sería la señal de la persona se nota que la **(b)** es la que se presenta diferente, por lo que tomando como muestra la tercera onda reflejado de los diferentes caminos, se llegará a la conclusión que en el área donde se encuentre escaneando el dispositivo sea como el literal b, hay una persona.

Para mas criterio de comparación se tuvo que llevar a la misma escala los dos gráficos, ya que uno tenía GHz y los otros THz, por lo que se hizo una conversión tomando de referencia 1THz tiene 1000GHz, y con esto se obtuvo que 600GHz tenga 0.6THz.

Esto sucede porque la respiración y las palpitaciones del corazón hacen la parte de un modulador natural en la señal, que al reflejarse en el cuerpo, cambiaría en comparación como cuando se reflejaría en materiales.

Con este cambio en la señal, se puede reconocer que hay presencia de alguna persona viva gracias a su facultad de poder respirar.

En las Figuras 4.4 y 4.5 se observa que la potencia en esos mismos puntos son diferentes ya que cuando no hay personas estarían en unos  $-17.057$  dbm, en cambio cuando aparece una persona respirando tenemos aproximadamente  $-7.298$  dbm, con lo cual efectivamente debe de haber un ser viviente en ese lugar.

#### **4.2 Problemas que se presentaron durante el diseño del Sistema.**

Se experimentaron inconvenientes al realizar los cálculos para los tiempos de bits y los de muestreo, ya que estos provocaban que salga error a cada rato, y así no se hacía la compilación, saliendo como respuesta fallas.

Otro inconveniente fue, el de simular el tipo de cambio que haría la respiración con las palpitaciones del corazón por lo que se optó por cambiar algunos bloques, hasta encontrar el de Raised Cosine Receive Filter.

Otra de las dificultades que fue el entender la modulación OFDM ya que como se tenía el MATLAB 2013 no había el módulo OFDM, sino se debía armar y había un detalle de dicha modulación, que se debía de agregar bits que represente el prefijo cíclico y los de guarda, por lo que se optó a conseguir el MATLAB 2014 y así solo configurar el bloque en MATLAB.

Además se presentó el inconveniente del canal, ya que al poner el bloque de RAYLEIGH, Rician Y AWGN su valor de potencia final experimentaba un incremento considerable, lo cual no es lo más apropiado debido a que la potencia inicial debe mantener un mayor valor que la potencia final, por lo que se decidió hacer ideal el canal con solo AWGN y las respectivas atenuaciones de los diferentes materiales. Adicional, se experimentó con tres canales, uno con persona y otras dos sin persona

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se diseñó un sistema de localización de personas bajo escombros utilizando tecnología UWB

Se reconoció las bondades de la tecnología UWB frente a sistemas como el wifi, bluetooth, entre otras, en características que hicieron posible el diseño de un radar para la detección de personas.

Se analizaron los aspectos técnicos de la tecnología UWB, por lo que se optó en la decisión de escoger la frecuencia de 5.5 GHz y el ancho de banda de 528 MHz con OFDM para transporte y QAM como mapeo de bits.

Se adaptó la necesidad de traspasar escombros hasta llegar a la persona con las funciones que se podrían obtener mediante la correcta manipulación del UWB.

Se diseñó el sistema en base al problema de ubicación bajo escombros, utilizando la respiración o latidos del corazón de la persona sepultada para encontrarlos, tomando los métodos que los militares adoptaban para localizar las minas, y en los hospitales, el monitoreo de las funciones cardíacas.

Se simuló en MATLAB-SIMULINK, para observar el comportamiento de las diferentes variables de dicha tecnología, pasándolo por bloques de diferentes atenuaciones, debido a los materiales.

Se propuso un sistema en futuras catástrofes donde queden personas atrapadas y poder encontrarlas en el menor tiempo posible.

Realizar apropiadamente los cálculos de tiempo de bit y de muestreo, debido a que esto influye mucho al momento de simular.

Entender la modulación OFDM, y tener en cuenta que MATLAB 20013 no posee el módulo OFDM, sino se debía construir, y se tiene que agregar bits que represente el prefijo cíclico y los de guarda, por lo que se recomienda conseguir el MATLAB 2014 y así solo configurar el bloque en MATLAB.

Para efecto de simular, usar el canal ideal solo con AWGN y las respectivas atenuaciones de los diferentes materiales.

Añadir un estudio detallado hecho en alguna parte del mundo, de otros tipos de materiales y su atenuación frente a la señal emitida.

Para tener un mejor resultado se debe de tener muy en cuenta que los tiempos de muestreo y de la señal sean de un modo múltiplos, porque si no el software no te dejaría proceder a la simulación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ecuavisa. (2016 Mayo 3).  
<http://www.ecuavisa.com/articulo/terremoto/bbc/146801-drama-pedernales-pueblo-mas-golpeado-terremoto-ecuador>
- [2] Plan Nacional de Buen vivir, Páginas 54 y 55.
- [3] Ramon Jesus Ramon Millan Tejedor.(2004) Ultra Wide Band, Publicado en BIT nº 147, COIT & AEIT,
- [4] Yaiza Martínez. (2007). Elaboran un dispositivo con el fin de localizar personas atrapadas bajo escombros, haciendo uso de UWB con el fin de detectar el cuerpo bajo el parámetro de sus ondas electromagnéticas. Sitio web:  
<http://www.tendencias21.net/>
- [5] Paula Andrea Diaz Laiton y Francisco Alejandro Parraga Leon. (2011). Estudio y diseño de la tecnología UWB para la localización de personas bajo los escombros, Fundacion U de San Martin, Facultad a Distancia y Abierta de la Universidad, Ingeniería en Sistemas. Sitio web:  
<https://prezi.com/yhph3lbyzp8e/copy-of-sustentacion-uwb/>
- [6] Juan Lozano. (2016). ULTRA BANDA ANCHA (UWB “ULTRA WIDEBAND”). 6 de septiembre, de jlaya.com Sitio web:  
<http://www.jlaya.com/ultra-banda-ancha-uwb-ultra-wideband/&>
- [7] Raj Jain. (2008). Medical Applications of Ultra-WideBand(UWB).
- [8] Intel. (2004). Intel anuncia su estrategia respecto a UWB. junio 5, 2016, de ITespresso Sitio web:

<http://www.itespresso.es/intel-anuncia-su-estrategia-respecto-a-uw-13410.html>

- [9] Mendiola Jose. (2007). El Lenovo T61p incorpora UWB y viene acorazado. junio 5 , 2016, de engadget Sitio web:

<http://es.engadget.com/2007/07/10/el-lenovo-t61p-incorpora-uw-y-viene-acorazado/>

- [10] DecaWave. (2015). Camera Robot Tracks Moving Pictures Via RFID. Junio 5, 2016, de DecaWave Sitio web:

<http://www.decawave.com/camera-robot-tracks-its-moving-pictures-rfid>

- [11] Yakup Kilic, Arjan Meijerink, Mark J. Bentum, Henk Wymeersch, & William G. (2013) "Device-Free Person Detection and Ranging in UWB Networks", junio 5, 2016, A novel device-free stationary person detection and ranging method, that is applicable to UWB networks.

- [12] Cheng Chang, Anant Sahai. (2004). Object Tracking in 2D UWB Sensor Network. junio 5, 2016. Electrical Engineering and Computer Science University of California, Berkeley.

- [13] Henk Wymeersch , Arjan Meijerink , & Mark J. Bentum . (2013). DETECTION AND DEVICE-FREE RANGING. En DEVICE-FREE PERSON DETECTION AND RANGING IN UWB NETWORKS(43-54). IEEE Journal of Temas selectos de Procesamiento de Señales (Volumen: 8, Número: 1 ): IEEE.

- [14] Huan-Bang Li, Toshinori Kagawa, and Ryu Miura, (2015), "A Real-Time interiores Position Tracking System Using IR-UWB", National Institute of information and Comunication Tecnology (NICT), Japan.

- [15] Arcotel Plan Nacional de Frecuencias 2012.

- [16] Shahriar Emami. (2013). Principles, Design and Standards. En UWB Communication Systems: Conventional and 60 GHz (218). San José, CA USA: Springer.
- [17] Armenian\_Ecuadorian relationship. (2016). El terremoto de 7.8 deja un saldo de 272 fallecidos. 27 de junio, Union Ecuatoriana y Armenia de Noticias:
- [http://newsecuador.ec/one\\_news.php?id=1636](http://newsecuador.ec/one_news.php?id=1636)
- [18] Dr.- Ing R. Zetik. (2004). Localizacion. 27 de junio, de Ukolos Sitio web: [http://www-emt.tu-ilmenau.de/ukolos/apps\\_lo.php](http://www-emt.tu-ilmenau.de/ukolos/apps_lo.php)
- [19] BeinBlue. (2014). El efecto de la Banda estrecha y de interferencia en VER con enlaces UBW MB-OFDM, 27 de junio, de BeinBlue.com Sitio web:
- <http://www.beingblue.com/introduction/introduction.htm>
- [20] Daniel Brande Hernandez (2012), Diseño de nuevas antenas UltraWide Band con filtros notch integrado, 17 de julio, Proyecto de fin de carrera.
- [21] Professor S.H. Chog. (2015). XeThru UWB radar used for interiores position tracking. 4 de septiembre, de xethru by novelda Sitio web: <https://www.xethru.com/blog/posts/xethru-uwb-radar-used-for-interiores-position-tracking>
- [22] Jorge Eduardo Villacrez Ortiz, (2006), Estudio de la Tecnología UWB( Ultra Wide Band) en redes inalámbricas de comunicaciones, Sangolqui-Ecuador
- [23] Pulson 400. (2011). Datasheets/TD\_Broadspec\_Antenna
- [24] Proyecto de Grado, Estudio de la tecnología UWB (ultra wide band) en Redes Inalámbricas de Comunicaciones, Jorge Eduardo Villacres Ortiz.

Fuente:

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/94/1/T-ESPE-014272.pdf>

- [25] University of Tennessee Ur. Doctoral Dissertations UWB Pulse Radar for Human Imaging and Doppler Detection Applications, Yazhou Wang.
- [26] Comparisons of various pulse shapes for DS-UWB signals over the UWB channel Ertan Öztürk · Ergin Yılmaz.
- [27] Anuj Batra, Jaiganesh Balakrishnan, and Anand Dabak, Texas Instruments, (2003). Multiband OFDM: Why it Wins for UWB. 17 de junio del 2016, de EE Times Sitio web:  
  
[http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1271901](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1271901)  
  
[http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%25252F5\\_MODULACION\\_OFDM.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%25252F5_MODULACION_OFDM.pdf)
- [28] Gonzalo Llano Ramírez y Dr. Juan Reig Pascual ; Valencia, España (2010); Modelado en frecuencia del canal UWB y su aplicación en el análisis de técnicas de modulación adaptativa en sistemas MB-OFDM UWB para redes WPAN
- [29] Sunil Jogi, Manoj Choudhary. (2009). UltraWideBand Demystified "Technologies, Application, and System Design Considerations". Dinamarca: River Publishers Aalborg.
- [30] Ignacio Álvarez Calvo.(2013).Perdidas de Inserción en diferentes tipos de materiales y árboles Escuela Superior Universidad Autónoma de Madrid.
- [31] A. Lazaro, D. Girbau, R. Villarino. (2010). Analysis of vital signs monitoring using an IR-UWB radar. Department of Electronic, Electric and Automatic Engineering, Universitat Rovira I Virgili (URV), Spain.

## ANEXOS

### ABREVIATURAS

ADC	Analogue-Digital Converter (Convertidor Analógico-Digital)
BBC	British Broadcasting Corporation (Corporación Británica de Radiodifusión)
BPSK	Binary Phase Shift Keying (Clave Binaria de Cambio de Fase)
BW	Band Weight (Ancho de Banda)
CDMA	Code-Division Multiple Access (Código de División de Acceso Múltiple)
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor (Semiconductor Complementario de Óxido Metálico)
CP	Cyclical Prefixe (Prefijo Cíclico)
CRLB	Crammer-Rao Lower Bound (Enlace Inferior Crammer-Rao)
DAA	Distributed Application Architecture (Arquitectura de Distribución de Aplicación)
DARPA	Defence Advanced Research Project Agency (Agencia de Proyectos en Defensa y búsqueda Avanzada)
DS-UWB	Direct Secuency-Ultra Wide Band (Secuencia Directa-Ultra Banda Ancha)
FCC	Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones)
FFT	Fast Fourier Transform (Transformada de Fourier)
FPGA	Field-Programmable Gate Array (Compuertas de Arreglos de Campo Programables)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)

IDA	International Development Association (Asociación Internacional de Fomento)
IES	Interferencia entre símbolos
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform (Transformada Inversa de Fourier)
IR	Impulso de Radio
IR-UWB	Impulse Ratio-Ultra Wide Band (Tasa de Impulso-Banda Ultra Ancha)
LDC	Low Duty Cycle (Ciclo de Trabajo Reducido)
NTIA	National Telecommunications and Information Administration (Administración Nacional de la Información y Telecomunicaciones)
OF	Operation Frequency (Frecuencia de Operación)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (División y Multiplexación Ortogonal de Frecuencia)
PPM	Pulse Position Modulation (Modulación por Posición de Pulso)
PRR	Pulse Repeatition Rate (Tasa de Repetición de Pulsos)
PSD	Power Spectral Density (Densidad Espectral de Potencia)
RF	Radio Frequency (Radio Frecuencia)
RFID	Radio Frequency Identification (Identificación de Radio Frecuencia)
RTLS	Real Time Location System (Sistema de Localización en tiempo Real)
SNR	Signal-to-Noise Ratio (Relación Señal vs Ruido)
UWB	Ultra Wide Band (Banda Ultra Ancha)