

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**EVALUACIÓN DE PRECISIÓN EN LA ESTIMACIÓN DE DISTANCIA DE
DISTINTOS PULSOS ULTRA-WIDEBAND CON LA TÉCNICA DE TIEMPO DE
ARRIBO**

TESIS

**Que para cubrir parcialmente los requisitos para obtener el grado de maestro en
ingeniería presenta:**

ANA KARINA PÉREZ GARCÍA

**DIRECTOR: M.C. ENRIQUE RENÉ BASTIDAS PUGA
CO-DIRECTOR: M.C. GUILLERMO GALAVIZ YÁÑEZ**


Mexicali, B.C.

Enero de 2012

RESUMEN de la Tesis de Ana Karina Pérez García, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA. Mexicali, Baja California, México. Enero de 2012.

EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN EN LA ESTIMACIÓN DE DISTANCIA DE DISTINTOS PULSOS ULTRA-WIDEBAND CON LA TÉCNICA DE TIEMPO DE ARRIBO

Resumen aprobado por:



M.C. Enrique René Bastidas Puga
Director de tesis

RESUMEN

La naturaleza humana hace desarrollarnos en situaciones donde es necesaria la comunicación y para esto es necesario establecer medios. Uno de los medios más discutidos es la capacidad de conectar distintos dispositivos a través de redes inalámbricas. Los avances tecnológicos en la actualidad nos inclinan al desarrollo de tecnologías para el caso de redes inalámbricas de área personal o corto alcance (WPAN)¹ con aplicaciones que demandan servicios, tales como localización de posición, conectividad entre distintos dispositivos y determinación de distancia (activación de alarma en zona restringida), utilizando las tecnologías que proveen las mejores características (funcionalidad, complejidad, costos). En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema WPAN en entorno de interiores, para evaluar la precisión en la estimación de distancia entre transmisor y receptor utilizando distintos pulsos de la tecnología Ultra-WideBand (UWB)² con la técnica de localización tiempo de arribo (ToA)³, que permitirá comparar el desempeño de dichos pulsos para contar con una referencia de características cuantitativas que ofrezca apoyo a trabajos relacionados, simplificando la tarea de elegir el pulso adecuado según la aplicación y sus restricciones.

¹ WPAN: Wireless Personal Area Networks.

² UWB: Ultra-WideBand.

³ ToA: Time of Arrival.

ABSTRACT of the thesis, presented by Ana Karina Pérez García, in order to obtain the **MASTER of ENGINEERING DEGREE in ELECTRONICS ENGINEERING**. Mexicali, Baja California, México. Enero, 2012.

ACCURACY EVALUATION IN THE DISTANCE ESTIMATION WITH VARIOUS ULTRA-WIDEBAND PULSES AND THE TIME OF ARRIVAL TECHNIQUE.

Approved by:



M.C. Enrique René Bastidas Puga
Thesis Advisor

ABSTRACT

Human nature does engage in situations where communication is needed and therefore the establishment of media. One of the most discussed media is the ability to connect different devices over wireless networks. Technological advances now incline us to the development of technologies for wireless personal area networks or short range (WPAN) applications that require services such as position location, connectivity between different devices and distance determination (activation of restricted zone alarm), using the technologies that provide the best features (functionality, complexity, costs). This paper presents the development of a WPAN in indoor environments to evaluate the accuracy in estimating the distance between transmitter and receiver using different pulses of Ultra-WideBand (UWB), with time of arrival (ToA) localization technique, which will compare the performance of these pulses in order to have a reference for quantitative trait to provide support to related works, simplifying the task of choosing appropriate pulse depending on the application and its restrictions.

ÍNDICE

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Hipótesis.....	3
1.4 Objetivo.....	3
1.5 Metas.....	4
1.6 Metodología.....	4
Capítulo 2. Marco teórico	6
2.1 Sistemas Ultra-WideBand (UWB).....	6
2.2 Técnicas de localización.....	16
2.3 Análisis de trabajos relacionados.....	23
Capítulo 3. Desarrollo del sistema propuesto	25
3.1 Análisis de pulsos UWB.....	25
3.2 Descripción de escenarios.....	29
3.3 Fundamentación matemática.....	31
Capítulo 4. Análisis e interpretación de resultados	36
4.1 Comparativo de pulsos con mismo ancho de banda.....	36
4.2 Comparativo de cada pulso con distinto ancho de banda.....	37
Capítulo 5. Conclusiones y trabajos futuros	54
5.1 Conclusiones.....	54
5.2 Trabajos futuros.....	56
Referencias	57
Apéndice A	60

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Diagrama a bloques de la metodología utilizada para el desarrollo de la Investigación.	4
2.1	Coexistencia de UWB con otros estándares.	7
2.2	Restricción para transmisores comerciales de UWB en interiores.	8
2.3	Pulsos UWB analizados.	9
2.4	Pulso Gaussiano en el dominio del tiempo.	10
2.5	Pulso Sinc en el dominio del tiempo.	11
2.6	Diagrama a bloques de un generador de pulso Gaussiano.	13
2.7	Pulso Gaussiano (monociclo) en el dominio del tiempo.	13
2.8	Efecto de la antena en la transmisión del pulso Gaussiano.	14
2.9	Comparativo de la densidad espectral de potencia de pulsos de banda angosta y pulsos UWB.	15
2.10	Localización de posición de celular mediante 4 receptores fijos (células).	16
2.11	Representación gráfica y modelo matemático para estimar posición y/o distancia mediante la técnica ToA.	18
2.12	Representación gráfica y modelo matemático para estimar posición y/o distancia mediante la técnica TDoA.	19
2.13	Representación gráfica y modelo matemático para estimar posición y/o distancia mediante la técnica AoA.	20
2.14	Desviación de retardo para estimar error en distancia de pulso de banda angosta.	22
2.15	Desviación de retardo para estimar error en distancia de pulso UWB.	22
3.1	Pulsos UWB utilizados en esta investigación.	25
3.2	Pulso Gaussiano de primer orden en el dominio del tiempo.	26
3.3	Densidad espectral de potencia de pulso gaussiano de primer orden modulado, graficada para distintos anchos de banda (Bw) dentro de la máscara espectral de la FCC.	26
3.4	Pulso Sinc en el dominio del tiempo.	27

3.5	Densidad espectral de potencia del pulso sinc modulado graficada para distintos Bw dentro de la máscara espectral de la FCC.	27
3.6	Pulso Gaussiano de cuarto orden en el dominio del tiempo.	28
3.7	Densidad espectral de potencia de pulso Gaussiano de cuarto orden graficada para distintos Bw dentro de la máscara espectral de la FCC.	28
3.8	Escenarios considerados para el desarrollo de la investigación.	29
3.9	Diagrama de flujo de algoritmo propuesto para la simulación del proyecto.	30
3.10	Diagrama a bloques del sistema UWB.	31
3.11	Etapa de correlación.	32
3.12	Correlación de 2 señales.	33
3.13	Proceso de comparación.	34
4.1	Rango de error de CRLB en términos de SNR para distintos anchos de banda.	36
4.2	Comparativo de pulsos con el mismo Bw, considerando 1 pulso recibido y nivel máximo para la decisión	37
4.3	Comparativo de pulsos con el mismo Bw, considerando 1 pulso recibido y nivel de umbral de .75 para la decisión.	38
4.4	Comparativo de pulsos con el mismo Bw, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel máximo para la decisión.	38
4.5	Comparativo de pulsos con el mismo Bw, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de umbral de .75 para la decisión.	39
4.6	Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso recibido y nivel máximo de referencia para la decisión.	40
4.7	Representación gráfica de pulso Gaussiano con distintos anchos de banda y relación señal a ruido (SNR) para analizar resultados de EPED.	41
4.8	Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso recibido y nivel de umbral.	42
4.9	Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel máximo.	43

4.10	Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de umbral.	44
4.11	Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso sinc recibido y nivel máximo de referencia.	45
4.12	Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso sinc recibido y nivel de umbral.	46
4.13	Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos Sinc recibidos y nivel máximo de referencia.	47
4.14	Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de umbral.	48
4.15	Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso recibido y nivel máximo de referencia.	49
4.16	Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso recibido y nivel de umbral.	50
4.17	Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel máximo de referencia.	51
4.18	Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de umbral.	52

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Características generales de las técnicas de localización básicas.	21
4.1	Comparativo de los resultados para los 3 pulsos evaluados.	53

ÍNDICE DE APÉNDICES

a.1	Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Sinc modulado con promedio de 100 pulsos recibidos.	60
a.2	Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Sinc modulado con un pulso recibido.	61
a.3	Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Gaussiano modulado, con promedio de 100 pulsos recibidos.	62
a.4	Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Gaussiano modulado, con un pulso recibido.	63
a.5	Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Gaussiano de cuarto orden, con promedio de 100 pulsos recibidos.	64
a.6	Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Gaussiano de cuarto orden, con un pulso recibido.	65

Capítulo 1

Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Existen diferentes técnicas para lograr la radio localización de un dispositivo. Durante el desarrollo de este trabajo se enfrentó la disyuntiva sobre la elección de una técnica apropiada, lo cual gracias al estudio y análisis de diversas publicaciones relacionadas se pudo lograr.

Al utilizar la tecnología UWB con aplicaciones de estimación de posición y/o distancia, es importante conocer las características de los pulsos utilizados, con el fin de seleccionar el más adecuado en función de las restricciones de diseño. En general, la elección de un tipo de pulso para ser utilizado en un sistema determina:

- Costo
- Desempeño
- Complejidad en el diseño

Una mala selección del tipo de pulsos a utilizar puede generar altos costos. Por ejemplo, al considerar un pulso con ancho de banda mayor al requerido, implicaría el uso de un generador de pulsos más complejo en cuanto a su diseño y construcción, y por lo tanto más costoso. Otro ejemplo puede ser un pulso que debido a su gran ancho de banda, requiera ser filtrado para cumplir con las restricciones de la máscara espectral establecida en las regulaciones, lo cual implica la integración de un filtro en el diseño [1]. Consideramos que es necesario conocer el desempeño de los pulsos en aplicaciones de estimación de posición y/o distancia que requieran alta precisión, para lograr el mejor desempeño posible en el sistema.

En la literatura revisada no se encontró un análisis comparativo de pulsos tipo UWB para la aplicación de estimación de distancia entre un transmisor a un receptor. Se encontraron artículos que proponen y describen pulsos, que permiten el cumplimiento de la restricción de la Federal Communications Commission (FCC) ¹ con respecto a la máscara espectral y realizan un comparativo en términos de ancho de banda para cada uno de dichos pulsos [2].

De acuerdo a lo encontrado en la literatura disponible surgen cuestionamientos que dan lugar a este proyecto de investigación: ¿Existen diferencias entre los distintos pulsos utilizados por UWB para aplicaciones de medición de distancia?, ¿Existe algún pulso que permita una mayor precisión en la estimación de distancia?

1.2 Antecedentes

Sin duda alguna, uno de los sectores de la economía que ha registrado una gran evolución a nivel mundial es el de las telecomunicaciones; tal es el caso de las redes inalámbricas de área personal (WPAN), las cuales actualmente son parte importante de nuestra vida, gracias a su ventaja de movilidad sin atadura de cables. Una de las tecnologías que actualmente se utilizan en WPAN es la llamada *banda ultra ancha* (UWB) [3]. Así mismo aplicaciones de estimación de posición y/o de distancia son cada vez más solicitadas en este tipo de comunicaciones vía radio ya sea por cuestiones de seguridad, atención en situaciones de emergencia, entretenimiento, etc.; una realidad de ello son los productos introducidos en el mercado por Time Domain Corporation [4] para aplicaciones de sistemas de localización en tiempo real. Uno de estos productos es una etiqueta de grosor 6.8 mm, altura 75 mm y ancho de 37 mm, con la cual los usuarios pueden verificar su llegada a una ubicación, o la interacción con otra persona u objeto. Un ejemplo de aplicación de este producto se puede encontrar en un escenario de hospital, donde un médico puede verificar la interacción de un paciente con cierto equipo médico. Este tipo de aplicaciones se ven beneficiadas por la fina resolución del tiempo que la tecnología UWB provee gracias al uso de pulsos de muy corta duración (en el orden de los nanosegundos) [5]. Debido a la proliferación de

¹ FCC: Federal Communications Commission

productos UWB para aplicaciones de localización se considera indispensable conocer las características de distintos tipos de pulsos utilizados por esta tecnología, que permitan destacar ventajas o desventajas para aplicaciones específicas.

1.3 Hipótesis

Dadas las diferencias en tiempo y espectro de los distintos tipos de pulso UWB propuestos en la literatura, éstos presentarán diferencias en la precisión para la estimación de distancia. Por lo anterior, es posible identificar el tipo de pulso que permitirá la mayor precisión posible en la estimación de distancia entre un transmisor y un receptor.

Es por ello que de los resultados de este trabajo se desea resaltar las diferencias existentes entre los diferentes pulsos UWB evaluados en la estimación de distancia. Se espera encontrar diferencias significativas entre cada pulso, considerando distintas variantes en los parámetros del sistema tales como ancho de banda (duración del pulso), número de muestras para estimar la distancia y distintos criterios de detección, con el fin de facilitar la tarea de identificación de acuerdo a la aplicación de estimación de distancia.

1.4 Objetivo

Evaluar la precisión en la estimación de distancia de diferentes pulsos UWB que cumplen con las restricciones técnicas impuestas por la FCC para sistemas de comunicaciones de área personal en interiores.

1.5 Metas

- ❖ Determinar la precisión en la estimación de distancia de diferentes pulsos UWB, que cumplen con las restricciones técnicas impuestas por la FCC en Estados Unidos (EUA)², para sistemas de comunicación en interiores, mediante la implementación de un algoritmo para simular su transmisión y recepción en distintos escenarios considerando ruido blanco aditivo gaussiano (AWGN)³.
- ❖ Analizar el desempeño de los pulsos evaluados en términos de precisión, con la finalidad de resaltar las características de cada uno.

1.6 Metodología

El desarrollo de un sistema necesita acoplar las partes que lo integran; el diseño de cada una de las partes representa investigación y aprendizaje en cuanto a conocimientos específicos para lograr la eficiencia y eficacia en su funcionamiento. En este trabajo se utilizó la metodología descrita a continuación (figura 1.1) [6].

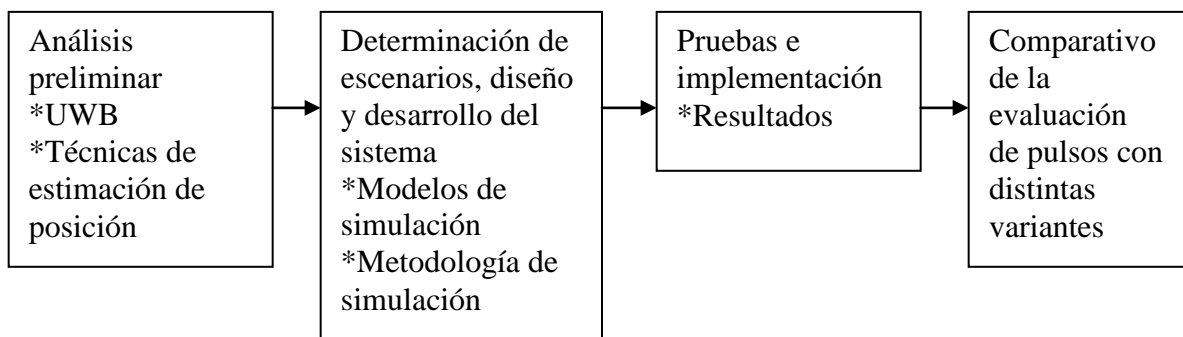


Figura 1.1 Diagrama a bloques de la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación.

² EUA: Estados Unidos de América

³ AWGN: Additive white Gaussian noise

La finalidad de este trabajo es estudiar, analizar y comparar el desempeño de diferentes pulsos utilizados por la tecnología UWB aplicados a la estimación de distancia entre un transmisor y un receptor para contar con una referencia de características cuantitativas sobre el desempeño de dichos pulsos, que pueda ofrecer apoyo a trabajos relacionados simplificando la tarea de elegir el pulso adecuado según la aplicación y sus restricciones. Los aspectos considerados para el desarrollo del trabajo se describen brevemente a continuación:

El presente capítulo plantea la necesidad de llevar a cabo este trabajo debido a las aplicaciones que han surgido en diversos rubros tales como seguridad, emergencia y entretenimiento. Además se describe el objetivo y metas.

En el capítulo 2 se describe la tecnología UWB, generación y forma de pulsos, aspectos normativos, ventajas y aplicaciones en localización de posición y estimación de distancia por lo que se describe y analizan las técnicas de radio localización existente. Se presentan resultados de publicaciones en las que se apoya este trabajo, y sus aportaciones.

El capítulo 3 describe el desarrollo de la propuesta, donde se detallan los escenarios, el análisis de pulsos y el procedimiento utilizado. El capítulo 4 presenta resultados obtenidos mediante gráficas que muestran el comparativo de la evaluación de pulsos. En el capítulo 5 se describen conclusiones y propuestas para trabajos futuros que den continuidad a los resultados de esta investigación.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Sistemas Ultra-WideBand

La primera transmisión inalámbrica se realizó a través del denominado “*Marconi spark gap emitter*” y fue de Ultra Banda Ancha (UWB), creada por la conductancia aleatoria de una chispa [7]. Pronto se establecieron requerimientos para el diseño de los sistemas UWB, tales como permitir al usuario recuperar información transmitida y hacer posible a los usuarios compartir el espectro de forma eficiente. En un principio no se ofreció una solución práctica a dichos requerimientos, pero en el transcurso del tiempo esto fue resuelto a partir del desarrollo de las medidas regulatorias para sistemas UWB.

Un mayor avance de la tecnología UWB ocurrió como resultado del desarrollo de los osciloscopios Tektronix y Hewlett –Packard en la década de los 60’s, ya que sus circuitos de muestreo no solo proveen métodos para mostrar e integrar señales UWB, sino además desarrollan circuitos sencillos que generan pulsos en banda base, en el orden de nanosegundos. A principios de los 70’s, los diseños básicos para sistemas UWB en aplicaciones de radar y comunicaciones, evolucionaron con avances en tecnología de componentes electrónicos. A finales de los 80’s, el Departamento de Defensa de EUA creó la nomenclatura UWB, para describir la comunicación vía transmisión y recepción de impulsos.

Con la llegada de UWB como candidato viable para redes inalámbricas, al final de los 90’s y principios del 2000 se detallaron investigaciones sobre propagación y modelos de canal, generándose resultados de mediciones que culminaron en un número notable de publicaciones. Recientemente ha habido un crecimiento en el número de compañías y agencias gubernamentales, involucradas en investigaciones y estudios de UWB, con el fin de informar a la FCC, sobre como los sistemas UWB pueden ser permitidos para operar en coexistencia con sistemas de banda angosta. Utilizando esta información, en el 2002 la

FCC decidió modificar la regulación, para permitir la operación de UWB en amplios rangos de espectro. Fue así como en el 2003 el primer certificado de la FCC para sistemas UWB comerciales fue otorgado, y en abril de ese año el primer chipset UWB fue anunciado por la compañía Time Domain Corporation.

La tecnología UWB utiliza modulación en banda ultra ancha con potencia de transmisión muy baja y señales de radio de pulsos muy cortos del orden de los nanosegundos, transfiere datos en un rango de espectro establecido por instancias reguladoras como la FCC. Permite un gran flujo de información (figura 2.1) con poco consumo de energía, a distancias cortas [8].

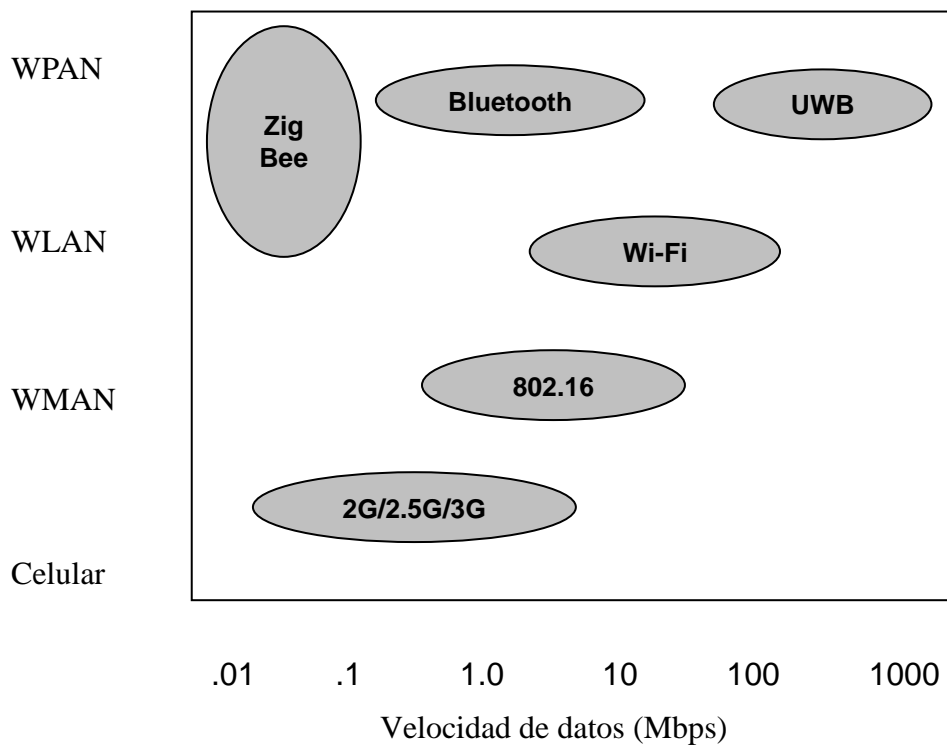


Figura 2.1 Coexistencia de UWB con otros estándares.

Aspectos Regulatorios

De acuerdo al reporte publicado por la FCC [9], la tecnología UWB en aplicaciones de comunicaciones en interiores debe cumplir con ciertas restricciones en cuanto a la banda de frecuencia y potencia utilizada. La Figura 2.2 muestra la máscara espectral establecida por la FCC dentro de la cual se deben encontrar las señales UWB utilizadas para transmisión de información en interiores [7].

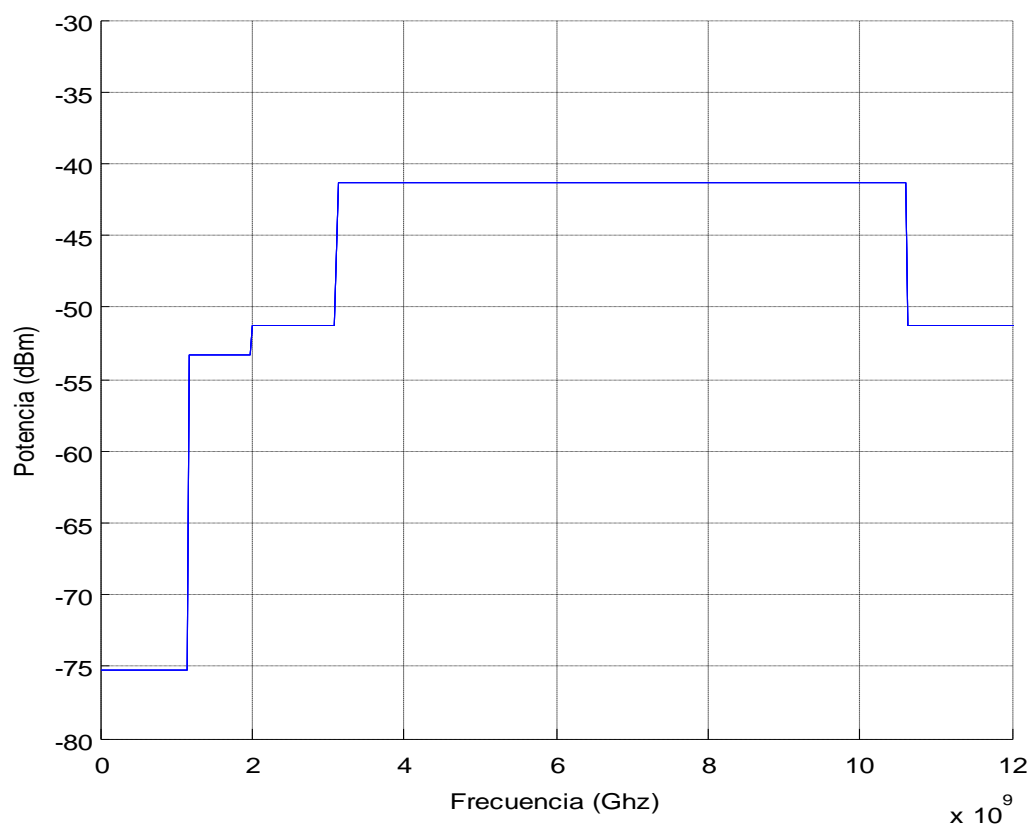


Figura 2.2. Restricción para transmisores comerciales de UWB en interiores.

La fórmula propuesta por la FCC para calcular la fracción del ancho de banda utilizado por un sistema UWB (ecuación 2.1) utiliza -10db del punto de emisión como referencia, este factor debe ser mayor al 25% de la frecuencia de operación. La frecuencia central (de operación) de transmisión está definida como el promedio de la frecuencia más alta y más baja al punto de referencia -10db (ecuación 2.2) [7].

$$\%BW = \frac{2(fh - fl)}{fh + fl} \quad (2.1)$$

$\%BW$ = Fracción del ancho de banda
 fl = Frecuencia menor a -10db
 fh = Frecuencia mayor a -10db

$$Fc = \frac{fh + fl}{2} \quad (2.2)$$

Fc = Frecuencia central

Tipos de Pulsos UWB

De la información analizada en distinta bibliografía se identificaron pulsos (figura 2.3) que cumplen con los requerimientos establecidos por la FCC para sistemas UWB [10,11].

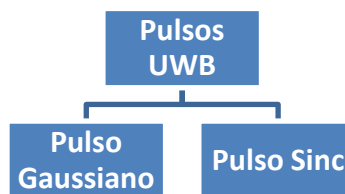


Figura 2.3 Pulsos UWB analizados.

Uno de los candidatos para aplicaciones en UWB es el pulso Gaussiano (figura 2.4), representado con la ecuación 2.3 en su primera derivada [10].

$$s(t) = \frac{t}{\tau} e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2} \quad (2.3)$$

$\tau =$ Duración del pulso en tiempo o factor que determina anchura de pulso

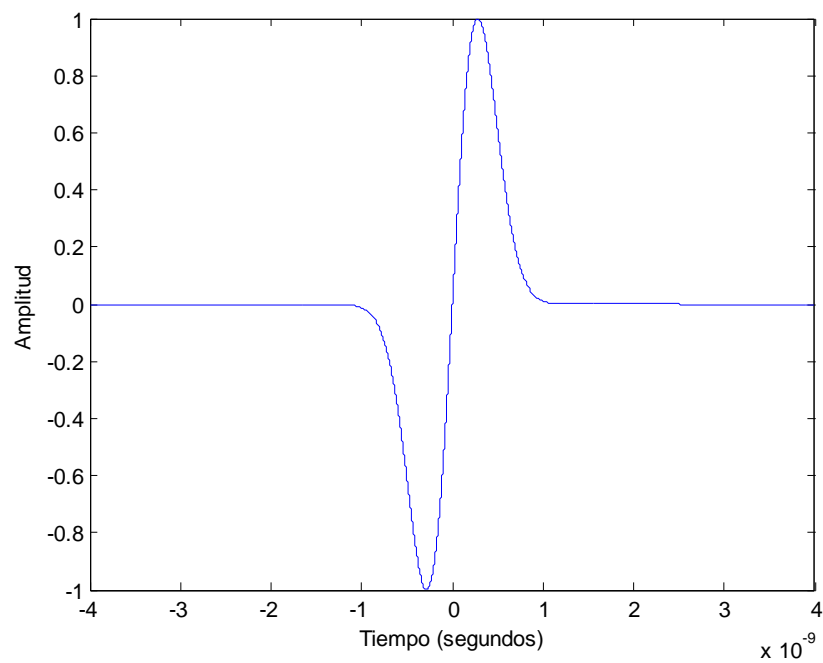


Figura 2.4. Pulso Gaussiano en el dominio del tiempo.

Se verificó el comportamiento de un pulso ideal (figura 2.5), utilizando la función matemática seno cardinal (sinc) [11]. Esta función corresponde a la transformada de Fourier de un pulso rectangular. La función sinc normalizada está definida como:

$$\text{sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t} \quad (2.4)$$

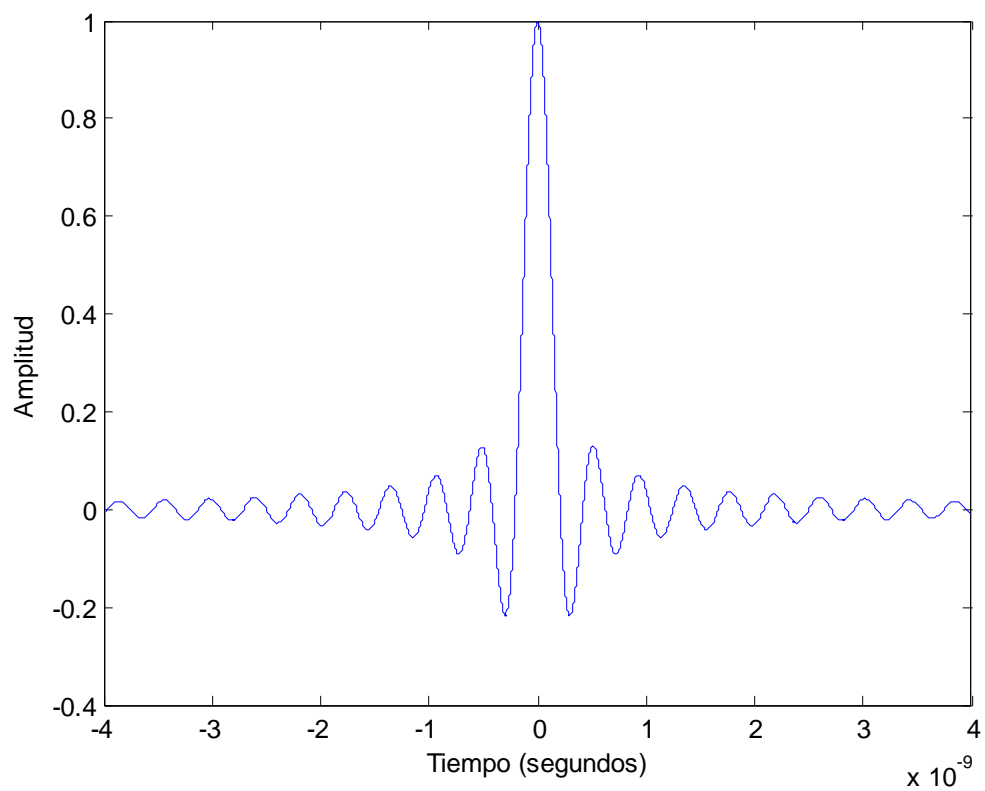


Figura 2.5. Pulso Sinc en el dominio del tiempo.

Generación de pulsos UWB

Los pulsos de corta duración de tipo UWB pueden ser utilizados para localizar o estimar distancias mediante técnicas de localización. Uno de los candidatos para aplicaciones con UWB es el pulso Gaussiano [2]. Este pulso es comúnmente utilizado porque se puede generar fácilmente. Su origen es un pulso cuadrado amoldado por los tiempos de elevaciones y reducciones del pulso y los efectos de filtración de las antenas transmisoras y receptoras. La rápida conmutación genera una forma de pulso que no es rectangular, pero tiene los bordes suavizados. La Figura 2.6 muestra un diagrama a bloques de un generador de pulso Gaussiano. La primera parte muestra un bloque de generador de pulso (cuadrado), seguido de un retardo en el tiempo y un bloque para derivación que genera la forma de pulso Gaussiano o monociclo (figura 2.7); la segunda parte contiene otro retardo que se genera previo a la transmisión por la antena, un amplificador que proporciona la ganancia deseada y por último un bloque para derivación, que muestra el efecto de la antena relativo al cambio que sufre la señal [7] en cuanto al tiempo de duración (figura 2.8); la forma del pulso (monociclo) aproxima la curva de función Gaussiana, conocida por la siguiente ecuación:

$$G(t) = \frac{1}{\tau\sqrt{2\pi}} \left(e^{-\left(\frac{t}{2\tau}\right)^2} \right) \quad (2.5)$$

Donde τ representa el factor que determina la anchura del pulso, y se mide en unidades de tiempo (segundos). Los efectos de este parámetro son determinantes para la elección de un pulso, ya que de este factor depende tanto el ancho de banda como la frecuencia central utilizada.

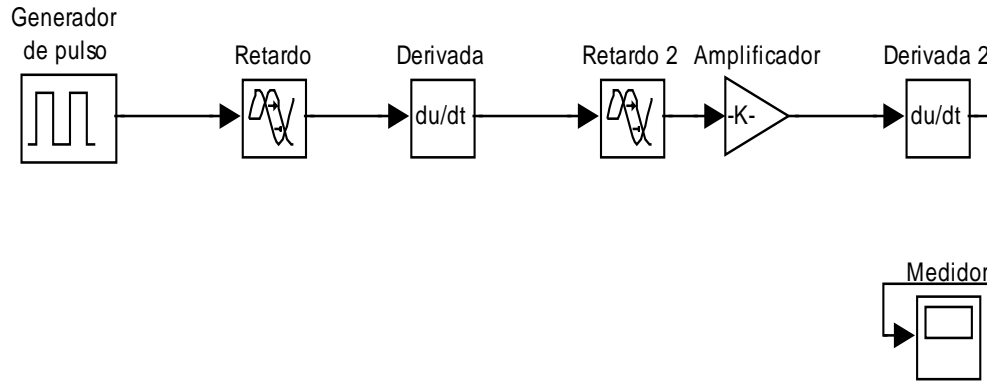


Figura 2.6. Diagrama a bloques de un generador de pulso Gaussiano.

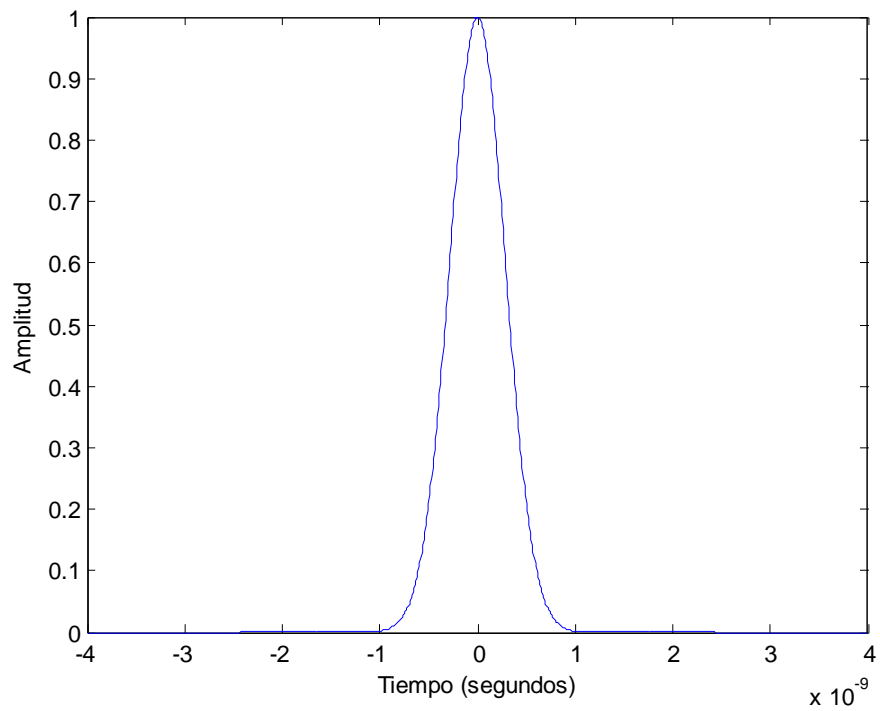


Figura 2.7 Pulso Gaussiano (monociclo) en el dominio del tiempo.

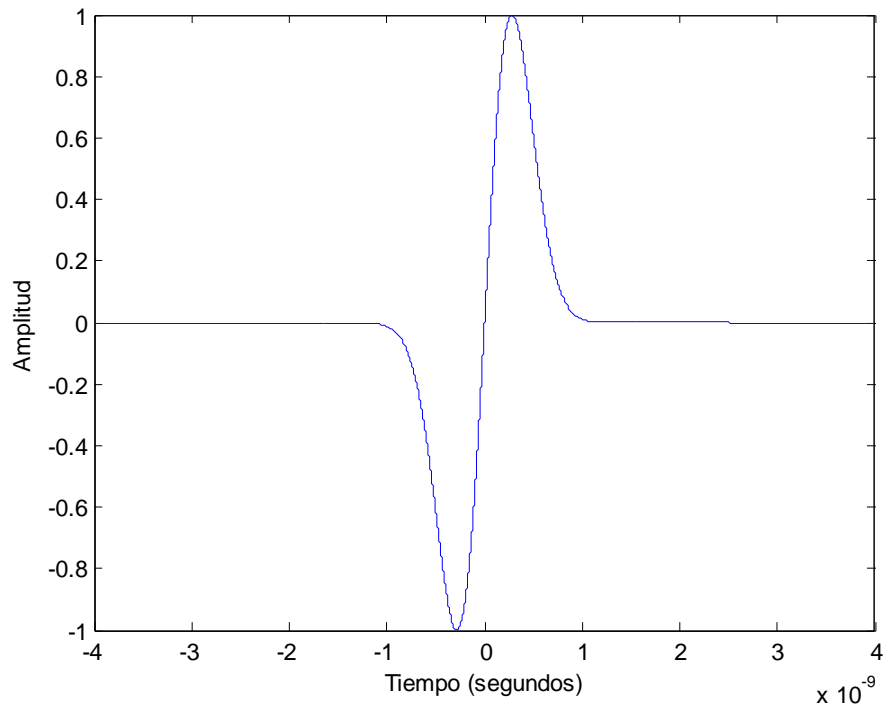


Figura 2.8 Efecto de la antena en la transmisión del pulso Gaussiano.

Aplicaciones de sistemas UWB

- ❖ Sistemas inteligentes para el hogar. Sistemas que automáticamente ajustan la temperatura de un cuarto o activan algún dispositivo, mediante un sistema de seguimiento [3].
- ❖ Sensores de proximidad, que de forma automática cierran o abran una puerta [12].
- ❖ Localización de personas autorizadas en áreas de alta seguridad [2].
- ❖ Verificar la interacción de algún paciente con un equipo médico [13].

La tecnología UWB difiere de forma sustancial de tecnologías que utilizan pulsos de banda angosta debido al gran ancho de banda que utiliza sus pulsos [14], factor que permite transmitir gran cantidad de información (figura 2.9), además de la fina resolución del tiempo en aplicaciones de estimación de posición o distancia [5].

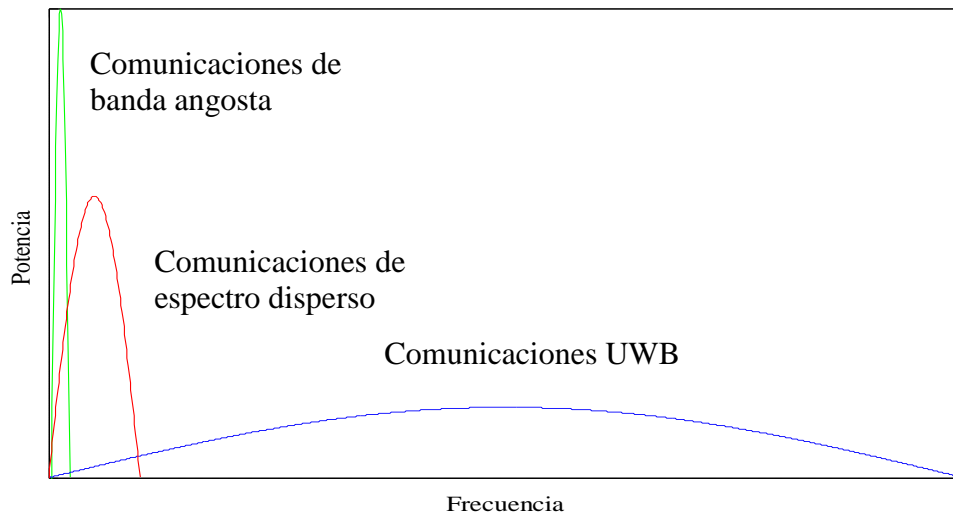


Figura 2.9. Comparativo de la densidad espectral de potencia de pulsos de banda angosta y pulsos UWB.

2.2 Técnicas de localización de posición

Hoy en día podemos decir que la posición de un objeto es aquella información que permite localizarlo en el espacio en un instante de tiempo determinado (figura 2.10). Necesitamos obtener doble información, una que tiene que ver con medidas espaciales y otra con una medida del tiempo; ambas son necesarias pues los cuerpos materiales constantemente cambian de posición según transcurre el tiempo. La seguridad es la principal motivación de los sistemas de localización de posición inalámbricos, sin embargo otras aplicaciones han despertado gran interés en proveedores de servicios, reguladores y usuarios en distintos rubros como emergencia y entretenimiento. La función principal de los sistemas de radio localización de posición es localizar las coordenadas de un objeto con respecto a receptor(es) fijo (s) [13]; La elección de estos sistemas radica en su precisión, disponibilidad y costo.

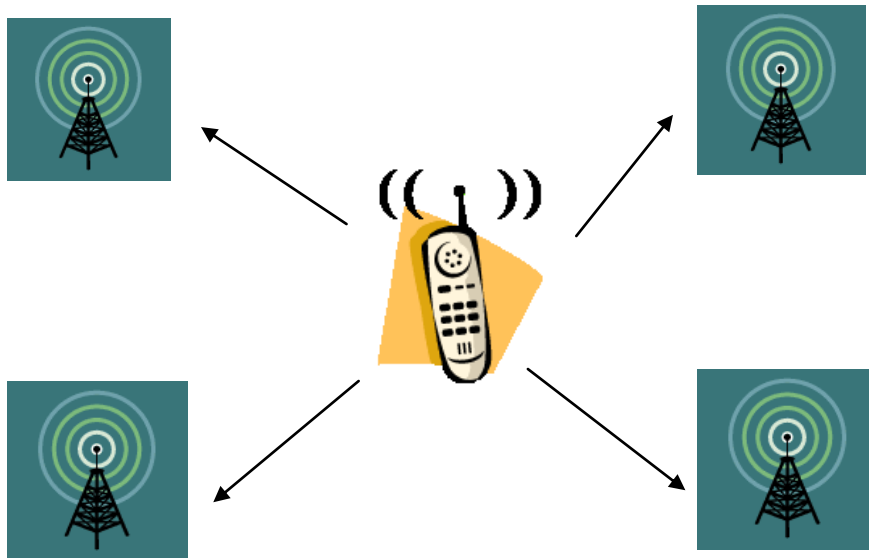


Figura 2.10 Localización de posición de celular mediante 4 receptores fijos (células).

La localización de posición vía inalámbrica puede ser realizada por varios métodos o técnicas, las cuales se clasifican de acuerdo al parámetro que utilizan para la medición [12]:

- Técnicas basadas en la medición de tiempo,
- Técnicas basadas en la medición de ángulos y
- Técnicas basadas en la medición de intensidad (potencia).

Tiempo de Arribo (ToA)

Para estimar la posición o distancia de un objeto (transmisor T_m), ésta técnica calcula su tiempo de llegada de una señal transmitida a una o varias estaciones (receptores R_1, R_2, R_3) fijas, el retardo resultante se multiplica por la velocidad de la luz c , tal como lo muestra la ecuación 2.6. Para ello es necesario conocer el tiempo exacto de la señal transmitida (t) por un dispositivo fijo o móvil, así como el tiempo en que la señal es recibida σ (R_1, R_2 y R_3). Como se observa en la figura 2.11 utilizando geometría y con al menos 3 estaciones fijas conocidas se puede estimar la posición del transmisor en 2 coordenadas (ecuaciones 2.7), considerando que los retardos de tiempo son proporcionales a la distancia recorrida por las señales; con 1 estación fija puede estimar distancia [12,13].

$$d = (t - \sigma) * c \quad (2.6)$$

c = velocidad de propagación de la señal $3 * 10^8$ m/s

$$d1 = \sqrt{(x1 - xm)^2 + (y1 - ym)^2} \quad (2.7)$$

$$d2 = \sqrt{(x2 - xm)^2 + (y2 - ym)^2}$$

$$d3 = \sqrt{(x3 - xm)^2 + (y3 - ym)^2}$$

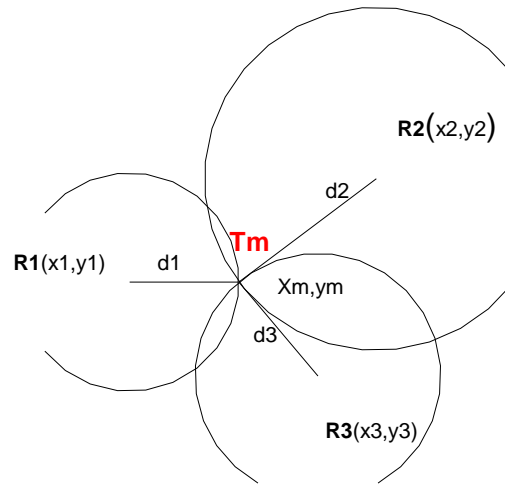


Figura 2.11 Representación gráfica y modelo matemático para estimar posición y/o distancia mediante la técnica ToA.

Diferencia de Tiempo de Arribo (TDoA)⁴

A diferencia de ToA, esta técnica determina la posición o distancia de un objeto, calculando la diferencia en tiempo entre la señal saliente del transmisor (Tm) a múltiples estaciones fijas (R1, R2 y R3) como se observa en las ecuaciones 2.8; lo anterior se modela mediante una hipérbola que contiene la diferencia entre receptores (figura 2.12). Para estimar la distancia se requieren 2 estaciones fijas [13].

$$d_{12} = \sqrt{(x1 - xm)^2 + (y1 - ym)^2} - \sqrt{(x2 - xm)^2 + (y2 - ym)^2} \quad (2.8)$$

$$d_{13} = \sqrt{(x1 - xm)^2 + (y1 - ym)^2} - \sqrt{(x3 - xm)^2 + (y3 - ym)^2}$$

$$d_{21} = \sqrt{(x2 - xm)^2 + (y2 - ym)^2} - \sqrt{(x1 - xm)^2 + (y1 - ym)^2}$$

$$d_{31} = \sqrt{(x3 - xm)^2 + (y3 - ym)^2} - \sqrt{(x1 - xm)^2 + (y1 - ym)^2}$$

⁴ TDoA: Time Difference of Arrival

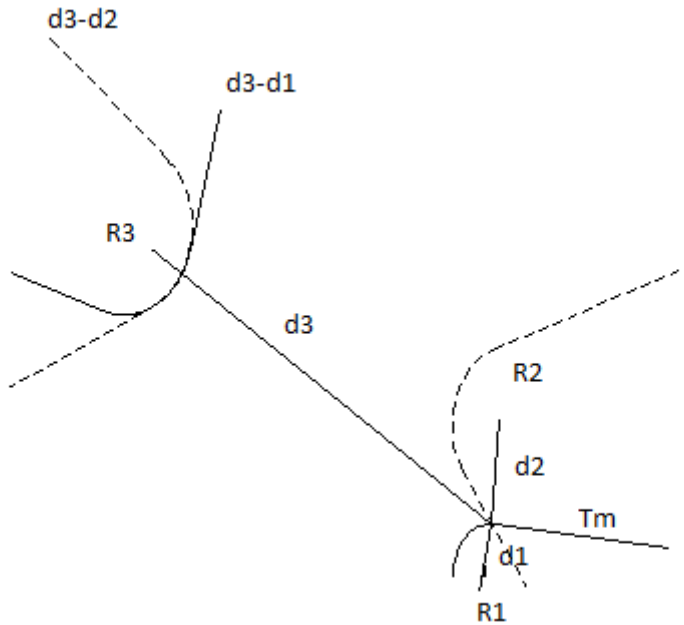


Figura 2.12 Representación gráfica y modelo matemático para estimar posición y/o distancia mediante la técnica TDoA.

Ángulo de Arribo (AoA)⁵

Utiliza un arreglo de antenas para estimar la dirección (ángulo) de llegada de la señal transmitida (ecuación 2.9), así como se muestra en la figura 2.13 la información que se obtiene localiza al transmisor (Tm) a lo largo de la recta que le une con la estación fija (R1, R2, R3), es por ello que se necesita como mínimo 2 estaciones para la estimación de distancia [12,13].

$$\text{sen}\theta_1 = \frac{d_1}{h} \quad (2.9)$$

⁵ AoA: Angle of Arrival

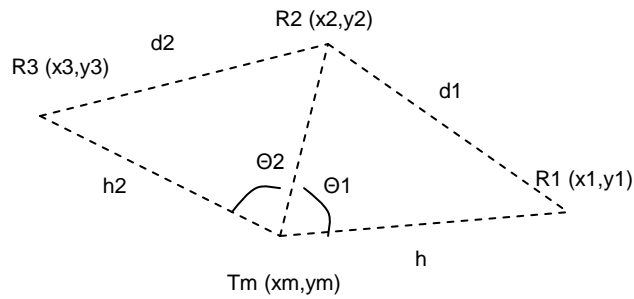


Figura 2.13 Representación gráfica y modelo matemático para estimar posición y/o distancia mediante la técnica AoA.

Intensidad de la Señal (SS)⁶

En esta técnica la distancia entre dos nodos puede ser estimada midiendo la energía de la señal recibida (R1) a un nodo (Tm). Esta energía es referenciada como una distancia, por lo que es indispensable conocer las condiciones del canal, ya que en algunas situaciones como condiciones de clima adverso (contaminación), la señal podría ser atenuada y probablemente cancelada. Su representación es similar a la utilizada a la técnica ToA [12].

⁶ SS:Signal Strength

Técnicas	Características
Tiempo de arribo (ToA)	❖ Requiere alta precisión de sincronía en los relojes del receptor(es) y transmisor.
Diferencia de tiempo de arribo (TDoA)	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Requiere sincronía solo en los relojes de los receptores (estaciones base). ❖ Requiere más de un nodo de referencia.
Angulo de arribo (AoA)	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Requiere línea de vista directa para evitar errores de medición por reflexiones de la señal (multitrayectoria). ❖ Mínimo dos nodos de referencia. ❖ Requiere arreglo de antenas en receptor.
Intensidad de señal (SS)	❖ Requiere conocimiento del canal.

Tabla 2.1. Características de técnicas de localización.

Debido a la característica de corta duración de tiempo de los pulsos UWB, se eligió la técnica de localización basada en medición de tiempo. Para aplicaciones de estimación de distancia que se eligió en este trabajo, ToA provee la ventaja de simplicidad para el cálculo e implementación del sistema debido a que solo requiere 1 receptor conocido. Se llevaron a cabo pruebas simuladas en Matlab (figuras 2.14 y 2.15) en las que se muestran el resultado de la desviación (error) en tiempo de un pulso de banda angosta y otro UWB respectivamente, considerando ruido AWGN; como se observa la desviación para pulsos de banda angosta es en el orden de microsegundos y en el caso de pulsos UWB es en el orden de nanosegundos, lo cual para este ultimo genera un decremento considerable al calcular la estimación del error en términos de distancia.

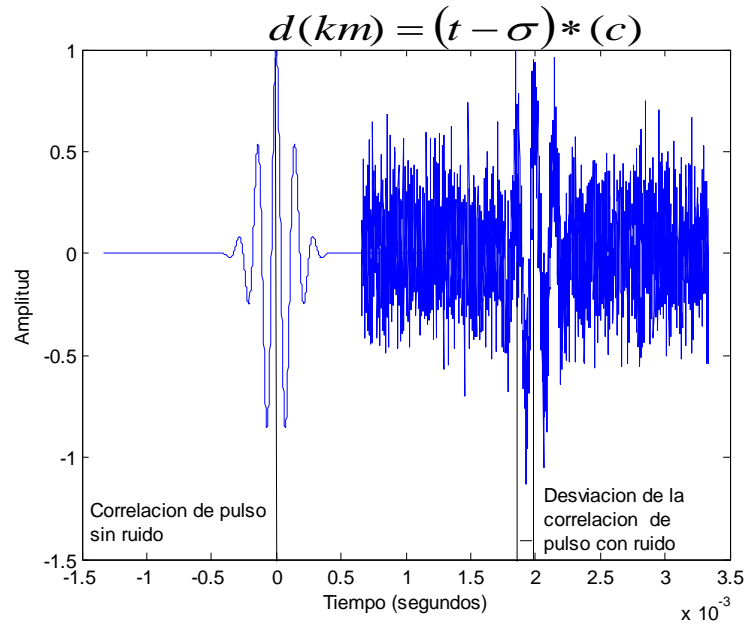


Figura 2.14 Desviación de retardo para estimar error en distancia de pulso de banda angosta.

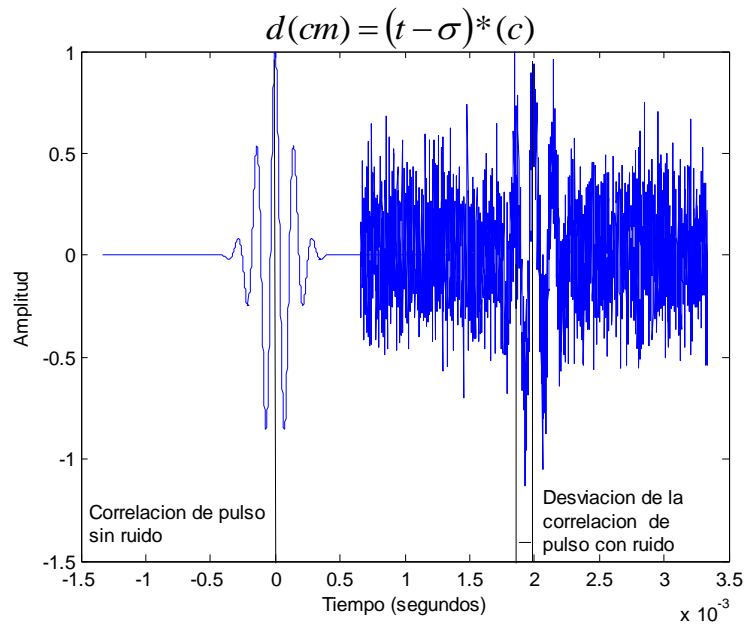


Figura 2.15 Desviación de retardo para estimar error en distancia de pulso UWB.

2.3 Análisis de trabajos similares

De acuerdo a la revisión de artículos, así como libros, tutoriales y otras publicaciones se detectaron algunos que facilitaron el desarrollo de este trabajo. El artículo "Position location using wireless communications on highways of the future" [13] describe aplicaciones generales de las técnicas de posicionamiento como GPS⁷, Monitoreo automático de vehículos y geolocalización por celular entre otros. Además describe las técnicas de localización de posición y los algoritmos utilizados en cada una de ellas. En "Localization via Ultra-Wideband Radios" [12] el autor describe características generales de UWB y aplicaciones en rubros de seguridad, servicios médicos, rescate y búsqueda, control de sistemas para el hogar, etc. Además se mencionan las diferencias entre cada una de las técnicas de localización utilizadas en UWB considerando condiciones de canal con ruido tipo blanco aditivo gaussiano (AWGN), Interferencia por acceso múltiple y propagación sin línea de vista. El artículo "Performance of UWB Position Estimation Based on Time-of-Arrival Measurements" [15] presenta un método para estimar la posición en un sistema UWB, mediante la técnica TOA. En la segunda edición de "An introduction to Ultra Wideband Communication Systems" [7], se estudió a detalle la tecnología UWB, antecedentes, funcionamiento del sistema, características específicas, pulso gaussiano y la etapa de correlación en el proceso de recepción. El artículo "Iterative solution to the notched waveform design in cognitive ultra-wideband radio system" [2], propone y describe una forma de pulso adaptiva basada en una combinación de funciones derivadas del pulso gaussiano, que permite el cumplimiento de la restricción de la FCC relativa a la máscara espectral, además realiza un comparativo en términos de ancho de banda para cada uno de los pulsos. En "An Accurate Ultra Wideband (UWB) Ranging for Precision Asset Location" [16], se estudia un método de estimación de distancia para un sistema UWB con línea de vista en entorno multitrayecto, basado en la técnica ToA. Este trabajo de acuerdo a los resultados concluye que el error en la estimación de distancia es similar al descrito en la cota Cota Crámer Rao Lower Bound (CRLB)⁸, utilizada como

⁷ GPS: Global Positioning System

⁸ CRLB: Cramér–Rao lower bound

referencia, y que conforme incrementa el número de pulsos utilizados para la transmisión (promediados), el error se reduce.

En esta investigación se analizaron las técnicas de localización con el fin de seleccionar la más viable para estimar distancia de un sistema de comunicaciones en interiores con UWB mediante simulación. Se verificaron las aplicaciones generales y específicas con el fin de poder delimitar el trabajo y se identificaron los pulsos que cumplen con las restricciones impuestas por la FCC.

Capítulo 3

Desarrollo del sistema propuesto

3.1 Análisis de pulsos

Los pulsos utilizados en este trabajo se seleccionaron de acuerdo a la revisión de artículos, así como pruebas llevadas a cabo para verificar su cumplimiento con la máscara espectral de la FCC en sistemas de comunicaciones para interiores (figura 3.1).

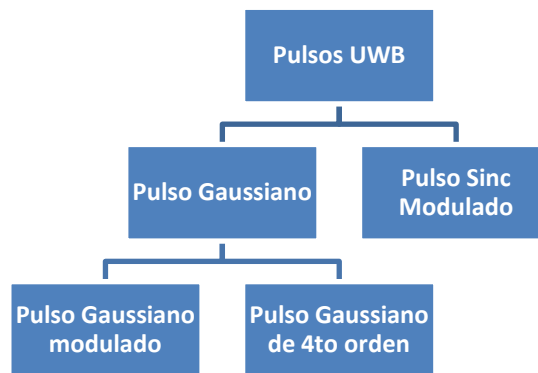


Figura 3.1. Pulsos UWB utilizados.

Representación matemática y gráfica del pulso Gaussiano de primer orden modulado [10] en el dominio del tiempo (figura 3.2) y su densidad espectral de potencia (figura 3.3).

$$s(t) = \frac{-\tau}{2} \left[e^{\left(\frac{-t}{\tau}\right)^2} * \cos(2\pi f_c * t) \right] \quad (3.1)$$

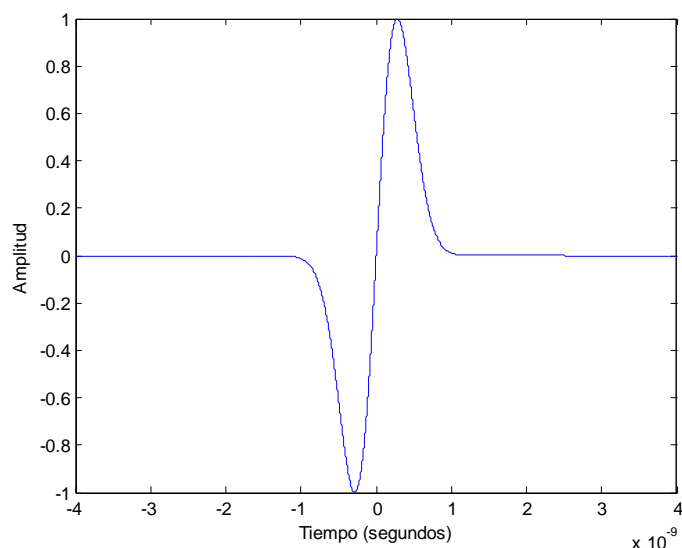


Figura 3.2. Pulso Gaussiano de primer orden en el dominio del tiempo.

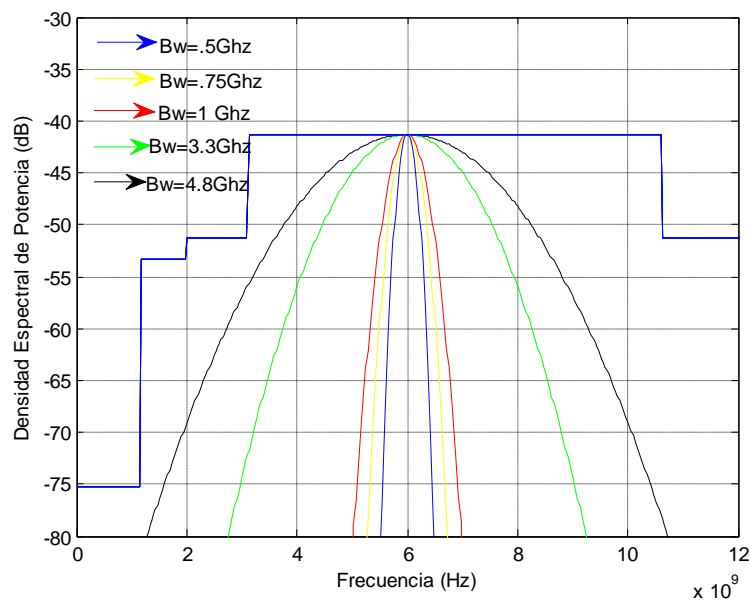


Figura 3.3 Densidad espectral de potencia de pulso Gaussiano de primer orden modulado, graficada para distintos anchos de banda (Bw) dentro de la máscara espectral de la FCC.

Representación matemática y gráfica del pulso Sinc modulado [11] en el dominio del tiempo (figura 3.4) y su densidad espectral de potencia (figura 3.5).

$$s(t) = \frac{fc}{\pi} [\text{sinc}(bw * t) * \cos(2\pi fc * t)] \quad (3.2)$$

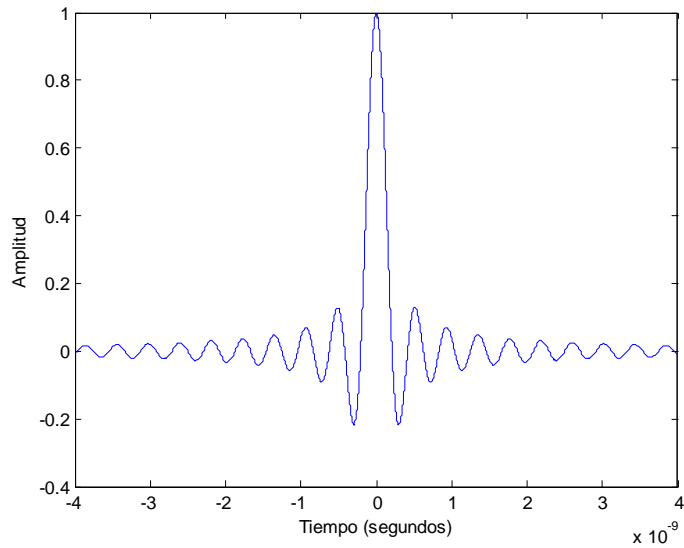


Figura 3.4. Pulso Sinc en el dominio del tiempo.

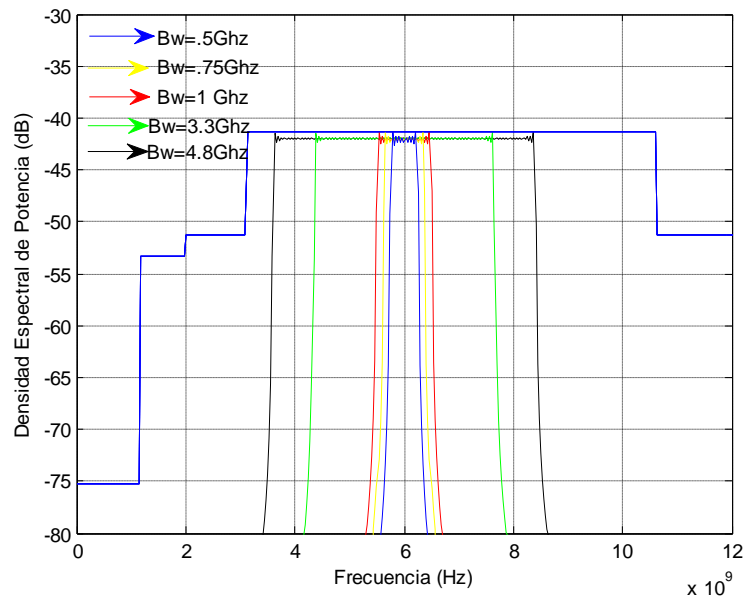


Figura 3.5. Densidad espectral de potencia del pulso Sinc modulado graficada para distintos Bw dentro de la máscara espectral de la FCC.

Representación matemática y gráfica del pulso Gaussiano de cuarto orden [2] en el dominio del tiempo (figura 3.6) y su densidad espectral de potencia (figura 3.7).

$$s^{IV}(t) = \left(\frac{-8t^4}{\tau^7} + \frac{24t^2}{\tau^5} - \frac{6}{\tau^3} \right) e^{-\frac{t^2}{\tau^2}} \quad (3.3)$$

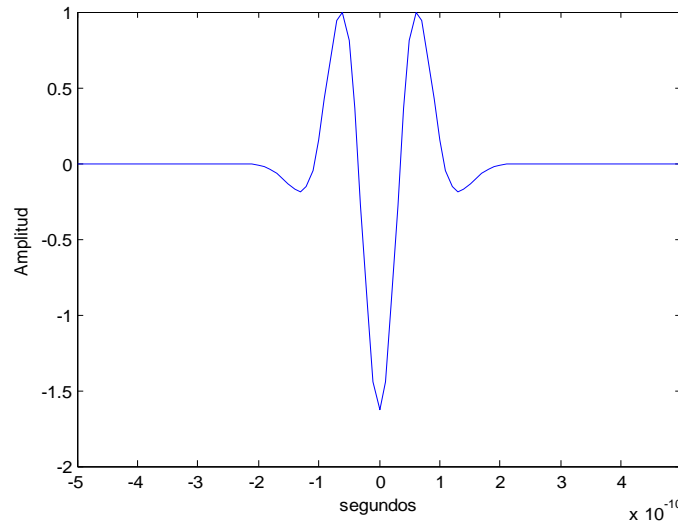


Figura 3.6. Pulso Gaussiano de cuarto orden en el dominio del tiempo.

- $\tau=80e-12\text{seg}$ → $\tau=70e-12\text{seg}$
- $\tau=75e-12\text{seg}$ → $\tau=65e-$

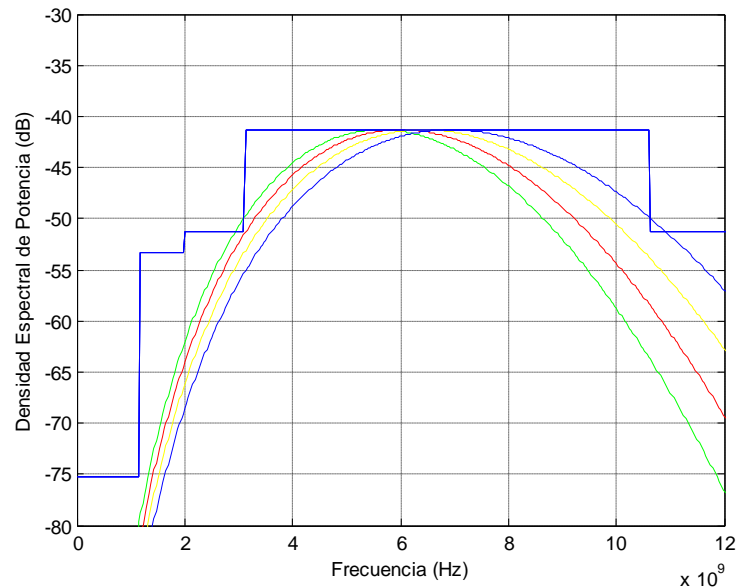


Figura 3.7. Densidad espectral de potencia de pulso Gaussiano de cuarto orden graficada para distintos Bw dentro de la máscara espectral de la FCC.

3.2 Descripción de escenarios

El análisis del desempeño del sistema propuesto se lleva a cabo mediante el desarrollo de un modelo de simulación (figura 3.8), con el fin de obtener un comparativo en la medición de estimación de distancia considerando distintos escenarios.

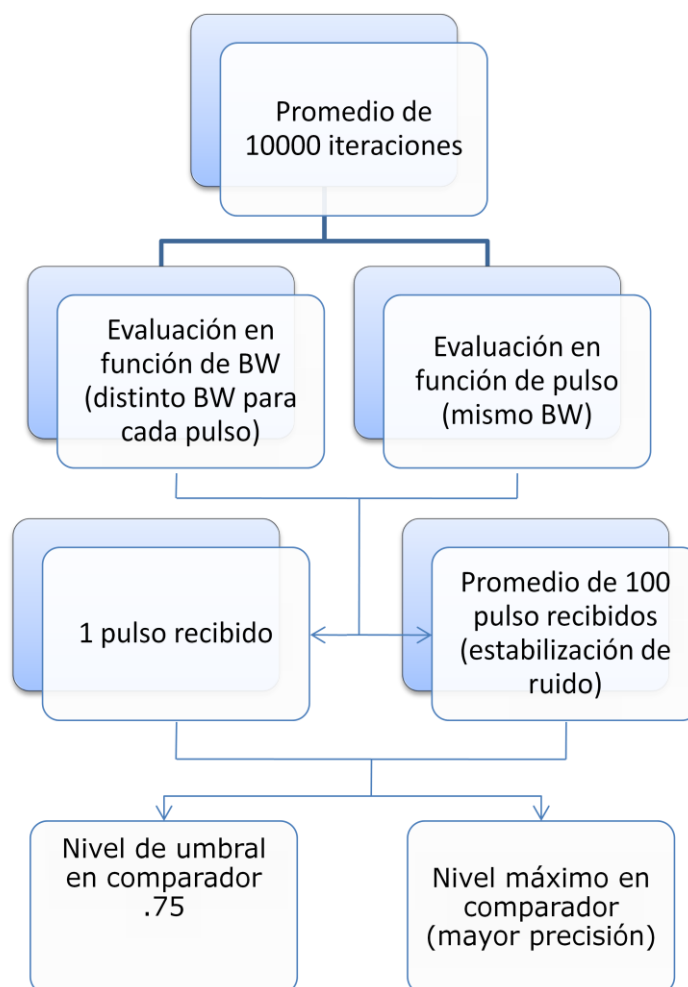
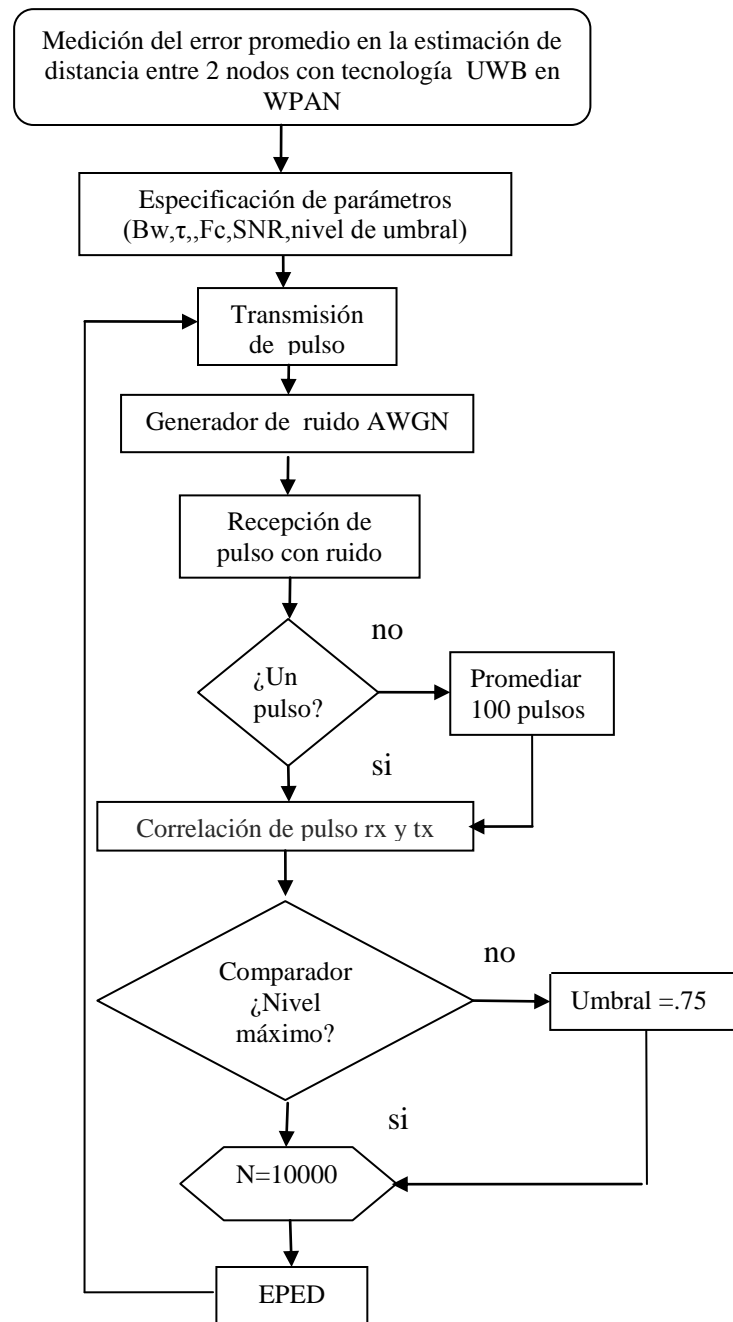


Figura 3.8. Escenarios considerados para el desarrollo de esta investigación.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó como factor que determina la precisión de cada uno de los pulsos evaluados, el error promedio en la estimación de la distancia (EPED), que es la desviación de los resultados en función del nivel de ruido AWGN. Se elaboró un algoritmo para la simulación del sistema propuesto (figura 3.9).



EPED: error promedio en la estimación de distancia

Figura 3.9. Diagrama de flujo de algoritmo propuesto para la simulación del proyecto.

3.3 Fundamentación matemática

Para la implementación de los algoritmos mediante simulación se utilizó Matlab. La función de correlación (ecuación 3.4) se eligió para la recuperación de la señal, la cual representa la similitud que hay entre dos señales (transmitida y recibida), en función del desplazamiento que hay entre ellas (figura 3.10) [17]. La etapa de correlación se utiliza en el receptor (figura 3.11) para la recuperación de la señal, y está formada por un multiplicador, un integrador y un comparador; el primero multiplica la señal recibida por la señal transmitida o de referencia. La resultante se integra con la finalidad de obtener un valor de voltaje en corriente directa, que posteriormente será comparado con un nivel de referencia (máximo/umbral γ) [18], que evalúa la señal de acuerdo a condiciones establecidas.

$$C(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)r(t-\sigma)dt \quad (3.4)$$

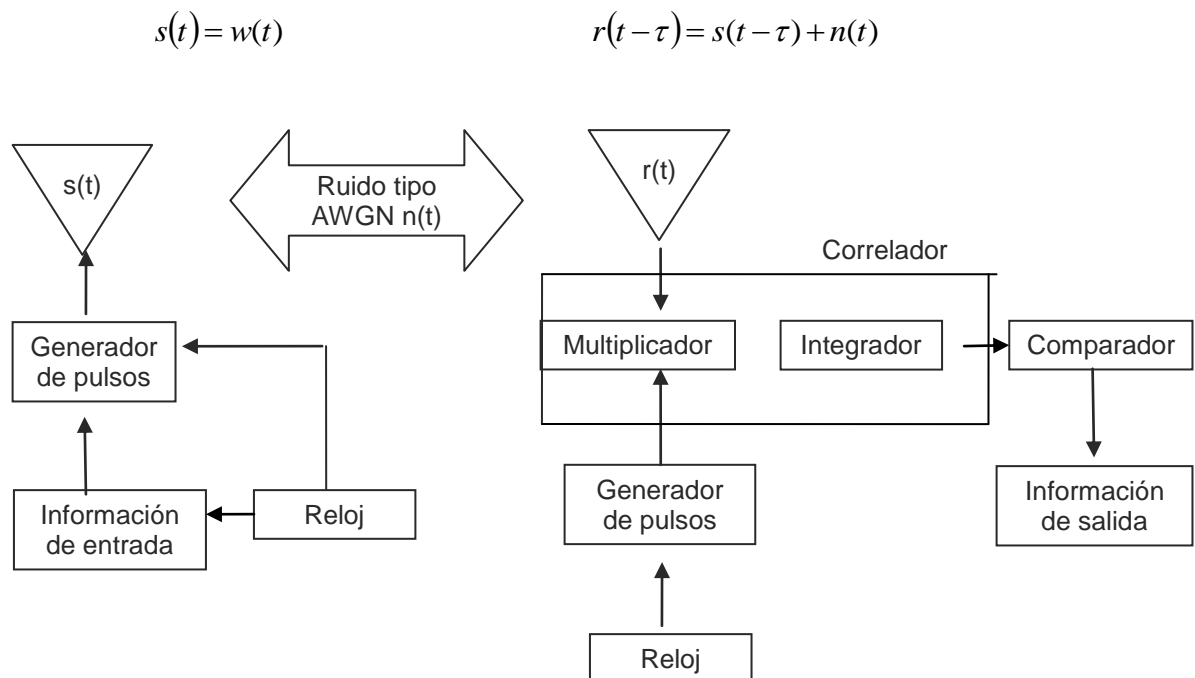


Figura 3.10 Diagrama a bloques del sistema UWB.

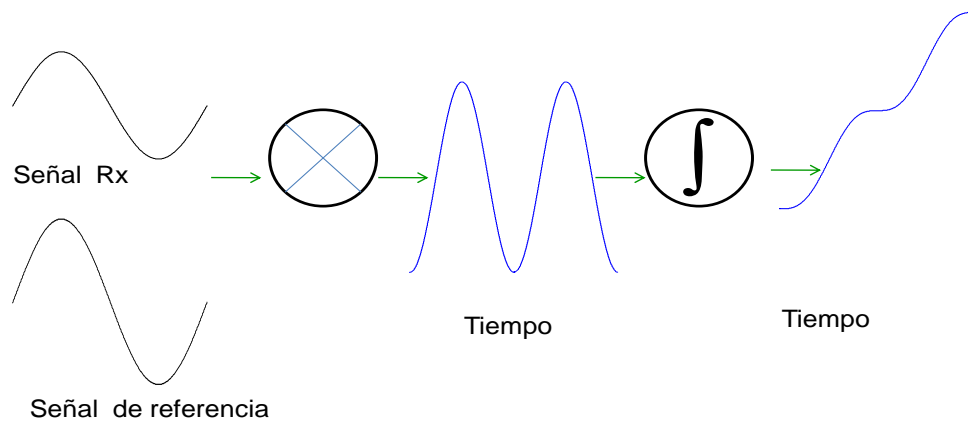


Figura 3.11 Etapa de correlación.

La figura 3.12 muestra la correlación de un pulso transmitido y recibido, la cual refleja el momento en que existe una similitud entre ambas; primero se consideró entorno ideal (sin ruido), que genera como resultado un desplazamiento de la señal sin posibilidades de error en la estimación de distancia. Posteriormente se agregó ruido tipo AWGN, que registra para algunas relaciones señal a ruido (SNR)⁹ desplazamientos distintos al esperado, es decir diferencias en los resultados que a mayor intensidad de ruido genera un incremento en el error en la estimación de distancia.

⁹ SNR: Signal-to-noise ratio

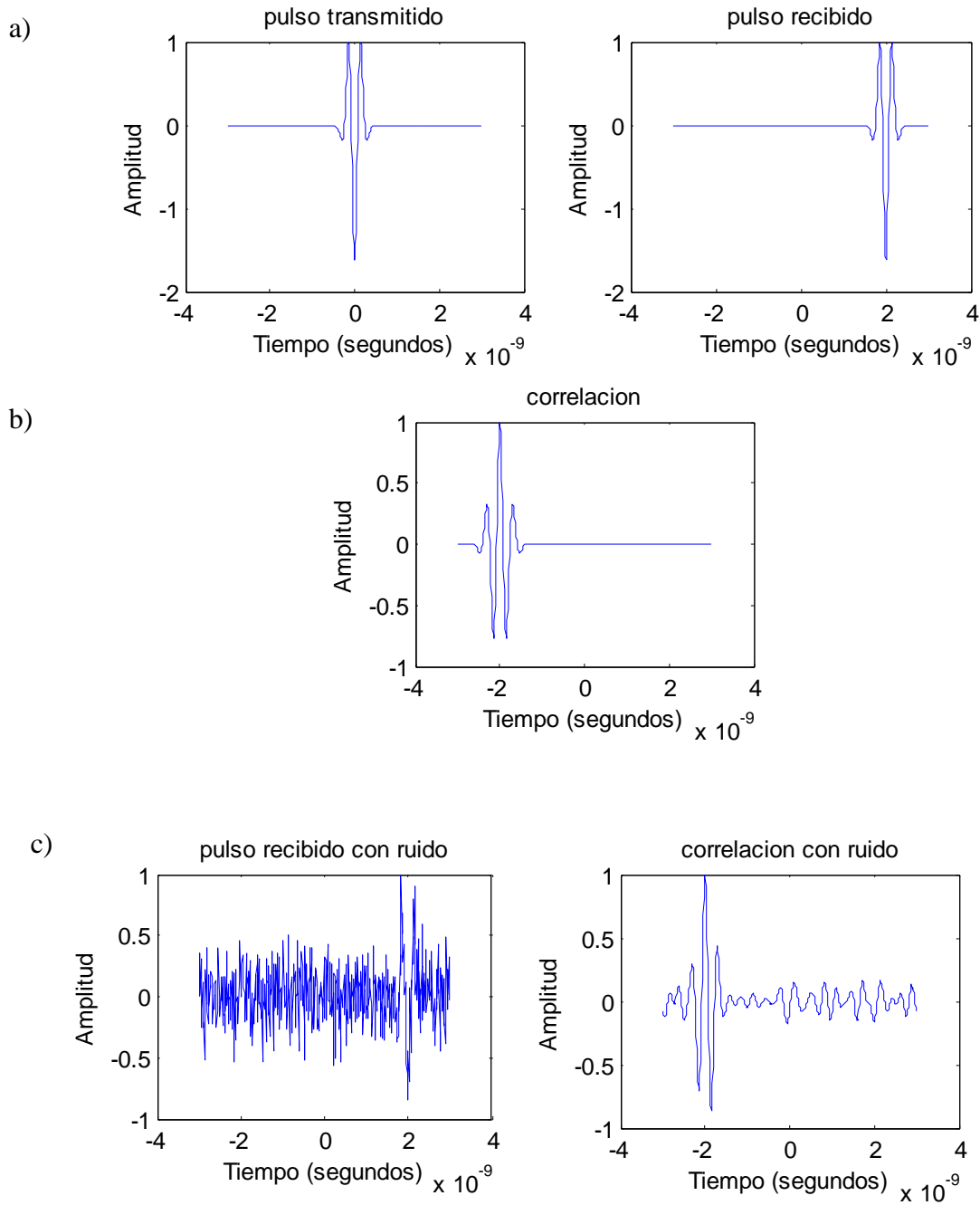


Figura 3.12 Correlación de 2 señales. a) Pulso UWB transmitido y recibido, b) correlación, c) pulso recibido con ruido AWGN y su correlación.

La figura 3.13 muestra cómo funciona el proceso de comparación; como ejemplo se utilizan dos niveles de referencia: con amplitud máxima de la señal y con amplitud al 50% de la señal. Como se observa un pico de ruido que sobrepase el umbral de decisión hace que el sistema interprete erróneamente la información transportada por la señal, lo cual es más probable cuando se utilizan niveles de umbral.

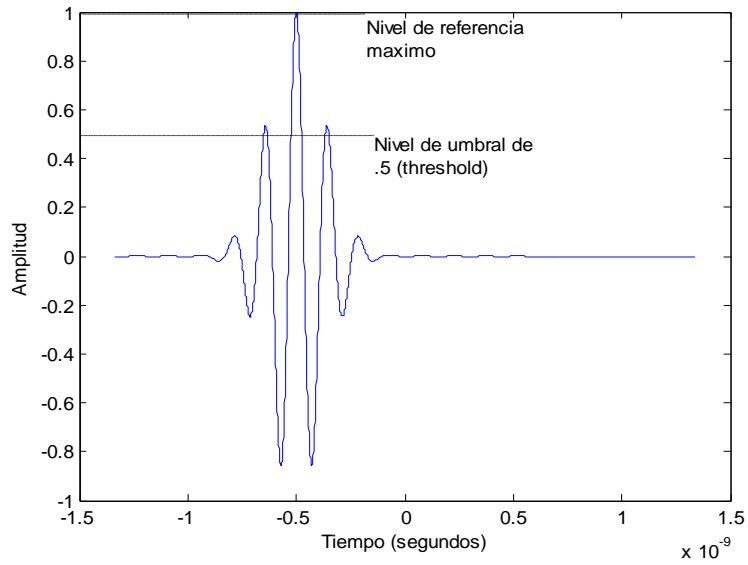


Figura 3.13 Proceso de comparación.

Del resultado de la correlación se obtiene la desviación o error del desplazamiento en unidades de tiempo de la señal recibida en el receptor con respecto a su transmisión; el cálculo en términos de distancia se lleva a cabo con la técnica ToA (ecuación 3.5) considerando las iteraciones descritas en los escenarios y finalmente se promedia este error de la distancia (ecuación 3.6).

$$d = \sum_{i=1}^N (t - \tau) * c \quad (3.5)$$

$$X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Xi \quad (3.6)$$

Capítulo 4

Análisis e interpretación de los resultados

Como referencia en cuanto al comportamiento de los resultados se utiliza la Cota Crámer Rao Lower Bound (CRLB), que en teoría de la estimación y estadística expresa el límite inferior de la varianza (ecuación 4.1), para estimar determinado parámetro, en este caso el error promedio en la estimación de distancia [16].

$$\sigma^2 \geq \frac{1}{(8\pi)^2 (Bw)^2 (Snr)} \quad (4.1)$$

El CRLB se obtiene del producto de $c * \sigma$. La ecuación indica que el impacto de la SNR al CRLB es lineal, mientras que el impacto del ancho de banda es cuadrático (figura 4.1).

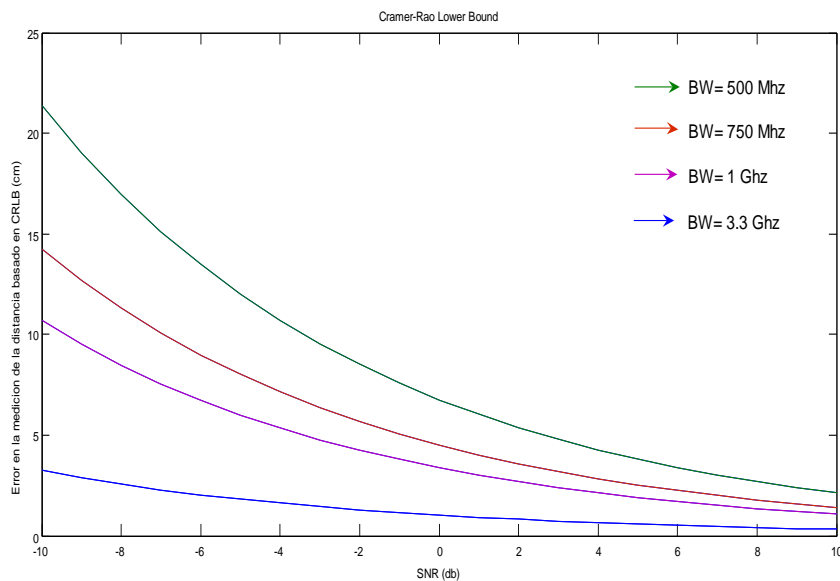


Figura 4.1 Rango de error de CRLB en términos de SNR para 4 anchos de banda distintos.

4.1 Comparativo de pulsos con mismo ancho de banda.

El capítulo cuatro introduce diferentes modelos del sistema UWB a utilizar, y provee un desarrollo analítico para cada pulso considerando varios casos. En este capítulo el sistema es analizado de acuerdo a los resultados de la simulación. Para verificar el diseño descrito en el capítulo anterior, se simularon los escenarios descritos con el programa Matlab.

El primer análisis realizado es el caso del comparativo de los tres pulsos utilizados en esta investigación con un ancho de banda (Bw) para cada uno en el orden de 5Ghz, con la variante de un pulso recibido y nivel máximo de referencia para la decisión en el comparador; las diferencias de error en la estimación de la distancia (EPED) entre cada pulso no es significativa, de tal modo que se confunde el trazo de la resultante de cada pulso (figura 4.2). De igual forma con los demás escenarios, nivel de umbral $\gamma=.75$ (figura 4.3), promedio de pulsos recibidos con nivel máximo (figura 4.4) y nivel de umbral $\gamma=.75$ con promedio de pulsos recibidos (figura 4.5), por lo que se concluye que utilizando el mismo valor de Bw no existe diferencia significativa.

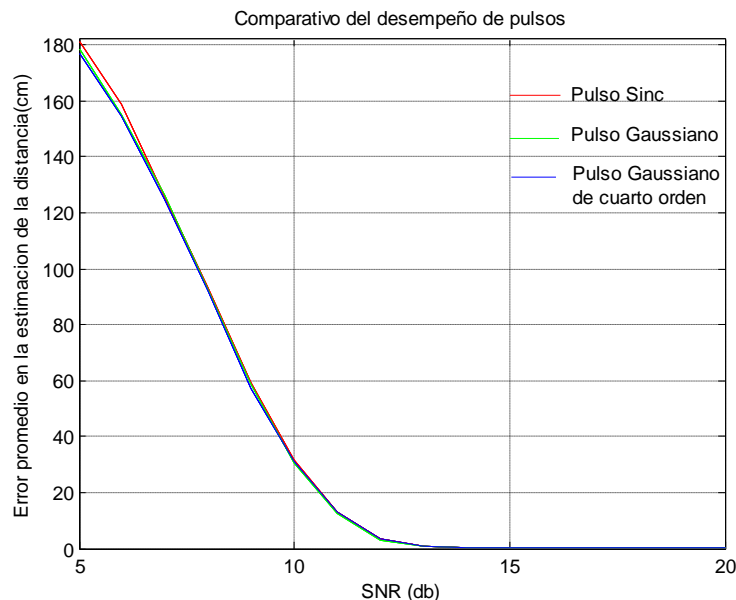
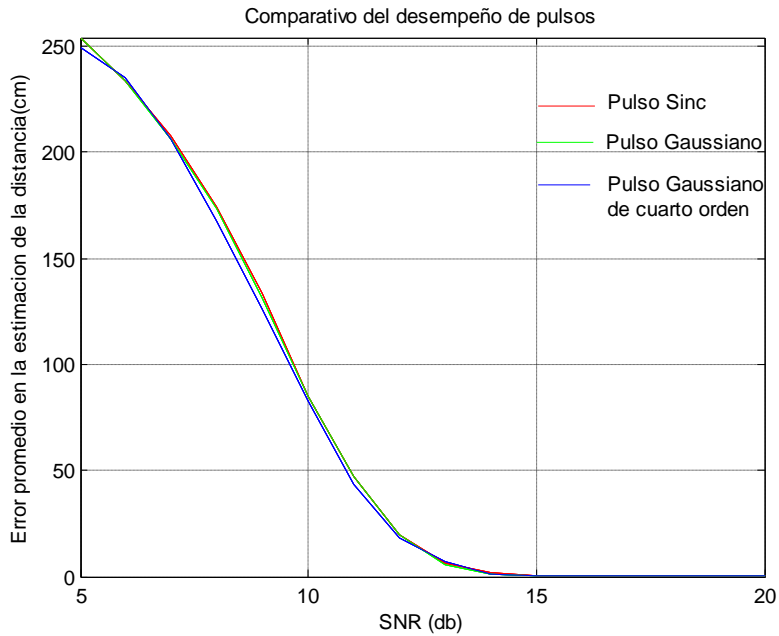


Figura 4.2 Comparativo de pulsos con el mismo Bw, considerando 1 pulso recibido y nivel máximo para la decisión en el comparador.



4.3 Comparativo de pulsos con el mismo Bw, considerando 1 pulso recibido y nivel de umbral de .75 para la decisión en el comparador.

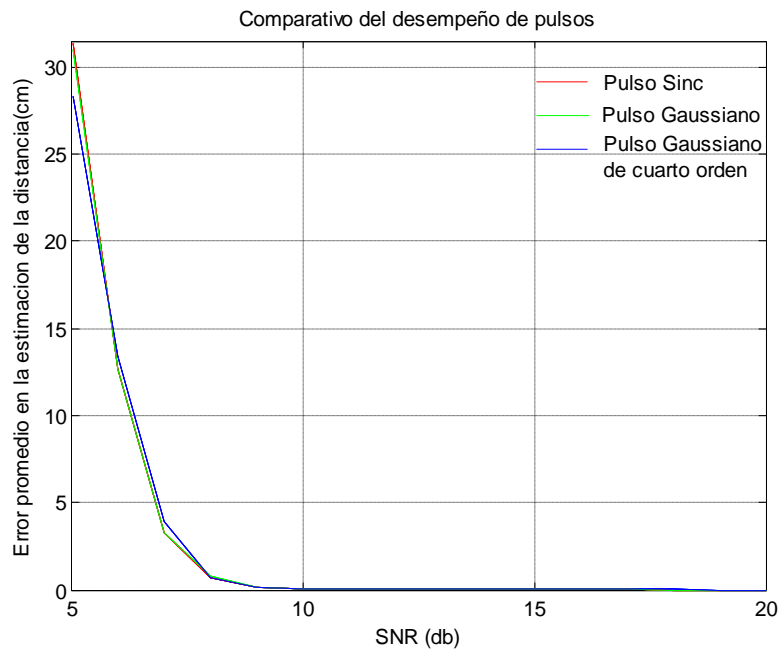


Figura 4.4 Comparativo de pulsos con el mismo Bw, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel máximo para la decisión.

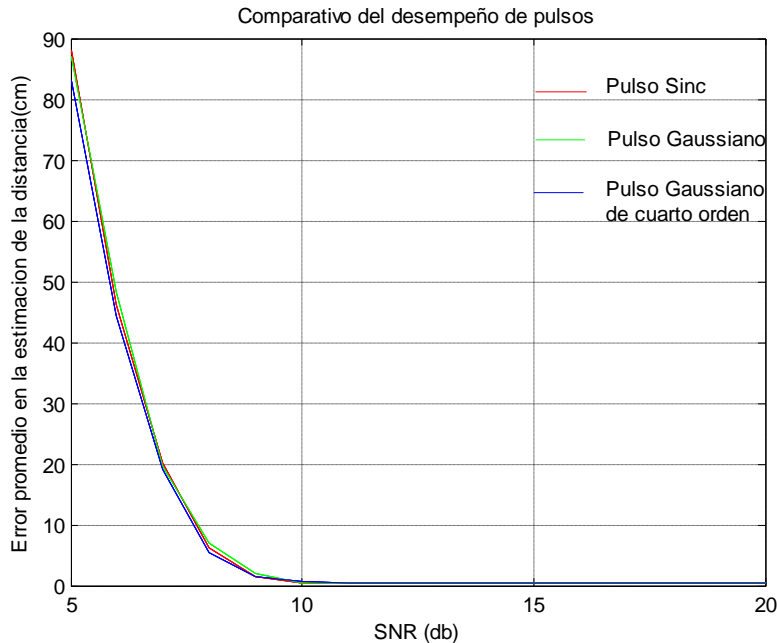


Figura 4.5 Comparativo de pulsos con el mismo Bw, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de umbral de .75 para la decisión.

4.2 Comparativo de cada pulso con distinto ancho de banda.

El segundo análisis se realizó en función del ancho de banda, utilizando .5 Ghz, 3 Ghz y 5.4 Ghz. En el caso del pulso Gaussiano modulado (figura 4.6), se muestra, un pulso recibido para cada iteración y nivel de referencia máximo para la decisión. Al utilizar un solo pulso se registran valores grandes de EPED que aumentan conforme disminuyen los niveles de SNR. Esto debido a que como se comentó en el capítulo dos, el ruido tipo AWGN tiene variaciones de nivel impredecibles, por lo que el desempeño mejora aumentando el número de muestras.

Además se observa que para los tres anchos de banda la tendencia en cuanto al EPED es acercarse a cero conforme aumenta el SNR, de forma significativa a partir de 13 dB., contrario a lo descrito en la referencia (cota CRLB), para ciertos valores de SNR los resultados de EPED no mejoran conforme aumenta el ancho de banda; lo anterior debido a

que para ciertos niveles de SNR, la señal (pulso) está muy por debajo del nivel de ruido (figura 4.7), sobre todo en los casos en que el ancho de banda es mayor, esto por la distribución de la densidad espectral de la potencia, y al realizar el proceso de correlación las señales de mayor ancho de banda no alcanzan a detectarse, siendo esto más claro para los casos donde se utiliza niveles máximo de referencia.

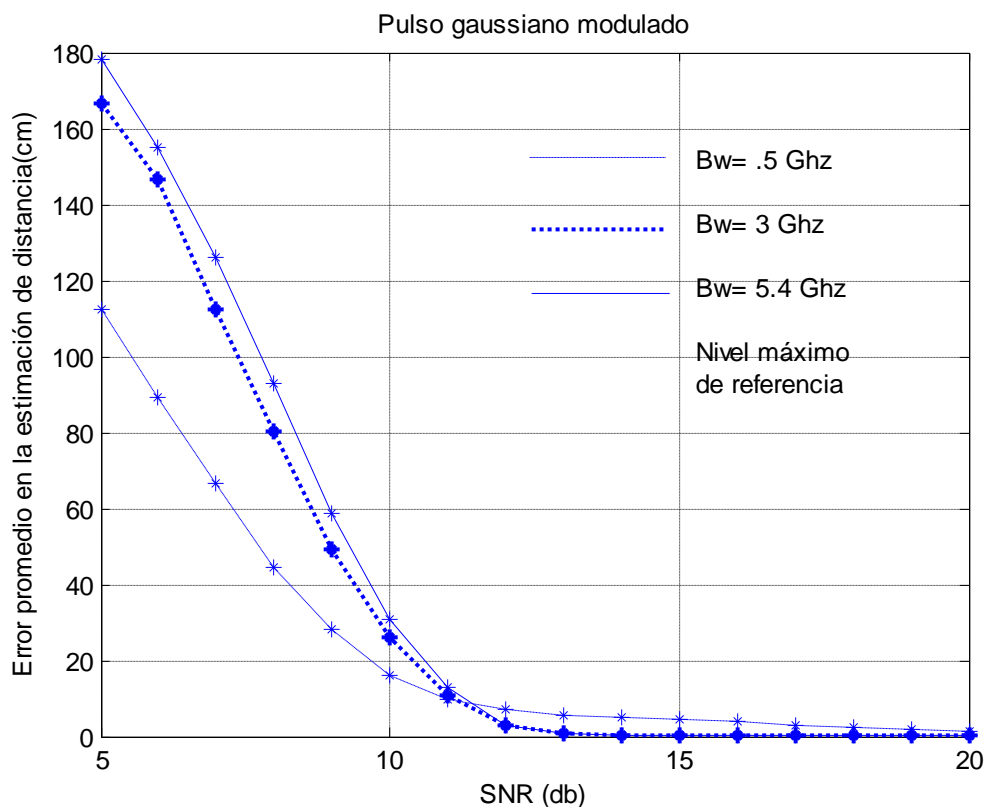


Figura 4.6 Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso recibido y nivel máximo de referencia para la decisión.

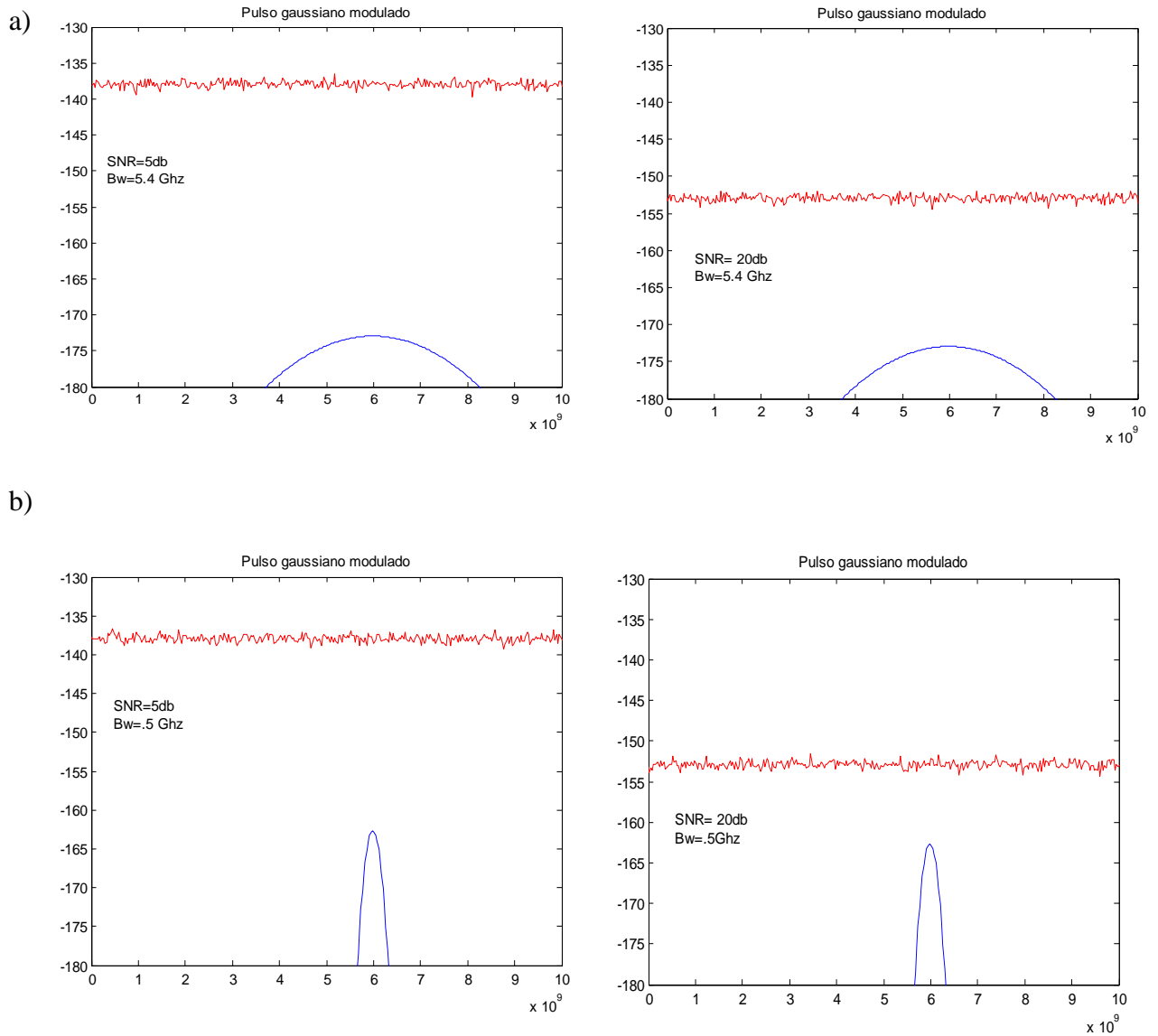


Figura 4.7 Representación gráfica de pulso Gaussiano con distintos ancho de banda y relación señal a ruido (SNR) para analizar resultados de EPED. Gráfica de pulso transmitido y ruido. a) Bw =5.4 Ghz y SNR de 5 y 20 dB respectivamente. b) Bw=.5Ghz SNR de 5 y 20 dB respectivamente.

En la Figura 4.8 se muestra un pulso recibido para cada iteración y nivel de umbral (threshold)¹⁰ para la decisión de .75 en el comparador. Los resultados de EPED son significativamente mayores que el primer caso por el hecho de utilizar nivel de umbral, lo cual genera mayor probabilidad de error en el comparador del correlador. El EPED guarda la misma tendencia de acercarse a 0 conforme aumentan los niveles de SNR (aproximadamente por arriba de 14dB).

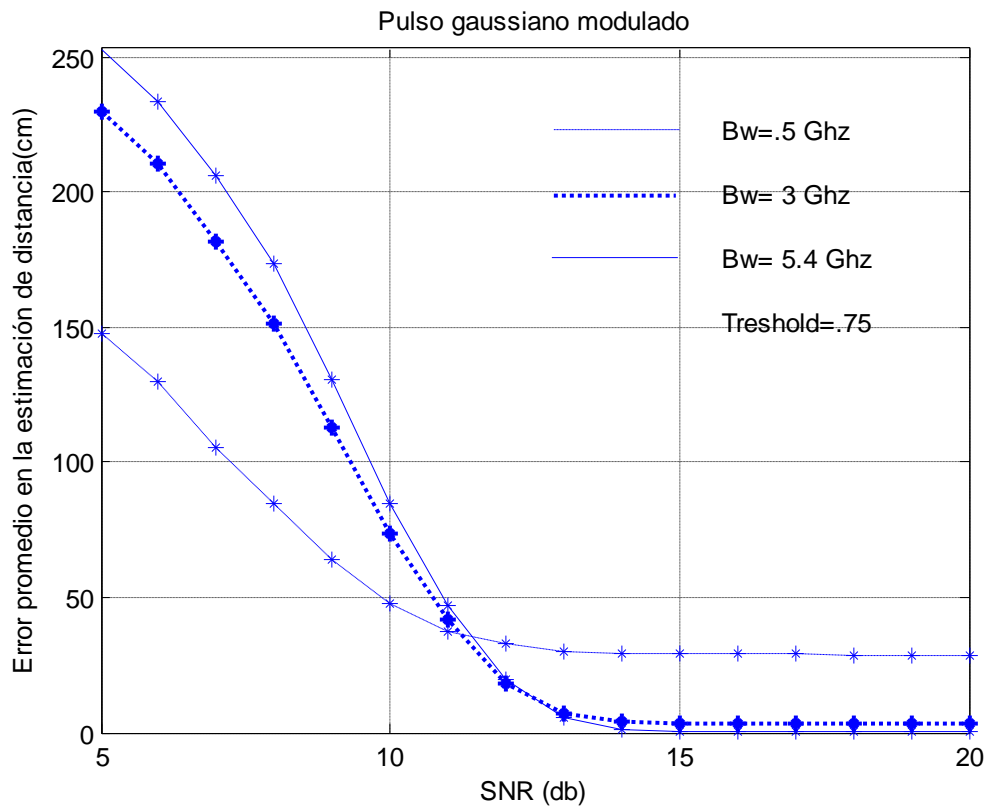


Figura 4.8 Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso recibido y nivel de umbral de .75.

¹⁰ Threshold: Nivel de umbral

En la Figura 4.9 se expone el EPED con nivel máximo para la decisión y promedio de 100 pulsos recibidos por iteración. La tendencia del EPED es acercarse a 0 de forma significativa a partir de -5dB. Los resultados de EPED son significativamente menores debido a la estabilidad que registra el AWGN por utilizar mayor cantidad de muestras, además se observa la disminución en la representación de SNR.

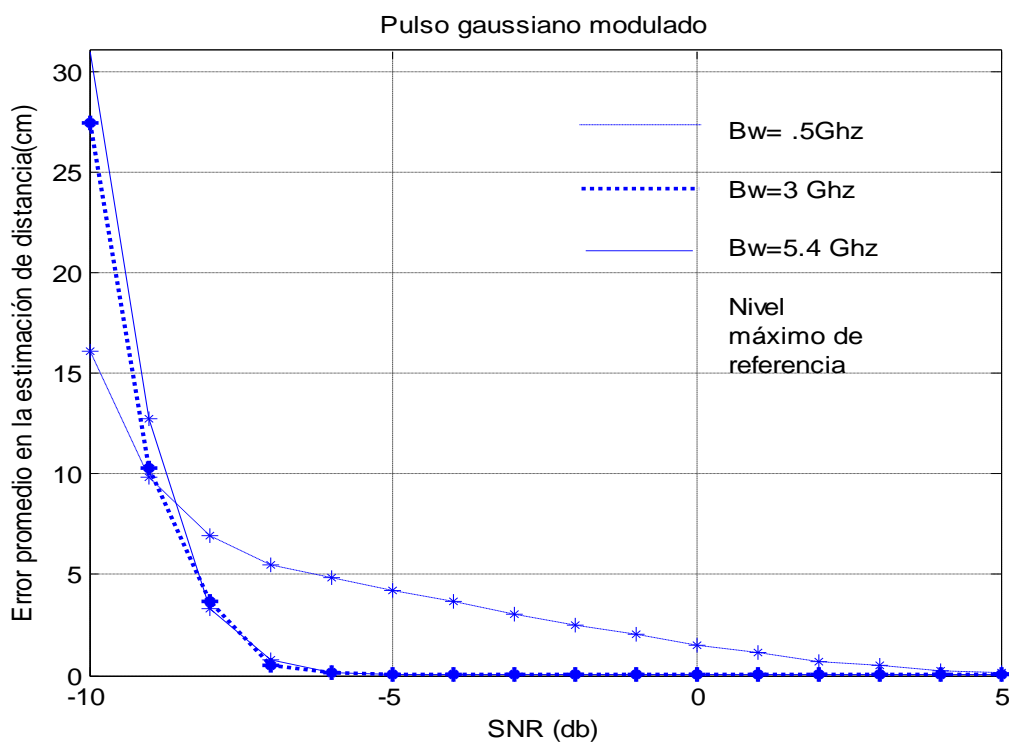


Figura 4.9 Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel máximo.

La Figura 4.10 muestra promedio de 100 pulsos recibidos para cada iteración y nivel de umbral para la decisión de 0.75 en el comparador.

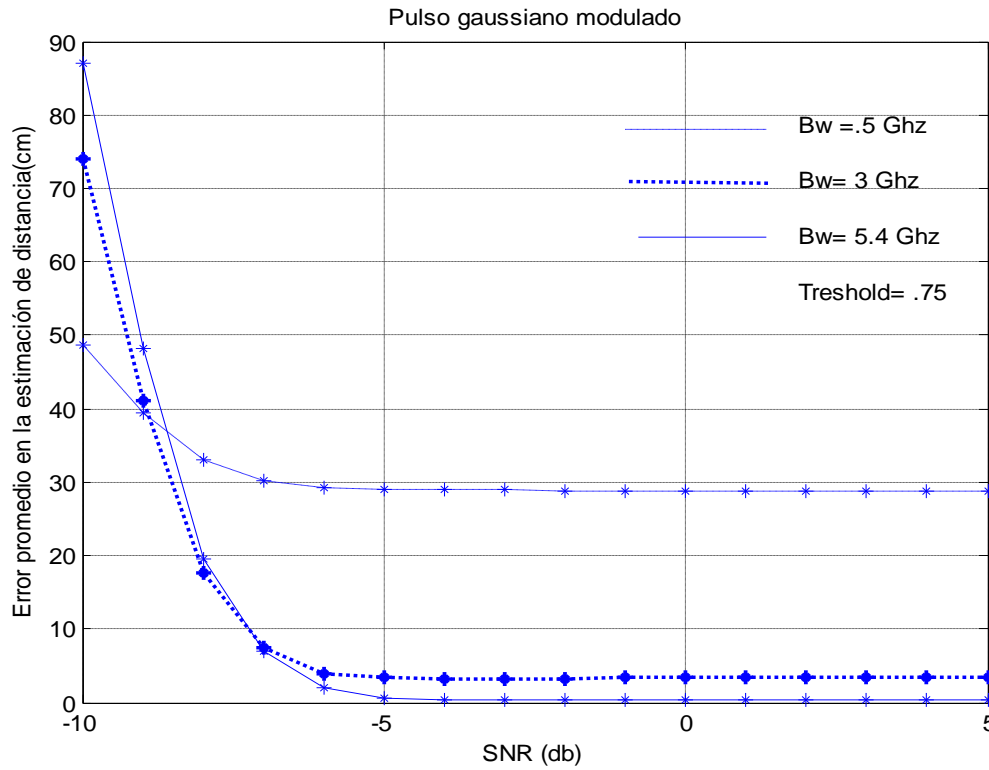


Figura 4.10 Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de umbral de .75.

La Figura 4.11 muestra el pulso Sinc modulado bajo las mismas condiciones utilizadas en la figura 4.6. No se detectaron diferencias significativas en cuanto al EPED del pulso Gaussiano para las mismas condiciones.

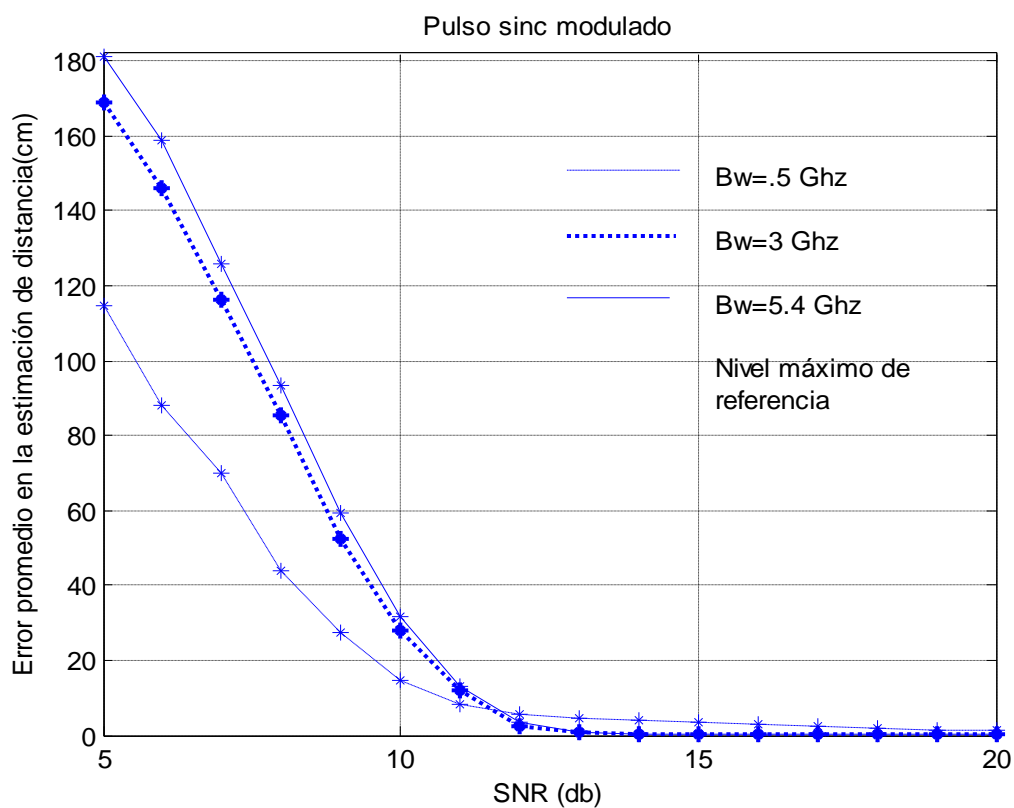


Figura 4.11 Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso Sinc recibido y nivel máximo de referencia.

La Figura 4.12 muestra el pulso Sinc modulado bajo las mismas condiciones utilizadas en la Figura 4.8. No se detectaron diferencias significativas en cuanto al EPED para el pulso Gaussiano bajo las mismas condiciones.

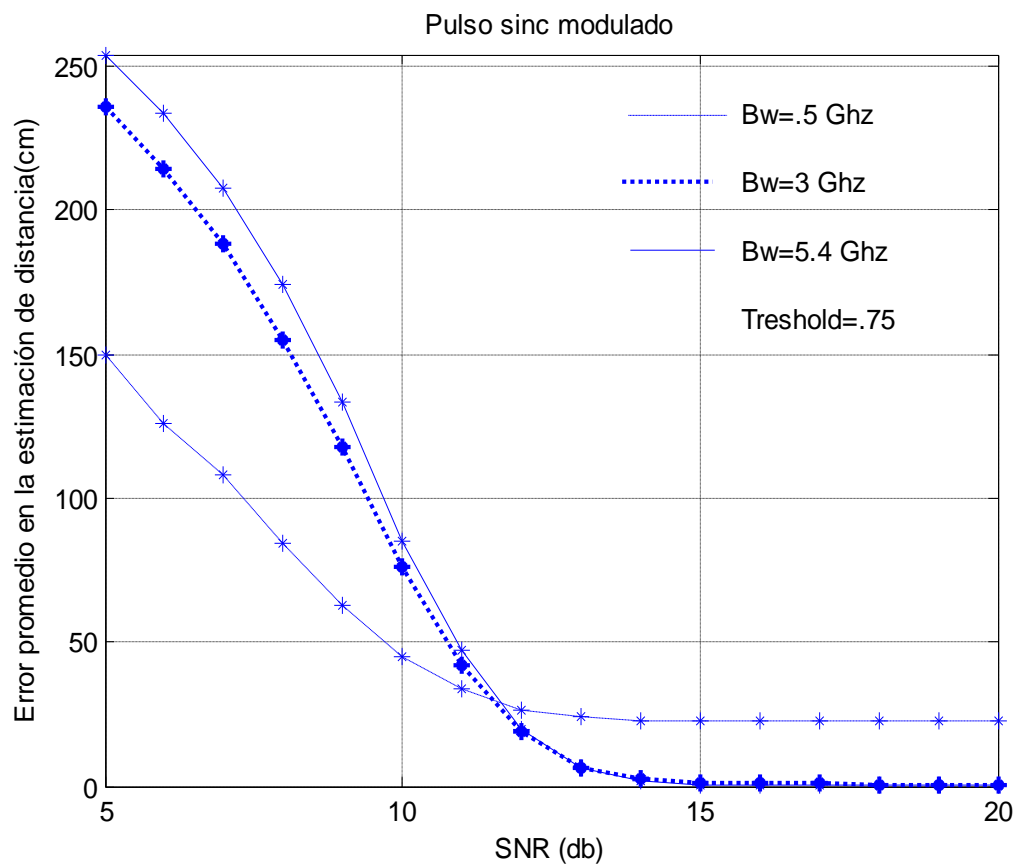


Figura 4.12 Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso Sinc recibido y nivel de umbral de .75.

La Figura 4.13 muestra el pulso Sinc modulado con promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de referencia máximo. A diferencia del pulso Gaussiano con las mismas variantes se observa un decremento en el EPED (mejor desempeño), solo con ancho de banda de .5 GHz

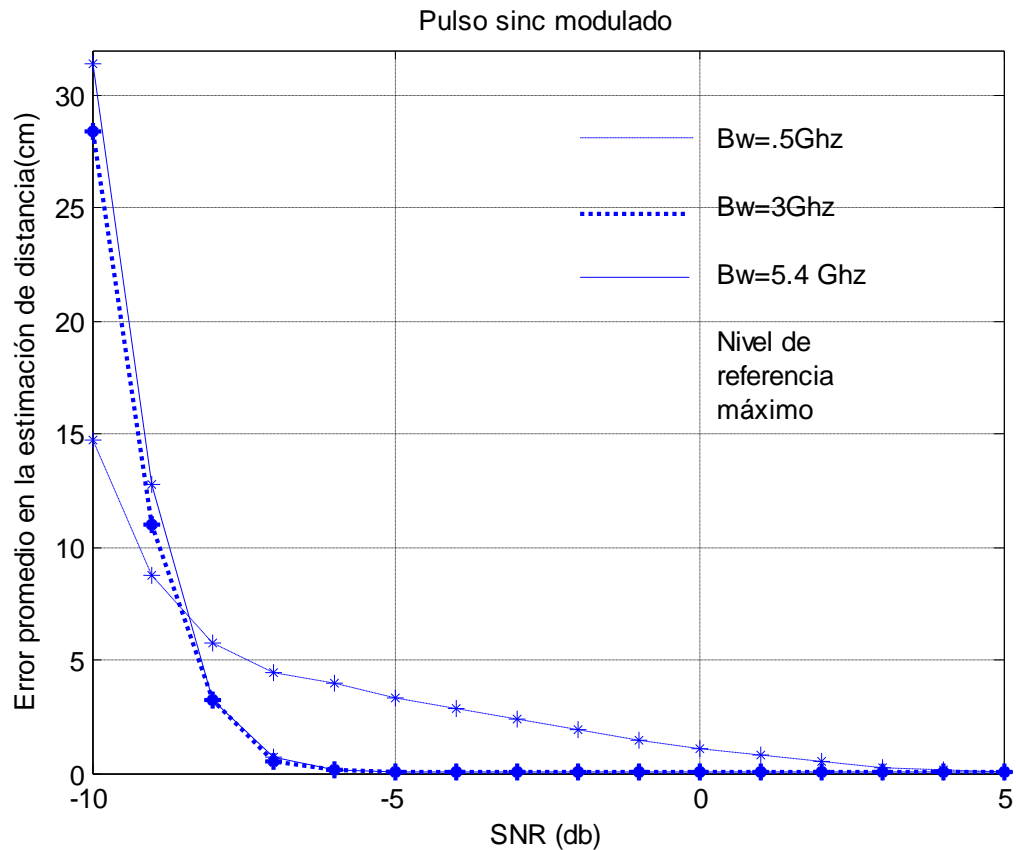


Figura 4.13 Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos Sinc recibidos y nivel máximo de referencia.

La Figura 4.14 muestra el pulso Sinc modulado con promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de umbral. A diferencia del pulso Gaussiano con las mismas variantes se observa un decremento en el EPED (mejor desempeño), con anchos de banda de .5 y 3 GHz.

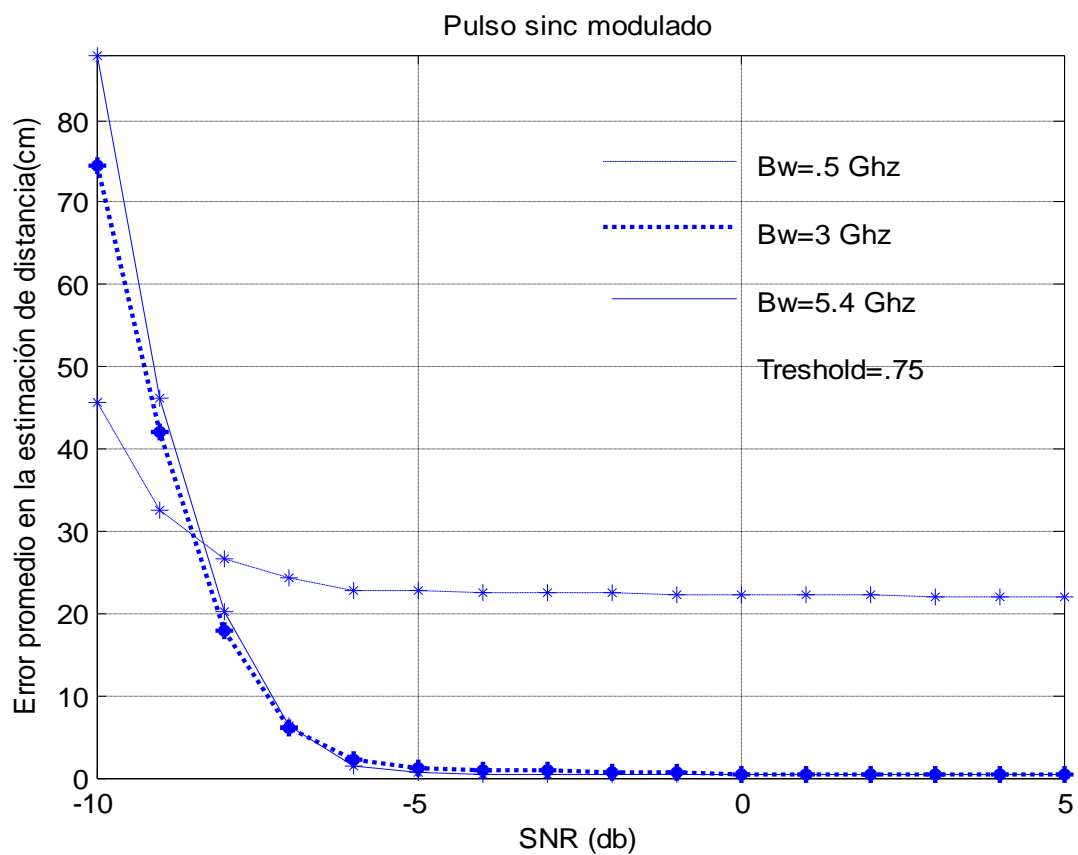


Figura 4.14 Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de umbral de .75.

La figura 4.15 muestra el pulso Gaussiano de cuarto orden, con tres anchos de banda, un pulso recibido para cada iteración y nivel de referencia máximo en el comparador. Debido a que los anchos de banda con los que cumple las restricciones de la FCC son limitados para este pulso, no pudo realizarse la simulación considerando este parámetro igual que los pulsos evaluados con anterioridad. Los resultados de EPED muestran valores menores con relación a los pulsos Sinc y Gaussiano modulados para Bw de 7.31 Ghz.

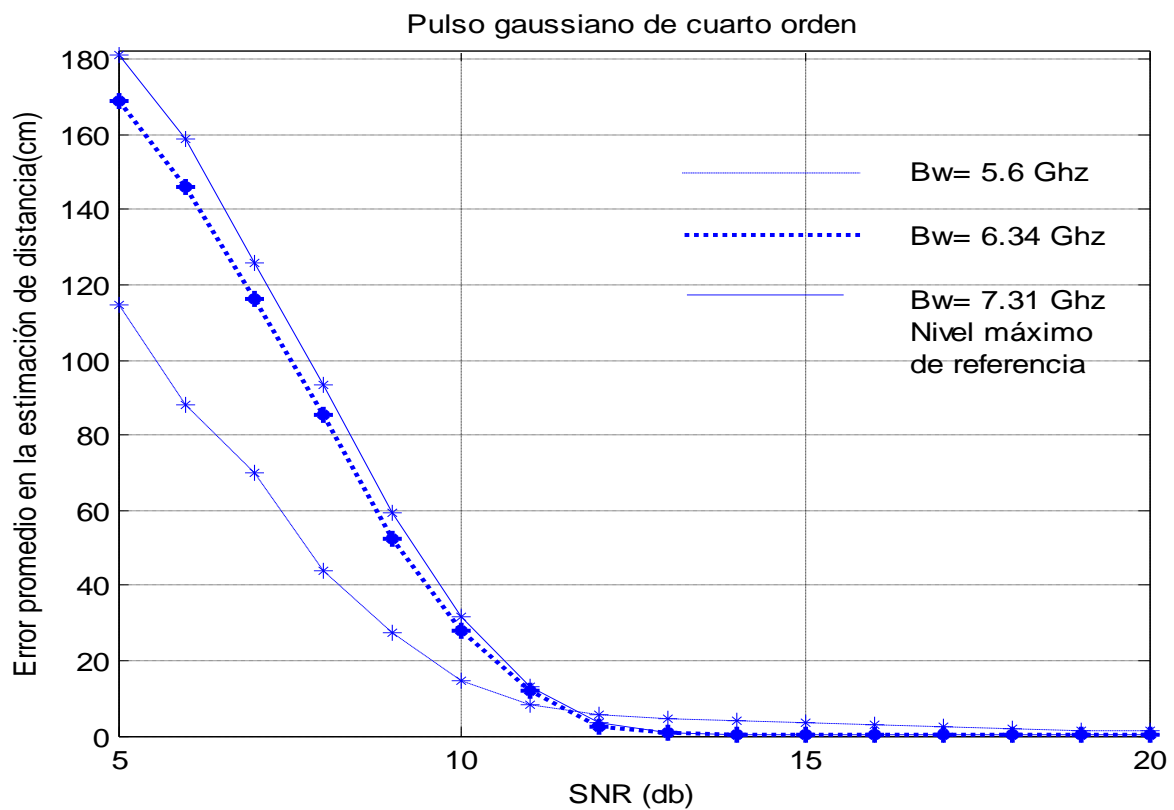


Figura 4.15 Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso recibido y nivel máximo de referencia.

La figura 4.16 muestra el pulso Gaussiano de cuarto orden con un pulso recibido y nivel de umbral, no se observan diferencias significativas que destacar con relación a los pulsos anteriores y considerando mismo Bw, sin embargo para Bw de 7.31Ghz se observa un menor EPED, con valores altos de SNR.

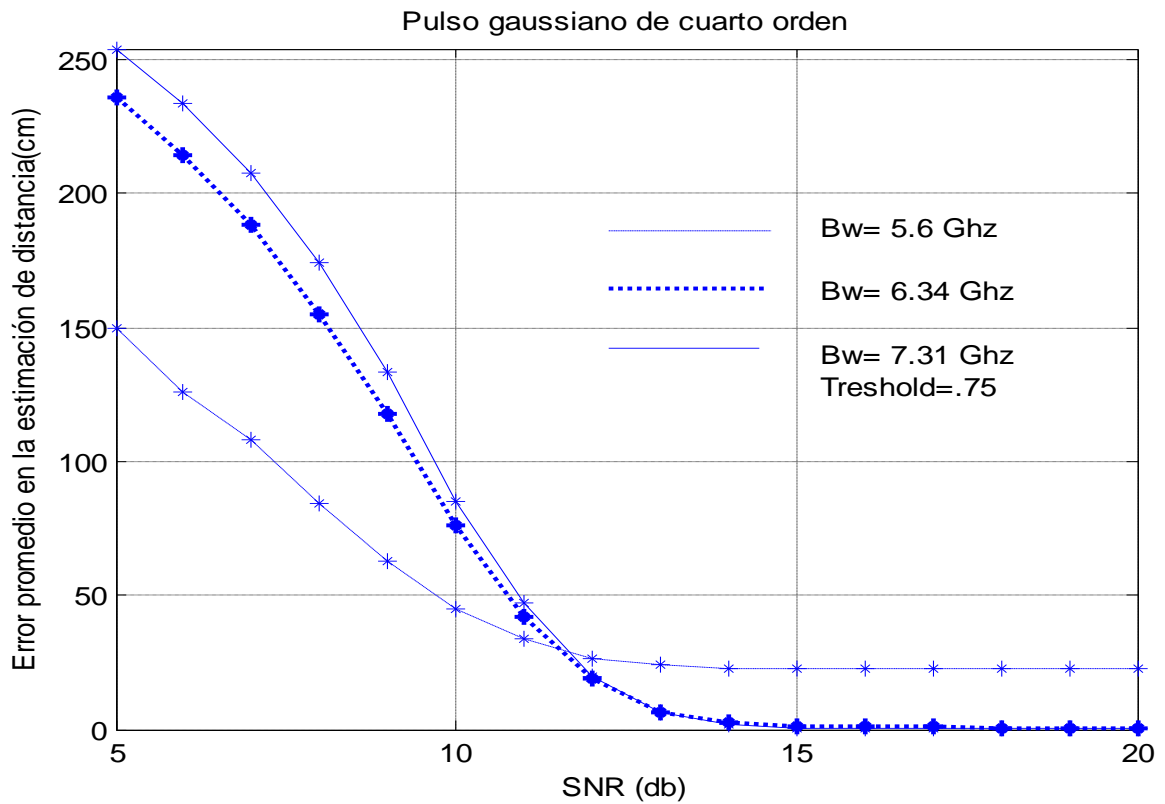


Figura 4.16 Comparativo de EPED para distintos anchos de banda, considerando un pulso recibido y nivel de umbral de .75.

La figura 4.17 muestra el pulso Gaussiano de cuarto orden con promedio de 100 pulsos recibidos y nivel máximo de referencia, no se observan diferencias significativas que destacar con relación a los pulsos anteriores y considerando mismo Bw, sin embargo para Bw de 7.31 Ghz se observa un menor EPED, con valores altos de SNR.

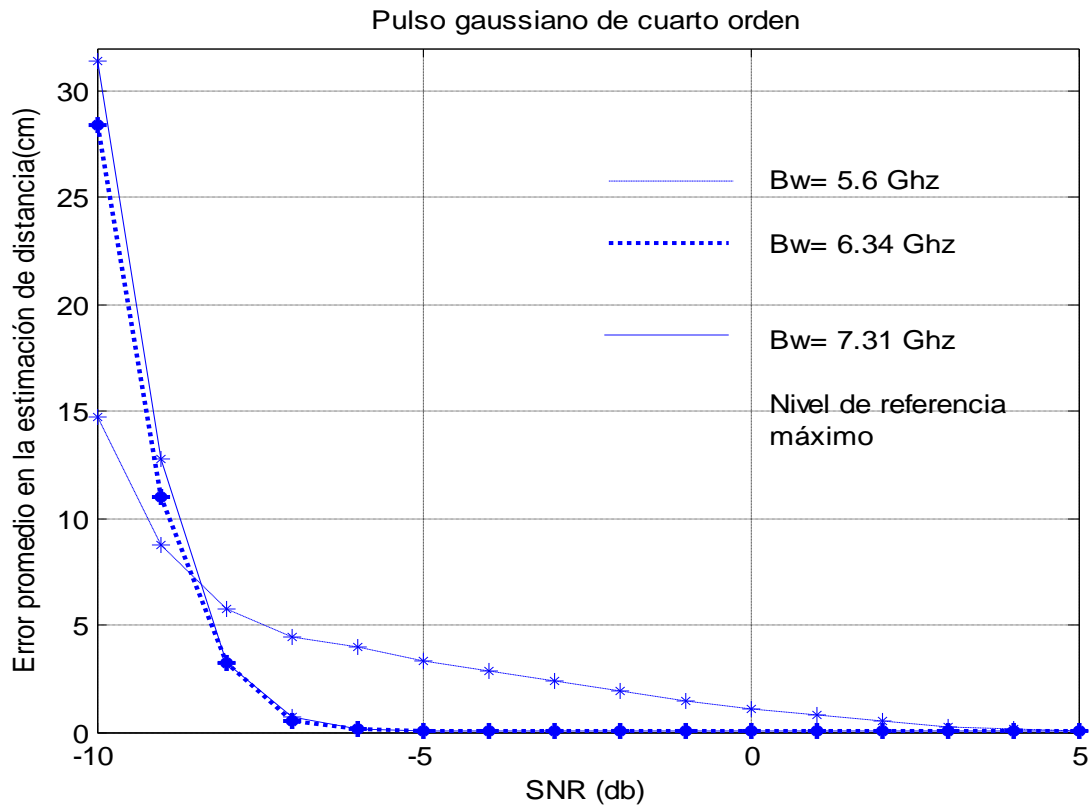


Figura 4.17 Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel máximo de referencia.

La figura 4.18 muestra el pulso Gaussiano de cuarto orden con promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de umbral, no se observan diferencias significativas que destacar con relación a los pulsos anteriores y considerando mismo Bw, sin embargo para Bw de 7.31 Ghz se observa un menor EPED, con valores altos de SNR.

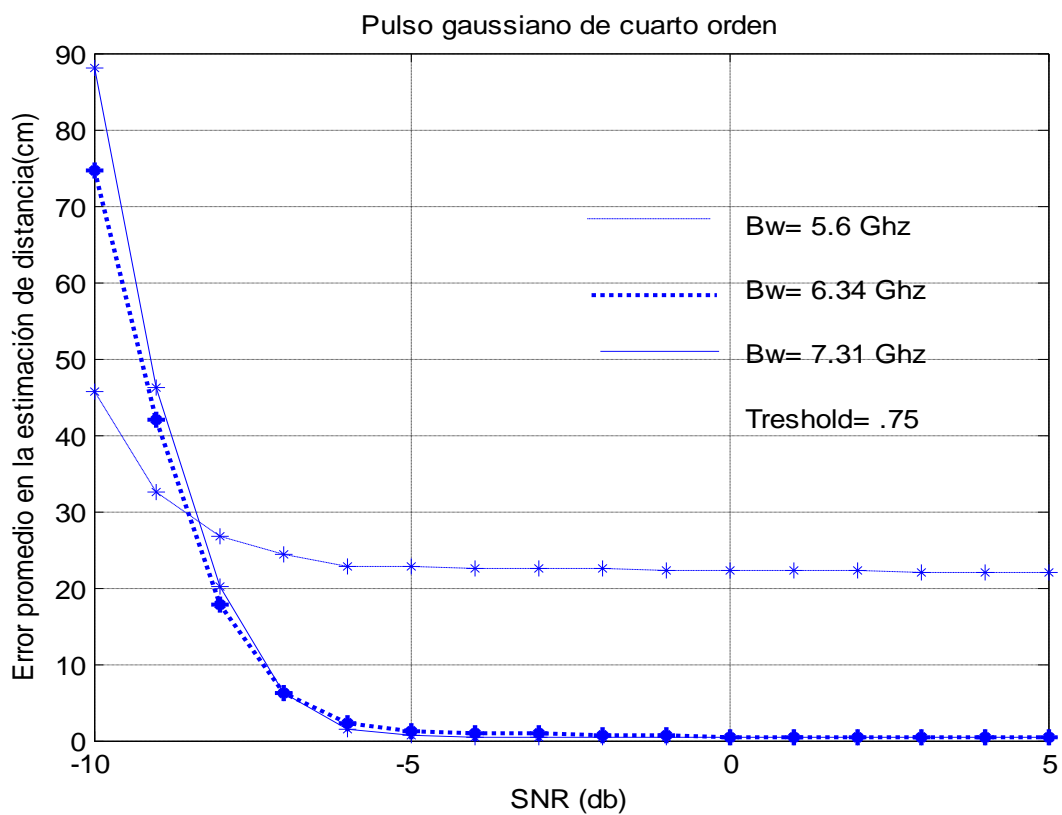


Figura 4.18 Comparativo del EPED para distintos anchos de banda, considerando promedio de 100 pulsos recibidos y nivel de umbral de .75.

La tabla 4.1 muestra un análisis de los resultados en función de los distintos escenarios utilizados (tipo de pulso, ancho de banda, niveles de referencia en comparador, numero de iteraciones y condiciones de canal) destacando lo más relevante.

Escenarios	Pulsos		
	Gaussiano de cuarto orden	Sinc modulado	Gaussiano modulado
Bw utilizado	<p>1.-Peor desempeño con Bw de 5.6 Ghz, nivel de umbral y promedio AWGN</p> <p>2.-Bw restringido por máscara espectral</p> <p>3.-Bw no influye en el desempeño del pulso para valores de SNR bajos</p> <p>4.-Para Bw de 7.3 Ghz mejor desempeño, con valores altos de SNR</p>	<p>1.-Mejor desempeño con Bw 5.4 Ghz, nivel de umbral y promedio AWGN</p> <p>2.-Mayor cantidad de Bw disponibles por forma de pulso</p> <p>3.-Bw no influye en el desempeño del pulso para valores de SNR bajos</p> <p>4.-Conforme incrementa bw mejor desempeño del pulso para valores altos de SNR</p>	<p>1.-Bw no influye en el desempeño del pulso para valores de SNR bajos</p> <p>2.-Conforme incrementa bw mejor desempeño del pulso para valores altos de SNR</p>
Nivel de referencia en comparador	<p>1.-Peor desempeño con nivel de umbral de .75 y promedio con AWGN con Bw en el orden de 5 Ghz</p>	<p>1.-Los resultados de EPED incrementan significativamente con treshold de .75</p>	<p>1.-Los resultados de EPED incrementan significativamente con treshold de .75</p>
Condiciones del canal (AWGN) y Numero de iteraciones	<p>1.-Peor desempeño con promedio de AWGN y nivel de umbral de .75 con Bw en el orden de 5 Ghz</p>	<p>1.-Los resultados de EPED incrementan significativamente sin promedio de ruido</p>	<p>1.- Los resultados de EPED incrementan significativamente sin promedio de ruido</p>

Tabla 4.1. Comparativo de los resultados para los 3 pulsos evaluados.

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajos futuros

5.1 Conclusiones

De acuerdo al comparativo de evaluación en estimación de distancia de pulsos UWB que cumplen las restricciones de FCC, el mejor desempeño (menor EPED) depende de las características del pulso, por lo que se analizan los resultados en 3 partes:

- Comparando los tres pulsos con mismo ancho de banda, en el orden de 5 Ghz. Para la variante que utiliza promedio de pulsos, tanto con nivel máximo como nivel de umbral para la decisión, el mejor desempeño lo registra el pulso sinc modulado. Al usar un pulso recibido, no existen diferencias que resaltar entre pulsos, ya que los resultados no muestran relación entre sí. Es importante destacar que las diferencias de EPED mencionadas para cada pulso son mínimas, en el rango de milímetros o menos dependiendo el nivel de SNR.
- Se confirmó que el ancho de banda es un parámetro determinante para el desempeño en la estimación de distancia al igual que la relación señal a ruido. Conforme aumenta el ancho de banda el EPED disminuye, es decir mejora el desempeño del pulso, excepto en los casos en los que el SNR es muy pequeño como se observó en la figura 4.7. Sin embargo esto implica mayor complejidad en el generador de pulsos. En el caso del SNR conforme aumenta, la tendencia de EPED es disminuir para los 3 pulsos. El pulso Gaussiano y Sinc modulado, registran un desempeño del EPED similar. La ventaja de utilizar estos pulsos es que al modularse es posible establecer de una forma sencilla la frecuencia de operación y ancho de banda. En el caso del pulso Gaussiano de cuarto orden, al no estar modulado se requiere hacer el cálculo para elegir frecuencia de operación y ancho de banda en función del parámetro τ . La ventaja del proceso de modulación de pulsos UWB es que no requieren de costosos y grandes componentes como

moduladores, demoduladores y plataformas IF. Este hecho reduce costos, tamaño, peso y consumo de potencia de un sistema UWB comparado con un sistema de comunicaciones de banda estrecha.

- De los dos escenarios utilizados en este trabajo, registra mejor desempeño el que utiliza promedio de pulsos recibidos ya que mitiga el ruido adherido. Esto debido a que el ruido tiene variaciones de nivel impredecibles, por lo que el desempeño mejora aumentando el número de muestras y promediándoles, sin embargo es importante considerar que a mayor número de muestras o iteraciones mayores es el tiempo de procesamiento. De las variantes consideradas la que registra mejor desempeño es la que utiliza nivel máximo de referencia para la decisión en el comparador, para este caso el comparador tendrá mayor complejidad que en el caso de nivel de umbral, por la cantidad de muestras a comparar debido a la precisión.

5.2 Trabajos Futuros

- Evaluar el desempeño de EPED de cada uno de los pulsos UWB utilizados, para la estimación de posición de un objetivo, utilizando el mismo algoritmo descrito en este trabajo.
- Desarrollar el objetivo de este trabajo en condiciones de multitrayecto (NLOS) y acceso múltiple. Además de la evaluación del EPED se podría realizar un comparativo de los resultados en términos de complejidad del sistema.

Referencias

[1] Taher Tanim M., Misurac Matthew J., Ucci Donald R., LoCicero Joseph L. (2007), *Symbol Shaping for Barker Spread Wi-Fi Communications*, IEEE International Conference on Electro/Information Technology, Chicago, IL, (pp. 290-295).

[2] Zhou L.-L. and Zhou H.-B. (2007), *Iterative solution to the notched waveform design in cognitive ultra-wideband radio system*, Progress in electromagnetics research, vol. 75, (pp. 271-284).

[3] Molish Andreas F., Foerster Jeffrey R. (December 2003), *Channel Models for Ultrawideband Personal Area Networks*, Mitsubishi Electric Research Laboratories, Cambridge, Massachusetts. Available:
<http://www.merl.com>

[4] Time Domain (September 2008), *Time Domain Corporation Adds Three New Ultra Wideband (UWB) Products to its PLUS Line to Meet RTLS Demand in Healthcare, Manufacturing, Logistics and Safety/Security Markets*, Huntsville, Alabama. Available:
<http://www.timedomain.com/news/newproducts.php>

[5] Anis M. and Tielert R. (2007), *Design of UWB pulse radio transceiver using statistical correlation technique in frequency domain*, Copernicus Publications on behalf of the URSI Landesausschuss in der Bundesrepublik Deutschland, (pp. 297-304).

[6] Senn James A. (1992), *Análisis y diseño de sistemas de información*, 2da Edición, México, Mc Graw Hill.

[7] Reed Jeffrey H. (2005), *An introduction to Ultra Wideband Communication Systems*, second printing, NJ: Prentice Hall.

[8] Siwiak Kazimierz and McKeown Debra (2004), *Ultra-Wideband Radio Technology*, UK: Wiley and Sons.

- [9] U.S. Federal Communications Commission, *FCC Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems*: First Report and Order, Technical report, February 2002.
- [10] Siwiak Kazimierz (2001), *Ultra-Wide Band Radio: Introducing a New Technology*, USA: IEEE (pp. 1088-1093).
- [11] Smith Steven W. (1997-1998), *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California: Technical Publishing (chapter 11).
- [12] Gezici Sinan, Tian Zhi, Giannakis Georgios B., Kobayashi Hisashi, Molish Andreas F., Poor H. Vincent and Sahinoglu Zafer (July 2005), *Localization via Ultra-Wideband Radios*, IEEE signal processing magazine (pp. 70-84).
- [13] Rappaport T.S., Reed J.H., and Woerner B.D. (October 1996), *Position location using wireless communications on highways of the future*, IEEE communications magazine (pp. 33-41).
- [14] Intel (2005), *Ultra-Wideband (UWB Technology)-enabling high-speed wireless personal area networks*. Available:
<http://www.intel.com/technology/comms/uwb/download/Ultra-Wideband.pdf>.
- [15] Yu Kegen, Oppermann Ian (2004), *Performance of UWB Position Estimation Based on Time-of-Arrival Measurements*, Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, Oulu Univ., Finland (pp. 400-404).
- [16] Cheol Chung Woo and Sam Ha, Dong (2003), *An Accurate Ultra Wideband (UWB) Ranging for Precision Asset Location*, Int. Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, Reston, Virginia (pp. 389-393)

[17] Sklar Bernard (2001), *Digital Communications: fundamentals and applications*, 2nd edition, Prentice Hall.

[18] Falsi Chiara, Dardari Davide, Mucchi Lorenzo, Win Moe Z. (2006), *Range Estimation in UWB Realistic Environments*, Hindawi Publishing Corporation: Eurasip Journal on applied Signal Processing (pp. 1-13).

Apéndice A

SNR (dB)	EPED (cm) de pulso sinc modulado, con promedio de 100 pulsos recibidos					
	Bw=.5Ghz		Bw=3Ghz		Bw=5.4Ghz	
	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75
-10	14.71	45.65	28.37	74.56	31.37	87.96
-9	8.71	32.52	11.04	41.97	12.74	46.24
-8	5.72	26.63	3.25	17.83	3.25	20.16
-7	4.48	24.27	.5219	6.14	.6900	6.20
-6	3.96	22.88	.1187	2.15	.1111	1.48
-5	3.36	22.66	.0745	1.24	.0356	.5308
-4	2.89	22.51	.0291	.9948	.0255	.3983
-3	2.38	22.50	.0170	.8130	.0167	.3908
-2	1.92	22.40	.0093	.7156	.0093	.3871
-1	1.47	22.30	.0051	.6142	.0045	.3806
0	1.09	22.33	.0024	.5129	.0020	.3708
1	.7686	22.23	.00078	.4567	.00069	.3651
2	.4892	22.14	.00039	.4094	.00009	.3556
3	.2755	22.05	.00006	.3792	7.4e-14	.3465
4	.1488	21.99	7.4e-14	.3624	7.4e-14	.3377
5	.0662	21.91	7.4e-14	.3552	7.4e-14	.3316

Tabla a.1. Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Sinc modulado con promedio de 100 pulsos recibidos.

SNR (dB)	EPED (cm) de pulso Sinc modulado con un pulso recibido					
	BW=.5Ghz		BW=3Ghz		BW=5.4Ghz	
	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75
5	114.77	149.32	169.02	235.79	181.37	253.46
6	87.91	125.92	146.12	214.39	159.08	233.79
7	70.13	107.95	116.46	188.05	125.79	207.57
8	43.87	84.29	85.18	154.96	93.18	173.98
9	27.47	62.53	52.34	117.37	59.56	133.07
10	14.68	45.21	27.86	76.11	31.43	84.81
11	8.51	33.68	11.71	42.2	13.01	47
12	5.71	26.60	2.41	19.10	3.36	19.73
13	4.54	24.09	.8222	6.12	.975	6.49
14	3.85	22.83	.1035	2.3	.1060	1.72
15	3.35	22.64	.0784	1.22	.0368	.6009
16	2.9	22.49	.0265	.9805	.0544	.413
17	2.4	22.51	.0166	.8653	.0158	.3922
18	1.88	22.42	.0099	.6968	.0089	.3878
19	1.48	22.36	.0045	.6008	.0042	.3798
20	1.08	22.35	.0024	.5174	.0022	.3715

Tabla a.2 Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Sinc modulado con un pulso.

SNR (dB)	EPED (cm) de pulso Gaussiano modulado, con promedio de 100 pulsos recibidos					
	Bw=.500Ghz		Bw=3 Ghz		Bw=5.4Ghz	
	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75
-10	16.13	48.64	27.44	73.97	31.01	87.11
-9	9.83	39.38	10.25	41.07	12.71	48.31
-8	6.95	32.93	3.63	17.61	3.33	19.48
-7	5.51	30.31	.52	7.43	.7812	7.1
-6	4.84	29.36	.1481	3.92	.1145	1.90
-5	4.26	29.11	.0732	3.36	.0371	.5028
-4	3.69	28.94	.0422	3.28	.0254	.4137
-3	3.04	28.92	.0210	3.24	.0162	.4009
-2	2.53	28.81	.0124	3.28	.0099	.3962
-1	2.03	28.79	.0056	3.33	.0050	.3884
0	1.49	28.69	.0025	3.32	.0023	.3800
1	1.11	28.69	.0007	3.32	.0008	.3755
2	.7208	28.66	.0003	3.36	.00015	.3671
3	.4684	28.67	.00006	3.36	.00006	.3581
4	.2438	28.69	7.4e-14	3.39	7.4e-14	.3482
5	.1303	28.76	7.4e-14	3.41	7.4e-14	.3426

Tabla a.3. Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Gaussiano modulado, con promedio de 100 pulsos recibidos.

SNR (dB)	EPED (cm) de pulso Gaussiano modulado, con un pulso recibido					
	Bw=.500Ghz		Bw=3 Ghz		Bw=5.4Ghz	
	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75
5	112.15	147.58	166.42	229.94	178.34	253.3
6	89.18	130.03	146.45	210.99	154.91	233.62
7	66.51	105.83	112.48	181.51	126.26	206.09
8	44.54	84.99	80.48	151.41	92.76	173.67
9	27.94	64.25	49.32	113.09	58.88	130.78
10	16.09	48.11	26.15	74.05	30.68	84.65
11	9.71	37.48	10.79	41.59	12.69	47.38
12	6.87	33.02	2.87	18	3.08	19.58
13	5.68	30.02	.8209	7.23	.5735	5.37
14	4.95	29.39	.1884	4	.0814	1.41
15	4.23	29.14	.0730	3.33	.0546	.5476
16	3.74	29.04	.0436	3.28	.0255	.4137
17	3.03	28.89	.0201	3.27	.0173	.4034
18	2.53	28.87	.0128	3.29	.0091	.3959
19	2.04	28.75	.0057	3.28	.0046	.3877
20	1.52	28.81	.0025	3.31	.0022	.3801

Tabla a.4. Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Gaussiano modulado, con un pulso recibido.

SNR (dB)	EPED (cm) de pulso Gaussiano de cuarto orden, con promedio de 100 pulsos recibidos					
	Bw=5.6Ghz/ τ =85pseg		Bw=6.34Ghz/ τ =75pseg		Bw=7.31Ghz/65pseg	
	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75
-10	28.34	82.99	31.48	88.91	35.59	95.85
-9	13.4	44.26	13.88	49.43	14.25	53.9
-8	3.86	19.1	3.80	20.43	3.51	21.71
-7	.6547	5.33	.7490	5.96	.5922	6.59
-6	.1213	1.3722	.1142	1.54	.1332	1.73
-5	.0477	.6196	.0340	.5405	.0206	.4398
-4	.0352	.4730	.0239	.3821	.0134	.3488
-3	.0224	.4741	.0134	.3735	.0066	.3115
-2	.0143	.4768	.0078	.3633	.003	.3076
-1	.0078	.4805	.0035	.3570	.0013	.3040
0	.0034	.4814	.0014	.3473	.00045	.3023
1	.0016	.4867	.00039	.3401	.00003	.3009
2	.00027	.4925	.00018	.3334	7.4e-14	.3004
3	.00009	.4974	.00003	.3257	7.4e-14	.30009
4	.00003	.5034	7.4e-14	.3187	7.4e-14	.3000
5	7.4e-14	.5080	7.4e-14	.3106	7.4e-14	.3000

Tabla a.5. Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Gaussiano de cuarto orden, con promedio de 100 pulsos recibidos.

SNR (dB)	EPED (cm) de pulso Gaussiano de cuarto orden, con un pulso recibido					
	BW=5.6Ghz/ τ =85pseg		BW=6.34Ghz/ τ =75pseg		BW=7.31Ghz/65pseg	
	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75	Máximo	Threshold .75
5	176.82	248.89	180.68	258.94	186.40	264.78
6	154.74	235.14	159.35	235.92	162.94	245.35
7	124.67	206.43	125.69	211.99	134.37	220.59
8	92.21	167.22	96.51	179.70	97.72	186.64
9	57.41	126.19	58.53	137.26	61.63	141.55
10	31.13	82.96	31.78	89.31	33.70	95.00
11	12.86	43.64	12.92	47.74	14.02	51.89
12	3.17	18.28	3.3	20.25	3.87	22.40
13	.6697	6.77	.6132	6.16	.7617	6.27
14	.1127	1.31	.0663	1.77	.2048	1.96
15	.0509	.5864	.0342	.5484	.0209	.4202
16	.0353	.4734	.0229	.4368	.0126	.3167
17	.0252	.4746	.0152	.3712	.0068	.3111
18	.0139	.4779	.0077	.3639	.0032	.3080
19	.0080	.4802	.0038	.3554	.0014	.3045
20	.0042	.4817	.0015	.3476	.0003	.3019

Tabla a.6. Comparativo del EPED para tres distintos anchos de banda del pulso Gaussiano de cuarto orden, con un pulso recibido.