

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**Coexistencia entre Sistemas  
MB-OFDM  
UWB y Sistemas WiMAX 3.5 GHz**

Marilia Núñez Exebio

**JUNIO 2011**



---

***Coexistencia entre Sistemas MB-OFDM UWB y***

***Sistemas WiMAX 3.5 GHz***

**Autora: Marilia Núñez Exebio**

**Tutor: Bazil Taha Ahmed**

**Grupo de Radiofrecuencia**

**Dpto. de Tecnología Electrónica y de las  
Comunicaiones**

**Escuela Politécnica Superior  
Universidad Autónoma de Madrid**

**Junio 2011**



---

*“Muchas personas no temen nada con más espanto que de tomar postura que destaque demasiado y claramente del parecer general. La tendencia de la mayoría es la de adoptar un punto de vista tan ambiguo que lo incluirá todo, y tan popular que incluirá a todo el mundo.*

*Nadie que aspire a ideas altas y nobles las debe esconder bajo una apariencia de aridez por miedo a ser considerados diferentes”*

*Martin Luther King*

---

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor, *Bazil*, por haberme permitido realizar este proyecto con él, por la infinita paciencia que ha tenido y por esa forma de ser característica que me ha acompañado durante este último año.

A todos los profesores, que durante 5 años han contribuido a mi formación profesional y como persona. No puedo dejar de mencionar de forma especial, a quien tras cuatro años de teorías y mundos ideales, nos enseñó otra perspectiva: la del *mundo real*, Ángel Ferreiro.

A mi madre, porque gracias a su gran esfuerzo hoy puedo escribir estas líneas, por ser tan comprensiva y porque se lo merece. A mis hermanos, porque los dos, a su manera, me han apoyado desde aquellos duros primeros meses hasta hoy. A Conchi y Manuel, *mis segundos padres*, porque gran parte de este proyecto os lo debo a vosotros. A María, porque después de todos estos años eres como una hermana, por haberme aguantado todo este tiempo, por ser mi amiga, compañera de piso, de aventuras, de lágrimas, confidente y psicóloga. Estoy convencida de que algún día lo conseguirás.

A todas las personas que han pasado por mi vida a lo largo de estos más de 6 años en Madrid, a las que quedaron en el camino y las que aún permanecen cerca o en la distancia. Parte de vosotros también está en este proyecto. A Sonia, por tantas y tantas risas y buenos y no tan buenos momentos, acuérdate de mí cuando estés en el *lado oscuro* y no olvides que la vida no nos trata mal. A los psicólogos, farmacéuticos, profesores, médicos y a todos los que habéis hecho que *mi vida en Madrid* sea maravillosa.

A mis compañeros de Telefónica Soluciones, porque gracias a vosotros esta primera aventura profesional está siendo inolvidable. A Javier y Loli por haber confiado en mí desde el primer día. Ángel, por confiar en mí y porque creo que eres capaz de sacar lo mejor de cada persona. Alberto, por tantos y tan buenos consejos e insisto en que de mayor quiero ser como tú. Inma, la *supergirl*, mi segunda tutora y compañera gracias por ayudarme siempre. Y a todas las personas que forman parte de OSS, me siento afortunada de trabajar a vuestro lado. Gracias a vosotros cada día aprendo algo nuevo.

A los de Ibiza, porque si nos quedamos con los buenos momentos, todo merece la pena.

Gracias a todos  
Marilia

---

# Resumen

---

El uso de la tecnología UWB ha crecido significativamente en los últimos años, y se está convirtiendo en la principal candidata para comunicaciones radio de altas tasas binarias en distancias cortas. Este crecimiento en su uso hace cada vez más peligrosa la interferencia que puede causar a sistemas que transmiten en la misma banda, pero que a diferencia de UWB, lo hacen con licencia. Es en este punto es dónde surge el motivo de desarrollar este Proyecto de Fin de Carrera.

Centraremos nuestro estudio en la zona de 3.5 GHz, donde la primera banda de MB-OFDM UWB coincide con el sistema WiMAX 3.5 GHz. Nuestro objetivo es estudiar la coexistencia de ambos sistemas en esa zona del espectro, y aplicar los mecanismos necesarios para que la señal WiMAX se vea lo menos afectada posible por la señal UWB. Estos mecanismos se conocen como DAA (*Detect and Avoid*).

Los mecanismos DAA ayudan a que la señal WiMAX no sufra los efectos dañinos de la interferencia causada por la señal UWB, por ejemplo, eliminando portadoras para que no se solapen con las señales WiMAX. Esto tiene un efecto negativo en las señales UWB, afectando principalmente a sus tasas binarias y distancias máximas de transmisión.

Por tanto, también estudiaremos la forma de aplicar técnicas que permitan contrarrestar los efectos de los mecanismos DAA en las señales UWB, para conseguir que su degradación sea mínima. Estos mecanismos se conocen como ADD (*Adaptive Data Distribution*)

---

# Abstract

---

The use of UWB technology has grown significantly in recent years and is becoming the leading candidate for radio communications with high bit rate over short distances. This growth in their use becomes increasingly dangerous interference that may cause transmission systems in the same band, but unlike UWB, which are licensed. At this point is where the reason for developing this Final Project does.

Focus our study in the 3.5 GHz, where the first band of MB-OFDM UWB coincides with WiMAX 3.5 GHz. Our goal is to study the coexistence of two systems in that region of the spectrum, and implement the necessary mechanisms for WiMAX signal is as little affected as possible by the UWB signal. These mechanisms are known as DAA (Detect and Avoid).

DAA mechanisms help the WiMAX signal does not suffer the harmful effects of interference from UWB signal, for example, eliminating carriers that do not overlap with the WiMAX signal. This has a negative effect on the UWB signals, mainly affecting their peak bit rates and transmission distances.

Therefore also study how to apply techniques to counteract the effects of DAA mechanisms in UWB signals, to ensure that its degradation is minimal. These mechanisms are known as ADD (Adaptive Data Distribution).

---

# Palabras Clave

---

- ADD
- BIT RATE
- COEXISTENCIA
- DAA
- DEGRADACIÓN
- DETECCIÓN
- DISTANCIA MÁXIMA
- EVITAR
- MB-OFDM
- NOTCH
- PROBABILIDAD DE DETECCIÓN
- PROBABILIDAD DE FALSA ALARMA
- UWB
- WiMAX

---

# Key Words

---

- ADD
- AVOID
- BIT RATE
- COEXISTENCE
- DAA
- DEGRADATION
- DETECTION
- MAXIMUM DISTANCE
- MB-OFDM
- NOTCH
- PROBABILITY OF DETECTION
- PROBABILITY OF FALSE ALARM
- UWB
- WiMAX

---

## **INDICE DE CONTENIDOS**

<i>AGRADECIMIENTOS</i> .....	III
Resumen .....	III
Abstract .....	III
Palabras Clave.....	III
Key Words .....	III
<i>INDICE DE CONTENIDOS</i> .....	III
<i>INDICE DE FIGURAS</i> .....	III
<i>INDICE DE TABLAS</i> .....	III
<b>Introducción</b> .....	3
<b>1.1 Motivación</b> .....	3
<b>1.2 Objetivos</b> .....	3
<b>1.3 Estructura</b> .....	3
<b>Sistemas implicados</b> .....	3
<b>2.1 Sistema UWB</b> .....	3
2.1.1 Introducción .....	3
2.1.2 Tecnología.....	3
2.1.3 Regulación y estandarización .....	3
2.1.4 Modelo de propagación .....	3
2.1.5 Señales UWB.....	3
2.1.6 Modelo de señal de entrada.....	3
2.1.7 Ventajas .....	3
2.1.8 Aplicaciones.....	3
2.1.9 Futuro de UWB .....	3
<b>2.2 Sistemas WiMAX</b> .....	3
2.2.1 Introducción .....	3
2.2.2 Tecnología.....	3
2.2.3 Principales características.....	3
2.2.4 Sistemas WiMAX.....	3
2.2.5 Ventajas e Inconvenientes.....	3
2.2.6 Aplicaciones.....	3
<b>2.3 Coexistencia de ambos sistemas</b> .....	3

---

---

2.3.1	Mecanismo de Trabajo.....	3
2.3.2	Escenario de trabajo.....	3
<b>Detección de la señal WiMAX.....</b>		<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Características a tener en cuenta para la detección.....</b>	<b>3</b>
<b>3.2</b>	<b>Resultados de la detección.....</b>	<b>3</b>
3.2.1	Señal WiMAX de -70 dBm/MHz .....	3
3.2.1.1	M=1.....	3
3.2.1.2	M=2.....	3
3.2.2	Señal WiMAX de -75 dBm/MHz .....	3
3.2.2.1	M=1.....	3
3.2.2.2	M=2.....	3
3.2.3	Señal WiMAX de -80 dBm/MHz .....	3
3.2.3.1	M=1.....	3
3.2.3.2	M=2.....	3
3.2.4	Señal WiMAX de -85 dBm/MHz .....	3
3.2.4.1	M=1.....	3
3.2.4.2	M=2.....	3
3.2.5	Señal WiMAX de -90 dBm/MHz .....	3
3.2.5.1	M=1.....	3
3.2.5.2	M=2.....	3
3.2.5.3	M=3.....	3
3.2.6	Señal WiMAX de -95 dBm/MHz .....	3
3.2.6.1	M=1.....	3
3.2.6.2	M=2.....	3
3.2.6.3	M=3.....	3
3.2.6.4	M=4.....	3
3.2.7	Señal WiMAX de -100 dBm/MHz .....	3
3.2.7.1	M=1.....	3
3.2.7.2	M=2.....	3
3.2.7.3	M=3.....	3
3.2.7.4	M=4.....	3
3.2.7.5	M=5.....	3
3.2.8	Señal WiMAX de -105 dBm/MHz .....	3
3.2.8.1	M=1.....	3

---

3.2.8.2	M=2.....	3
3.2.8.3	M=3.....	3
3.2.8.4	M=4.....	3
3.2.8.5	M=5.....	3
<b>3.3</b>	<b>Conclusiones de la Detección.....</b>	<b>3</b>
<b>Evitación de la transmisión de la señal UWB en la banda WiMAX.....</b>		<b>3</b>
<b>4.1</b>	<b>Eliminación de portadoras.....</b>	<b>3</b>
<b>4.2</b>	<b>Filtro Notch.....</b>	<b>3</b>
<b>4.3</b>	<b>Resultados después de eliminar portadoras y aplicar Filtro Notch.....</b>	<b>3</b>
4.3.1	Señal de entrada cuadrada.....	3
4.3.1.1	BwWiMAX=1.25 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
4.3.1.2	BwWiMAX=2.5 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
4.3.1.3	BwWiMAX= 5 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
4.3.1.4	BwWiMAX=10 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
4.3.1.5	BwWiMAX=20 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
4.3.1.6	BwWiMAX=28 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
4.3.2	Señal de entrada coseno alzado con $\alpha = 0.25$ (señal no estándar):.....	3
4.3.2.1	BwWiMAX=1.25 MHz centrada en f=3420.....	3
4.3.2.2	BwWiMAX=2.5 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
4.3.2.3	BwWiMAX=5 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
4.3.2.4	BwWiMAX=10 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
4.3.2.5	BwWiMAX=20 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
4.3.2.6	BwWiMAX=28 MHz centrada en f=3420 MHz.....	3
<b>4.4</b>	<b>Efectos de las técnicas de mitigación de la interferencia.....</b>	<b>3</b>
4.4.1	$E_b/N_o$ antes y después de aplicar DAA con señal de entrada cuadrada.....	3
4.4.1.1	53.3 Mbps.....	3
4.4.1.2	80 Mbps.....	3
4.4.1.3	106.6 Mbps.....	3
4.4.1.4	160 Mbps.....	3
4.4.1.5	200 Mbps.....	3
4.4.1.6	320 Mbps.....	3
4.4.1.7	400 Mbps.....	3
4.4.1.8	480 Mbps.....	3

---

4.4.2	$E_b/N_o$ antes y después de aplicar DAA con señal de coseno alzado $\alpha=0.25$ (señal no estándar).....	3
4.4.2.1	53.3 Mbps.....	3
4.4.2.2	80 Mbps.....	3
4.4.2.3	106.6 Mbps.....	3
4.4.2.4	160 Mbps.....	3
4.4.2.5	200 Mbps.....	3
4.4.2.6	320 Mbps.....	3
4.4.2.7	400 Mbps.....	3
4.4.2.8	480 Mbps.....	3
4.4.3	Número de portadoras que no cumplen $E_b/N_o$ con señal de entrada cuadrada... 3	3
4.4.3.1	53.3 Mbps.....	3
4.4.3.2	80 Mbps.....	3
4.4.3.3	106.6 Mbps.....	3
4.4.3.4	160 Mbps.....	3
4.4.3.5	200 Mbps.....	3
4.4.3.6	320 Mbps.....	3
4.4.3.7	400 Mbps.....	3
4.4.3.8	480 Mbps.....	3
4.4.4	Tasas binarias resultantes con señal de entrada cuadrada.....	3
4.4.4.1	53.3 Mbps.....	3
4.4.4.2	80 Mbps.....	3
4.4.4.3	106.6 Mbps.....	3
4.4.4.4	160 Mbps.....	3
4.4.4.5	200 Mbps.....	3
4.4.4.6	320 Mbps.....	3
4.4.4.7	400 Mbps.....	3
4.4.4.8	480 Mbps.....	3
4.4.5	Número de portadoras que no cumplen $E_b/N_o$ con señal de entrada coseno alzado $\alpha=0.25$ (señal no estándar).....	3
4.4.5.1	53.3 Mbps.....	3
4.4.5.2	80 Mbps.....	3
4.4.5.3	106 Mbps.....	3
4.4.5.4	160 Mbps.....	3
4.4.5.5	200 Mbps.....	3

---

---

4.4.5.6	320 Mbps .....	3
4.4.5.7	400 Mbps .....	3
4.4.5.8	480 Mbps .....	3
4.4.6	Tasas binarias resultantes con señal de entrada coseno alzado $\alpha=0.25$ (señal no estándar).....	3
4.4.6.1	53.3 Mbps .....	3
4.4.6.2	80 Mbps .....	3
4.4.6.3	106 Mbps .....	3
4.4.6.4	160 Mbps .....	3
4.4.6.5	200 Mbps .....	3
4.4.6.6	320 Mbps .....	3
4.4.6.7	400 Mbps .....	3
4.4.6.8	480 Mbps .....	3
<b>4.5</b>	<b>Conclusiones de la fase de Evitación .....</b>	<b>3</b>
4.5.1	Eliminación de portadoras .....	3
4.5.2	Efecto en la $E_b/N_o$ y en las tasas binarias:.....	3
<b>4.6</b>	<b>Impacto de DAA en MB-OFDM UWB .....</b>	<b>3</b>
4.6.1	Distribución de datos adaptativa .....	3
4.6.2	Conclusiones después de aplicar una nueva distribución de portadoras .....	3
<b>Conclusiones.....</b>		<b>3</b>
<b>Referencias .....</b>		<b>3</b>
<b>Glosario .....</b>		<b>3</b>
<b>Presupuesto .....</b>		<b>3</b>
<b>Pliego de condiciones.....</b>		<b>3</b>

## **INDICE DE FIGURAS**

FIGURA 1.1 ESCENARIO ACTUAL DE LAS REDES DE COMUNICACIONES.....	3
FIGURA 2.1.1 NUEVAS MÁSCARAS DE EMISIÓN DE DENSIDAD DE POTENCIA PARA UWB INTERIORES Y EXTERIORES RECOMENDADAS POR LA CEPT.....	3
FIGURA 2.1.2 TRANSMISIÓN TIEMPO-FRECUENCIA DE SÍMBOLOS OFDM EN MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 2.1.3 DIVISIÓN DEL ESPECTRO MB-OFDM.....	3
FIGURA 2.1.4 GRUPO 1 DEL ESPECTRO DE MB-OFDM DIVIDIDO EN LAS TRES PRIMERAS BANDAS.....	3
FIGURA 2.1.5 BANDA 1 DEL ESPECTRO MODULADA EN OFDM.....	3
FIGURA 2.1.6 CONFIGURACIÓN PORTADORAS OFDM EN EL ESPECTRO MB-OFDM .....	3
FIGURA 2.1.7 ESPECTRO MB-OFDM PRÁCTICO QUE CUMPLE SU MÁSCARA ESPECTRAL DE EMISIÓN.....	3
FIGURA 2.1.8 ESTADO ACTUAL DE LAS REGULACIONES MB-OFDM UWB A NIVEL MUNDIAL SEGÚN <i>WIMEDIA ALLIANCE</i> EN ENERO 2009.....	3
FIGURA 2.1.9 ESPECTRO UWB CON SEÑAL DE ENTRADA CUADRADA .....	3
FIGURA 2.1.10 ESPECTRO UWB CON SEÑAL DE ENTRADA COSENO ALZADO .....	3
FIGURA 2.1.11 APLICACIONES ELECTRÓNICAS PARA UWB EN CASA .....	3
FIGURA 2.1.12 SITUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA UWB EN EL LOS ESCENARIOS INALÁMBRICOS ACTUALES.....	3
FIGURA 2.1.13 CARACTERÍSTICAS WIRELESS USB .....	3
FIGURA 2.2.1 ANCHO DE BANDA PRÁCTICO DE UNA SEÑAL WIMAX .....	3
FIGURA 2.2.2 EVOLUCIÓN WIMAX .....	3
FIGURA 2.2.3 PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS SISTEMAS WIMAX.....	3
FIGURA 2.3.1 TRANSMISIONES UWB Y WIMAX.....	3
FIGURA 2.3.2 ESPECTRO MB-OFDM UWB CON SEÑAL DE ENTRADA CUADRADA.....	3
FIGURA 2.3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN TRANSMISOR-RECEPTOR UWB.....	3
FIGURA 3.1.1 ESPECTRO MB-OFDM UWB Y WIMAX DE 1.25 MHz.....	3

---

FIGURA 3.1.2 ESPECTRO MB-OFDM UWB Y WiMAX DE 2.5 MHZ.....	3
FIGURA 3.1.3 ESPECTRO MB-OFDM UWB Y WiMAX DE 5 MHZ.....	3
FIGURA 3.1.4 ESPECTRO MB-OFDM UWB Y WiMAX DE 10 MHZ.....	3
FIGURA 3.1.5 ESPECTRO MB-OFDM UWB Y WiMAX DE 20 MHZ .....	3
FIGURA 3.1.6 ESPECTRO MB-OFDM UWB Y WiMAX DE 28 MHZ .....	3
FIGURA 3.1.7 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN Y DE FALSA ALARMA.....	3
FIGURA 3.1.8 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -75 dBm/MHZ CUANDO LA SEÑAL WiMAX ENTERA CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 3.1.9 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -75 dBm/MHZ CUANDO LA MITAD DE LA SEÑAL WiMAX CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB ....	3
FIGURA 3.1.10 PROBABILIDAD DE FALSA ALARMA CON $M=1$ .....	3
FIGURA 3.1.11 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -90 dBm/MHZ CUANDO LA SEÑAL WiMAX ENTERA CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 3.1.12 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -90 dBm/MHZ CUANDO LA MITAD DE LA SEÑAL WiMAX CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB ....	3
FIGURA 3.1.13 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -105 dBm/MHZ CUANDO LA SEÑAL WiMAX ENTERA CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 3.1.14 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -105 dBm/MHZ CUANDO LA MITAD DE LA SEÑAL WiMAX CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB ....	3
FIGURA 3.1.15 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -75 dBm/MHZ CUANDO LA SEÑAL WiMAX ENTERA CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 3.1.16 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -75 dBm/MHZ CUANDO LA MITAD DE LA SEÑAL WiMAX CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB ....	3
FIGURA 3.1.17 PROBABILIDAD DE FALSA ALARMA CON $M=2$ .....	3
FIGURA 3.1.18 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -90 dBm/MHZ CUANDO LA SEÑAL WiMAX ENTERA CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 3.1.19 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -90 dBm/MHZ CUANDO LA MITAD DE LA SEÑAL WiMAX CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB ....	3
FIGURA 3.1.20 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -105 dBm/MHZ CUANDO LA SEÑAL WiMAX ENTERA CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 3.1.21 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -105 dBm/MHZ CUANDO LA MITAD DE LA SEÑAL WiMAX CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB ....	3

---

---

FIGURA 3.1.22 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -75 dBm/MHz CUANDO LA SEÑAL WiMAX ENTERA CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 3.1.23 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN CON UNA SEÑAL WiMAX DE -75 dBm/MHz CUANDO LA MITAD DE LA SEÑAL WiMAX CAE EN LA PORTADORA MB-OFDM UWB ....	3
FIGURA 3.1.24 PROBABILIDAD DE FALSA ALARMA CON $M=3$ .....	3
FIGURA 3.2.1 PORTADORAS PERCIBIDAS $BW= 1.25, 2.5, 5, 10$ Y $20$ MHz.....	3
FIGURA 3.2.2 PORTADORAS PERCIBIDAS $BW= 1.75, 3.5, 7, 14$ Y $28$ MHz.....	3
FIGURA 3.2.3 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.4 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.5 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ O $P_D > 0.8$ Y $M=2$ .....	3
FIGURA 3.2.6 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.7 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.8 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ Ó $P_D > 0.8$ $M=2$ .....	3
FIGURA 3.2.9 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.10 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.11 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ Ó $P_D > 0.8$ $M=2$ .....	3
FIGURA 3.2.12 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.13 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.14 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ Ó $P_D > 0.8$ $M=2$ .....	3
FIGURA 3.2.15 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.16 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.17 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=2$ .....	3
FIGURA 3.2.18 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=3$ .....	3
FIGURA 3.2.19 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.20 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.21 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=2$ .....	3

---

---

FIGURA 3.2.22 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=2$ .....	3
FIGURA 3.2.23 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=3$ .....	3
FIGURA 3.2.24 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=3$ .....	3
FIGURA 3.2.25 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=4$ .....	3
FIGURA 3.2.26 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.27 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.28 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=2$ .....	3
FIGURA 3.2.29 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=2$ .....	3
FIGURA 3.2.30 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=3$ .....	3
FIGURA 3.2.31 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=3$ .....	3
FIGURA 3.2.32 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=4$ .....	3
FIGURA 3.2.33 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=4$ .....	3
FIGURA 3.2.34 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=5$ .....	3
FIGURA 3.2.35 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=5$ .....	3
FIGURA 3.2.36 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ ó $P_D > 0.8$ $M=1$ .....	3
FIGURA 3.2.37 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ ó $P_D > 0.8$ $M=2$ .....	3
FIGURA 3.2.38 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ ó $P_D > 0.8$ $M=3$ .....	3
FIGURA 3.2.39 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=4$ .....	3
FIGURA 3.2.40 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=4$ .....	3
FIGURA 3.2.41 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.5$ $M=5$ .....	3
FIGURA 3.2.42 PORTADORAS DETECTADAS ESTABLECIENDO $P_D > 0.8$ $M=5$ .....	3
FIGURA 3.3.1 PORTADORAS DETECTADAS CON SEÑALES ENTRE -70 Y 85 dBm/MHz $P_D > 0.5$ (A) Y $P_D > 0.8$ (B) .....	3
FIGURA 3.3.2 PORTADORAS DETECTADAS CON SEÑALES DE -90 dBm/MHz $P_D > 0.5$ (A) Y $P_D > 0.8$ (B) .....	3
FIGURA 3.3.3 PORTADORAS DETECTADAS CON SEÑALES DE -95 dBm/MHz $P_D > 0.5$ (A) Y $P_D > 0.8$ (B) .....	3

---

---

FIGURA 3.3.4 PORTADORAS DETECTADAS CON SEÑALES DE -100 dBm/MHz PD>0.5 (A) Y PD>0.8 (B) .....	3
FIGURA 3.3.5 PORTADORAS DETECTADAS CON SEÑALES DE -105 dBm/MHz PD>0.5 (A) Y PD>0.8 (B) .....	3
FIGURA 4.1.1 SEÑAL WiMAX DE 1.25 MHz ENTRE DOS PORTADORAS MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 4.1.2 SEÑAL WiMAX DE 1.25 MHz EN UNA PORTADORA MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 4.1.3 ESPECTRO MB-OFDM UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.1.4 SEÑAL WiMAX DE 2.5 MHz ENTRE DOS PORTADORAS MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 4.1.5 SEÑAL WiMAX DE 2.5 MHz EN UNA PORTADORA MB-OFDM UWB.....	3
FIGURA 4.1.6 ESPECTRO MB-OFDM UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS .....	3
FIGURA 4.1.7 SEÑAL WiMAX DE 5 MHz EN UNA PORTADORA MB-OFDM UWB.....	3
FIGURA 4.1.8 SEÑAL WiMAX DE 5 MHz ENTRE DOS PORTADORAS MB-OFDM UWB .....	3
FIGURA 4.1.9 ESPECTRO MB-OFDM UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 3 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.1.10 ESPECTRO MB-OFDM UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 4 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.1.11 ESPECTRO MB-OFDM UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 6 PORTADORAS .....	3
FIGURA 4.1.12 ESPECTRO MB-OFDM UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.1.13 SEÑAL MB-OFDM UWB ELIMINANDO 40 PORTADORAS .....	3
FIGURA 4.2.1 CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN DEL FILTRO NOTCH TUNEABLE USANDO CORTOCIRCUITO .....	3
FIGURA 4.2.2 CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN DE UN FILTRO NOTCH CON CORTO CIRCUITO Y CIRCUITO ABIERTO.....	3
FIGURA 4.2.3 FILTROS NOTCH CON CIRCUITO ABIERTO (ROJO) CUYA MÁXIMA ATENUACIÓN ES 35 dB Y CORTO CIRCUITO (AZUL) CUYA MÁXIMA ATENUACIÓN ES 43 dB.....	3
FIGURA 4.2.4 CIRCUITO DE ACTIVACIÓN DEL FILTRO NOTCH .....	3
FIGURA 4.2.5 CIRCUITO CON SWITCH EN MODO ON .....	3
FIGURA 4.2.6 CIRCUITO CON SWITCH EN MODO OFF .....	3
FIGURA 4.3.1 ESPECTRO MB-OFDM DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NOTCH.....	3

---

---

FIGURA 4.3.2 ESPECTRO MB-OFDM DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.3.3 ESPECTRO MB-OFDM DESPUÉS DE ELIMINAR 3 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.3.4 ESPECTRO MB-OFDM DESPUÉS DE ELIMINAR 4 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.3.5 ESPECTRO MB-OFDM DESPUÉS DE ELIMINAR 6 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.3.6 ESPECTRO MB-OFDM DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.3.7 ESPECTRO SEÑAL MB-OFDM UWB Y SEÑAL WIMAX DE 1.25 MHZ.....	3
FIGURA 4.3.8 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR DOS PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.3.9 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.3.10 ESPECTRO MB-OFDM UWB Y SEÑAL WIMAX DE 2.5 MHZ.....	3
FIGURA 4.3.11 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR DOS PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.3.12 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NOCH.....	3
FIGURA 4.3.13 ESPECTRO MB-OFDM UWB Y SEÑAL WIMAX DE 5 MHZ.....	3
FIGURA 4.3.14 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 3 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.3.15 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 3 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.3.16 ESPECTRO MB-OFDM UWB Y SEÑAL WIMAX 10 MHZ.....	3
FIGURA 4.3.17 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 4 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.3.18 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 4 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.3.19 ESPECTRO MB-OFDM UWB Y SEÑAL WIMAX DE 20 MHZ.....	3
FIGURA 4.3.20 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 6 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.3.21 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 6 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NTOCH.....	3
FIGURA 4.3.22 ESPECTRO MB-OFDM Y SEÑAL WIMAX DE 28 MHZ.....	3

---

FIGURA 4.3.23 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.3.24 ESPECTRO UWB DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS Y APLICAR FILTRO NTOCH.....	3
FIGURA 4.4.1 $E_B/N_o$ 53.3 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) Y D=7.25 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.2 $E_B/N_o$ 53.3 MBPS ELIMINANDO 8 PORTADORAS D=1 M (IZQUIERDA) Y D=7.25 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.3 $E_B/N_o$ 53.3 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) Y D=3.5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.4 $E_B/N_o$ 80 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) Y D= 6.25 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.5 $E_B/N_o$ 80 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) Y D= 6.25 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.6 $E_B/N_o$ 80 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=2.75 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y DESPUÉS DE APLICAR EL FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.4.7 $E_B/N_o$ 106.6 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=6 M (DERECHA).....	3
FIGURA 4.4.8 $E_B/N_o$ 106.6 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=6 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.9 $E_B/N_o$ 106.6 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=2.5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y FILTRO NOTCH .....	3
FIGURA 4.4.10 $E_B/N_o$ 160 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=5 M (DERECHA).....	3
FIGURA 4.4.11 $E_B/N_o$ 160 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.12 $E_B/N_o$ 160 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=2.25 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y DESPUÉS DE APLICAR EL FILTRO NOTCH .....	3
FIGURA 4.4.13 $E_B/N_o$ 200 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=4.5 M (DERECHA).....	3
FIGURA 4.4.14 $E_B/N_o$ 200 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=4.5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.15 $E_B/N_o$ 200 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=2 M (DERECHA) EIMINANDO 8 PORTADORAS Y APLICANDO FILTRO NOTCH .....	3
FIGURA 4.4.16 $E_B/N_o$ 320 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=4 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.17 $E_B/N_o$ 320 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=4 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3

---

FIGURA 4.4.18 $E_B/N_0$ 320 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=1.75 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y DESPUÉS DE LA ACTIVACIÓN DEL FILTRO NOTCH .....	3
FIGURA 4.4.19 $E_B/N_0$ 400 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=3.5 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.20 $E_B/N_0$ 400 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=3.5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.21 $E_B/N_0$ 400 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=1.5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y DESPUÉS DE APLICAR EL FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.4.22 $E_B/N_0$ 480 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=3.25 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.23 $E_B/N_0$ 480 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=3.25 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.24 $E_B/N_0$ 480 MBPS D=1.25 M NINGUNA PORTADORA CUMPLE LA $E_B/N_0$ REQUERIDA .....	3
FIGURA 4.4.25 $E_B/N_0$ 53.3 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=7.25 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.26 $E_B/N_0$ 53.3 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=7.25 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.27 $E_B/N_0$ 53.3 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=3.5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y APLICANDO EL FILTRO NOTCH .....	3
FIGURA 4.4.28 $E_B/N_0$ 80 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=6.25 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.29 $E_B/N_0$ 80 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=6.25 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.30 $E_B/N_0$ 80 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=3 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y APLICADO FILTRO NOTCH .....	3
FIGURA 4.4.31 $E_B/N_0$ 106.6 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=6 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.32 $E_B/N_0$ 106.6 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=6 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.33 $E_B/N_0$ 106.6 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=2.75 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y APLICANDO FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.4.34 $E_B/N_0$ 160 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=5 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.35 $E_B/N_0$ 160 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.36 $E_B/N_0$ 160 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=2.25 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3

---

---

FIGURA 4.4.37 $E_B/N_0$ 200 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=4.5 M (DERECHA).....	3
FIGURA 4.4.38 $E_B/N_0$ 200 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=4.5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.39 $E_B/N_0$ 200 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=2 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y APLICANDO FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.4.40 $E_B/N_0$ 320 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=4 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.41 $E_B/N_0$ 320 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=4 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.42 $E_B/N_0$ 320 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=1.75 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y APLICANDO FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.4.43 $E_B/N_0$ 400 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=3.5 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.44 $E_B/N_0$ 400 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=3.5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.45 $E_B/N_0$ 400 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=1.5 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y ACTIVANDO FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.4.46 $E_B/N_0$ 480 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=3.25 M (DERECHA) .....	3
FIGURA 4.4.47 $E_B/N_0$ 480 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=3.25 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS.....	3
FIGURA 4.4.48 $E_B/N_0$ 480 MBPS D=1 M (IZQUIERDA) D=1.25 M (DERECHA) ELIMINANDO 8 PORTADORAS Y APLICANDO FILTRO NOTCH.....	3
FIGURA 4.5.1 DISTANCIAS MÁXIMAS DE TRANSMISIÓN MB-OFDM UWB CON SEÑAL DE ENTRADA CUADRADA .....	3
FIGURA 4.5.2 DISTANCIAS MÁXIMAS DE TRANSMISIÓN MB-OFDM UWB CON SEÑAL DE ENTRADA COSENO ALZADO.....	3
FIGURA 4.5.3 TASAS BINARIAS RESULTANTES EN 53.3 MBPS .....	3
FIGURA 4.5.4 TASAS BINARIAS RESULTANTES EN 80 MBPS.....	3
FIGURA 4.5.5 TASAS BINARIAS RESULTANTES EN 106.6 MBPS.....	3
FIGURA 4.5.6 TASAS BINARIAS RESULTANTES EN 160 MBPS .....	3
FIGURA 4.5.7 TASAS BINARIAS RESULTANTES EN 200 MBPS .....	3
FIGURA 4.5.8 TASAS BINARIAS RESULTANTES EN 320 MBPS.....	3
FIGURA 4.5.9 TASAS BINARIAS RESULTANTES EN 400 MBPS.....	3

---

---

FIGURA 4.5.10 TASAS BINARIAS RESULTANTES EN 480 MBPS .....	3
FIGURA 4.6.1 TASAS BINARIAS RESULTANTES DESPUÉS DE APLICAR ADD .....	3
FIGURA 4.6.2 TASAS BINARIAS EN LAS QUE PODEMOS BUSCAR 53.3. MBPS APLICANDO ADD	3

---

## **INDICE DE TABLAS**

TABLA 2.1.1 PIRE DEL ESPECTRO UWB .....	3
TABLA 2.1.2 TÉCNICAS DE MODULACIÓN UWB.....	3
TABLA 2.1.3 PLAN DETALLADO DE FRECUENCIAS MB-OFDM UWB.....	3
TABLA 2.1.4 PARÁMETROS DE MODULACIÓN DE LA SEÑAL MB-OFDM BÁSICA.....	3
TABLA 2.2.1 NÚMERO DE PORTADORAS WiMAX MÓVIL.....	3
TABLA 2.2.2 NÚMERO DE PORTADORAS WiMAX FIJO.....	3
TABLA 2.2.3 ANCHOS DE BANDA PRÁCTICOS WiMAX MÓVIL .....	3
TABLA 2.2.4 ANCHOS DE BANDA PRÁCTICOS WiMAX FIJO .....	3
TABLA 2.2.5 MODULACIONES Y VALORES DE CODIFICACIÓN POSIBLES EN WiMAX.....	3
TABLA 2.2.6 VALORES SNR WiMAX PARA ENLACES <i>DOWNLINK</i> .....	3
TABLA 2.3.1 PARÁMETROS PARA CALCULAR LA TASA BINARIA MB-OFDM UWB.....	3
TABLA 2.3.2 PARÁMETROS DE TIEMPO MB-OFDM UWB.....	3
TABLA 3.1.1 PROBABILIDAD DE DETECCIÓN Y DE FALSA ALARMA.....	3
TABLA 3.2.1 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON SEÑAL WiMAX DE -70 DBM/MHZ Y M=1 .....	3
TABLA 3.2.2 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -70 DBM/MHZ Y M=2.....	3
TABLA 3.2.3 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -75 DBM/MHZ Y M=1 .....	3
TABLA 3.2.4 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -75 DBM/MHZ Y M=2.....	3
TABLA 3.2.5 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON SEÑAL WiMAX DE -80 DBM/MHZ Y M=1 .....	3
TABLA 3.2.6 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -80 DBM/MHZ Y M=2.....	3
TABLA 3.2.7 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -85 DBM/MHZ Y M=1 .....	3

---

---

TABLA 3.2.8 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -85 DBM/MHZ Y M=2.....	3
TABLA 3.2.9 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -90 DBM/MHZ Y M=1 .....	3
TABLA 3.2.10 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -90 DBM/MHZ Y M=2.....	3
TABLA 3.2.11 PORTADORAS PERCIBIDAS DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -90 DBM/MHZ Y M=3.....	3
TABLA 3.2.12 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -95 DBM/MHZ Y M=1 .....	3
TABLA 3.2.13 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -95 DBM/MHZ Y M=2.....	3
TABLA 3.2.14 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -95 DBM/MHZ Y M=3.....	3
TABLA 3.2.15 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -95 DBM/MHZ Y M=4.....	3
TABLA 3.2.16 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -100 DBM/MHZ Y M=1 .....	3
TABLA 3.2.17 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -100 DBM/MHZ Y M=2.....	3
TABLA 3.2.18 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -100 DBM/MHZ Y M=3.....	3
TABLA 3.2.19 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -100 DBM/MHZ Y M=4.....	3
TABLA 3.2.20 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -100 DBM/MHZ Y M=5.....	3
TABLA 3.2.21 PORTADORAS PERCIBIDASAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -105 DBM/MHZ Y M=1 .....	3
TABLA 3.2.22 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -105 DBM/MHZ Y M=2.....	3
TABLA 3.2.23 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -105 DBM/MHZ Y M=3.....	3
TABLA 3.2.24 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WiMAX DE -105 DBM/MHZ Y M=4.....	3

---

---

TABLA 3.2.25 PORTADORAS PERCIBIDAS Y DETECTADAS CON UNA SEÑAL WIMAX DE -105 DBM/MHZ Y M=5.....	3
TABLA 4.1.1 NÚMERO DE PORTADORAS MB-OFDM A ELIMINAR.....	3
TABLA 4.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FILTROS NOTCH IMPLMENTADOS.....	3
TABLA 4.2.2 PARÁMETROS DEL FILTRO NOTCH UTILIZADO .....	3
TABLA 4.2.3 VALORES DE $C_D$ UTILIZADOS EN [20] PARA IMPLEMENTAR EL FILTRO NOTCH...	3
TABLA 4.2.4 VALORES DE $R_{ON}$ PARA DISTINTOS VALORES DE PÉRDIDAS DE INSERCIÓN .....	3
TABLA 4.4.1 DISTANCIAS DE TRANSMISIÓN IDEALES PARA CADA TASA BINARIA MB-OFDM UWB EN LOS DOS EXTREMOS DE LAS DOS PRIMERAS BANDAS .....	3
TABLA 4.4.2 DISTANCIAS DE TRANSMISIÓN UWB CON SEÑAL DE ENTRADA CUADRADA .....	3
TABLA 4.4.3 DISTANCIAS DE TRANSMISIÓN UWB CON SEÑAL DE ENTRADA COSENO ALZADO $A=0.25$ .....	3
TABLA 4.4.4 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_o$ REQUERIDA EN 53.3 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.5 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_o$ REQUERIDA EN 53.3 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.6 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_o$ REQUERIDA EN 80 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.7 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_o$ REQUERIDA EN 80 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.8 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_o$ REQUERIDA EN 106 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.9 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_o$ REQUERIDA EN 106 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.10 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_o$ REQUERIDA EN 160 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.11 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_o$ REQUERIDA EN 160 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.12 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_o$ REQUERIDA EN 200 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.13 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_o$ REQUERIDA EN 200 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3

---

---

TABLA 4.4.14 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 320 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.15 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 320 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.16 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 400 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.17 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 400 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.18 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 480 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.19 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 480 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.20 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS+ FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 53.3 MBPS .....	3
TABLA 4.4.21 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 53.3 MBPS .....	3
TABLA 4.4.22 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 80 MBPS .....	3
TABLA 4.4.23 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 80 MBPS .....	3
TABLA 4.4.24 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 106 MBPS.....	3
TABLA 4.4.25 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 106 MBPS.....	3
TABLA 4.4.26 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 160 MBPS.....	3
TABLA 4.4.27 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 160 MBPS.....	3
TABLA 4.4.28 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 200 MBPS.....	3
TABLA 4.4.29 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 200 MBPS .....	3
TABLA 4.4.30 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 320 MBPS .....	3

---

---

TABLA 4.4.31 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 320 MBPS .....	3
TABLA 4.4.32 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 400 MBPS .....	3
TABLA 4.4.33 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 400 MBPS .....	3
TABLA 4.4.34 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 480 MBPS .....	3
TABLA 4.4.35 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 480 MBPS .....	3
TABLA 4.4.36 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 53.3 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.37 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 53.3 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.38 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 80 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.39 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 80 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.40 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 106 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.41 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 106 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.42 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 160 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.43 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 160 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.44 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 200 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.45 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 200 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.46 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 320 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.47 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 320 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3

---

---

TABLA 4.4.48 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 400 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.49 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 400 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.50 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 480 MBPS (ELIMINANDO 2 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH).....	3
TABLA 4.4.51 NÚMERO DE PORTADORAS QUE NO CUMPLEN $E_B/N_0$ REQUERIDA EN 480 MBPS (ELIMINANDO 8 PORTADORAS ANTES DEL FILTRO NOTCH) .....	3
TABLA 4.4.52 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 53.3 MBPS .....	3
TABLA 4.4.53 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 53.3 MBPS .....	3
TABLA 4.4.54 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 80 MBPS .....	3
TABLA 4.4.55 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 80 MBPS .....	3
TABLA 4.4.56 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 106 MBPS.....	3
TABLA 4.4.57 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 106 MBPS.....	3
TABLA 4.4.58 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 160 MBPS.....	3
TABLA 4.4.59 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 160 MBPS.....	3
TABLA 4.4.60 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 200 MBPS.....	3
TABLA 4.4.61 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 200 MBPS .....	3
TABLA 4.4.62 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 320 MBPS .....	3
TABLA 4.4.63 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 320 MBPS .....	3
TABLA 4.4.64 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 400 MBPS.....	3

---

---

TABLA 4.4.65 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 400 MBPS .....	3
TABLA 4.4.66 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 2 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 480 MBPS .....	3
TABLA 4.4.67 TASA BINARIA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR 8 PORTADORAS + FILTRO NOTCH CON TASA BINARIA INICIAL DE 480 MBPS .....	3
TABLA 4.5.1 NIVELES DE POTENCIA RESULTANTES EN MB-OFDM UWB TRAS APLICAR DAA	3
TABLA 4.5.2 DISTANCIAS DE TRANSMISIÓN DESPUÉS DE APLICAR DAA CON SEÑAL DE ENTRADA CUADRADA .....	3
TABLA 4.5.3 DISTANCIAS DE TRANSMISIÓN DESPUÉS DE APLICAR DAA CON SEÑAL DE ENTRADA COSENO ALZADO $A=0.25$ .....	3
TABLA 4.6.1 TASAS BINARIAS RESULTANTES DESPUÉS DE APLICAR ADD .....	3

---

# Capítulo 1

## Introducción

---

### 1.1 Motivación

El rápido crecimiento de los servicios basados en transmisión de datos, la ubicuidad de las conexiones, la portabilidad de los terminales, y la demanda de servicios que proporcionan elevados regímenes binarios de forma continua, han revolucionado las comunicaciones inalámbricas actuales. Esta demanda de servicios se puede valorar teniendo en cuenta que el número de líneas de comunicaciones móviles crece cada vez más [1]. Este número de líneas suscritas son, en la mayoría de casos, para uso de telefonía convencional o de segunda generación (2G), aunque se observa como la telefonía de tercera generación (3G) supone un mayor porcentaje del total.

Las tecnologías 3G predominantes son: WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), HSPA (*High Speed Packet Access*) y CDMA (*Code Division Multiple Access*). Dentro de HSPA se estima que el 72 % de las conexiones son capaces de soportar transmisiones con regímenes binarios de 3.7 Mbit/s. La implantación de nuevos estándares basados en WCDMA y 3GPP (*Third Generation Partnership Project*), como es el futuro LTE (*Long Term Evolution*), augura el desarrollo a corto plazo de nuevos servicios que provean elevados regímenes binarios en entornos de largo alcance (*Wireless Wide Area Networks*). Este futuro desarrollo se reflejará tanto en las infraestructuras como en la implementación de dispositivos que faciliten el acceso a estos servicios.

Analizando las comunicaciones inalámbricas que proporcionan servicios de elevado régimen binario en entornos de medio o corto alcance, se observa una gran diversidad tanto en su topología como en su funcionalidad. Desde el punto de vista de la topología existen tecnologías de comunicaciones inalámbricas basadas en sistemas multipunto entre una red de usuarios, como las redes Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) basadas en la tecnologías *IEEE 802.11*, o punto-a-punto de alta velocidad para escenarios de corto alcance, como son las comunicaciones basadas en *UWB (Ultra Wideband)*. Desde el punto de vista funcional encontramos tecnologías que implementan transmisiones de datos a alta velocidad y en distancias muy cortas para sustituir los cables actuales, como es el USB inalámbrico (*WUSB, Wireless Universal Serial Bus*) basado en *UWB*, o que extienden los servicios móviles tradicionales en entornos de difícil cobertura, por ejemplo las redes *WiMAX* en entornos rurales.

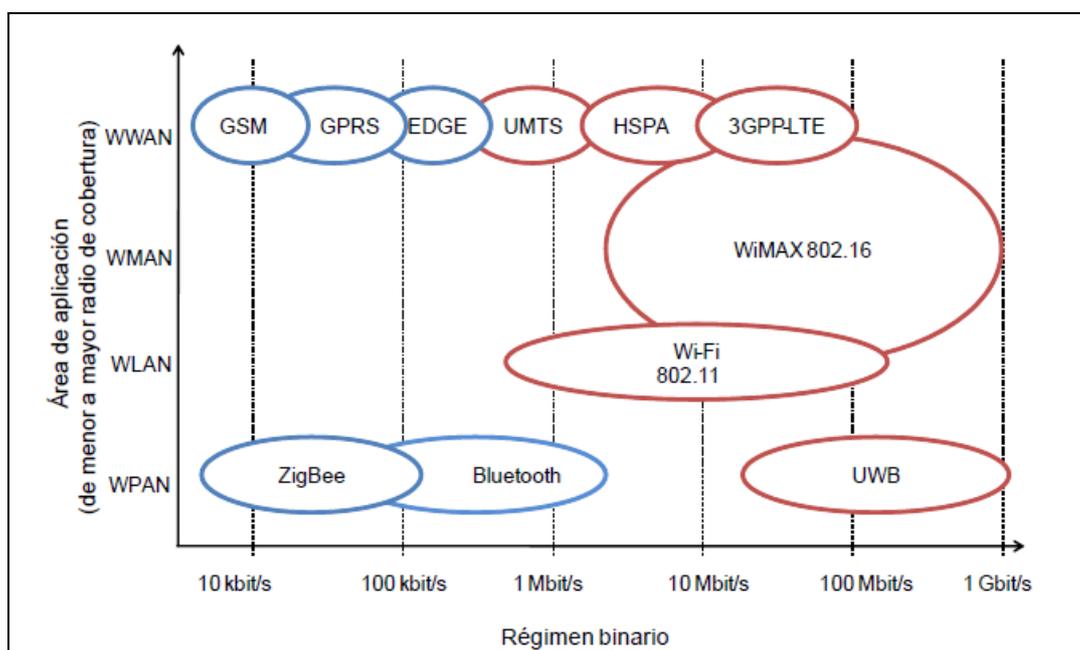


Figura 1.1 Escenario actual de las redes de comunicaciones

---

El FCC (*Federal Communications Commission*) definió UWB en el rango de frecuencias de 3.1-10.6 GHz, para permitir una potencia máxima transmitida de la densidad del espectro (PSD) de -41 dBm/MHz. Según el FCC, un sistema de comunicaciones se considera del tipo UWB si:

- Su ancho de banda relativo es mayor al 20%.
- Su ancho de banda absoluto es mayor de 500 GHz.

Pero en este momento se está trabajando en la regulación de este estándar dentro de Europa y diversas publicaciones de los investigadores de la *Universidad Autónoma de Madrid* conducen ya a una regulación española.

Se ha discutido mucho sobre los posibles problemas de interferencias de la tecnología UWB con otras tecnologías inalámbricas que usan las mismas bandas o bandas cercanas. En el rango 3 – 4.8 GHz, WiMAX es una de estas tecnologías.

Este Proyecto de Fin de Carrera pretende presentar un estudio de la coexistencia de las tecnologías de acceso inalámbricas UWB y WiMAX, ambas tecnologías de comunicaciones que proporcionan altos niveles de tasas binarias y que además comparten escenarios de aplicación: WPAN o WLAN.

## 1.2 Objetivos

El objetivo de este Proyecto de Fin de Carrera es estudiar la coexistencia del sistema MB-OFDM UWB con el sistema WiMAX en la banda (3.3-4.3) GHz.

Esto lo haremos:

- Mediante técnicas que reducen el impacto del sistema UWB sobre el sistema WiMAX 3.5 GHz.

- Tomando algunas medidas que reducen el impacto de aplicar las técnicas anteriores sobre los sistemas MB-OFDM UWB.

Para ello será necesario un primer estudio detallado de las técnicas que reducen el impacto del sistema UWB sobre WiMAX 3.5 GHz, y posteriormente de las medidas que reducen el impacto de las técnicas antes mencionadas sobre UWB y por tanto permiten la coexistencia entre ambos sistemas.

Es decir, en primer lugar reduciremos la interferencia causada por el sistema *Ultra Wideband* en las bandas en las que se solapa con el sistema WiMAX usando mecanismos DAA (*Detect and Avoid*). Eso proporcionará cierto nivel de aislamiento entre ambos sistemas. Pero, aunque éstas técnicas hayan mejorado mucho en los últimos años, este procedimiento deteriora el rendimiento del enlace UWB significativamente por tanto intentaremos reducir ese efecto. Por ejemplo estudiaremos la técnica ADD (*Adaptive Data Distribution*) que sirve para mejorar el rendimiento de un dispositivo UWB que emplea DAA.

---

## 1.3 Estructura

Esta memoria se divide en cinco capítulos. El primer capítulo es una introducción a las bases y objetivo de este Proyecto de Fin de Carrera.

El segundo capítulo trata las principales características de los dos sistemas implicados en nuestro estudio, es decir por un lado la tecnología UWB (concretamente MB-OFDM) y por otro lado la tecnología WiMAX con sus respectivas características, ventajas y principales ámbitos de aplicación.

En el tercer capítulo nos centramos en la detección de la señal WiMAX, dividiremos este proceso en dos fases: percepción y detección y analizaremos los resultados obtenidos.

En el capítulo cuatro nos centraremos en cómo debemos evitar la transmisión de la señal MB-OFDM UWB en las zonas del espectro en las que se ha detectado señales WiMAX.

En el capítulo cinco hacemos un análisis de los resultados obtenidos y las conclusiones generales de este Proyecto de Fin de Carrera.

Finalmente también tenemos las referencias en las que nos hemos basado para escribir este informe, el glosario de los términos empleados, el presupuesto y pliego de condiciones.

---

# Capítulo 2

## Sistemas implicados

---

### 2.1 Sistema UWB

#### 2.1.1 Introducción

*Ultra Wideband* (UWB) es una tecnología de radiocomunicaciones basada en el uso de un rango espectral mucho mayor que el de la señal que se desea transmitir, a un bajo nivel de potencia, por lo cual está concebida para comunicaciones de corto alcance o PAN (*Personal Area Network*). Permite transmitir paquetes de información muy grandes (hasta 480 Mbits/s) conseguidos en distancias cortas, de unos pocos metros.

*UWB pulsed*, utiliza pulsos codificados de duración ínfima (del orden de nanosegundos o incluso picosegundos) sobre un conjunto de frecuencias que se extiende en un ancho de banda de varios GHz. La duración de dichos pulsos es mucho menor que el tiempo de bit de la señal de información que se transmite. El resultado de esto es una señal de un enorme ancho de banda, y al tener que repartir la energía de la señal en un rango de frecuencias tan amplio, la densidad espectral de energía es muy baja.

Algunos estudios indican que la baja densidad espectral de energía es el punto clave de los sistemas UWB: la interferencia producida por las señales UWB está por debajo del nivel medio de ruido que toleran los aparatos de radiofrecuencia tradicionales, así, UWB puede operar sin licencia en rangos de frecuencia donde ya trabajan otras tecnologías de radiocomunicación, sin causarles interferencias.

UWB supone un paso más en el aprovechamiento de las técnicas de espectro ensanchado (SS) y representa una mejora cuantitativa muy importante en cuanto a velocidad de transmisión respecto a otras tecnologías WPAN (*Wireless Personal Area Network*) como *Bluetooth*. Sus grandes posibilidades para la interconectividad

---

inalámbrica de dispositivos electrónicos la convierten en una tecnología con gran potencial de crecimiento.

### **2.1.2 Tecnología**

En febrero del año 2002 la Comisión Federal de Comunicaciones, o FCC, fijó 7.5 GHz de espectro para un uso sin licencia en aparatos que utilizaran una tecnología UWB en aplicaciones de comunicaciones en la banda de (3.1-10.6) GHz y con una densidad de potencia de transmisión limitada.

Un sistema UWB se define, por la FCC, como cualquier sistema de comunicaciones inalámbricas que ocupa una parte fraccional del ancho de banda superior al 20% respecto a la frecuencia central,  $Bw/fc \geq 20\%$  o que ocupe más de 500 MHz de ancho de banda absoluto.

Debe cumplir las siguientes condiciones:

- 1.** Este dispositivo no debe causar interferencias dañinas, es decir, que obstruya, degrade o interrumpa repetidamente un servicio de comunicaciones vía radio.
- 2.** Este dispositivo debe aceptar cualquier interferencia recibida incluyendo aquellas que causen una operación indeseada. Lo que implica que aquellos aparatos que funcionen sin licencia deberán poder coexistir en un ambiente inestable e incontrolado.  
UWB debe cumplir más requisitos ya que no sólo trabaja en un rango de frecuencias sin licencia, sino que también lo hace sobre aquellas frecuencias que requieren una.
- 3.** Este dispositivo debe emitir a baja potencia con el objetivo de optimizar el uso del espectro y no interferir sobre los canales adyacentes. Esta baja potencia está regulada mediante una máscara de emisión propuesta por la FCC (Tabla 2.1.1) en USA y por la CEPT en Europa.

Hay distintas máscaras de emisión UWB dependiendo de la aplicación para la que se halla diseñado el sistema. En este Proyecto de Fin de Carrera nos centraremos únicamente en la de sistemas de comunicaciones [2].

El espectro de UWB consiste en:

- **Espectro principal**, que va de (3.1-10.6) GHz. Centraremos nuestro estudio en esta zona, concretamente entre (3 y 3.8) GHz.
- Un **espectro residual inferior**, de 0-3.1 GHz
- **Espectro residual superior**, que idealmente ocupa de 10.6 GHz a infinito.

Tabla 2.1.1 PIRE del espectro UWB

Frecuencia (MHz)	Indoor	Outdoor
	PIRE (dBm/MHz)	PIRE (dBm/MHz)
Debajo de 960	-41.3	-41.3
960 - 1610	-75.3	-75.3
1610 - 1990	-53.3	-63.3
1990 - 3100	-51.3	-61.3
3100 - 10600	-41.3	-41.3
Por encima de 10600	-51.3	-61.3

Adicionalmente, dado que las señales UWB son de baja potencia, causan muy poca interferencia al resto de señales. Esta limitación en potencia deja a UWB para aplicaciones *indoor* de corto alcance pero con grandes tasas binarias, o bien para alcances mayores pero menor capacidad. Esta variedad en las posibilidades se debe a su estructura en la capa física. Así, esa baja potencia de transmisión requiere una secuencia de varios pulsos de baja potencia para transmitir un bit de información, y que reciben el nombre de tren de pulsos. A mayor número de pulsos transmitidos por bit, menor tasa binaria, pero mayor alcance conseguido. Se utilizan varios tipos de esquemas de modulación en banda base con señales ortogonales y antipodales como PPM (*Pulse Position Modulation*), PAM (*Pulse Amplitud Modulation*), OOK (*On-Off Keying*) o Bi-Phase modulation o incluso BPSK (*Bi-Phase*) o QPSK (*Quaternary-Phase*) que transmiten varios bits por símbolo. Y se utilizan distintas técnicas (Tabla

2.1.2) como *Time-Hopping* (TH), *Direct-Sequence* (DS) ambas con micro pulsos, como los explicados anteriormente, y *carrier based* o multiportadoras como por ejemplo OFDM.

Tabla 2.1.2 Técnicas de modulación UWB

<i>UWB Technique</i>	<i>OFDM</i>	<i>TDMS/FDMA Pulses</i>	<i>DSSS/CDMA</i>
Bands	3 to 13	3 to 13	2
Bandwidths	528 MHz	550 MHz	1.368 GHz, 2.736 GHz
Frequency ranges	3.168 GHz – 4.752 GHz 4.752 – 10.296	3.325 GHz – 4.975 GHz, 4.975 GHz – 10.475 GHz	3.1 GHz – 5.15 GHz 5.825 GHz – 10.6 GHz
Modulation Scheme	OFDM, QPSK	M-ary Bi-Orthogonal Keying (M-BOK), QPSK	BPSK, QPSK, M-BOK
Error correction	Convolutional code	Convolutional code, Reed-Solomon code	Convolutional code, Reed-Solomon code
Code rates	11/32 rate at 110 Mbps, 5/8 rate at 200 Mbps, ¾ rate at 480 Mbps	6/32 rate at 110 Mbps, 5/16 rate at 200 Mbps, ¾ rate at 480 Mbps	½ rate at 110 Mbps, RS(255,223) at 200 Mbps, RS(255,223) t 480 Mbps
Link margin	5.3/6 dB at 10 m / 110 Mbps, 10.7 dB at 4 m / 200 Mbps, 6.2 dB at 4 m / 480 Mbps	6.3 dB at 10 m / 108 Mbps, 8.0 dB at 4 m / 288 Mbps, 4.0 dB at 4 m / 577 Mbps	6.1 dB at 10 m / 110 Mbps, 11.1 dB at 4 m / 200 Mbps, 6.1 dB at 4 m / 600 Mbps
Symbol period	312.5 ns OFDM symbol	3 ns	23 or 17.5 ns (Low band), 11.7 or 8.9 ns (High band)
Multipath mitigation method	1-tap (robust to 60.6 ns delay spread)	frequency interleaving of MBOK chips; time frequency codes; feed forward filter	Decision feedback equalizer

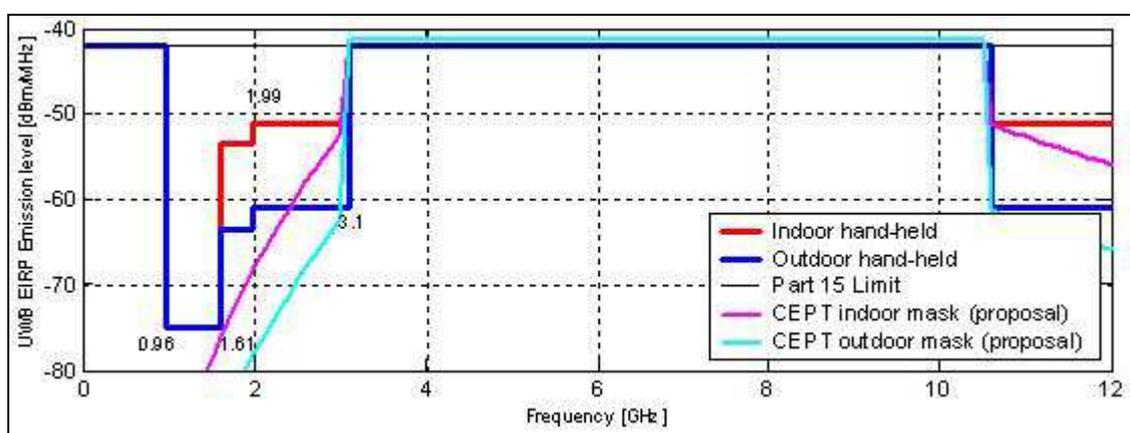
### 2.1.3 Regulación y estandarización

En los últimos años, todo ha sucedido vertiginosamente. Siguiendo los pasos de la industria, en febrero de 2002, la FCC (*Federal Communications Commission*) publicó las primeras regulaciones para el uso comercial sin licencia de sistemas UWB en Estados Unidos, delimitando entre 3.1 GHz y 10.6 GHz el rango de frecuencias donde estos sistemas pueden operar, con un límite de potencia de -41.3 dBm/MHz (Figura 2.2). Debido a la limitación de potencia impuesta por la FCC sobre las especificaciones de UWB, el alcance de estos sistemas es bastante reducido; no obstante, esto se convierte en una ventaja cuando se desea combinar varios radioenlaces en un espacio relativamente pequeño. Esto supuso el pistoletazo de salida al desarrollo de sistemas UWB domésticos.

En noviembre de 2005, la ITU-R (rama de radiocomunicaciones de la *International Telecommunication Union*) estableció sus recomendaciones SM (*Spectrum Management*) 1754, 1755, 1756 y 1757 concernientes a UWB, como marco

para el desarrollo de regulaciones nacionales. La ERO (*European Radiocommunications Office*) lanzó sus regulaciones para la Unión Europea en marzo de 2007 (posteriormente enmendadas en julio), y en el Reino Unido el marco regulador se estableció en agosto de 2007 en base a dichas recomendaciones.

En Europa los órganos que se encargan de regular la tecnología radio UWB (UWB-RT) son básicamente dos: La ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) y la CEPT (*Conférence Européenne des administrations des Postes et des Télécommunications*). Mientras, las organizaciones ITU e ISO/IEC estudian otras economías y trabajan juntas para poder asegurar un mercado global en el desarrollo de esta nueva tecnología. Generalmente ETSI/CEPT siguen las recomendaciones de la FCC, pero no necesariamente adoptan directamente sus regulaciones. Así, tras las continuas interferencias, la CEPT rediseñó la máscara disminuyendo linealmente la densidad de potencia antes de 3.1GHz y a partir de 10.6 GHz, tanto para el caso *indoor* como para el *outdoor*. A continuación mostramos la Figura 2.1.1 con las máscaras de emisión aceptadas por la FCC y las propuestas por ETSI/CEPT y aprobadas en 2005 por la FCC para los sistemas de comunicación.



**Figura 2.1.1 Nuevas máscaras de emisión de densidad de potencia para UWB interiores y exteriores recomendadas por la CEPT**

Las máscaras de color rojo y azul oscuro son las propuestas inicialmente por la FCC y las de color morado y azul claro las nuevas propuestas por la CEPT y aprobadas por la FCC en 2005.

Sin embargo, tras finalizar nuestro análisis particular del espectro y la interferencia producida, veremos que estos valores no son suficientes y en algunos casos deberían reducirse aun más.

Las regulaciones europeas son más restrictivas que las norteamericanas en cuanto a la densidad espectral de potencia de los sistemas UWB. El umbral de  $-41.3$  dB/MHz sólo se permite en la banda de 6 GHz a 8.5 GHz, siendo inferior en el resto del rango hasta 10.6 GHz. Permite en cambio el uso de frecuencias inferiores a 3.1 GHz.

Es importante mencionar que la posibilidad de usar esta tecnología en un rango en el que operan otros sistemas de radiocomunicación con licencia hace que algunos gobiernos sean reticentes a regular el uso libre de sistemas UWB.

Paralelamente al proceso de regulación legal, surgieron grupos de trabajo en busca de la estandarización tecnológica. Los principales fueron MBOA (*Multiband OFDM Alliance*) y *WiMedia Alliance* (que acabaría aglutinando a MBOA en 2005). Otro grupo, ahora inactivo, fue el *UWB Forum*, que realizó una declaración conjunta con la *WiMedia Alliance* en 2006 para impulsar el desarrollo de UWB. El objetivo de estos grupos es ofrecer productos UWB comerciales en el menor tiempo posible y participar activamente en la elaboración del estándar IEEE 802.15.3a.

Las diferentes ideas para estandarizar la capa física de UWB (*UWB PHY*) en *IEEE 802.15.3a* han convergido en dos grandes propuestas basadas en el uso de dos técnicas de espectro ensanchado: salto de frecuencias (FH) y secuencia directa (DS) respectivamente.

Últimamente ha surgido también un gran interés por la posibilidad de usar UWB en sistemas con bajos requisitos de transferencia de datos, por ejemplo, redes de sensores. Este “retorno a los orígenes” (por su analogía con los sistemas de radar UWB conocidos desde hace décadas) ha dado lugar al grupo de trabajo diferenciado *IEEE 802.15.4a*, que busca una alternativa basada en UWB al *IEEE 802.15.4* adoptado por la *Zigbee Alliance* para la fabricación de dispositivos con estas características.

Junto a los organismos de estandarización internacionales, comunes a muchas otras tecnologías de telecomunicaciones inalámbricas o cableadas, cabe destacar el gran número de asociaciones que tratan de acelerar la implantación comercial masiva de UWB: *UWB Working Group*, *WiMedia Alliance*, *MultiBand OFDM Alliance*, *Wireless USB Industry Group*, etc. Estas asociaciones, que aúnan esfuerzos de las principales empresas de la electrónica y telecomunicaciones, demuestran el altísimo

potencial de UWB, así como aseguran, en cierto modo, su éxito comercial a medio plazo.

### 2.1.4 Modelo de propagación

En un estudio del sistema UWB, el modelo de propagación utilizado depende del sistema con el que interfiera. En nuestro caso, al analizar la banda entre 3 y 3.8 GHz, interferirá con el sistema WiMAX, por tanto utilizaremos el modelo “*One Slope*”.

Para los casos donde UWB interfiere con sistemas de *radar*, se utiliza el modelo de “*Two Slope*”.

*One Slope* es el modelo, en un espacio cuasi-libre con *shadowing*, normalmente más apropiado cuando la distancia entre el transmisor UWB y receptor radio es menor a 7 metros. Es el modelo más simple que presenta una dependencia lineal entre las pérdidas de propagación y la distancia. Método sencillo, modelo empírico. Las pérdidas de propagación [3] según la siguiente ecuación de análisis:

$$P_L = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi f d}{c} \right) - X\sigma \quad (2.1)$$

- $d$  es la distancia entre transmisor y receptor en metros.
- $f$  es la frecuencia de las portadoras en MHz
- $\sigma$  es la desviación típica en dB
- $X$  es la probabilidad de que se transmita correctamente.
- $c$  es la velocidad de la luz en m/s

La antena emisora UWB va a estar en el interior del edificio, es una situación *indoor*. Por otro lado, y suponiendo el caso más desfavorable, el *fading* de la tecnología UWB va a ser siempre positivo, es decir, no hay obstáculos entre emisor y receptor y la señal se transmite directamente. Por lo tanto, habrá que restar  $\xi = \eta$  ( $0, \sigma$ ), variable aleatoria Gaussiana de media cero y con una desviación estándar que representa el efecto del *shadowing*, (pérdidas por desviación respecto del valor medio de la amplitud

de la señal transmitida). Donde  $\xi = X\sigma$ ,  $X$  es una constante de pérdidas que toma un valor dependiendo del porcentaje de la ubicación que va a recibir un buen servicio, por ejemplo, para una probabilidad del 99.9% de acierto, tomamos un valor de 3.33, que es el que mayoritariamente utilizaremos. En el caso de que nuestra constante tome valor nulo, estaremos evitando el margen extra de probabilidad de fallo y por tanto el resultado será una probabilidad de acierto del 50% para ofrecer el servicio. Sigma ( $\sigma$ ), es la desviación típica del shadowing. En caso indoor varía generalmente entre [1.6-3.3] dB.

En el estudio realizado en este Proyecto de Fin de Carrera hemos decidido utilizar siempre  $\sigma=2$  dB por visión directa o espacio libre. Elegimos una distancia de [1-10] m. a la que el transmisor UWB se encuentra del dispositivo receptor.

## 2.1.5 Señales UWB

### Impulsos: Transmisión de información sin portadora

La primera propuesta de estandarización de *UWB PHY* (la capa física de UWB) surgió del *UWB Forum* y está basada en el ensanchamiento de espectro por secuencia directa (DSSS).

Esta técnica consiste en la multiplicación de los bits de información por una secuencia pseudoleatoria (PN), tal que la duración del chip (es decir, de cada bit de la secuencia PN) es mucho menor que la duración de un bit de la señal original. Es evidente que así se consigue ensanchado espectral. En concreto, la secuencia PN modifica pseudoaleatoriamente la fase de una señal de pulsos gaussianos, de modo que se tiene una modulación de tipo PSK.

El ensanchado espectral se debe a que la “tasa de chip”  $R_C$  es mucho mayor que la tasa de la señal original,  $R_S$ , y evidentemente, a mayor rapidez en la variación temporal, mayor rango de frecuencias ocupado. De hecho, en principio  $R_C$  sólo está limitada por la frecuencia de reloj del transmisor.

La demodulación se implementa con un receptor *Rake* (“rastrillo”), diseñado para paliar los efectos de la dispersión multicamino. Cada rama del receptor tiene un

correlador y la salida de todas las ramas se suma constructivamente con un combinador.

Específicamente, la propuesta DS-UWB del UWB Forum soporta tasas de transferencia de 28, 55, 110, 220, 500, 660 y 1320 Mbps.

### MB-OFDM: Transmisión de información con portadora

La segunda alternativa para *MAC PHY* llegó de la mano de la MBOA (hoy integrada en *WiMedia Alliance*), y propone el uso de multiplexación por división ortogonal en frecuencia (OFDM) en múltiples bandas. Es decir, se divide el espectro en bandas de ancho superior a 500 MHz para cumplir la definición de UWB (en concreto, son 14 bandas de 528 MHz), y posteriormente se emplea OFDM en cada banda.

La información se transmite utilizando la modulación OFDM en cada banda, lo que implica una flexibilidad en el espectro de uso internacional, no como en el caso de DSSS. Se caracteriza por [4]:

- Un periodo de alrededor de  $T = 312,5$  ns, incluyendo el prefijo cíclico o Zero y el tiempo de guarda de 9,5 ns. (Figura 2.1.2)

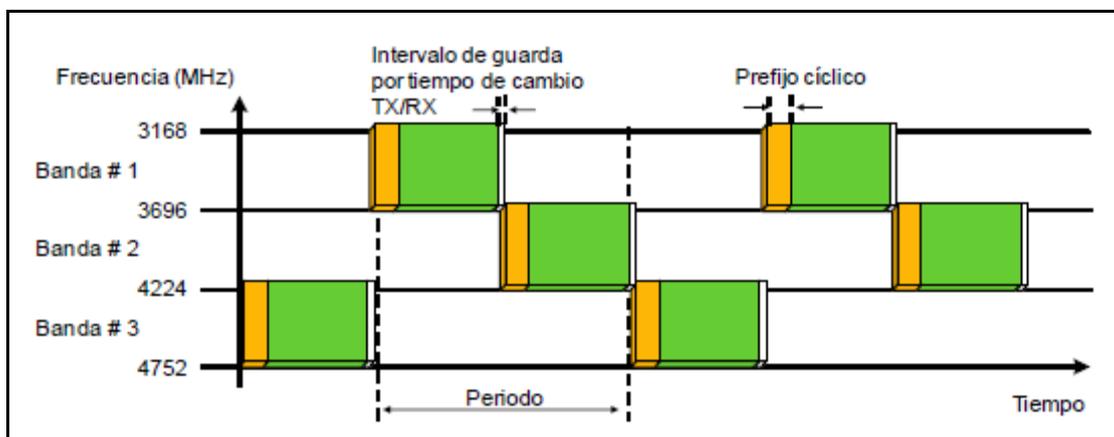


Figura 2.1.2 Transmisión tiempo-frecuencia de símbolos OFDM en MB-OFDM UWB

- El espectro se reparte en 14 bandas, divididas, de tres en tres en grupos. Las primeras tres bandas son las que se utilizan actualmente como primera generación de sistemas y se han definido como *mandatory*, que son las coloreadas en azul (3,1-4,9 GHz). Las demás están bajo estudio y son

opcionales. (Figura 2.1.3). El primer grupo se define como *mandatory* ya que los canales que lo conforman son más robustos a desvanecimientos multicamino.

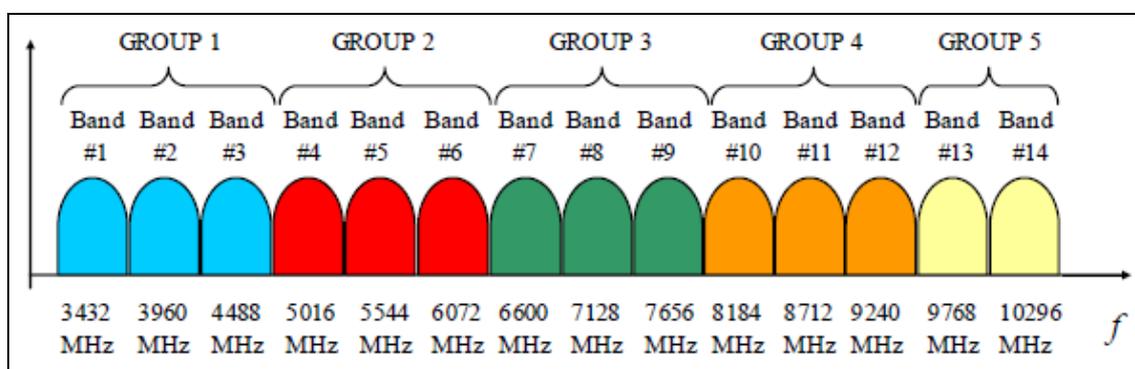


Figura 2.1.3 División del espectro MB-OFDM

La frecuencia central exacta de cada banda viene dada por la siguiente expresión:

$$f_{c,n} [\text{MHz}] = 2904 + 528 * n \quad (n = 1 \dots 4) \quad \text{ó} \quad f_{c,n} [\text{MHz}] = 3168 + 528 * n \quad (n = 5 \dots 13).$$

Tabla 2.1.3 Plan detallado de frecuencias MB-OFDM UWB

Banda BG	Banda ID ( $n_b$ )	$f_{\text{inferior}}$ (MHz)	$f_{\text{central}}$ (MHz)	$f_{\text{superior}}$ (MHz)
1	1	3.168	3.432	3.696
	2	3.696	3.960	4.224
	3	4.224	4.488	4.752
2	4	4.752	5.016	5.280
	5	5.280	5.544	5.808
	6	5.808	6.072	6.336
3	7	6.336	6.600	6.864
	8	6.864	7.128	7.392
	9	7.392	7.656	7.920
4	10	7.920	8.184	8.448
	11	8.448	8.712	8.976
	12	8.976	9.240	9.504
5	13	9.504	9.768	10.032
	14	10.032	10.296	10.560
6	9	7.392	7.656	7.920
	10	7.920	8.184	8.448
	11	8.448	8.712	8.976

- Ancho de banda total por cada banda es de 528 MHz.

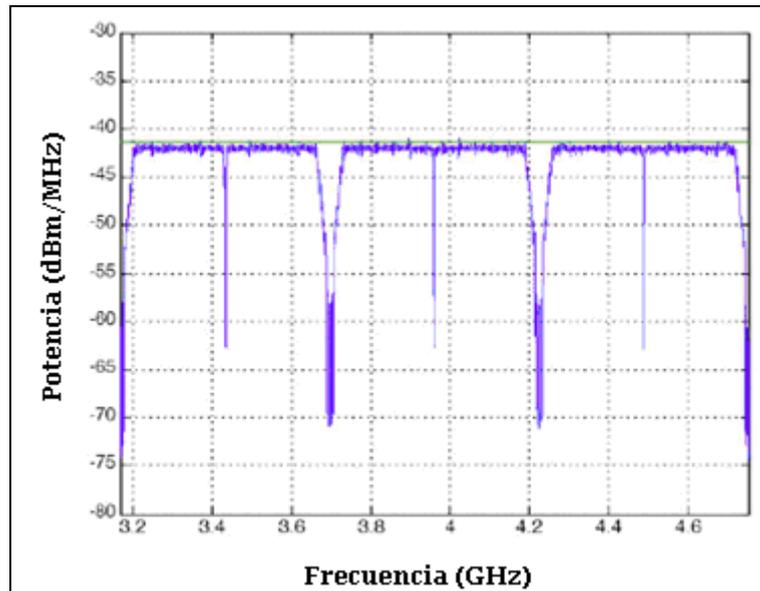


Figura 2.1.4 Grupo 1 del espectro de MB-OFDM dividido en las tres primeras bandas

- Cada banda se modula mediante OFDM. Las portadoras se generan y recuperan eficientemente utilizando 128 puntos IFFT/FFT (128 subportadoras). Es decir, cada banda consta de 128 portadoras.

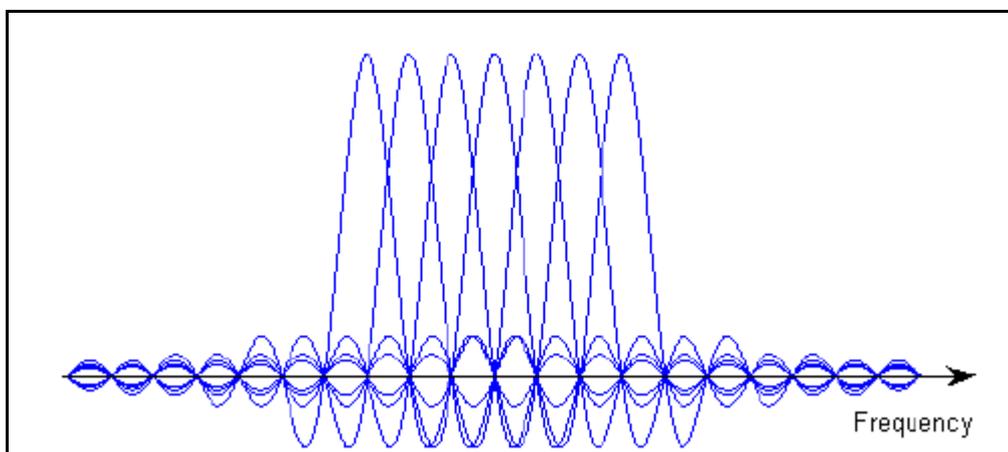


Figura 2.1.5 Banda 1 del espectro modulada en OFDM

- En el conjunto de 128 subportadoras de un símbolo OFDM existen 6 portadoras nulas, una de ellas la central, tres en la parte derecha o superior y dos en la parte izquierda o baja de la banda. El resto de subportadoras se dividen en 12 subportadoras piloto, 10 subportadoras de guarda y 100 portadoras de datos

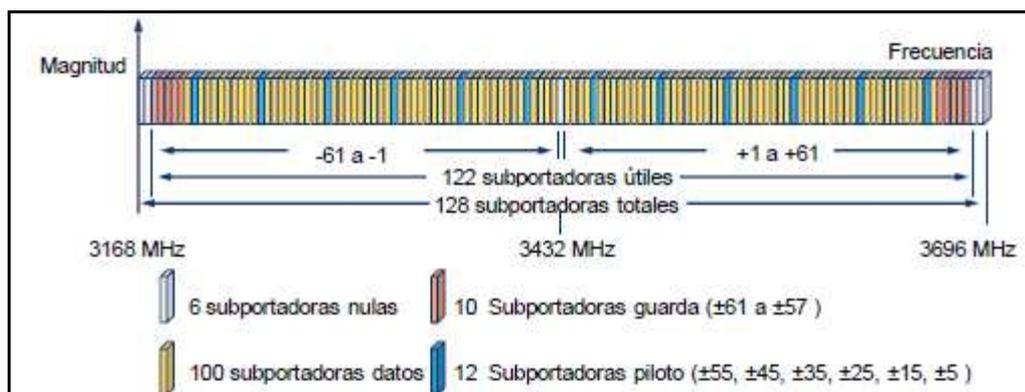


Figura 2.1.6 Configuración portadoras OFDM en el espectro MB-OFDM

- El estándar MB-OFDM UWB contempla dos tipos de modulaciones posibles, QPSK y modulación de doble portadora (DCM, *Dual Carrier Modulation*), para transmitir los datos sobre las 100 subportadoras disponibles, y establece 10 regímenes binarios que van desde 53.3 Mbps hasta 480 Mbps. La modulación QPSK se usa para transmisiones de hasta 200 Mbps con diferentes tasas de codificación según sea el régimen binario. Para los regímenes binarios de 320, 400 y 480 Mbps se utiliza la modulación DCM. En esta modulación la señal se representa por grupos de 4 bits, y cada grupo de 4 bits se mapea en 2 constelaciones diferentes, esta modulación es similar a la modulación 16 QAM. Cada constelación posee una subportadora que está separada 50 subportadoras de la anterior, es decir, alrededor de unos 206 MHz, lo que aumenta la robustez de la modulación ante desvanecimientos simultáneos de ambas subportadoras.

Tabla 2.1.4 Parámetros de modulación de la señal MB-OFDM básica

Régimen Binario (Mbit/s)	Modulación	Tasa de codificación (R)	FDS	TDS	Bits codificados por cada 6 simb. OFDM ( $N_{CBP6S}$ )	Bits de información por cada 6 simb. OFDM ( $N_{IBP6S}$ )
53.3	QPSK	1/3	SI	SI	300	100
80	QPSK	1/2	SI	SI	300	150
106.7	QPSK	1/3	NO	SI	600	200
160	QPSK	1/2	NO	SI	600	300
200	QPSK	5/8	NO	SI	600	375
320	DCM	1/2	NO	NO	1200	600
400	DCM	5/8	NO	NO	1200	750
480	DCM	3/4	NO	NO	1200	900

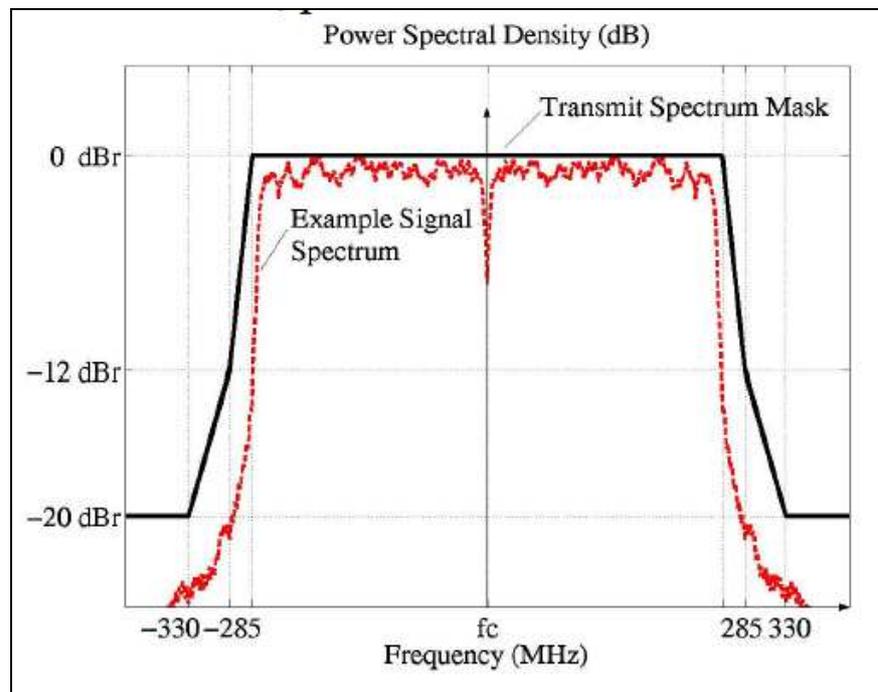


Figura 2.1.7 Espectro MB-OFDM práctico que cumple su máscara espectral de emisión

---

La gran ventaja es que, en el proceso de transmisión/recepción, el ancho de banda de las señales en banda base es pequeño. Además, es un sistema robusto ante el multitrayecto y consigue tasas de transmisión muy elevadas.

Como ya hemos anticipado los sistemas UWB utilizan frecuencias que no están licenciadas y por tanto pueden interferir con otros sistemas que transmiten en la misma banda. Cuando esto se produce es necesario poner en marcha mecanismos que permitan coexistir a ambas tecnologías y trabajar de forma correcta. En MB-OFDM se utilizan mecanismos para mitigar las interferencias, por ejemplo DAA (*Detection And Avoid*), algunos ejemplos son:

- Eliminar una banda completa. Es ineficiente pero simple.
- Anular un tono. Es más eficiente. Sin embargo, requiere técnicas mas avanzadas para suprimir los lóbulos secundarios de la ventana rectangular.
- Crear una ventana. Puede suprimir los lóbulos secundarios de forma significativa. Sin embargo, de esta manera se destruye la ortogonalidad.
- Cancelacion activa de la interferencia (AIC, *Active Interferente Cancellation*). Con lo que se intenta suprimir el efecto del lóbulo secundario. Se requiere un método que cancele tonos para cada símbolo OFDM.

En Figura 2.1.8 podemos ver el marco regulatorio de MB-OFDM UWB en el mundo según se utilizan mecanismos DAA y en qué partes del espectro:

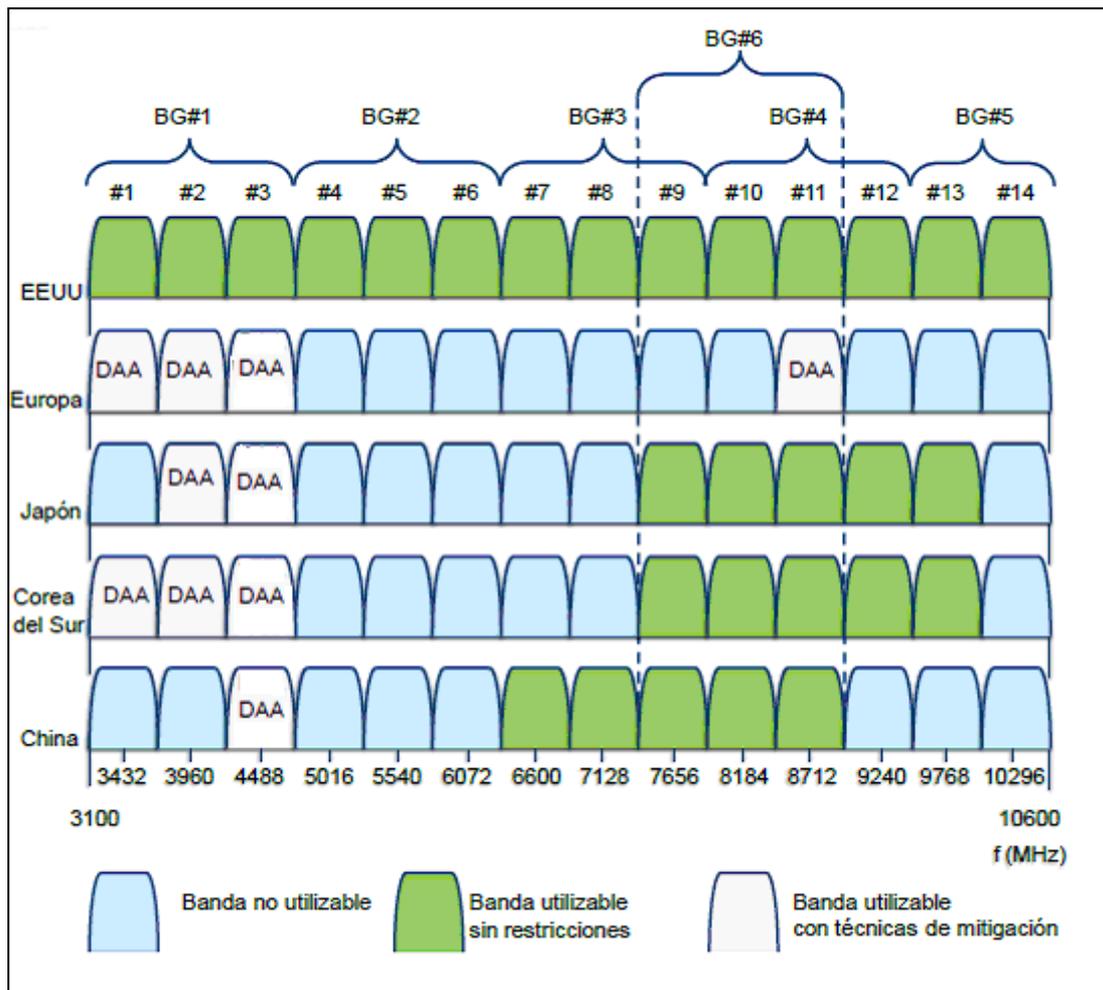


Figura 2.1.8 Estado actual de las regulaciones MB-OFDM UWB a nivel mundial según *Wimedia Alliance* en Enero 2009

## 2.1.6 Modelo de señal de entrada

En este Proyecto de Fin de Carrera trabajamos con dos tipos de señales de entrada:

- **Señal de entrada cuadrada**

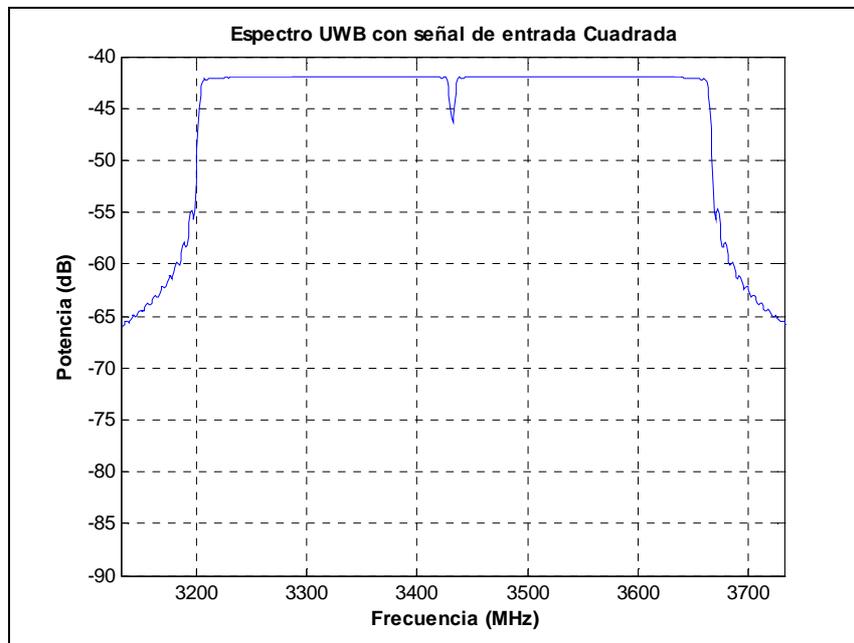


Figura 2.1.9 Espectro UWB con señal de entrada cuadrada

- **Señal de entrada coseno alzado con  $\alpha=0.25$  (no estándar)**

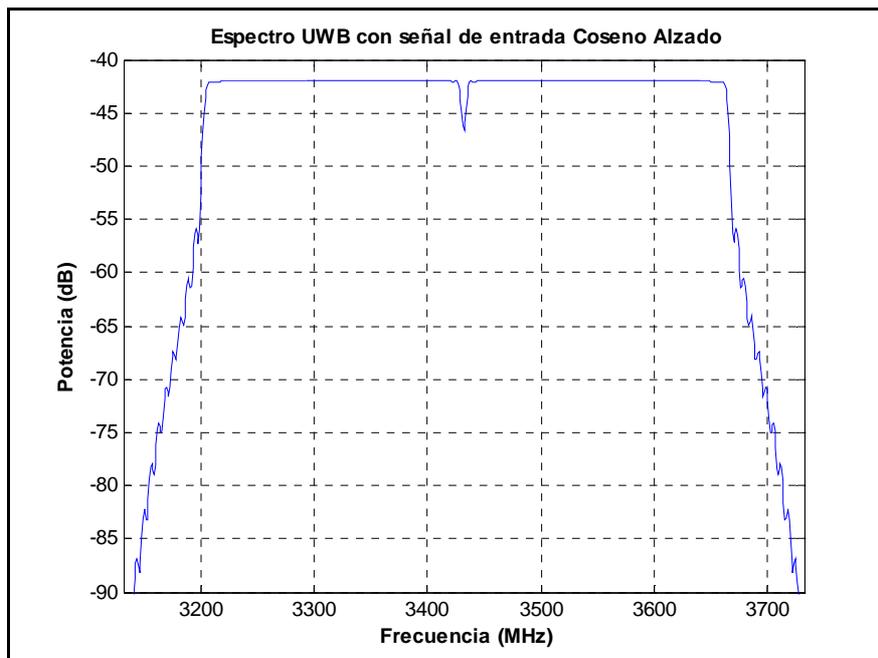


Figura 2.1.10 Espectro UWB con señal de entrada coseno alzado

---

### 2.1.7 Ventajas

La tecnología UWB presenta muchas ventajas entre las que encontramos:

- Alta velocidad de transmisión
- Disponibilidad de transmisores y receptores de bajo coste (se puede usar tecnología CMOS para implementar un dispositivo UWB radio)
- Baja potencia de transmisión
- Bajo consumo (como emisor de ondas de radio)
- Alta resolución temporal

Además puede operar con la potencia suministrada por otros dispositivos que pueden hacer uso de ella como los ordenadores portátiles, las PDAs y otros dispositivos móviles.

Con este conjunto de beneficios podemos pensar en múltiples usos de la tecnología.

Los campos de aplicación son muy variados: aplicaciones médicas, militares, comunicaciones entre personas, dispositivos de identificación y salvamento, aplicaciones de domótica, logística y trazabilidad, aplicaciones de seguridad pasiva, localización y posicionamiento preciso, etc.

Las ventajas que tiene este sistema, como su gran capacidad o su naturaleza inalámbrica, conseguirán que en poco tiempo sea utilizado popularmente provocando la desaparición o mejora de algunos de los sistemas actuales. Por ejemplo, para el caso de *Bluetooth*, que no tiene cabida en el mercado junto con este sistema, se considera la opción de adoptar el estándar UWB para mejorar el producto y así no desaparecer del mercado. Otro ejemplo es el de los puertos *FireWire* y *USB* que podrían ser reemplazados por conexiones inalámbricas gracias a la comodidad que alberga, a su facilidad de uso y a su velocidad similar.

### 2.1.8 Aplicaciones

UWB se puede utilizar para la transmisión sinusoidal, las ondas de baja frecuencia tienen la característica de poder atravesar las paredes, las puertas y las ventanas debido a que la longitud de onda es más larga que la del material que atraviesa (pues, según crece la frecuencia, la longitud de onda decrece y viceversa).

Es por esta razón que hay muchas aplicaciones posibles en el campo de radares, como el rescate de víctimas enterradas, detección de minas terrestres, radares que atraviesan paredes o tierra, etc.

Aunque principalmente, el campo de aplicaciones para el que inicialmente fue diseñado son las redes WPAN, es decir, la electrónica en el hogar (Figura 2.1.11) o la oficina:

- Reemplazo de IEEE 1394 en dispositivos multimedia (cámaras de fotos o vídeo, reproductores MP3,...) con conectividad inalámbrica.
- Permitir conectividad WUSB (*Wireless Universal Serial Bus*) de gran velocidad (periféricos de ordenador, como escáners, impresoras e incluso dispositivos de almacenamiento externo).
- Reemplazo de cables en la siguiente generación de dispositivos *Bluetooth*, como los móviles de 3G.
- Creando conectividad inalámbrica *ad-hoc* de alto ratio para CE, PC y dispositivos móviles.
- La anchura de la señal (528 MHz o 2736 MHz de ancho de banda) puede usarse para aplicaciones de streaming de vídeo.

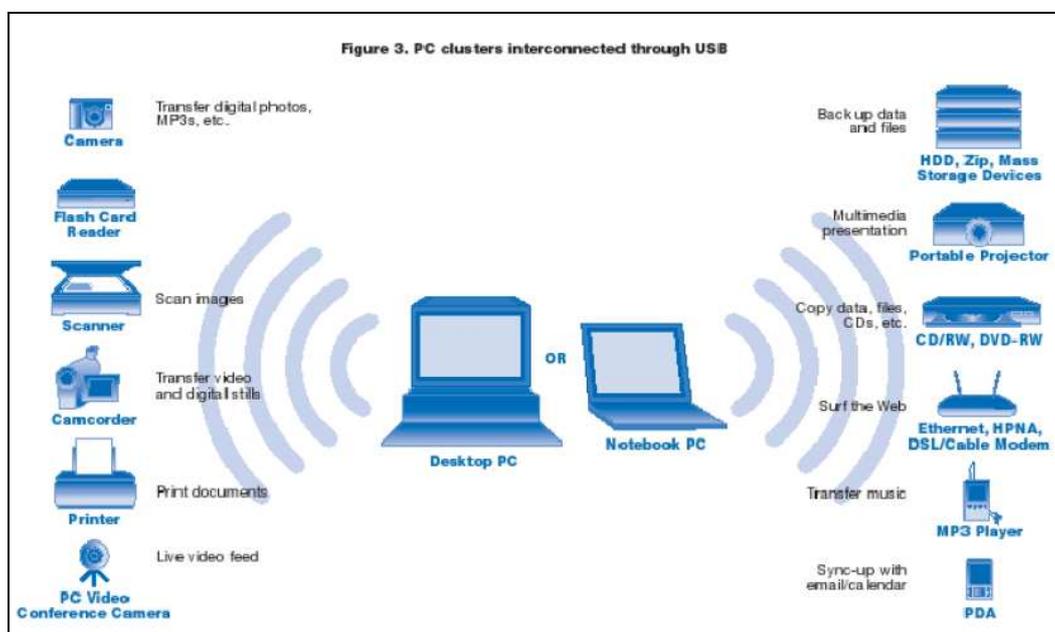


Figura 2.1.11 Aplicaciones electrónicas para UWB en casa

Otras aplicaciones posibles combinando todas sus ventajas son:

- WLAN
- Control de datos y voz.
- Sensores de colisión, proximidad y altitud, y con ello, mejoras anti-colisión.
- Monitorización de fluidos.
- Detección de movimientos.
- Sistemas de geolocalización.
- Aplicaciones medicas...

Entre las principales aplicaciones de UWB en el sector gubernamental y militar cabe destacar: dispositivos radio con baja probabilidad de interceptación y detección para equipos tácticos de combate, comunicaciones a bordo de aeronaves, comunicaciones con baja probabilidad de interceptación y detección sin visión directa por ondas de superficie, altímetros y radares anticolidión, etiquetas activas para control de presencia y logística, radares de detección de intrusiones, sistemas precisos de geolocalización, enlaces para comunicaciones en vehículos autónomos y robotizados, e intercomunicadores con baja probabilidad de interceptación y detección.

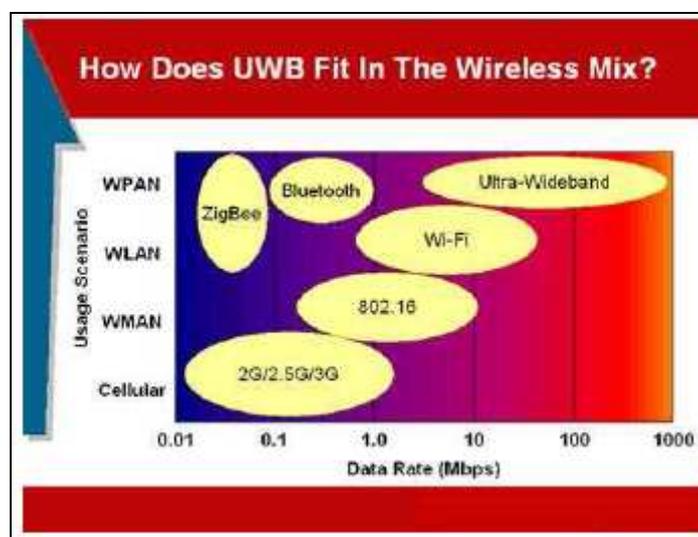


Figura 2.1.12 Situación de la tecnología UWB en el los escenarios inalámbricos actuales

Evidentemente, estas aplicaciones también podrían ser fácilmente extendidas al mercado corporativo, principalmente en servicios de emergencia, vigilancia, sanidad, seguridad o construcción. El principal impedimento que se tenía para ello en los inicios de su desarrollo, es que los equipos UWB eran muy caros, debido a la utilización de

---

componentes discretos en los circuitos electrónicos antes de la aparición de los circuitos integrados. Sin embargo la situación ha cambiado drásticamente, y los dispositivos UWB son muy competitivos, no sólo para aplicaciones corporativas sino también domésticas, gracias a: bajo coste, bajo consumo, gran ancho de banda, alta seguridad, y la baja interferencia con otras tecnologías. En aplicaciones comerciales la forma de trabajar de los dispositivos UWB será muy similar a la de los dispositivos *Bluetooth*, es decir, cada dispositivo es capaz de detectar y comunicarse de forma segura con cualquier otro dispositivo de su entorno.

Entre las principales aplicaciones comerciales civiles de UWB cabe destacar: redes inalámbricas WPAN y WLAN de alta velocidad, redes en el hogar, aplicaciones GPR (*Ground Penetrating Radar*), radares y sistemas anticolidión para aviación civil, sensores anticolidión para vehículos móviles, etiquetas activas para sistemas inteligentes de transporte e identificación sin contacto, sistemas de monitorización industrial en planta, y sistemas de posicionamiento de alta precisión.

De entre las aplicaciones tradicionales que pueden ser cubiertas por UWB, cabe destacar la interconexión de dispositivos electrónicos e informáticos en el hogar y en las oficinas. Mediante UWB se alcanzarán velocidades de hasta 480 Mbps, permitiendo en un futuro velocidades de varios Gbps, superando ampliamente los actuales 54 Mbps de *Wi-Fi*. Es por lo tanto una tecnología ideal para ser empleada en los decodificadores de TV por cable y satélite y los módems *ADSL*, posibilitando el acceso a Internet de banda ancha desde cualquier PC o dispositivo del hogar y la distribución de la señal de vídeo y audio codificada a todos los aparatos de televisión del hogar. También resulta muy útil para la comunicación entre distintos PC o entre éstos y sus periféricos remotos. El elevado ancho de banda ofrecido por UWB lo convierte también en una alternativa muy atractiva para la integración de las tecnologías inalámbricas de área personal como medio de acceso a los sistemas móviles celulares 3G, pues además no se verán sensiblemente afectados ni el precio ni la autonomía de los terminales móviles.

Como ocurre con cualquier otra tecnología, siempre hay aplicaciones de UWB que podrían ser mejor satisfechas mediante otras alternativas. Como principal desventaja en el sector residencial y empresarial de UWB está su lenta estandarización y su escasa implantación en el mercado. Por otro lado, las distancias máximas soportadas estarán en torno a los 50 metros, siendo por lo tanto una tecnología prácticamente WPAN. Por ello, para aplicaciones WLAN que no tengan que ver con el radar o la localización, *Wi-Fi* será una alternativa generalmente más rentable, con una velocidad de hasta 54 Mbps

---

y unas distancias cubiertas de más de 100 metros. Del mismo modo, para comunicaciones inalámbricas de área metropolitana (WMAN - *Wireless Metropolitan Area Network*), WiMAX (*IEEE 802.16*) es la mejor alternativa, soportando anchos de banda de hasta 75 Mbps y cubriendo distancias de hasta 50 Km. En el entorno WPAN, existen otros competidores, como *Bluetooth*, *HomeRF* o *ZigBee*; aunque la alternativa más atractiva en precio y prestaciones es sin lugar a dudas UWB. No obstante, *Bluetooth* está muy extendido en el hogar, sobre todo en teléfonos móviles y PDA, donde es utilizado para la sincronización de la agenda de contactos de estos dispositivos con la del correo electrónico del PC o como sistema de manos libres inalámbrico dentro de vehículos.

## **Ejemplos de aplicación**

Una vez estudiada la tecnología en más detalle, es posible ofrecer ejemplos concretos. No se pretende ser exhaustivo, sino mostrar algunos casos de aplicación. Por supuesto, hay otros muchos ejemplos no mencionados aquí.

## **Sistemas de detección**

El ejército norteamericano ha desarrollado recientemente sistemas de detección de intrusos que se aprovechan de UWB para conseguir gran precisión incluso en entornos con clutter, además de portabilidad (gracias al bajo consumo de potencia de los transmisores UWB).

El sistema, que funciona con dos pilas AA, es capaz de detectar una intrusión con una sola muestra (para lo cual consume menos de 6 mJ de energía). Una vez que se detecta la intrusión, se activa un dispositivo de videovigilancia por infrarrojos. La gran ventaja de esto es que la videovigilancia (que consume mucha más energía) sólo se activa tras la orden del detector UWB, con lo cual se reduce significativamente el consumo así como la longitud de vídeo a procesar.

El ancho de banda nominal utilizado es de 400 MHz (de 6 GHz a 6.4 GHz) con lo que a priori no es UWB, sin embargo, a lo largo de una banda de 1250 MHz la potencia transmitida es superior a -10 dBm. El dispositivo es capaz de detectar a una persona

---

situada a unos 150 m de distancia, siempre que esté dentro del campo de visión de la antena (que tiene un haz de  $16^{\circ} \times 45^{\circ}$ ).

Existe una versión de este dispositivo que cumple los requisitos FCC, denominada SPIDER (*Short Pulse Intrusion Detection Radar*), y que puede ser usada en entornos civiles. A partir de SPIDER se creó el RADEKL (*Radar Developers' Kit 'Lite'*), especialmente diseñado para ingenieros y que aparte del hardware UWB incluye drivers y software que permite estudiar y procesar las señales con un ordenador.

Una mejora de estos dispositivos son los radares de prevención de obstáculos (OAR) que emplean más potencia de pico y estiman la posición de los obstáculos teniendo en cuenta las reflexiones multitrayecto, y en particular, la reflexión en la superficie.

### **Certified Wireless USB**

Se ha dejado para el final la aplicación más interesante desde el punto de vista comercial: la constitución de WPANs multimedia en el entorno doméstico.

El campo de las WPANs es muy amplio y general, sus aplicaciones son muy variadas, y por eso casi siempre que se habla de UWB como tecnología de futuro se piensa en WPANs.

Por ofrecer un ejemplo concreto, nos centraremos en *Certified Wireless USB* (WUSB), pensado para la interconexión de dispositivos multimedia (HDTV, DVD, MP3, móvil, PC, etc.), y está basado en las especificaciones físicas de la *WiMedia Alliance*, es decir, en MB-OFDM. Opera en todo el rango UWB definido por la FCC (entre 3.1 GHz y 10.6 GHz) y ofrece una tasa de transferencia de hasta 480 Mbps en un radio de 3 m y 110 Mbps en un radio de 10 m. El grupo promotor de WUSB lanzó la especificación completa en mayo de 2005, y en octubre de 2006 la FCC aprobó el primer dispositivo WUSB comercial, fabricado por WiQuest.

WUSB permite conectar hasta 127 dispositivos a un servidor determinado, sin necesidad de *hubs*. Para facilitar la transición desde el USB cableado, existen los DWA (*Device Wire Adapter*) que hacen las veces de *hubs* WUSB. Existen también los HWA (*Host Wire Adapter*) que dotan de conectividad WUSB a un PC mediante cualquier puerto USB.

Por último, los dispositivos DRD (*Dual Role Devices*) pueden actuar como servidores o como clientes en función de la situación: por ejemplo una cámara puede ser cliente si está conectada a un PC o servidor si está conectada a una impresora.

Wireless USB vs. 802.11a/b/g & Bluetooth			
Spec.	Wireless USB Specification Rev. 1.0	IEEE802.11a/b/g	Bluetooth 2.0 + EDR
Freq. band	3.1 GHz~10.6 GHz	2.4 GHz/5 GHz	2.4 GHz
Xfer. speed (distance)	480 Mbit/s (3 m), 110 Mbit/s (10 m)	Max. 54 Mbit/s (100 m)	Max. 3 Mbit/s (1 m~100 m depend on output)
Modulation	MB-OFDM	DSSS, DBPSK, DQPSK CCK, OFDM	GFSK

Figura 2.1.13 Características Wireless USB

Una sencilla comparativa nos muestra las ventajas de WUSB respecto a otros protocolos WPAN como *IEEE 802.11* o *Bluetooth*. Tanto es así, que la última especificación de *Bluetooth (3.0)* ya usa tecnología UWB en las capas inferiores. La *WiMedia Alliance* prevé la posibilidad de múltiples protocolos usando las especificaciones *IEEE 802.15.3*, para lo cual ha especificado una capa de convergencia.

## 2.1.9 Futuro de UWB

Sin embargo, antes de que UWB se consolide como una solución aceptada globalmente, hay algunos puntos que todavía quedan por resolver:

Rendimiento (consumo, coexistencia con otros dispositivos *wireless*, inmunidad a las interferencias, robustez del enlace).

- Interoperabilidad.
- Facilidad de integración y certificación.
- Coste de solución global.
- QoS (Quality of Service).

---

## 2.2 Sistemas WiMAX

### 2.2.1 Introducción

La tecnología *WiMAX* (*World Interoperability for Microwave Access*) es un estándar de redes inalámbricas que trata la interoperabilidad de los productos basados en el estándar *IEEE 802.16*. La tecnología *WiMAX* ofrece más alcance y ancho de banda que la familia de estándares de *WiFi* y ofrece una alternativa inalámbrica a las instalaciones *backhaul* por cable y a las de última milla, a parte de ofrecer áreas de cobertura extensas.

- *Backhaul*: Usa antenas punto a punto para conectar sitios de abonados entre sí y a las estaciones base en largas distancias.
- *Última milla*: Usa antenas punto a multipunto para conectar abonados domésticos o de empresas a la estación base.
- *Acceso de cobertura de áreas extensas*: Usa estaciones base, estaciones de abonados y soluciones *WiFi* como redes de malla, para cubrir un área extensa y proveer acceso a clientes *IEEE802.16e* (estándar que permite la convergencia para el acceso de servicios de elevado régimen binario en redes fijas y móviles también conocida como *Broadband Wireless Access*)

Si con un punto de acceso *WiFi* podemos proporcionar acceso a un radio de unos 500 metros en condiciones ideales con una velocidad típica de entre 11 y 54 Mbps, *WiMAX* está pensado para proporcionar radios de 50 Kilómetros con velocidades de 70 Mbps. De metros cuadrados en *WiFi* a Kilómetros cuadrados en *WiMAX*. Lo que en *WiFi* es un equipo de bajo coste propiedad de una persona, en *WiMAX* es un punto de acceso en un lugar elevado y propiedad de una compañía. Si *WiFi* es comparable a una LAN o una red de área local, *WiMAX* es una MAN o red de área metropolitana. El desarrollo de *WiMAX* no es algo que sustituya a *WiFi* o compita con ello, sino algo complementario: una red *WiMAX* se puede utilizar para proporcionar acceso inalámbrico a una zona amplia en la que se despliegan redes *WiFi*, solucionando así la dificultad del acceso al último tramo hasta el domicilio del usuario.

*WiMAX* presenta grandes ventajas con respecto a otras WMAN, como el LMDS, tanto en la dimensión tecnológica como en el precio, puesto que los costes de las

---

estaciones base son considerablemente más bajos para este nuevo sistema; por otra parte, LMDS también se ha visto frenada por la falta de normas uniformes. De la misma manera *WiMAX* es una tecnología que puede transmitir sin mucha latencia que es el problema de las tecnologías basadas en satélite, en las que las transmisiones de voz y vídeo se ven afectadas.

*WiMAX* está siendo desarrollado y promovido por el grupo de la industria *WiMAX Forum*; Intel y Nokia son sus dos miembros más representativos.

*WiMAX Forum* es una corporación sin ánimo de lucro que lidera la industria, cuya misión principal es promover y certificar la compatibilidad e interoperabilidad de los productos radio de banda ancha soportando aplicaciones fijas, nómadas y móviles de banda ancha metropolitanas según las especificaciones *IEEE 802.16* y *ETSI HiperMAN wireless MAN*. Como sucedió con la marca *WiFi*, que garantiza la interoperabilidad entre distintos equipos la etiqueta *WiMAX* se asociará globalmente con el propio nombre del estándar.

Las posibilidades de proporcionar banda ancha mediante tecnologías como *WiMAX* han llamado la atención de numerosos emprendedores e instituciones. La tecnología *WiMAX* puede ser un arma poderosísima para que un país consiga popularizar el acceso de las redes de información. Algunas ciudades o países han visto la oportunidad de reducir la llamada “brecha digital” de dar acceso a todo su territorio de manera sencilla y con un coste de despliegue reducido. En muchas economías desarrolladas, este acceso es proporcionado principalmente por el sector privado en condiciones de competencia eficaz y cuenta con el apoyo de las instituciones únicamente ante fracasos del mercado, o en regiones donde su explotación no resulta económicamente viable.

---

## 2.2.2 Tecnología

Con el desarrollo de la tecnología *WiFi*, especialmente con el despliegue de zonas calientes o *hot-spot's*, las tecnologías inalámbricas de banda ancha para dar acceso a Internet cobran gran interés. Tras muchos esfuerzos, el estándar *IEEE 802.16* está considerado una tecnología de nueva generación para reemplazar el *Wireless Local Loop* (WLL) típico en telecomunicaciones, consiguiendo un trabajo comparable al cable tradicional, T1, xDSL...

Así, como para *WiFi* se crea *WiFi Alliance* para promover *IEEE 802.11 LAN*, se crea la corporación *WIMAX Forum* para promover la adopción de este estándar. *IEEE 802.16* es definido en un principio como FBW y mas tarde, para reflejar los múltiples escenarios que tienen sus aplicaciones, se define como BWA.

Vulgarmente toma el nombre de *WIMAX*. Por otro lado, *WIMAX* está trabajando para desarrollar un estándar común, HIPERMAN.

En abril 2002, *IEEE 802.16* fue publicado para operar en la banda de 10-66 GHz, considerando, como una aplicación principal, que fuera de visión directa. Sin embargo, en Enero 2003 se publico *IEEE 802.16a* donde se propuso la banda de **2-11 GHz** para operar sin visibilidad directa, (es decir, cuando el área entre emisor y receptor esta obstruida por algún elemento) con el propósito de conseguir así mayor numero de aplicaciones.

*WIMAX* fijo combina largos rangos de transmisión con altas tasas de capacidad.

Esto ocurre con una estación base aislada, pero para aplicaciones celulares se necesitan potencia y eficiencia espectral para conseguir buenos resultados. Al ser una tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha, *WIMAX* es capaz de proveer de ubicuidad para el acceso a Internet, dejando a los usuarios de bordes o finales estar conectados a Internet independientemente de su localización. Esto contribuye a decrementar las zonas rurales a donde el acceso a Internet mediante cable no es económicamente rentable para los operadores de cable. En el consorcio *WEIRD* (*WIMAX Extension to Isolated Research Data Networks*), proyecto fundado por la Comisión Europea con el fin de extender la tecnología *WIMAX* y estudiar los posibles

escenarios de utilización, se identifican varios escenarios de servicios de emergencias donde *WiMAX* podría alcanzar un papel muy importante; entre ellos la monitorización ambiental de volcanes con posible erupción, la telemedicina (con aplicaciones en tiempo real) o la prevención de fuegos en zonas fácilmente incendiarias con videocámaras.

La interfaz de aire *WiMAX mobile* adopta una tecnología de acceso múltiple por división en frecuencia ortogonal escalable (SOFDMA) para alcanzar una realización multi-usuario en unos entornos de visión no directa (NLOS). Además, cobra un importante interés debido a sus bajos costes de infraestructura y la alta tasa de transferencia en comparación con los sistemas de tercera generación.

*IEEE 802.16 Wireless MAN* tiene una conexión orientada MAC y su capa física PHY esta basada en visión no directa por radio en la banda de 2-11 GHz. Para bandas con licencia, el ancho de banda de canal debe estar limitado al ancho de banda provisto y regulado dividido entre una potencia de dos, y cuyo mínimo es 1.25 MHz y el tamaño asignado a cada operador dependerá del regulador de cada país. Esta definido en tres tecnologías diferentes: *SC o single carried*, una única portadora, *OFDM orthogonal frequency division multiplexing* y *OFDMA orthogonal frequency division multiplexing access*. La comunicación basada en tramas se realiza por ráfagas en cada enlace.

### 2.2.3 Principales características

Las características principales del sistema *WiMAX* son las siguientes:

- Capa MAC con soporte de múltiples especificaciones físicas (PHY).
- Puede alcanzar distancias de hasta 50 kilómetros. La cobertura puede ser LOS y NLOS interiores y exteriores.
- Velocidades de hasta 70 Mbps.
- Puede tener de 1 a 25 células por punto de acceso. Cada célula alrededor de 7 Km.
- Facilidades para añadir más canales.
- Radio de cobertura excelente

- Se utiliza una modulación adaptativa con técnicas avanzadas para antenas. Así, con técnicas SDMA, MIMO y *smart antennas* se consigue aumentar la ganancia de RF, alcances mayores y aumento de la eficiencia espectral.
- Soporte de calidad de servicio (QoS).
- Tasa de transferencia alta.
- Alto grado de seguridad
- Alto grado de escalabilidad.
- Anchos de banda configurables y no cerrados:
  - Para *Mobile WiMAX*, los anchos de banda van desde 1.25 MHz hasta 20 MHz en múltiplos de 1.25 MHz.
  - Para el caso de *WiMAX fijo*, los anchos de banda son proporcionales a 1.75 MHz hasta 28 MHz.

Para el objetivo de este Proyecto es importante tener en cuenta todos los posibles anchos de banda de una señal WiMAX y debemos tener claro los conceptos de Ancho de Banda Nominal y Ancho de Banda Práctico.

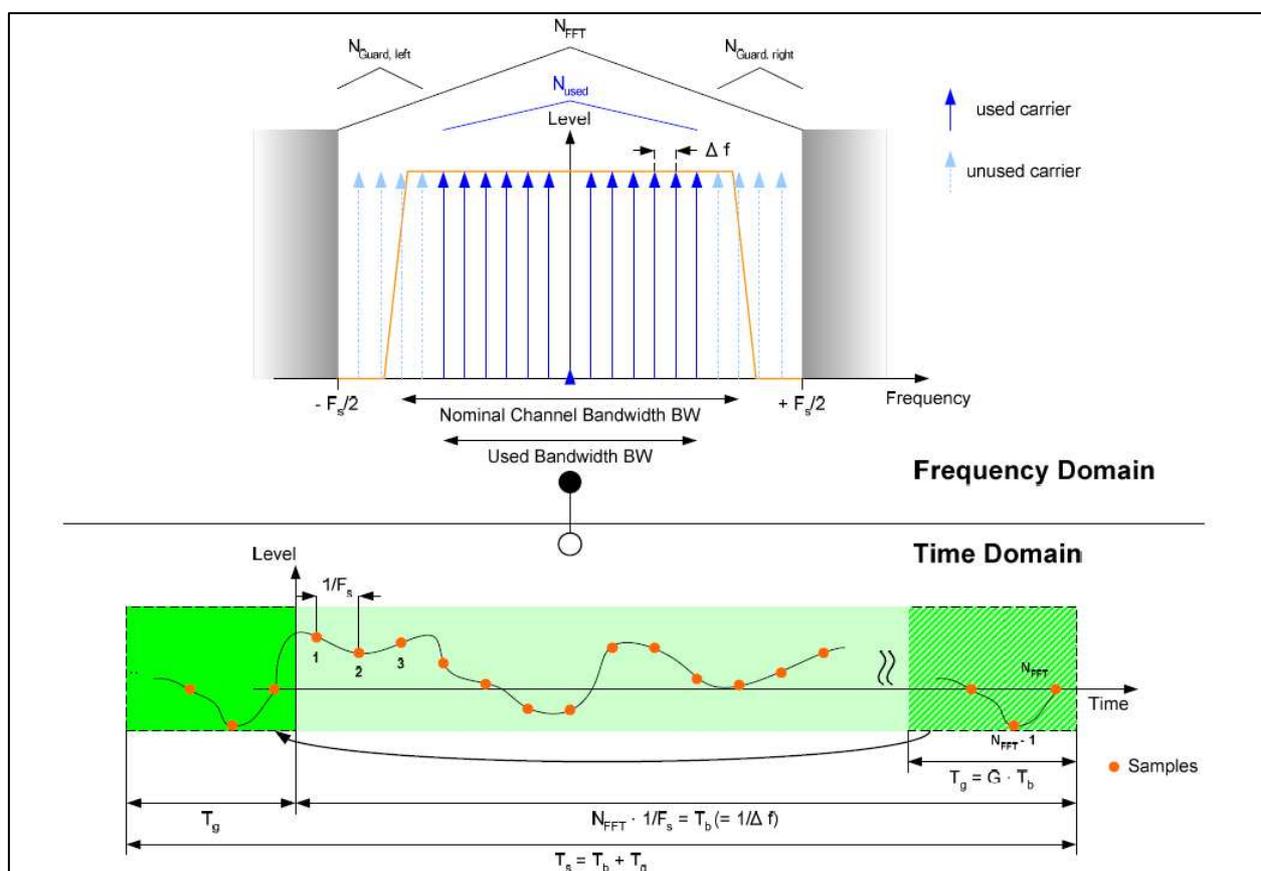


Figura 2.2.1 Ancho de banda práctico de una señal WiMAX

Llegados a este punto conviene notar que el ancho de banda ocupado (usado) por la señal OFDM debe estar contenido en el ancho de banda nominal concedido para su transmisión como se puede observar en la Figura 2.2.1. Para conocer los anchos de banda prácticos equivalentes a cada ancho de banda nominal con el que vamos a trabajar, necesitamos conocer en primer lugar el número de portadoras existentes en cada uno de ellos [5], [6]:

Tabla 2.2.1 Número de portadoras WiMAX Móvil

Ancho de Banda nominal	Número Total de Portadoras	Número de Portadoras de Datos	Número de Portadoras piloto	Número de Portadoras de guarda	Número de Portadoras DC
1.25 MHz	<b>128</b>	72	12	43	1
2.5 MHz	<b>256</b>	192	8	55	1
5 MHz	<b>512</b>	360	60	91	1
10 MHz	<b>1024</b>	720	120	183	1
20 MHz	<b>2048</b>	1440	240	367	1

Tabla 2.2.2 Número de portadoras WiMAX Fijo

Ancho de Banda nominal	Número Total de Portadoras	Número de Portadoras de Datos	Número de Portadoras piloto	Número de Portadoras de guarda	Número de Portadoras DC
1.75 MHz	<b>256</b>	192	8	55	1
3.5 MHz	<b>512</b>	360	60	91	1
7 MHz	<b>1024</b>	720	120	183	1
14 MHz	<b>2048</b>	1440	240	367	1
28 MHz	<b>4096</b>	2880	480	735	1

La separación entre subportadoras es [6]:

- En WiMAX Móvil:  $\Delta f = 10.93 \text{ KHz}$
- En WiMAX Fijo:  $\Delta f = 7.81 \text{ KHz}$

Por tanto, y teniendo en cuenta que el ancho de banda práctico (usado) sólo cuentan las portadoras de datos, las portadoras piloto y la portadora DC (porque son las portadoras usadas) los correspondientes anchos de banda prácticos son:

Tabla 2.2.3 Anchos de Banda prácticos WiMAX Móvil

Ancho de banda Nominal	Ancho de banda Práctico
1.25 MHz	918.12 KHz
2.5 MHz	2.186 MHz
5 MHz	4.59 MHz
10 MHz	9.18 MHz
20 MHz	18.36 MHz

Tabla 2.2.4 Anchos de Banda prácticos WiMAX Fijo

Ancho de banda Nominal	Ancho de banda Práctico
1.75 MHz	1.562 MHz
3.5 MHz	3.28 MHz
7 MHz	6.56 MHz
14 MHz	13.12 MHz
28 MHz	26.24 MHz

Éstos son los anchos de banda que deberá detectar nuestro receptor UWB, porque son los anchos de banda realmente utilizados en cada caso.

### **Características de un Receptor WiMAX**

En esta primera fase de estudio de los sistemas independientes y de su coexistencia, debemos conocer las características del receptor del sistema víctima. El sistema WiMAX trabaja con dos tipos de receptores:

- *BSR*: Base Station Receiver
- *SSR*: Subscriber Station Receiver

La calidad y rendimiento objetivo del sistema UWB entre 3.4 y 3.8 GHz es bastante mejor en BSR en comparación con SSR (mayor coste, mayor tamaño y mayor potencia de consumo). A continuación resumimos las principales características de un receptor WiMAX, que nos ayudarán a implementar el detector en nuestro dispositivo UWB.

- *Noise Floor (Noise Density)*: Es el Ruido de Fondo, y es la integración de ruidos, pérdidas y errores presentes en la banda de operación WiMAX. Llamamos Densidad de Ruido al ruido de fondo normalizado en 1 MHz y viene dado por:

$$\boxed{\text{ND} |_{\text{dBm / MHz}} = \text{TN} |_{\text{dBm / MHz}} + \text{NF} |_{\text{dBm}} + \text{ImL} |_{\text{dB}}} \quad (2.2)$$

- TN: Ruido térmico viene de  $k_B T B_w$  (con constante de Boltzmann  $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K, T temperatura en grados Kelvin y  $B_w$  ancho de banda práctico WiMAX)
  - NF: Factor de ruido, consideramos 6 dB
  - ImL: Pérdidas de implementación, consideramos 0 dB
- *Sensibilidad del receptor WiMAX*: Esto es equivalente al Ruido de fondo (*Noise Floor*) más el valor mínimo aceptable de SNR en el receptor. El valor mínimo aceptable de SNR para una señal WiMAX viene dado por el modo de trabajo, es decir la modulación y código FEC utilizado (Tabla 2.2.6)

La sensibilidad del receptor ( $R_s$ ) en dBm viene dada por:

$$\boxed{\text{R}_s |_{\text{dBm / MHz}} = \text{ND} + \text{SNR} + 10 \log_{10}(\text{Bw})} \quad (2.3)$$

- ND: Densidad de ruido

- $B_w$ : Ancho de banda práctico WiMAX. Para calcular el valor mínimo de señal WiMAX, lo buscaremos en 1 MHz.

### **Modulación y codificación adaptativa**

Esta técnica es una de las principales características que hacen que WiMAX sea una tecnología que se adapte al usuario en función de un canal variante en el tiempo. Permite cambiar la modulación y/o la codificación FEC teniendo en cuenta la SNR instantánea que el receptor WiMAX recibe en un instante de tiempo. Por este motivo recibe el nombre de “*adaptativa*”, ya que utiliza la mejor modulación y/o codificación para cada subtrama de usuario que mejora notablemente su velocidad de información.

En la capa física de WiMAX, se definen siete combinaciones posibles de modulación y codificación dependiendo de las condiciones del canal y de interferencias que imponen limitaciones a la tasa y robustez del sistema tal y como se puede observar en la Tabla 2.2.5:

Tabla 2.2.5 Modulaciones y valores de codificación posibles en WiMAX

Modulation rate	Coding	Information bits/symbol	Information bits/ OFDM symbol	Peak data rate in 5 MHz (Mb/s)
BPSK	1/2	0.5	88	1.89
QPSK	1/2	1	184	3.95
QPSK	3/4	1.5	280	6.00
16QAM	1/2	2	376	8.06
16QAM	3/4	3	568	12.18
64QAM	2/3	4	760	16.30
64QAM	3/4	4.5	856	18.36

Los protocolos de WiMAX son altamente adaptativos, y permiten que la estación base ajuste sus parámetros de operación y niveles de potencia con el fin de brindar un óptimo nivel de señal al terminal de abonado (CPE). Según el tipo de modulación y codificación que se utilice el valor de SNR del enlace WiMAX será diferente. Esto es importante en nuestro estudio, ya que para detectar la señal WiMAX debemos establecer un valor de umbral mínimo en el que realizar la detección y para esto

necesitamos conocer el mínimo valor de SNR del enlace WiMAX. La Tabla 2.2.6 detalla los parámetros y valores de SNR en un **enlace descendente** [7].

Tabla 2.2.6 Valores SNR WiMAX para enlaces *Downlink*

Modulación	Tasa de Codificación	SNR (dB)
BPSK	1/2	3
QPSK	1/2	6
	3/4	8.5
16QAM	1/2	11.5
	3/4	15
64QAM	2/3	19
	3/4	21

Por tanto, el mínimo valor posible de SNR de un receptor WiMAX que tendremos en cuenta en nuestro estudio será 3 dB, porque es el valor mínimo de SNR (para un enlace descendente).

## 2.2.4 Sistemas WiMAX

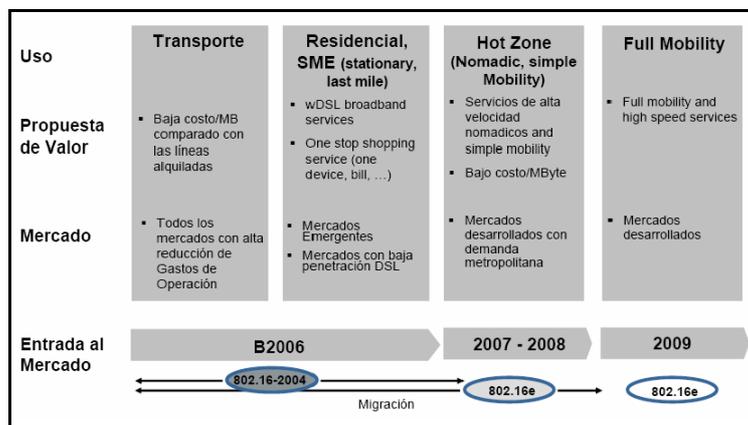


Figura 2.2.2 Evolución WiMAX

Como se observa en la Figura 2.2.2, la tendencia de *WiMAX* es claramente hacia el *WiMAX* móvil, ofreciendo así *quad play*:

- Voz
- Vídeo
- Datos
- Movilidad

## 2.2.5 Ventajas e Inconvenientes

Las principales ventajas que tienen los sistemas *WiMAX* son:

- Gran ancho de banda: Una sola estación base puede admitir mas de 60 conexiones T1 o varias centenas de conexiones DSL.
- Independencia del protocolo. Puede transportar, entre otros, *IP*, *Ethernet* y *ATM*. Esto hace que sea compatible con otros estándares.
- Puede utilizarse para transmitir otros servicios añadidos como *VoIP*, datos o vídeos.
- Soporta antenas inteligentes (*smart antennas*), lo cual favorece la eficiencia espectral. Estas antenas emiten un haz muy estrecho que se puede ir moviendo electrónicamente para enfocar siempre al receptor.

- Seguridad: Incluye medidas para autenticación de usuarios y encriptación de datos mediante los algoritmos 3DES y RSA.

Los principales inconvenientes que presentan estos sistemas son:

- Limitación de potencia para prever interferencias con otros sistemas.
- Alto consumo de batería en los dispositivos.

## 2.2.6 Aplicaciones

Las aplicaciones de acceso basadas en topología de punto multipunto incluyen:

- Infraestructura celular (*backhaul*)
- Ancho de banda bajo demanda
- Ancho de banda residencial
- Servicios inalámbricos nómadas.

A continuación se presentan en la Figura 2.2.3 las principales aplicaciones y usos de los sistemas *WiMAX* en oficinas, hogares...

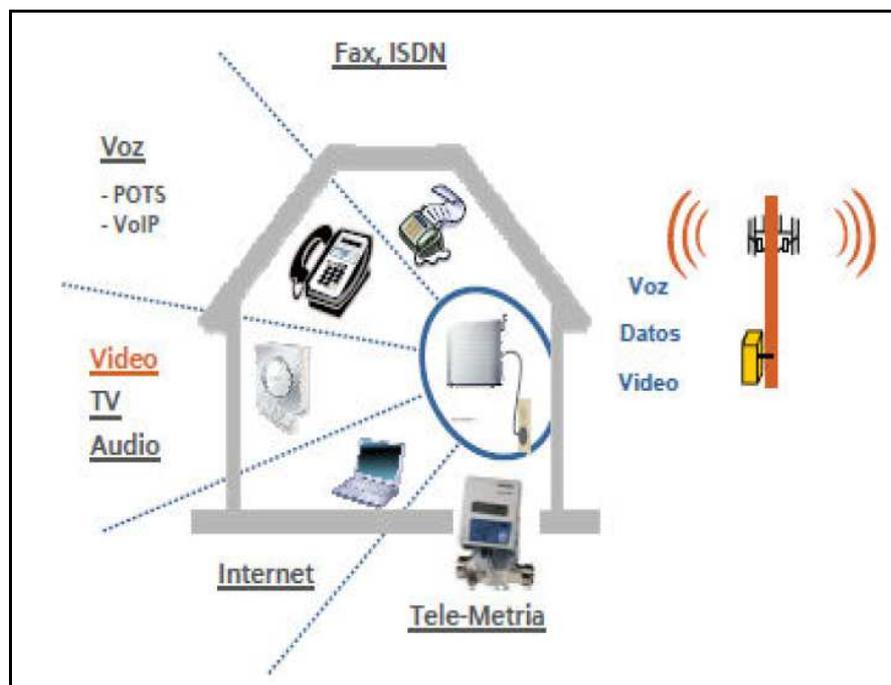


Figura 2.2.3 Principales aplicaciones de los sistemas *WiMAX*

## 2.3 Coexistencia de ambos sistemas

Para permitir la coexistencia de WiMAX y MB-OFDM UWB en la misma zona del espectro se utilizan técnicas de mitigación basadas en DAA (Detection And Avoid), estas técnicas nos permiten controlar y prevenir interferencias sobre aplicaciones BWA (*Broadband Wireless Access*) como son los sistemas WiMAX en la banda 3.4-4.2 GHz y los servicios de radiolocalización en las bandas 3.1-3.4 GHz.

Los dispositivos UWB que implementan DAA, antes de establecer un enlace UWB de comunicaciones, deben realizar una monitorización de las señales RF en la zona del espectro en la que van a trabajar, para poder detectar cualquier señal radio en funcionamiento que será una posible *víctima*. La duración de esta fase inicial se denomina tiempo inicial de testeo de disponibilidad del canal. Según los resultados que obtenga, el dispositivo UWB determinará en qué zona del espectro deberá aplicar las técnicas para evitar la interferencia.

En la normativa europea se definen los procedimientos de selección de la zona de aislamiento y los niveles máximos de potencia emitida UWB adecuados.

- Para la banda de 3.1-3.4 GHz y 8.5-9 GHz se establece un solo umbral de detección  $D_{\text{thresh}}$  que define dos zonas de protección, zona A y zona B. Ante señales detectadas con niveles por encima del umbral, se limita la potencia de emisión UWB a niveles inferiores a -41.3 dBm/MHz para toda la banda bajo estudio, es decir, 300 MHz para la banda de 3.1 GHz a 3.4 GHz y 500 MHz para la banda de 8.5 GHz a 9 GHz, situándose entonces en la zona A. Si el nivel detectado es inferior al umbral, el interferente UWB puede emitir con niveles de -41.3 dBm/MHz, y se sitúa en la zona B.
- Para la banda de 3.4-4.2 GHz se propone un sistema DAA basado en dos umbrales de señal detectada en el canal de transmisión o enlace de subida de -38 dBm y de -61 dBm. Así, se establecen niveles de emisión UWB limitados según el umbral de señal detectada por el dispositivo UWB. Si el nivel de señal está por debajo de -38 dBm, se limita la señal UWB a -80 dBm/MHz y el dispositivo UWB se encuentra en la zona 1. Si el nivel de la señal detectada se sitúa entre -38 dBm y -61 dBm, se limita la señal UWB a -65 dBm/MHz y el dispositivo UWB se encuentra en la zona 2. Finalmente, si el nivel de las señales detectadas es igual o menor a -61 dBm, se establece

---

el límite de emisiones UWB en  $-41.3$  dBm/MHz y se sitúa al dispositivo UWB en la zona 3.

Para señales del enlace de subida (*uplink*) detectadas en las bandas de 3.4-3.6 GHz o 3.6-3.8 GHz, la banda de exclusión es de 200 MHz. Además, el desarrollo de la técnica DAA para la detección de servicios BWA permite reducir la banda de exclusión a un mínimo de 20 MHz, debido a las características de los sistemas BWA.

La combinación de este umbral de señal detectada, junto con el tiempo de testeo de la disponibilidad del canal y la probabilidad de detección, permiten asegurar según el informe [ECC120] la protección de los terminales BWA en más del 99.75% del tiempo de funcionamiento.

El funcionamiento de DAA no sólo es obligatorio para los dispositivos UWB de forma individual, sino que también es necesario que lo implementen y lo pongan en funcionamiento aquellos que conforman redes UWB. Así, durante el funcionamiento de una red UWB, formada por al menos dos dispositivos, los dispositivos deben tener la posibilidad de negociar quién de ellos realiza la detección y compartir posteriormente la información relativa a este proceso de detección de DAA. Por ejemplo, en la transmisión de un archivo de gran tamaño entre dos dispositivos UWB, el receptor puede realizar las tareas de detección DAA y luego compartir la información con el transmisor. Además, es conveniente que quien realice estas tareas de detección sea un dispositivo alimentado continuamente para extender la duración de la batería en dispositivos UWB móviles. Ante estos aspectos de funcionamiento se recomienda que la detección continua sea el modo empleado en todo dispositivo UWB cuando éste se encuentre en operaciones de recepción de datos.

Los principales parámetros DAA para comunicaciones MB-OFDM UWB son:

- *Tiempo mínimo inicial de testeo de la disponibilidad del canal:* tiempo mínimo durante el cual el dispositivo UWB busca posibles señales radio víctimas antes de comenzar su funcionamiento o *Power On*.
- *Umbral de señal detectada:* se define como la potencia recibida por parte de la posible víctima radio. Define la transición entre dos zonas de protección adyacentes. Este umbral de detección se especifica para el conector de antena asumiendo una ganancia de antena de 0 dBi en el proceso de detección. También se puede expresar como un límite de campo eléctrico.

- *Nivel de exclusión (avoidance) o densidad de potencia de transmisión UWB máxima*: máxima densidad de potencia de transmisión que se configura en el dispositivo UWB dependiendo de la zona de protección en la cual se encuentra.
- *Ancho de banda de exclusión por defecto*: indica el ancho de banda mínimo de la señal víctima que requiere protección.
- *Tiempo máximo de DAA*: máxima duración temporal entre un cambio en las condiciones RF ambientales en el entorno de un dispositivo UWB y la adaptación necesaria de los parámetros de funcionamiento del mismo.
- *Probabilidad de detección*: probabilidad de acertar en la decisión correcta en un dispositivo MB-OFDM UWB que implemente DAA debido a la presencia de una señal víctima antes de comenzar la transmisión o debido a cambios en la configuración RF durante el funcionamiento de un dispositivo UWB.
- *Probabilidad de falsa alarma*: probabilidad de fallar en la decisión, es decir detectar una señal que no corresponde a la señal víctima.

### 2.3.1 Mecanismo de Trabajo

Centraremos nuestro estudio en la zona UWB del primer grupo de bandas, es decir, en las tres primeras bandas *MB-OFDM* (3.1–4.9 GHz) y la banda de transmisión WiMAX de 3.5 GHz.

Como criterio para evaluar la calidad del enlace MB-OFDM UWB cuando no hay ningún tipo de interferencia, cuando un sistema interfiere con el otro y cuando aplicamos las técnicas de mitigación de la interferencia, mediremos en la entrada del dispositivo MB-OFDM UWB la  $E_b/N_o$ , típicamente utilizada en las modulaciones digitales para medir la relación señal-ruido. También evaluaremos cómo afecta la degradación de la  $E_b/N_o$  en las tasas binarias de nuestro enlace MB-OFDM UWB y en las distancias de transmisión.

Calculamos la  $E_b/N_o$  [3] resultante de nuestra señal MB-OFDM UWB según la siguiente fórmula:

$$\frac{E_b}{N_o} = P_{tx} - P_L - (-174 + 10\log_{10}(V_b)) - NF \quad (2.4)$$

- $P_{tx}$ : Es la potencia transmitida de la señal MB-OFDM
- $P_L$ : Son las pérdidas de propagación definidas en el Capítulo 2.
- -174 viene de  $k_B T$  (con constante de Boltzmann  $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K y T temperatura en grados Kelvin)
- $V_b$ : Es la tasa binaria neta.
- NF: Es el factor de ruido, consideramos 6.6 dB

Obtenemos la Tasa Binaria (TB) según la siguiente fórmula:

$$TB = \frac{R \cdot E_m \cdot N}{SR} \cdot \frac{1}{T_{sym}} \quad (2.5)$$

- R: *Coding Rate*
- SR: *Spreading Rate* (Tasa de ensanchamiento)
- $E_m$ : Eficiencia de la modulación. En nuestro caso al utilizar QPSK es  $\log_2(4) = 2$
- N: Número de portadoras de datos = 100 portadoras
- $T_{SYM}$ : Tiempo que dura un símbolo MB-OFDM UWB = 312.5 ns

En la Tabla 2.3.1 podemos ver los valores de algunos parámetros definidos que dependen de la tasa binaria con la que estemos trabajando:

Tabla 2.3.1 Parámetros para calcular la tasa binaria MB-OFDM UWB

Data Rate (Mb/s)	Modulation	Coding Rate (R)	Conjugate Symmetric Input to IFFT	Spreading Factor	Coded bits per OFDM symbol ( $N_{CBPS}$ )
53.3	QPSK	1/3	Yes	4	100
80	QPSK	1/2	Yes	4	100
110	QPSK	11/32	No	2	200
160	QPSK	1/2	No	2	200
200	QPSK	5/8	No	2	200
320	QPSK	1/2	No	1	200
400	QPSK	5/8	No	1	200
480	QPSK	3/4	No	1	200

Tabla 2.3.2 Parámetros de tiempo MB-OFDM UWB

Parameter	Value
$N_{SD}$ : Number of data subcarriers	100
$N_{SDP}$ : Number of defined pilot carriers	12
$N_{SG}$ : Number of guard carriers	10
$N_{ST}$ : Number of total subcarriers used	122 ( $= N_{SD} + N_{SDP} + N_{SG}$ )
$\Delta f$ : Subcarrier frequency spacing	4.125 MHz ( $= 528 \text{ MHz}/128$ )
$T_{FFT}$ : IFFT/FFT period	242.42 ns ( $\Delta f$ )
$T_{ZP}$ : Zero pad duration	70.08 ns ( $= 37/528 \text{ MHz}$ )
$T_{SYM}$ : Symbol Interval	312.5 ns ( $= T_{ZP} + T_{FFT}$ )

## 2.3.2 Escenario de trabajo

Los principales usos de WiMAX y UWB se concentran en las tarjetas de los ordenadores portátiles y por lo tanto es muy probable que un dispositivo UWB interfiera en la recepción de un *WiMAX Customer Premise Equipment (CPE)*. Como podemos ver en la Figura 3.2.1 aunque los dispositivos estén situados en zonas distintas del espacio físico, existe una posibilidad de que las transmisiones UWB interfieran con las de los dispositivos WiMAX.

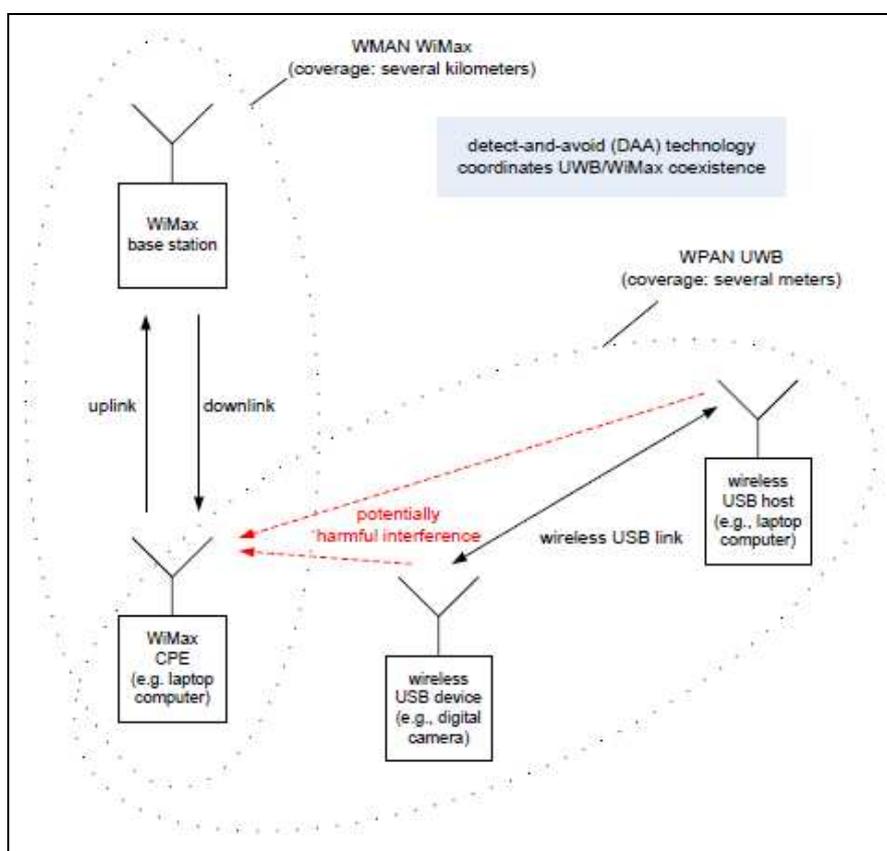


Figura 2.3.1 Transmisiones UWB y WiMAX

Definimos un escenario tipo WPAN, que podría ser la planta baja de la Biblioteca de la EPS. En este escenario definiremos diversas situaciones para evaluar la coexistencia entre un enlace WiMAX basado en *IEEE 802.16e* [8] y un enlace MB-OFDM UWB basado en *ECMA368* [9].

Tenemos dos dispositivos MB-OFDM UWB. En la misma sala tenemos un ordenador portátil que actuará como CPE WiMAX recibiendo las señales que llegan desde la estación base WiMAX situada a una mayor distancia.

En la situación anteriormente definida podemos pensar en un claro ejemplo de coexistencia de MB-OFDM UWB y WiMAX 3.5 GHz.

Partimos de una situación inicial, el transmisor MB-OFDM UWB empieza a transmitir y por tanto tenemos una señal MB-OFDM UWB.

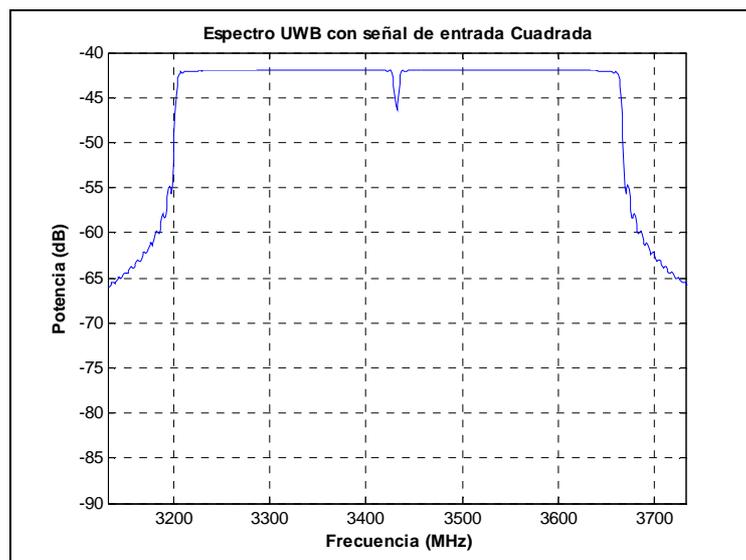


Figura 2.3.2 Espectro MB-OFDM UWB con señal de entrada cuadrada

Dado que en el escenario definido tenemos un receptor WiMAX, éste empieza a recibir información de su estación base y puede darse la situación de que nuestra señal MB-OFDM se solape con una señal WiMAX.

La técnica que utilizaremos para permitir que ambos sistemas coexistan en esa zona del espectro es DAA (*Detect and Avoid*). Como su nombre indica esta técnica se basa principalmente en:

1. Detectar la señal WiMAX
2. Evitar que la señal MB-OFDM UWB interfiera con ella.

Los sistemas que contienen los algoritmos (lógica del sistema) y los que detectan las señales se implementan en dispositivos diferentes, pero en el caso de DAA es necesario

---

incluir ambos sistemas en el mismo chip. Por otra parte la detección se debe intercalar con la transmisión y la recepción por los siguientes motivos [10]:

- a. El coste de los dispositivos que tengan la funcionalidad DAA debe reducirse, y para esto podemos aprovechar que los módulos de los receptores UWB ya tienen disponibles algunos elementos necesarios para la detección (por ejemplo laFFT)
- b. Si tenemos un sistema de detección radio independiente (en otro dispositivo) mientras que la transmisión UWB está en la misma banda de trabajo, haría falta un mecanismo para restar la forma de onda de la transmisión UWB al sensor. Esto es una tarea muy compleja y difícil de implementar ya que la potencia de ruido y la interferencia pueden limitar la sensibilidad de la detección [11].

En la Figura 2.3.3 podemos ver un diagrama de bloques de un receptor/transmisor UWB en el que el sistema de detección está embebido en el receptor (un detector de energía).

El conversor Analógico – Digital muestrea la señal analógica de 528 MHz de ancho de banda, que viene de la antena. La FFT transforma la señal de salida que está en el dominio de la frecuencia en 128 portadoras separadas 4.125 MHz.

Para estimar la PSD, se integra la energía de salida de la FFT (de las 128 portadoras) en un periodo de tiempo específico. El máximo periodo de tiempo es 20  $\mu$ s, que es un periodo de tiempo mucho más pequeño que la longitud de una trama típica WiMAX (2ms – 20ms).

Una vez que tenemos los datos procesados para ser transmitidos, éstos se convierten en una forma de onda en el dominio del tiempo al pasar por el módulo IFFT. Después esta onda pasa por el Filtro Notch que eliminará los elementos que estén en las frecuencias en las que está transmitiendo la señal WiMAX detectada (si así lo indica el bloque *notch control*).

Finalmente, la señal se convierte en analógica después de pasar por el Conversor Digital – Analógico y vuelve a la antena para ser transmitida, esta vez de forma que no interferirá con la señal WiMAX.

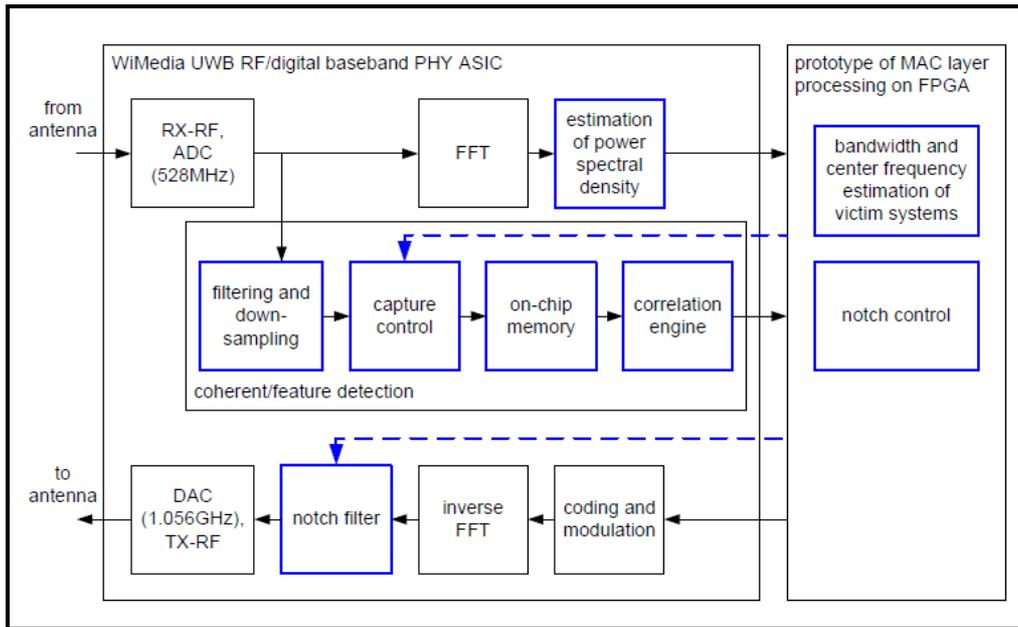


Figura 2.3.3 Diagrama de bloques de un Transmisor-Receptor UWB

# Capítulo 3

## Detección de la señal WiMAX

### 3.1 Características a tener en cuenta para la detección

Para estudiar nuestra situación de trabajo, debemos tener en cuenta en primer lugar que la señal WiMAX a detectar puede tener diversos anchos de banda (Capítulo 2) pero también debemos tener en cuenta que éstos son anchos de banda nominales, por tanto para detectarla se debe tener en cuenta su ancho de banda práctico (calculado en el Capítulo 2 Tablas 2.2.3 y 2.2.4).

A continuación presentamos los posibles escenarios de ancho de banda de señal WiMAX y la señal MB-OFDM UWB interferente.

**BwWiMAX=1.25 MHz centrada en f=3420 MHz**

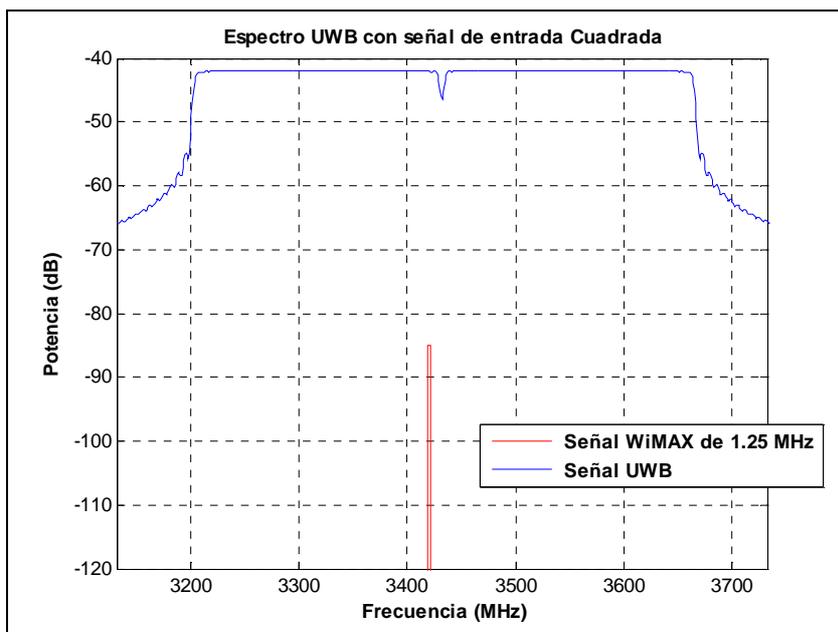


Figura 3.1.1 Espectro MB-OFDM UWB y WiMAX de 1.25 MHz

**BwWiMAX=2.5 MHz centrada en f=3420 MHz**

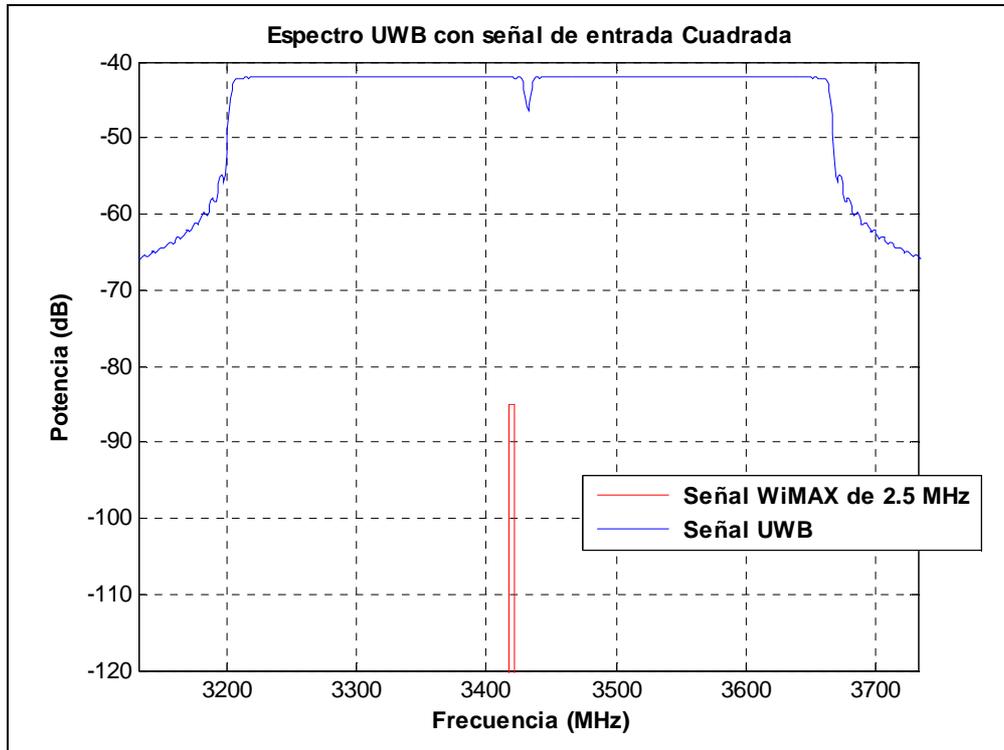


Figura 3.1.2 Espectro MB-OFDM UWB y WiMAX de 2.5 MHz

**BwWiMAX=5 MHz centrada en f=3420 MHz**

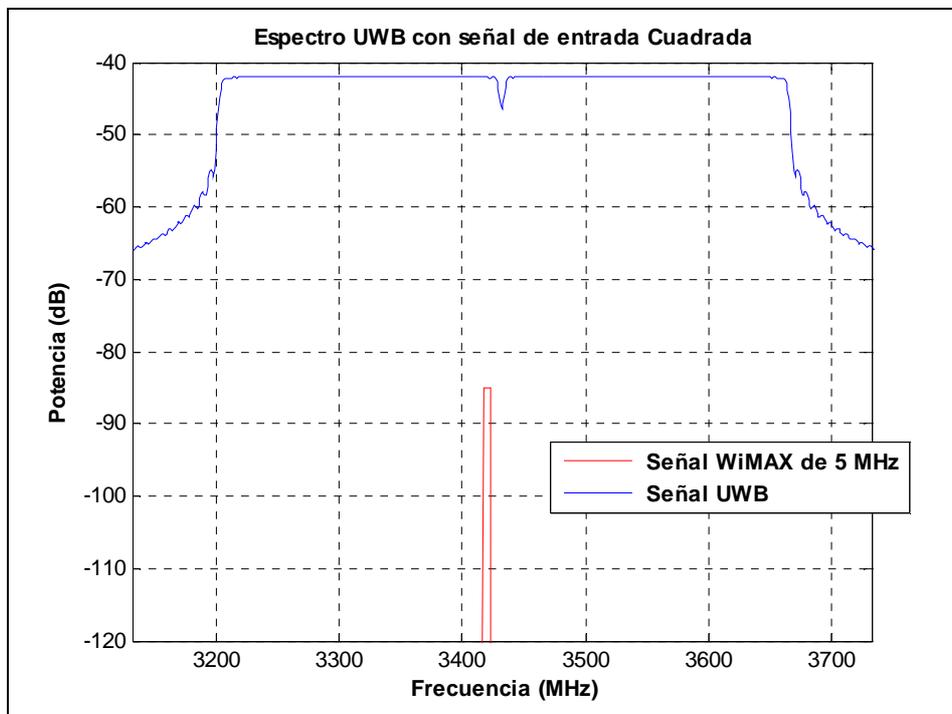


Figura 3.1.3 Espectro MB-OFDM UWB y WiMAX de 5 MHz

**BwWiMAX=10 MHz centrada en f=3420 MHz**

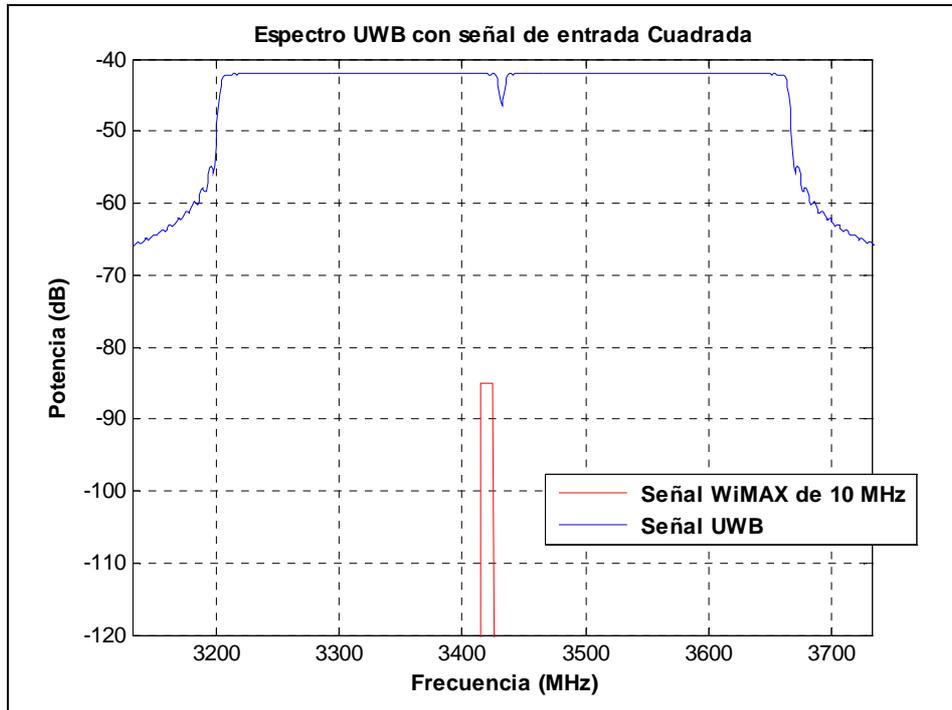


Figura 3.1.4 Espectro MB-OFDM UWB y WiMAX de 10 MHz

**BwWiMAX=20 MHz centrada en f=3420 MHz**

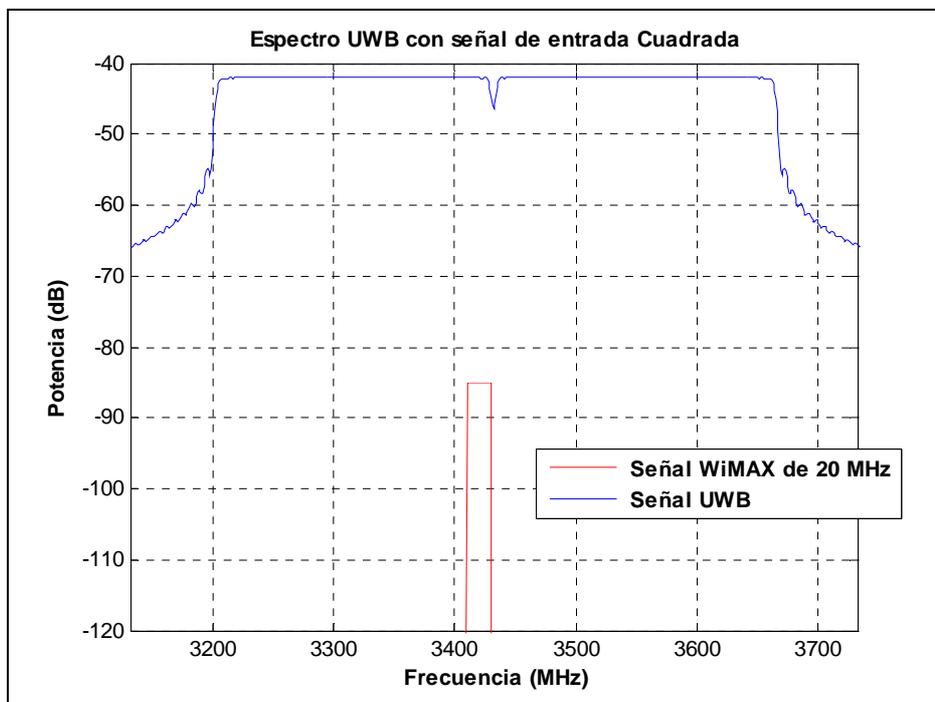


Figura 3.1.5 Espectro MB-OFDM UWB y WiMAX de 20 MHz

**BwWiMAX=28 MHz centrada en f=3420 MHz**

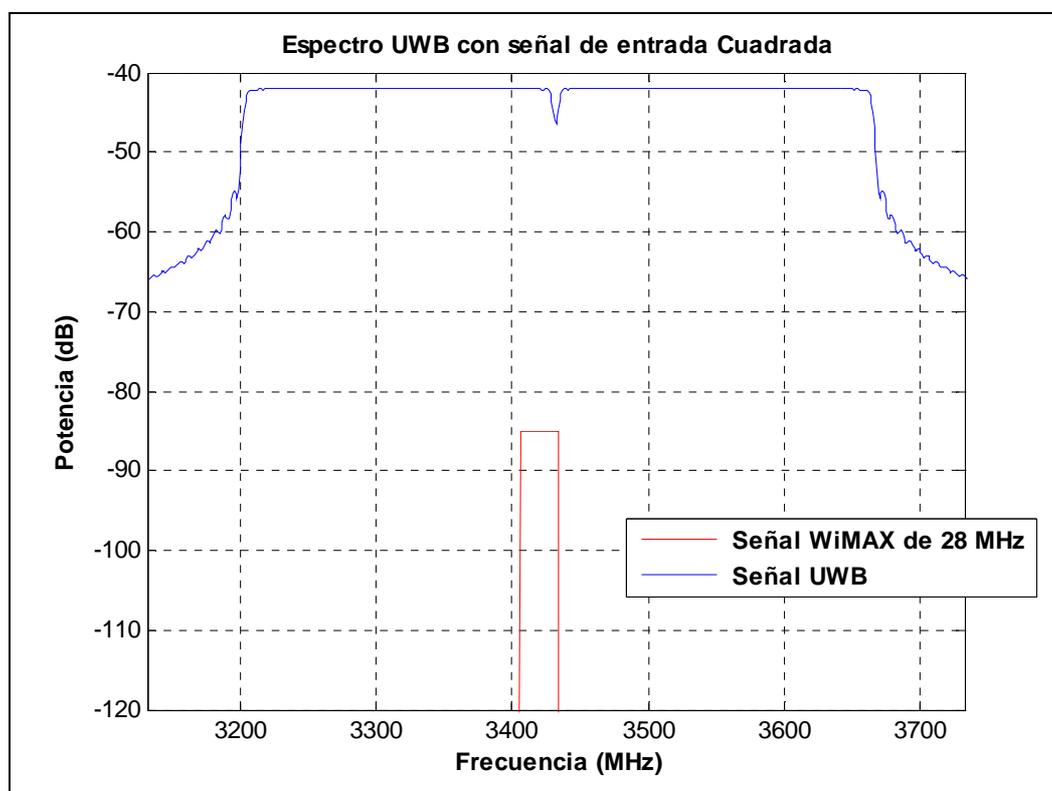


Figura 3.1.6 Espectro MB-OFDM UWB y WiMAX de 28 MHz

Al utilizar el ingenio de la FFT inherente en todos los transmisores/receptores OFDM, nuestro dispositivo MB-OFDM puede actuar como un analizador de espectros, con resolución de 4.125 MHz (528 MHz/128 puntos de la FFT). Los niveles de potencia media transmitida por otros dispositivos de banda estrecha dentro de la banda UWB activa se pueden medir con la media de la señal recibida en el tiempo.

Midiendo los niveles de potencia de las señales detectadas podremos saber qué señales requieren una actuación para evitar interferencias. Estas señales se caracterizan porque su nivel de potencia sobrepasa un determinado umbral que nos indicará que esa señal supone un peligro de posible interferencia.

Para detectar de forma precisa los enlaces de banda estrecha podemos insertar **periodos de calma** en el funcionamiento de la red. Durante estos periodos todos los dispositivos *WiMedia* del escenario de estudio empezarán a escanear las bandas activas e intercambiarán información mediante un cambio en la señalización (portadoras piloto).

Este mecanismo a veces se denomina **aproximación de detección de energía**. Sin embargo, la detección de la energía sufre una alta probabilidad de falsas alarmas (probabilidad de detectar un falso inexistente enlace de banda estrecha) debido a los espurios que se encuentran generalmente en el espectro de potencia medido debido a la salida de las portadoras, desequilibrio I/Q, y otras causas.

Otros tipos de detección implican detectar características específicas de la señal de banda estrecha que estamos rastreando. Por ejemplo, en nuestro caso queremos detectar una señal WiMAX, podríamos tener bien definidas todas las principales características de este tipo de señal. Esto minimizaría la probabilidad de falsas alarmas pudiendo basarnos en una detección del tipo de señal (detección coherente) y no en una detección de energía. Sin embargo, para poder detectar todo tipo de señales de banda estrecha sería necesario disponer de una gran biblioteca de características de sistemas que además de tener un gran tamaño puede variar dependiendo del país y su regulación e incluso sería necesario actualizarla para incluir los nuevos sistemas que aparezcan. Por tanto esto último es complejo y costoso de implementar.

De esta forma, nos decantamos por el clásico detector de energía, que, aunque tiene mayor probabilidad de falsas alarmas es más fácil y barato de implementar.

Para implementar este detector de energía debemos suponer que la señal detectada es un proceso blanco gaussiano con una variación igual a la potencia media. Debemos asegurar que  $P_{MD}$  (Probabilidad de detección perdida) y  $P_{FA}$  (Probabilidad de falsa alarma) se cumplen en todo el rango de frecuencias de trabajo y debemos configurar los parámetros de detección para descartar el caso de que una señal WiMAX no detectada esté en una determinada frecuencia mientras una falsa alarma aparece en otra frecuencia [10]. Para esto debemos tener en cuenta:

Tabla 3.1.1 Probabilidad de Detección y de Falsa Alarma

	<b>Señal no detectada</b>	<b>Señal detectada</b>
<b>Señal no presente</b>	$1 - P_{FA}$	(Probabilida de falsa alarma) $P_{FA}$
<b>Señal presente</b>	$1 - P_D$	(Probabilidad de detección) $P_D$

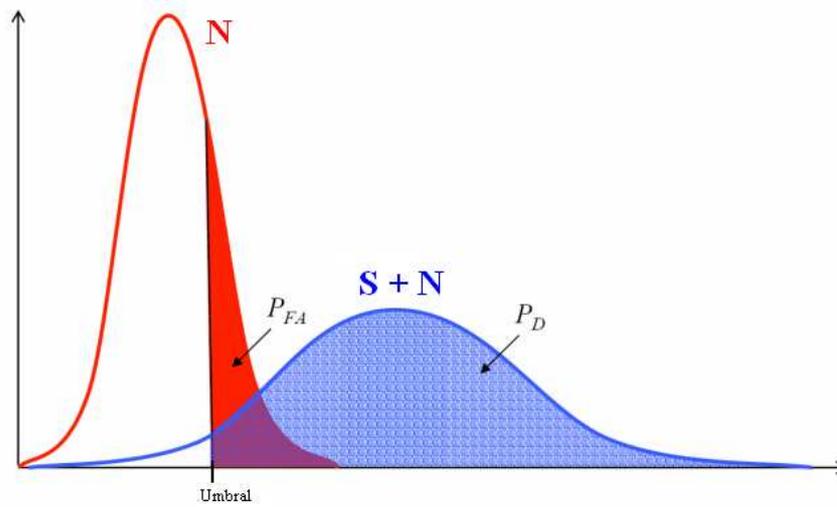


Figura 3.1.7 Probabilidad de Detección y de Falsa Alarma

Para evaluar analíticamente la probabilidad de Detección y la Probabilidad de Falsa Alarma se necesitan técnicas de integración numéricas o aproximaciones mediante expansión en series. En nuestro estudio, podemos considerar: [12]

$$P_{fa} = P(H1 | H0) = Q\left(\frac{\tau - M\sigma_w^2}{\sqrt{2M\sigma_w^2}}\right) \quad (3.1)$$

$$P_d = P(H1 | H1) = Q\left(\frac{\tau - M\sigma_w^2 - M\sigma_s^2}{\sigma_w\sqrt{2M\sigma_w^2 + 4M\sigma_s^2}}\right) \quad (3.2)$$

$\sigma_w^2$  es la varianza del ruido que viene dada por la potencia de ruido:

$$N = -114 + 10\log_{10}(B_{4.125 \text{ MHz}}) + NF$$

$$NF = 6.6 \text{ dB}$$

$\sigma_s^2$  es la varianza de la señal detectada que viene dada por su potencia:

$$S = \text{Umbral} - 10\log_{10}\left(\frac{B_{\text{práctico WiMAX}}}{4.125 \text{ MHz}}\right) \quad (3.3)$$

**M** es el número de veces que se realiza un ciclo completo de detección y que, como veremos a continuación, influirá tanto en la Pfa como en la Pd.

**H<sub>1</sub>** es la probabilidad de detectar una señal.

**H<sub>0</sub>** es la probabilidad de detectar ruido (pensando que es una señal).

Otro punto importante a tener en cuenta a la hora de implementar el detector son los niveles de potencia que puede presentar la señal WiMAX a detectar, en el Capítulo 2 se han descrito las características de un receptor WiMAX, que nos ayudarán a establecer el valor mínimo del umbral de detección. Obtenemos la densidad de ruido basándonos en la Ecuación 2.2:

$$ND = -114 + 6 + 0 \rightarrow ND = -108 \text{ dB/MHz}$$

Y la sensibilidad del receptor WiMAX basándonos en la Ecuación 2.3:

$$RS = -108 + 3 + 10\log_{10}(1\text{MHz}) \rightarrow$$

<b>RS = -105 dBm/MHz</b>
--------------------------

Por tanto, el valor mínimo del rango de umbral de nuestro estudio debe estar **alrededor de -105 dBm/MHz**, que es (aproximadamente) el valor mínimo de potencia detectable para el enlace *Downlink* de WiMAX.

Como podemos comprobar en las Figuras 3.1.9 – 3.1.14 el valor máximo del umbral lo podemos establecer en **-70 dBm/MHz**, porque en valores mayores de potencia no obtendremos más información.

Por tanto el rango del umbral de detección establecido es:

<b>Umbral = [-70 : -105] dBm/MHz</b>
--------------------------------------

Es importante tener en cuenta que la potencia típica de un CPE WiMAX está alrededor de 21 dBm/MHz, que como era de esperar está por encima del umbral establecido lo que garantiza que las señales transmitidas por un CPE también se detectarán.

Finalmente también debemos tener en cuenta, en los casos en que el ancho de banda nominal de la señal WiMAX sea menor que el ancho de banda de separación de dos portadoras MB-OFDM UWB, que la señal WiMAX puede “caer” entre dos portadoras

---

MB-OFDM UWB o que puede caer en medio de una de ellas (esto se explica más adelante).

Según lo indicado, hemos decidido que nuestro proceso de detección tiene 2 fases:

- En primer lugar el dispositivo UWB actúa como un *sniffer*, y su función será **percibir** las portadoras MB-OFDM UWB que tienen probabilidad de solaparse con una señal WiMAX.
- En segundo lugar, volvemos a analizar, una a una, las portadoras MB-OFDM UWB percibidas en la primera fase, calcularemos la probabilidad de detección en cada portadora teniendo en cuenta la ocupación correspondiente de la señal WiMAX y por tanto **detectaremos** las portadoras MB-OFDM UWB que interfieren con la señal WiMAX.
  
- **Factores a tener en cuenta en la detección [10]:**
  1. El mayor problema de la detección de energía son el ruido y las interferencias presentes en la zona de trabajo. Para establecer de forma fiable los umbrales de nuestro detector y de esta forma identificar de forma correcta el sistema víctima (WiMAX), si sospechamos que la señal primaria está presente en las subportadoras  $n, \dots, n+i$  entonces utilizamos el resto de subportadoras:  $1 \dots n-1, n+i+1 \dots n_{max}$  como estimación de ruido e interferencia del sistema. Esto hace que la sensibilidad de la detección sufra desviaciones con el tiempo pero mantiene la tasa de falsas alarmas baja.
  2. Los tonos espúrios pueden alterar el proceso de estimación de ruido. Podemos detectarlos en la calibración al encender el dispositivo UWB y reemplazar cada comportamiento sospechoso de ser una falsa alarma con un nivel de potencia promedio de los tonos que le rodean.
  3. En la salida del ADC el espectro de la señal está condicionado por la banda del filtro del receptor RF. Esto debe tenerse en cuenta en la estimación de ruido/interferencia y en la estimación del umbral de detección.
  4. Dado que el tamaño de la FFT lo fija la norma *WiMedia*, el ancho de banda de ruido por bit se fija en 4.125 MHz, por tanto las señales de gran ancho de banda

serán más fáciles de detectar que las señales sinusoidales a menos que tengamos en el chip un *hardware* FFT independiente para la detección.

**Si la señal detectada tiene una potencia de -75 dBm/MHz y  $M=1$**

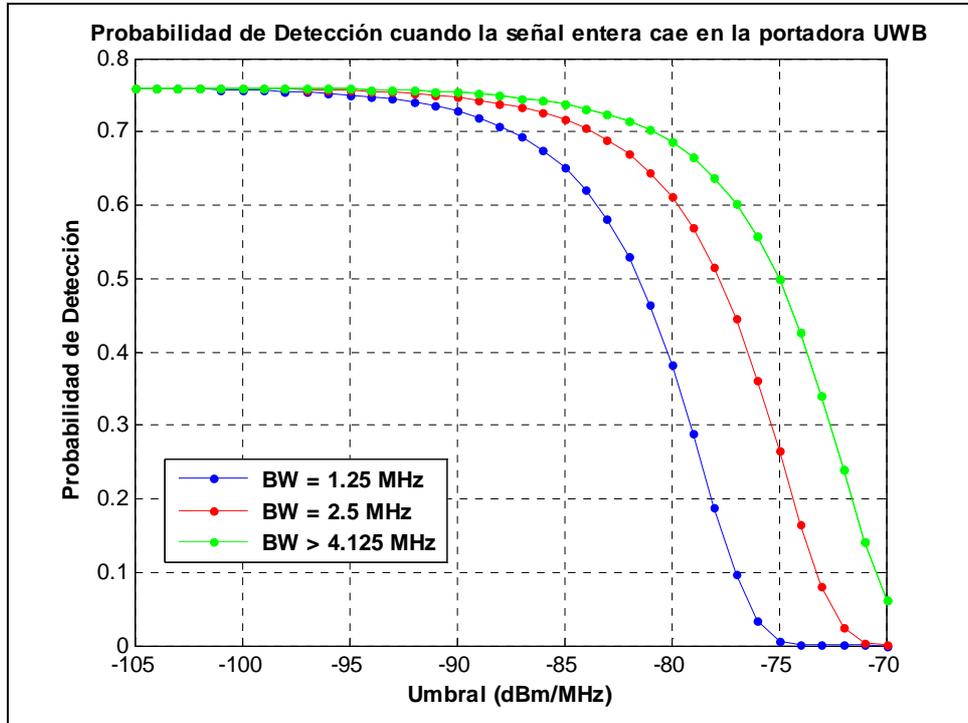


Figura 3.1.8 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -75 dBm/MHz cuando la señal WiMAX entera cae en la portadora MB-OFDM UWB

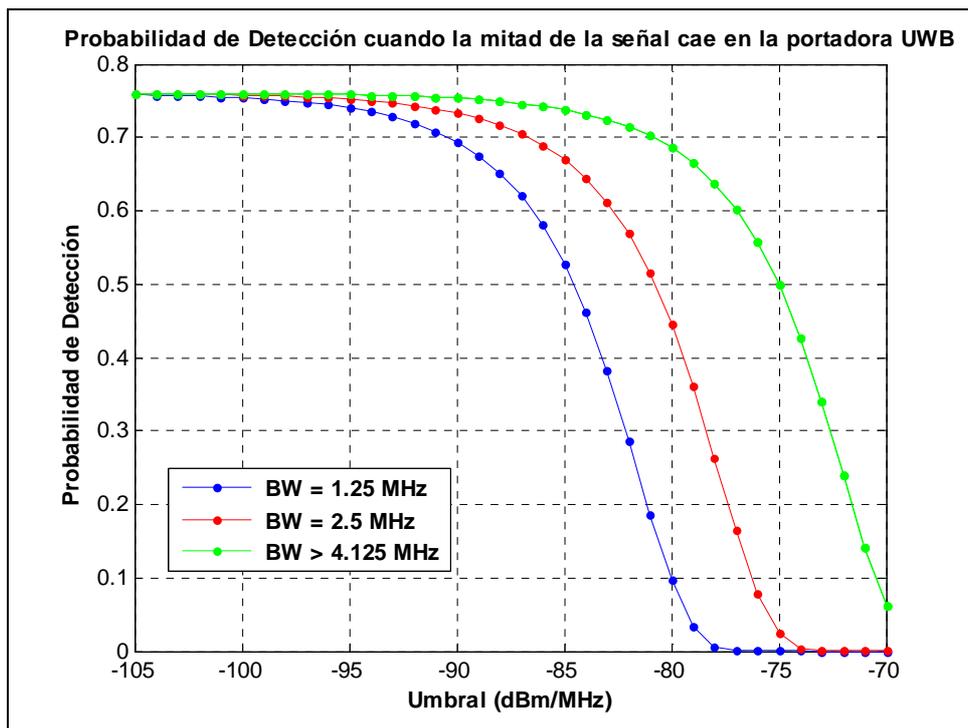


Figura 3.1.9 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -75 dBm/MHz cuando la mitad de la señal WiMAX cae en la portadora MB-OFDM UWB

Podemos ver que si la mitad de la señal WiMAX cae en una portadora MB-OFDM UWB la probabilidad de detectarla será menor que si la señal WiMAX entera cae en la portadora UWB. Por ejemplo, en las Figuras 3.1.8 y 3.1.9 se observa que para un ancho de banda nominal WiMAX de 1.25 MHz y un umbral de -90 dBm/MHz, si la señal WiMAX entera cae en la portadora UWB la  $P_d=0,73$  pero si sólo cae la mitad la  $P_d=0,69$ . Lo mismo para un umbral de -80 dBm/MHz en el primer caso  $P_d=0,38$  pero si sólo cae la mitad la  $P_d=0,09$

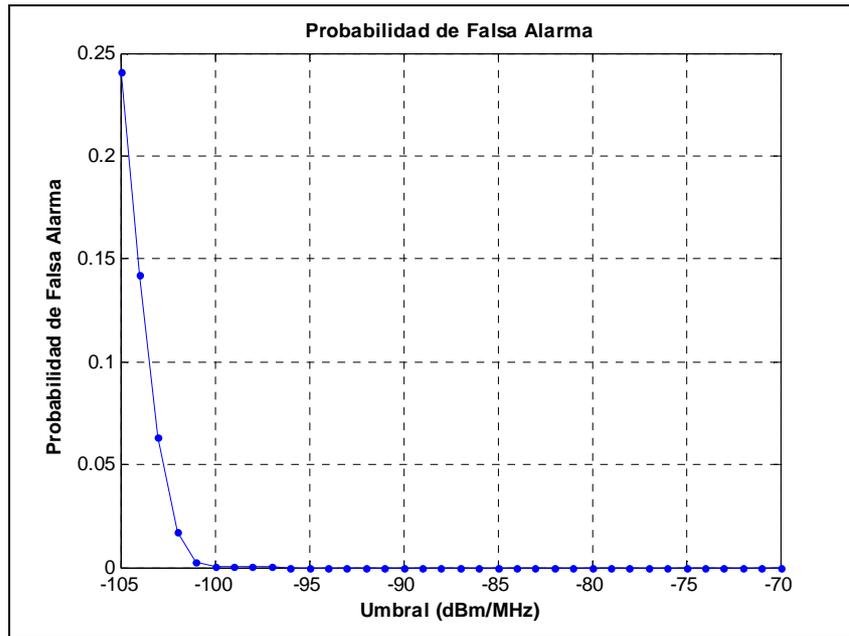


Figura 3.1.10 Probabilidad de Falsa Alarma con M=1

En el caso de la Probabilidad de Falsa Alarma, podemos ver que a partir de -100 dBm/MHz de umbral, esta probabilidad es idealmente nula, por tanto la única variación que podemos observar es para valores de umbral menores de -100 dBm/MHz.

Es importante resaltar que la probabilidad de falsa alarma será la misma para cualquier valor de señal WiMAX detectada, únicamente variará si el número de veces que se realiza el ciclo completo de detección (M) varía.

**Si la señal detectada tiene una potencia de -90 dBm/MHz y M=1**

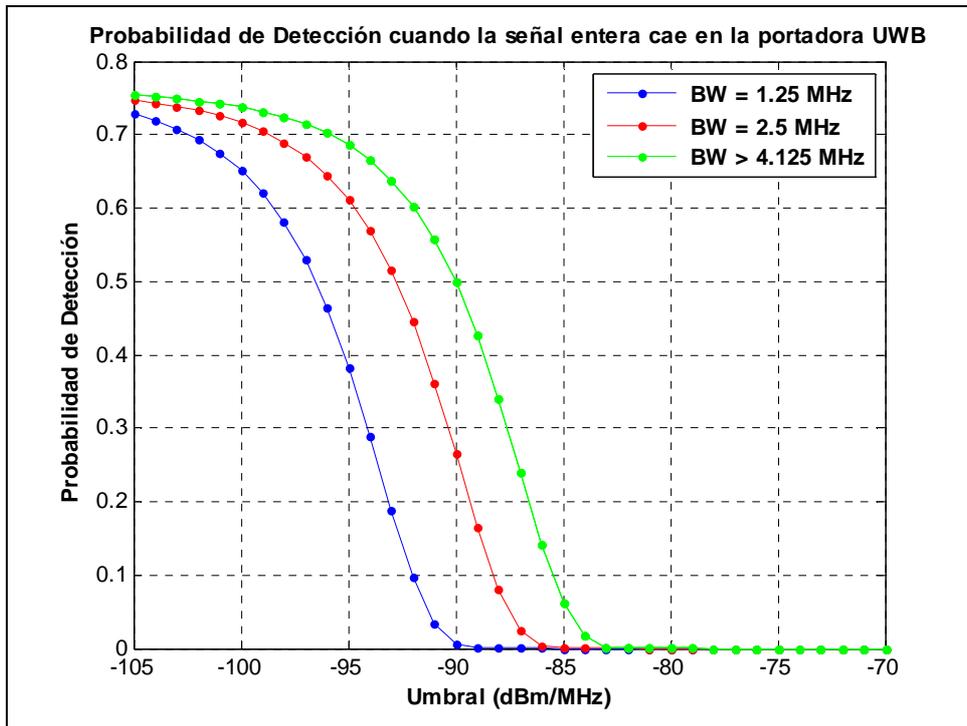


Figura 3.1.11 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -90 dBm/MHz cuando la señal WiMAX entera cae en la portadora MB-OFDM UWB

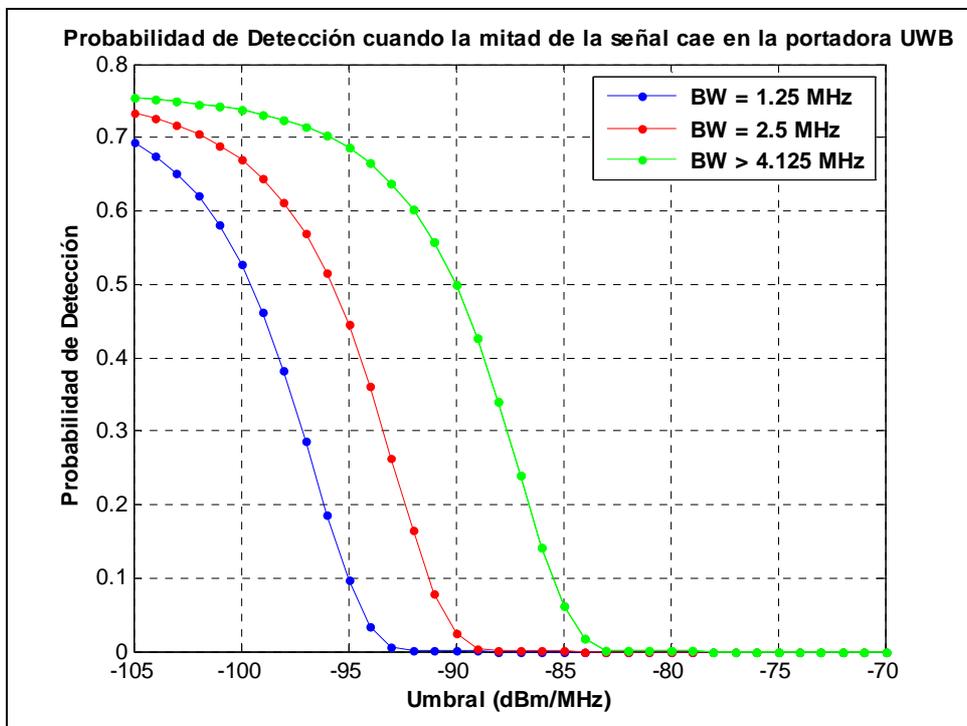


Figura 3.1.12 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -90 dBm/MHz cuando la mitad de la señal WiMAX cae en la portadora MB-OFDM UWB

**Si la señal detectada tiene una potencia de -105 dBm/MHz y M=1**

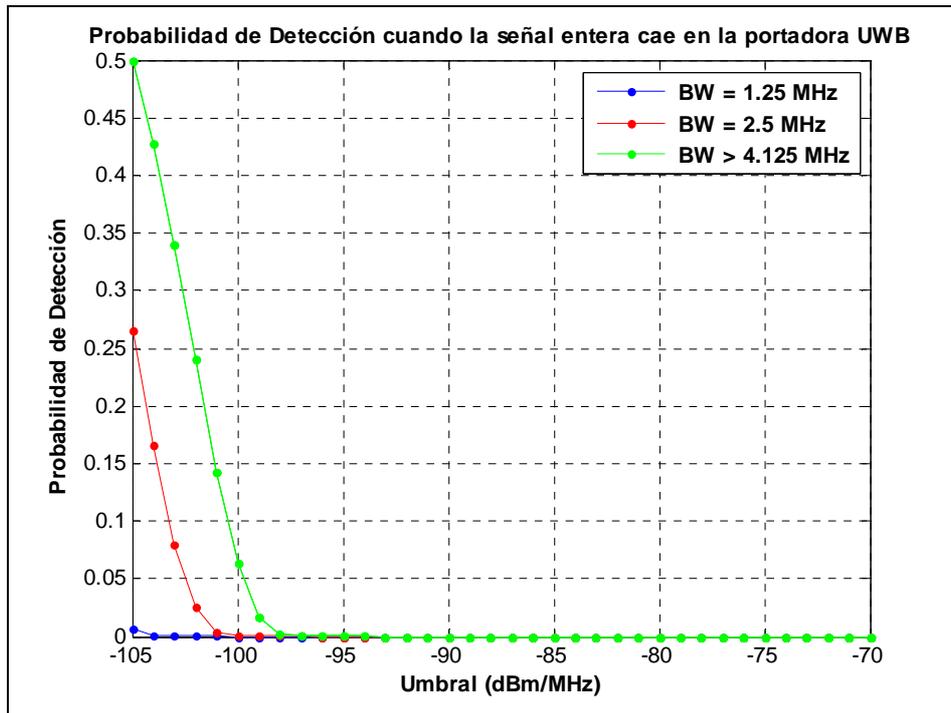


Figura 3.1.13 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -105 dBm/MHz cuando la señal WiMAX entera cae en la portadora MB-OFDM UWB

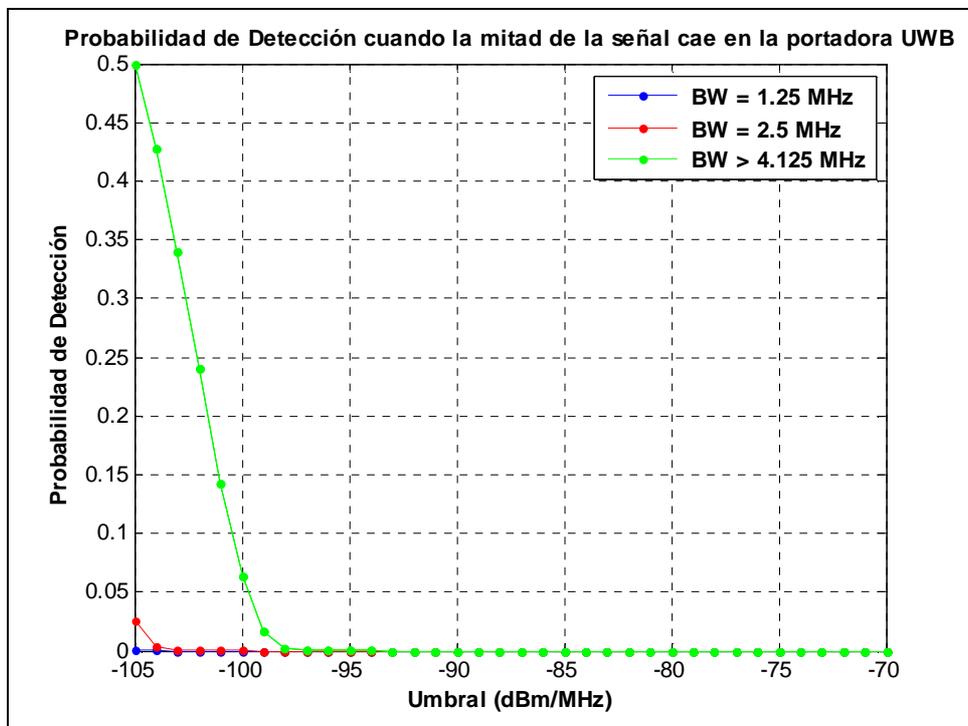


Figura 3.1.14 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -105 dBm/MHz cuando la mitad de la señal WiMAX cae en la portadora MB-OFDM UWB

**Si la señal detectada tiene una potencia de -75 dBm/MHz y  $M=2$**

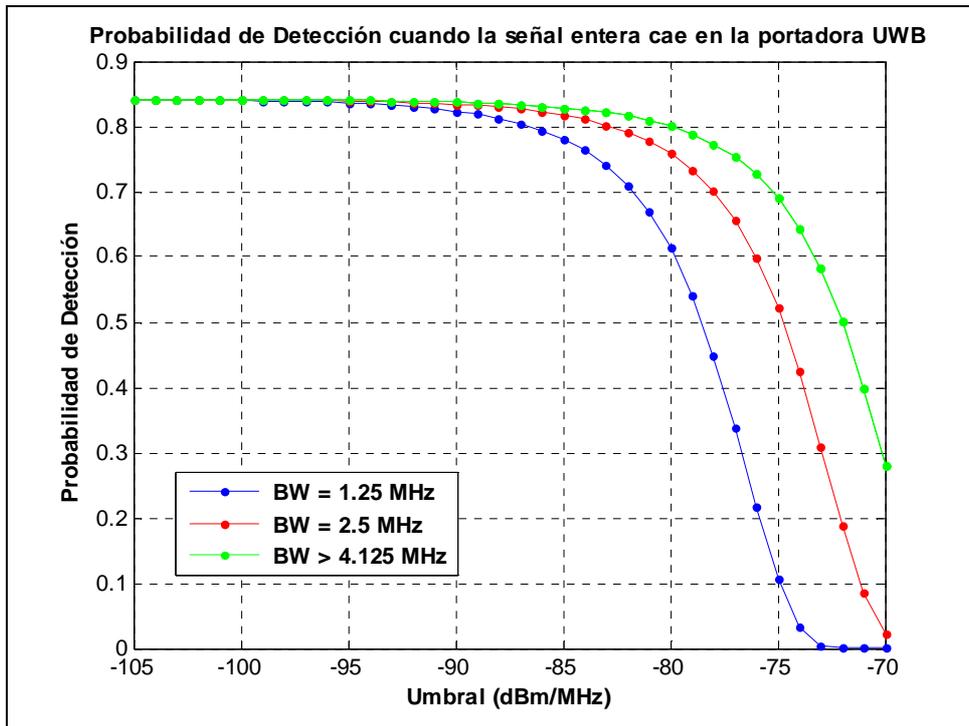


Figura 3.1.15 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -75 dBm/MHz cuando la señal WiMAX entera cae en la portadora MB-OFDM UWB

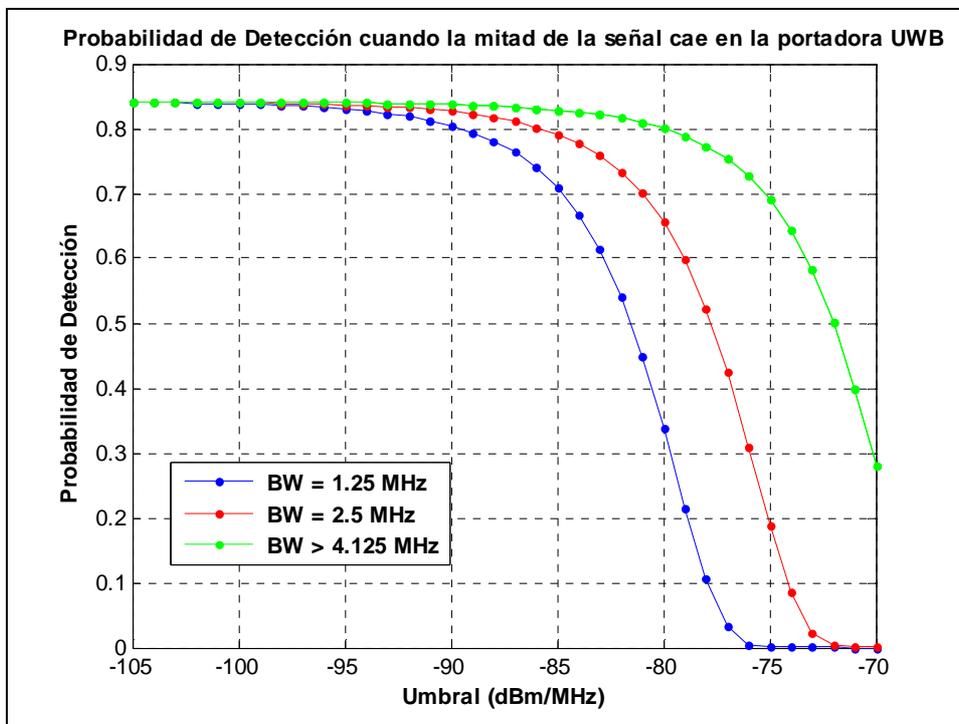


Figura 3.1.16 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -75 dBm/MHz cuando la mitad de la señal WiMAX cae en la portadora MB-OFDM UWB

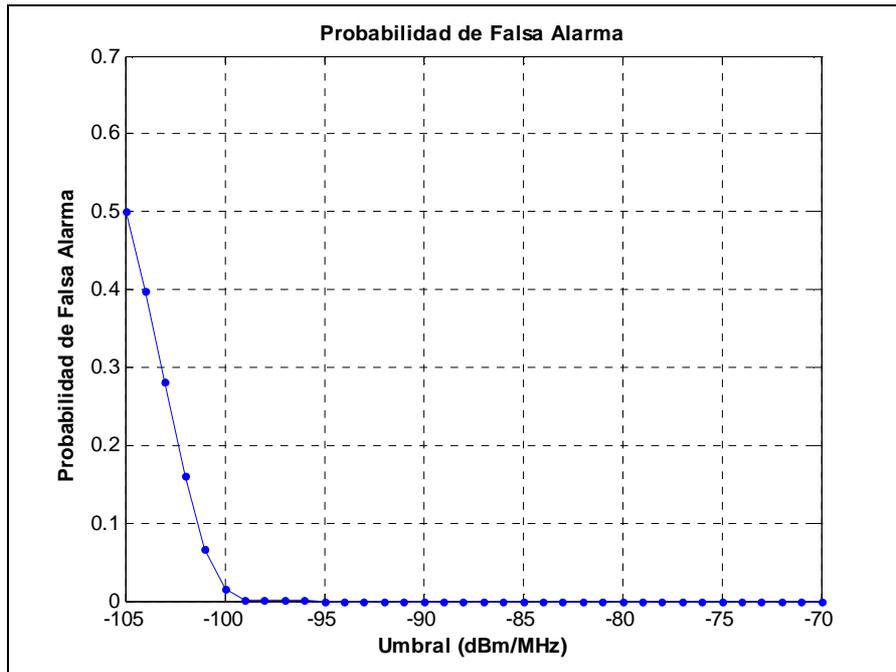


Figura 3.1.17 Probabilidad de Falsa Alarma con M=2

Observamos, que si realizamos el ciclo completo de detección 2 veces, la probabilidad de detección aumenta hasta llegar a un 84% (frente al 75% con M=1) pero también aumenta la probabilidad de falsa alarma, en este caso tendríamos un 50% de probabilidad de detectar falsas alarmas, lo cual, como es evidente no es bueno para nuestro proceso de detección.

**Si la señal detectada tiene una potencia de -90 dBm/MHz y M=2**

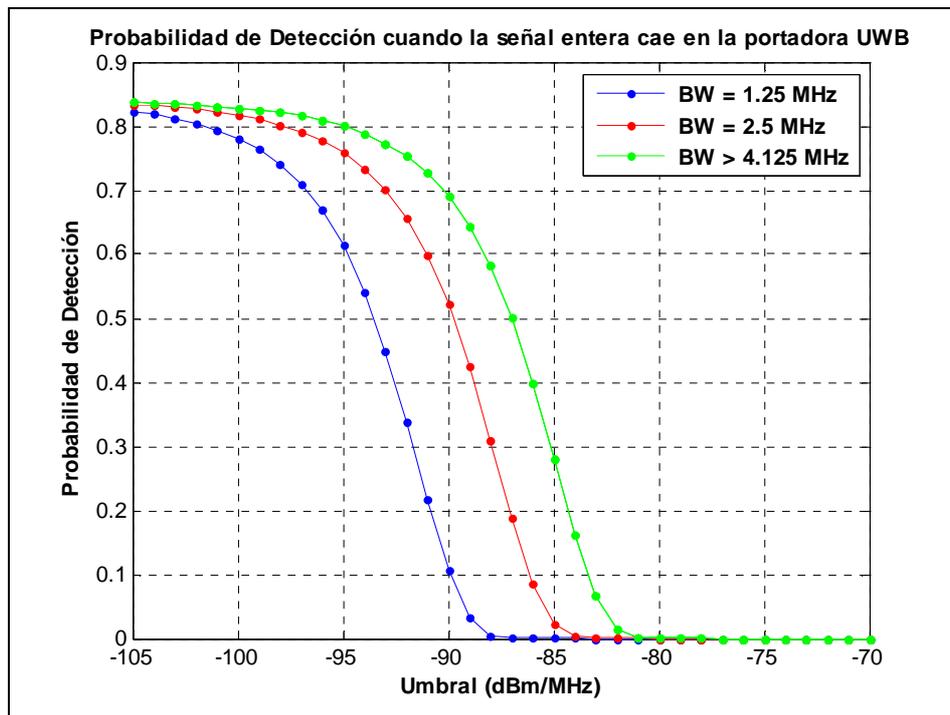


Figura 3.1.18 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -90 dBm/MHz cuando la señal WiMAX entera cae en la portadora MB-OFDM UWB

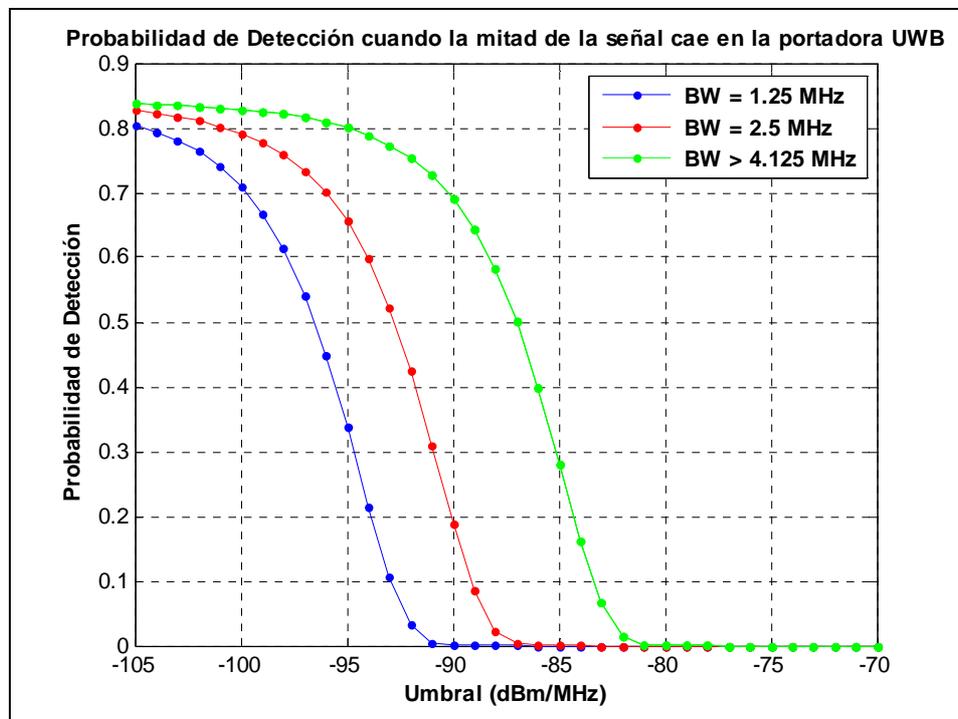


Figura 3.1.19 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -90 dBm/MHz cuando la mitad de la señal WiMAX cae en la portadora MB-OFDM UWB

**Si la señal detectada tiene una potencia de -105 dBm/MHz y M=2**

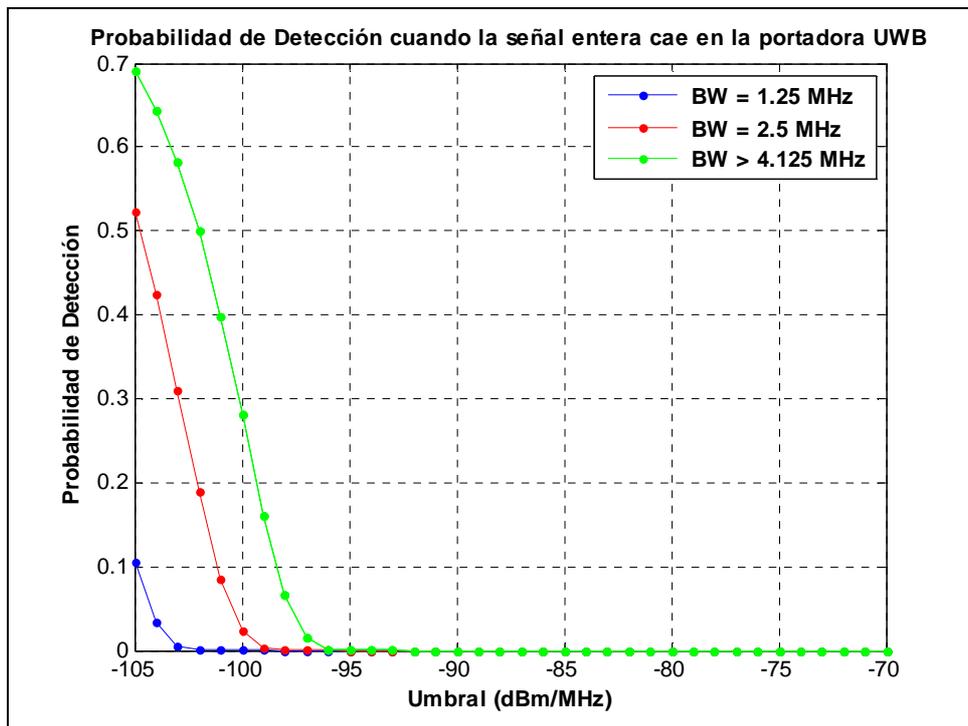


Figura 3.1.20 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -105 dBm/MHz cuando la señal WiMAX entera cae en la portadora MB-OFDM UWB

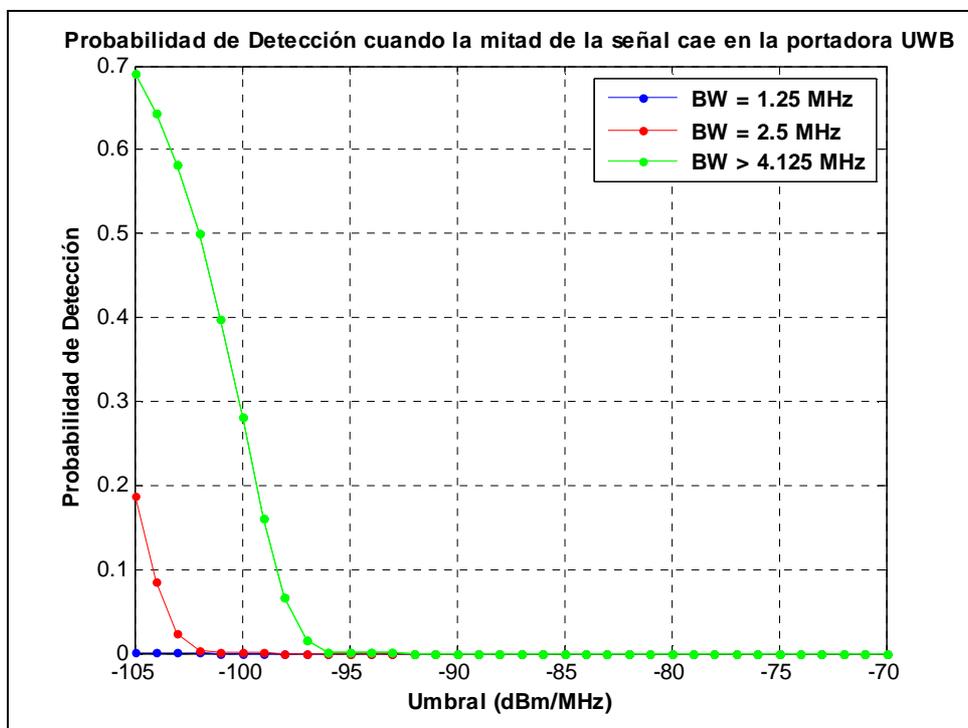


Figura 3.1.21 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -105 dBm/MHz cuando la mitad de la señal WiMAX cae en la portadora MB-OFDM UWB

**Si la señal detectada tiene una potencia de -75 dBm/MHz y  $M=3$**

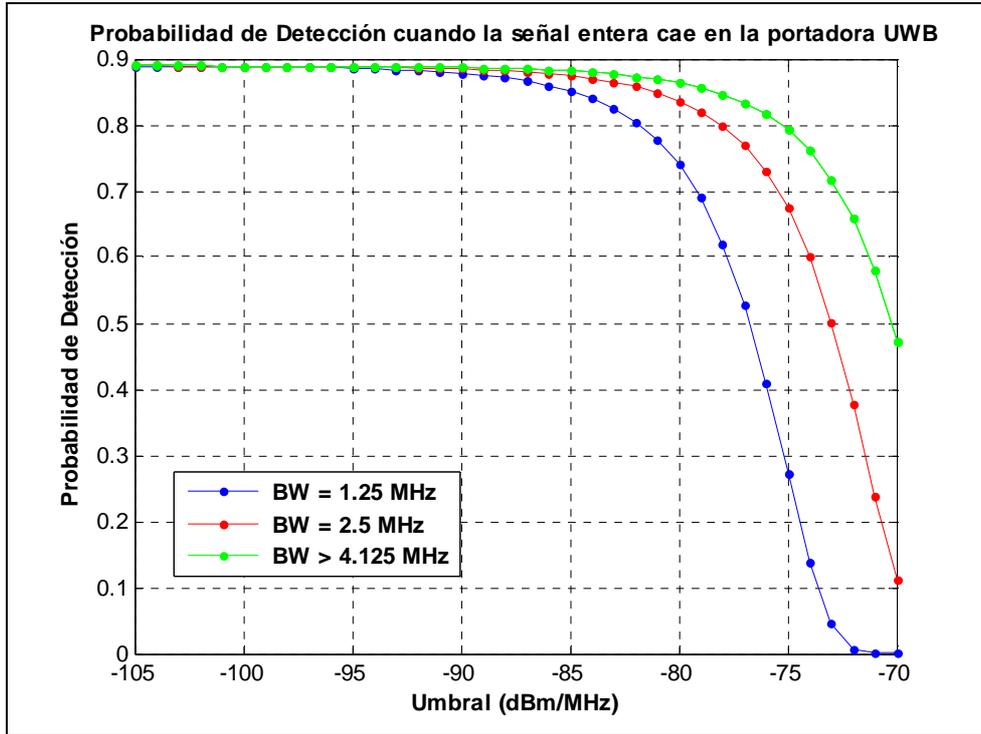


Figura 3.1.22 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -75 dBm/MHz cuando la señal WiMAX entera cae en la portadora MB-OFDM UWB

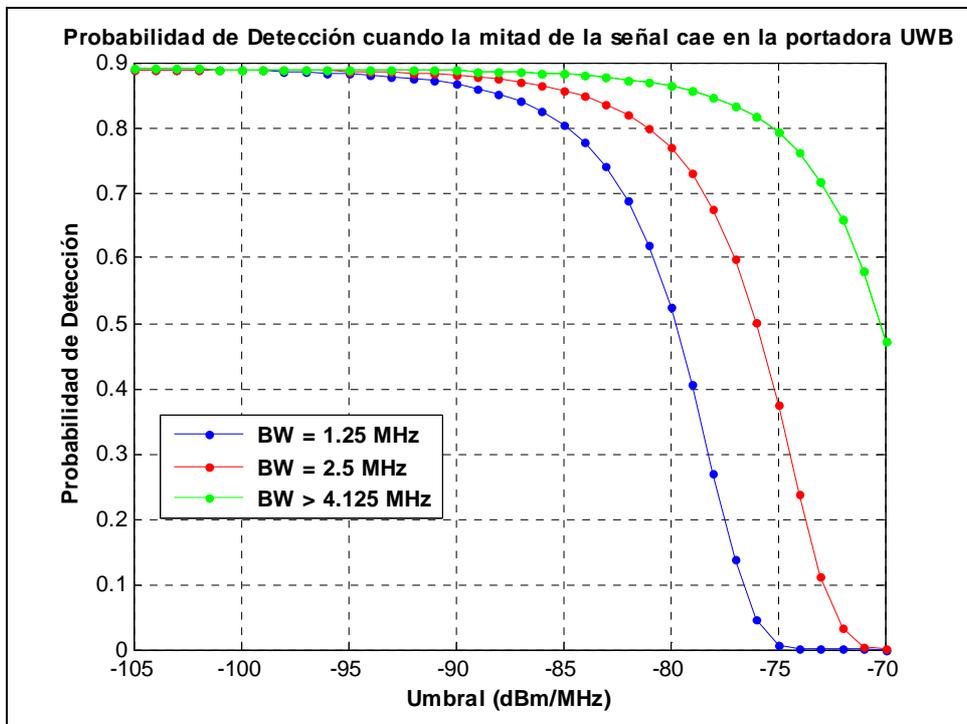


Figura 3.1.23 Probabilidad de Detección con una señal WiMAX de -75 dBm/MHz cuando la mitad de la señal WiMAX cae en la portadora MB-OFDM UWB

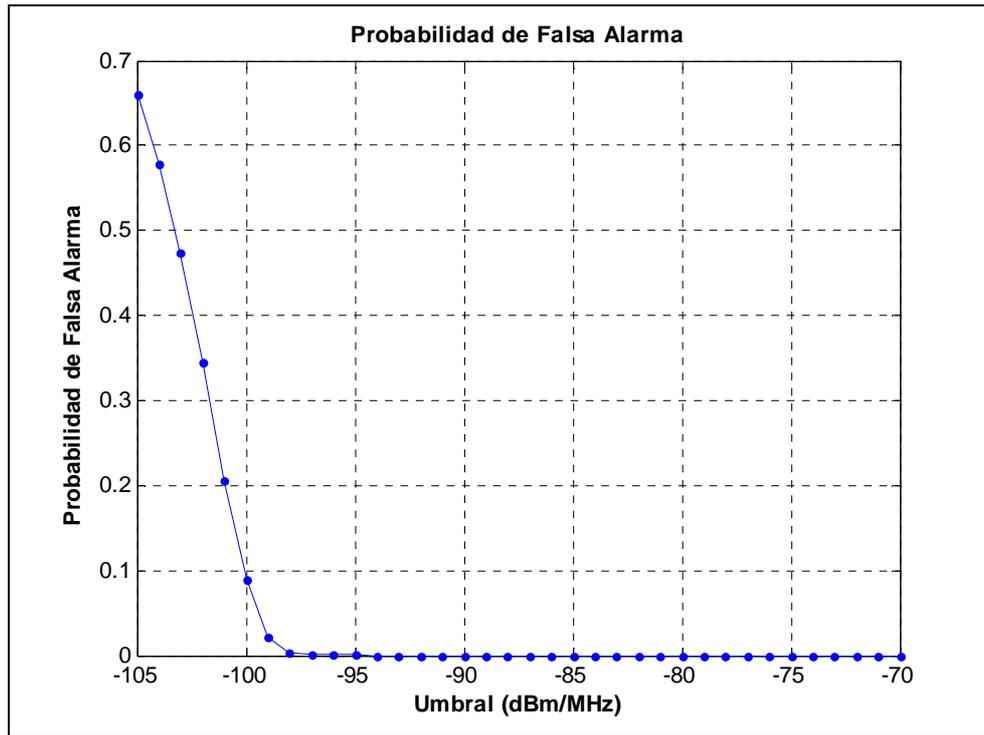


Figura 3.1.24 Probabilidad de Falsa Alarma con M=3

Nuevamente vemos que si aumentamos el número de veces que se realiza el ciclo completo de detección la probabilidad de detección mejora, llegando casi a un 90% pero la probabilidad de falsa alarma también aumenta, llegando en este caso a un 65% (Figuras 3.1.22-3.1.24).

Debemos buscar un equilibrio entre la probabilidad de detección y de falsa alarma que nos permita definir un valor adecuado de M para nuestro sistema de detección.

De esta forma confirmamos, como ya habíamos indicado antes, que el umbral que podemos utilizar en nuestro estudio y que nos dará suficiente información está definido entre -70 y -105 dBm/MHz.

### 3.2 Resultados de la detección

Hemos visto en el apartado anterior que debemos buscar un equilibrio entre las probabilidades de detección, de falsa alarma y el número de veces que nuestro receptor UWB realizará un ciclo completo de detección (M).

A continuación exponemos los resultados obtenidos para distintos niveles de potencia de señal WiMAX, distintos anchos de banda WiMAX, y el número de portadoras percibidas (Fase 1) y detectadas (Fase 2) del proceso de detección.

Debido a las características del receptor UWB (expuestas en el Capítulo 3), en la primera fase siempre se percibirá el mismo número de portadoras (Figuras 4.1.1 y 4.1.2)

En la segunda fase (detección) la decisión de si es una portadora que se solapa con la señal WiMAX o no dependerá de un valor umbral de probabilidad que establezcamos. A continuación veremos los resultados de establecer esa probabilidad de decisión mayor que 0.5 ó 0.8

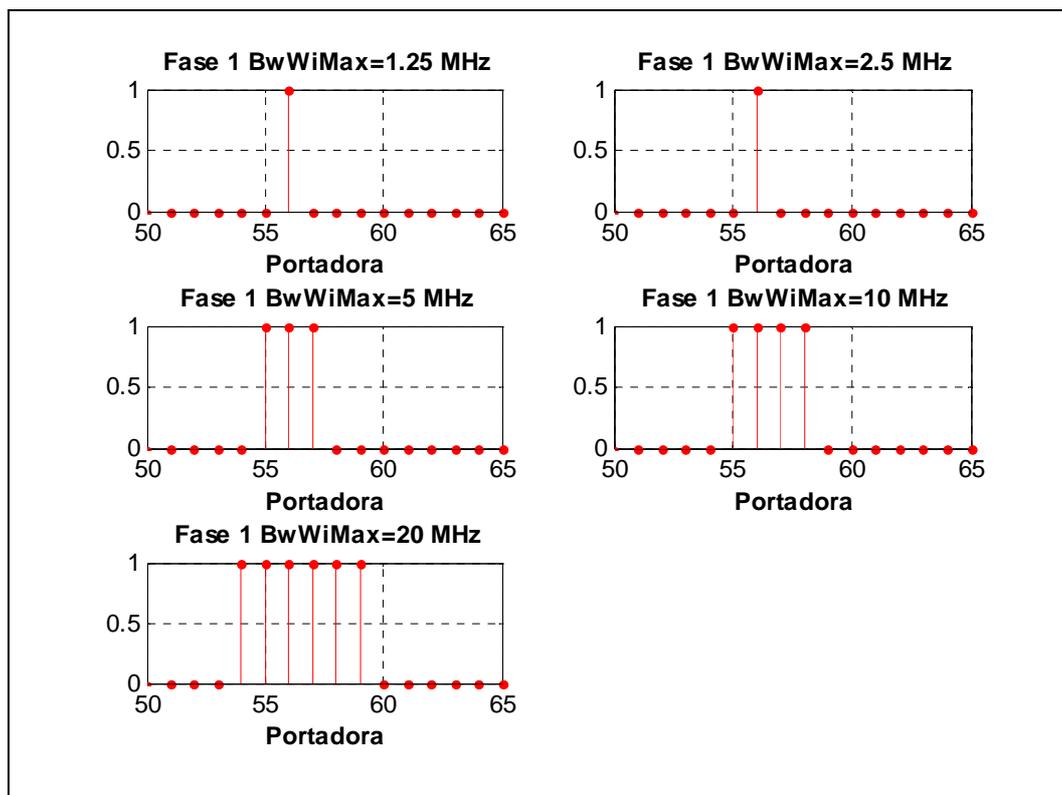


Figura 3.2.1 Portadoras percibidas Bw= 1.25, 2.5, 5, 10 y 20 MHz

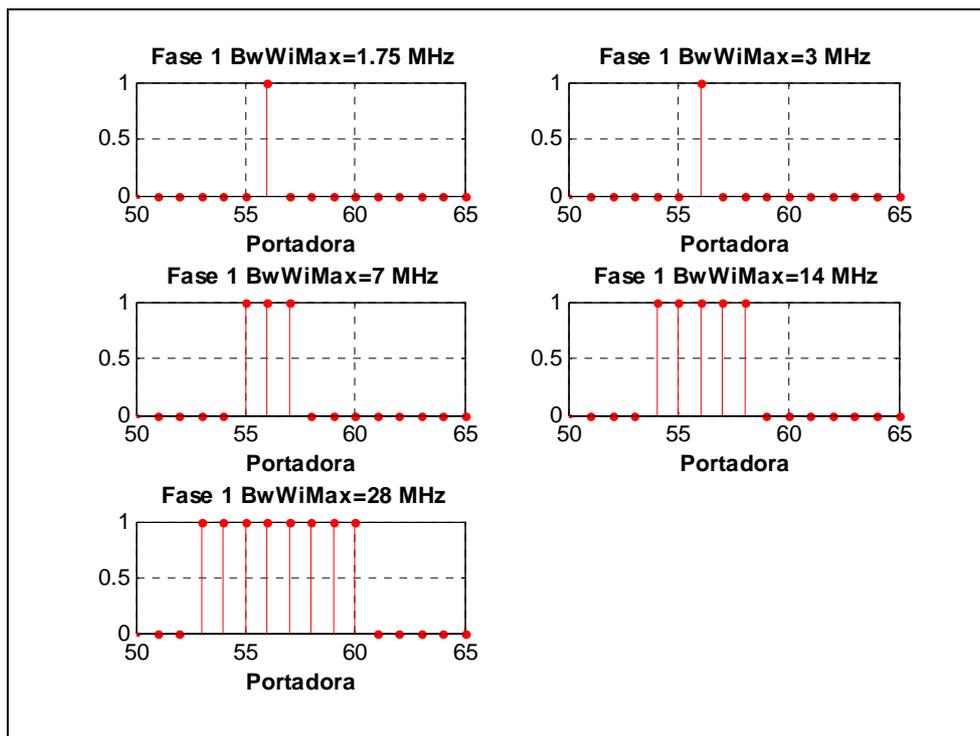


Figura 3.2.2 Portadoras percibidas Bw= 1.75, 3.5, 7, 14 y 28 MHz

### 3.2.1 Señal WiMAX de -70 dBm/MHz

#### 3.2.1.1 M=1

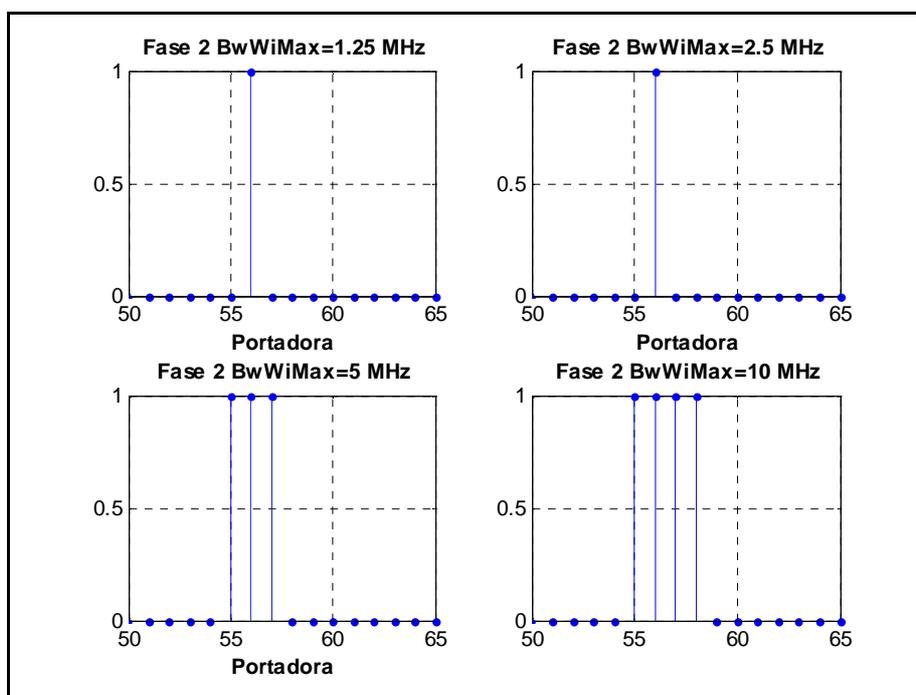


Figura 3.2.3 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=1

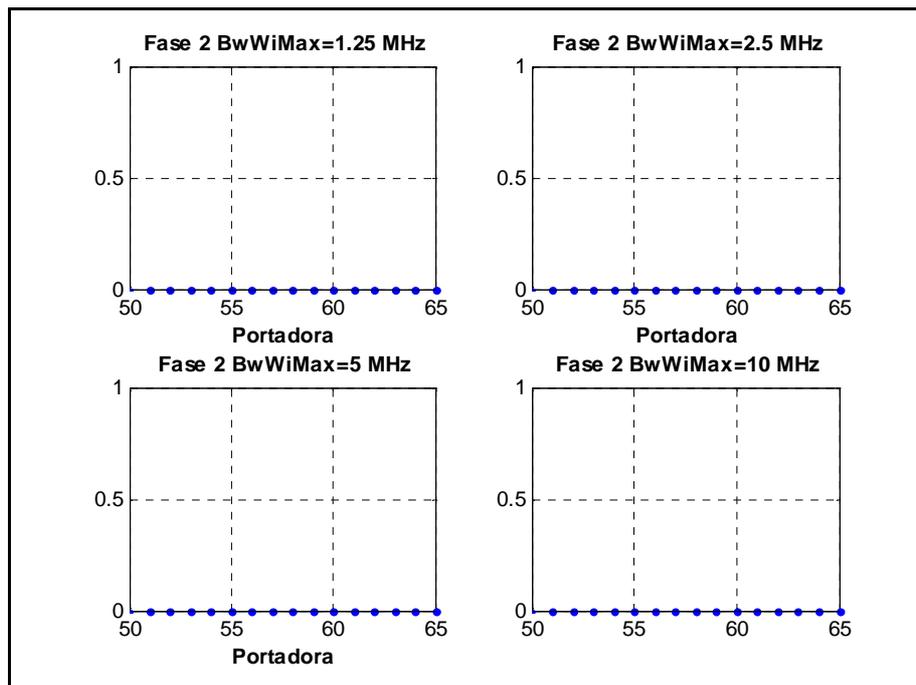


Figura 3.2.4 Portadoras detectadas estableciendo  $P_d > 0.8$   $M=1$

Tabla 3.2.1 Portadoras percibidas y detectadas con señal WiMAX de -70 dBm/MHz y  $M=1$

<b>M=1</b>					
<b>-70 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b><math>P_{dport}</math></b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	1
	1.25	3405	0.5	1	1
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	3
	5	3405	0.5	3	3
	5	3400	0.8	3	0
	5	3405	0.8	3	0
	10	3400	0.5	4	4
10	3405	0.5	4	4	
10	3400	0.8	4	0	
10	3405	0.8	4	0	

### 3.2.1.2 M=2

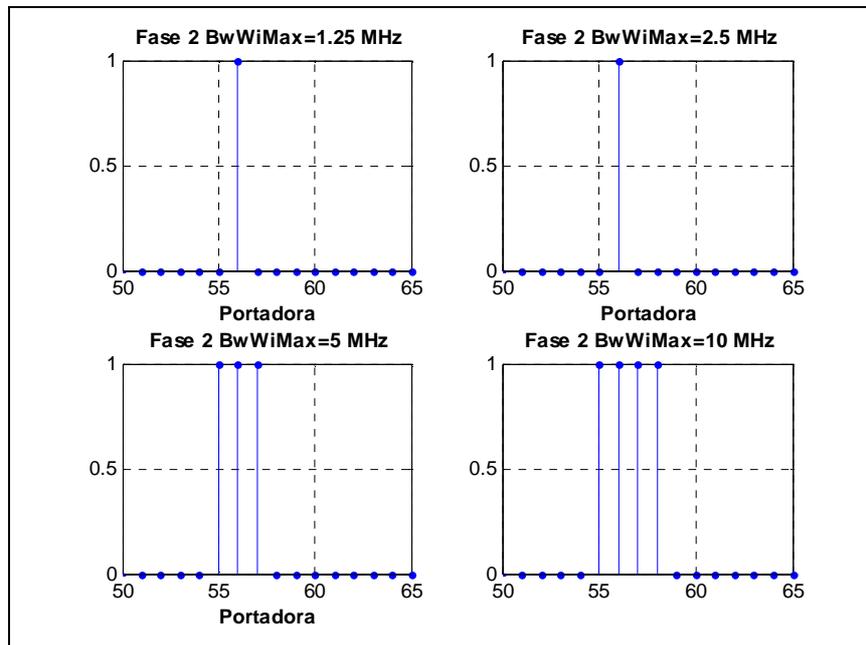


Figura 3.2.5 Portadoras detectadas estableciendo  $P_d > 0.5$  o  $P_d > 0.8$  y  $M=2$

Tabla 3.2.2 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -70 dBm/MHz y  $M=2$

<b>M=2</b>					
	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b><math>P_{dport}</math></b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
<b>-70 dBm/MHz</b>	1.25	3400	0.5	1	1
	1.25	3405	0.5	1	1
	1.25	3400	0.8	1	1
	1.25	3405	0.8	1	1
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	1
	2.5	3405	0.8	1	1
	5	3400	0.5	3	3
	5	3405	0.5	3	3
	5	3400	0.8	3	3
	5	3405	0.8	3	3
	10	3400	0.5	4	4
	10	3405	0.5	4	4
	10	3400	0.8	4	4
	10	3405	0.8	4	4

### 3.2.2 Señal WiMAX de -75 dBm/MHz

#### 3.2.2.1 M=1

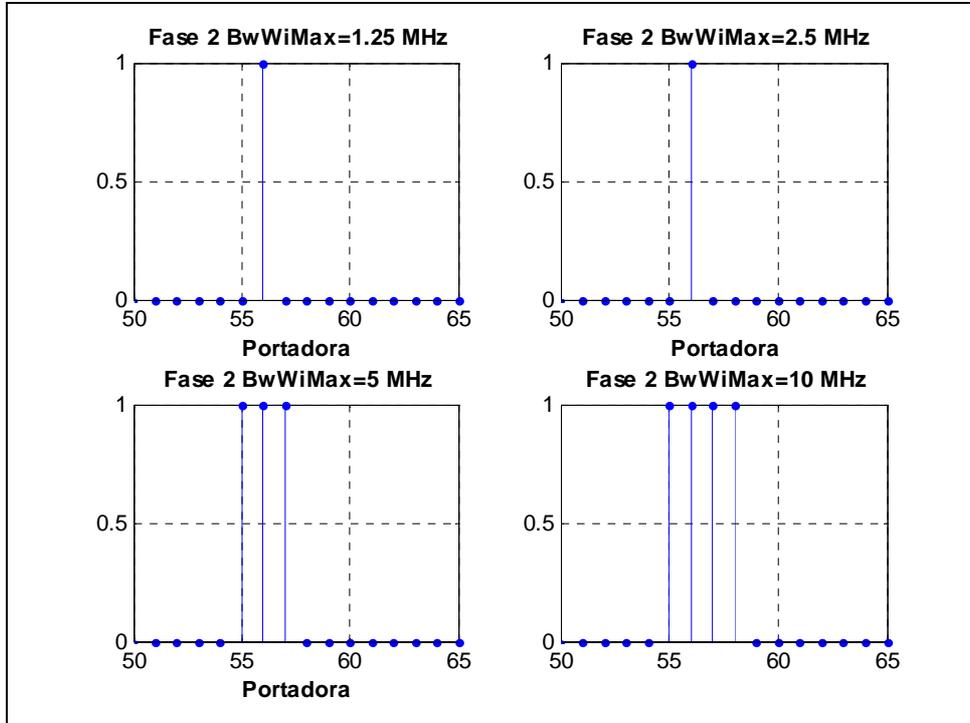


Figura 3.2.6 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=1

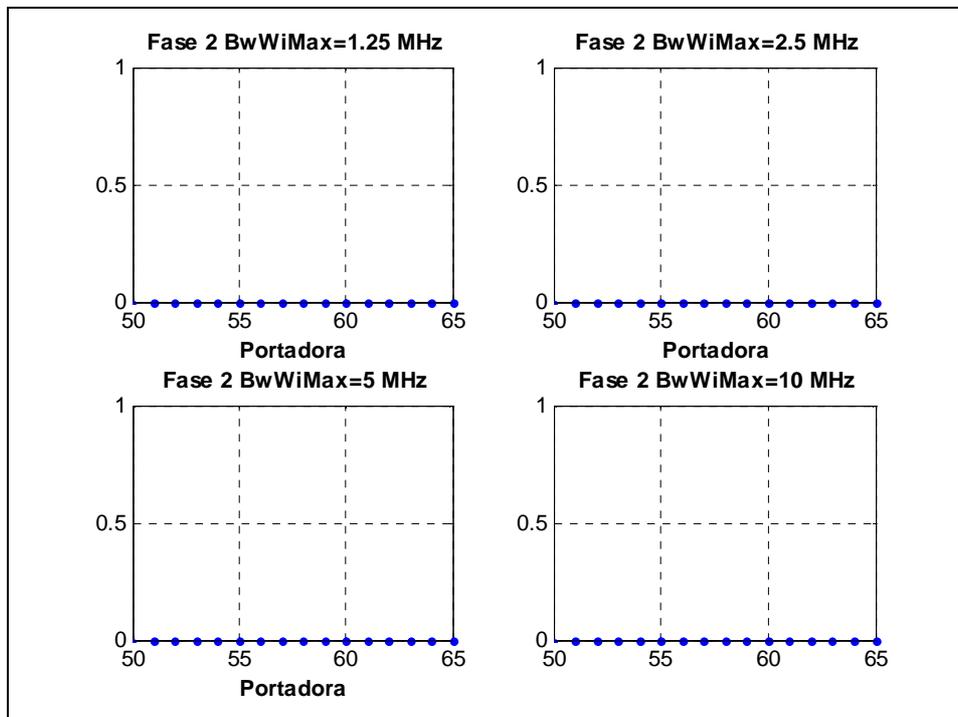


Figura 3.2.7 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=1

Tabla 3.2.3 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -75 dBm/MHz y M=1

<b>M=1</b>					
<b>-75 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>P<sub>dport</sub></b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	1
	1.25	3405	0.5	1	1
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	3
5	3405	0.5	3	3	
5	3400	0.8	3	0	
5	3405	0.8	3	0	
10	3400	0.5	4	4	
10	3405	0.5	4	4	
10	3400	0.8	4	0	
10	3405	0.8	4	0	

### 3.2.2.2 M=2

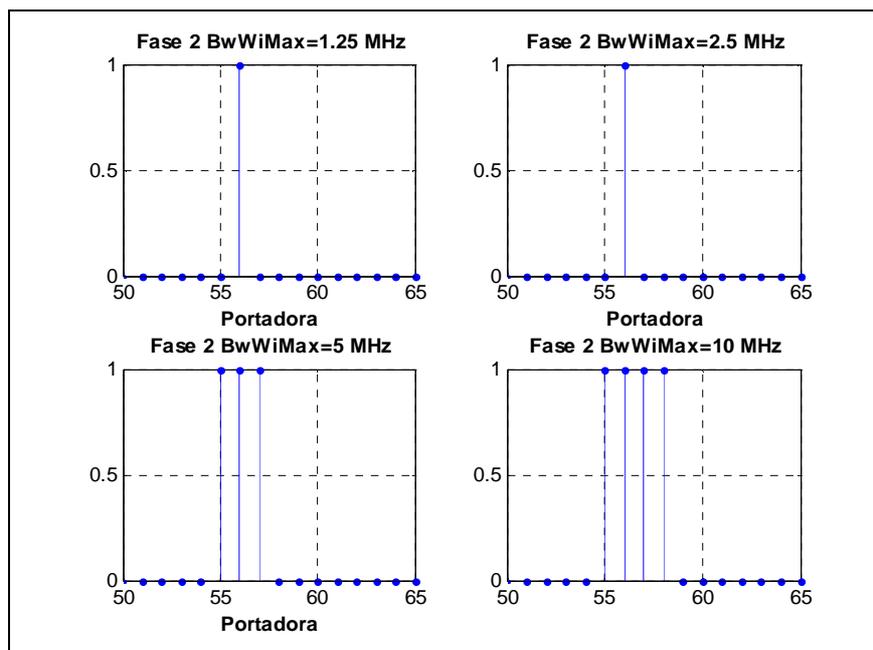


Figura 3.2.8 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 ó Pd>0.8 M=2

Tabla 3.2.4 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -75 dBm/MHz y M=2

<b>M=2</b>					
<b>-75 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>P<sub>dport</sub></b>	<b>Número portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	1
	1.25	3405	0.5	1	1
	1.25	3400	0.8	1	1
	1.25	3405	0.8	1	1
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	1
	2.5	3405	0.8	1	1
	5	3400	0.5	3	3
	5	3405	0.5	3	3
	5	3400	0.8	3	3
	5	3405	0.8	3	3
	10	3400	0.5	4	4
	10	3405	0.5	4	4
	10	3400	0.8	4	4
10	3405	0.8	4	4	

### 3.2.3 Señal WiMAX de -80 dBm/MHz

#### 3.2.3.1 M=1

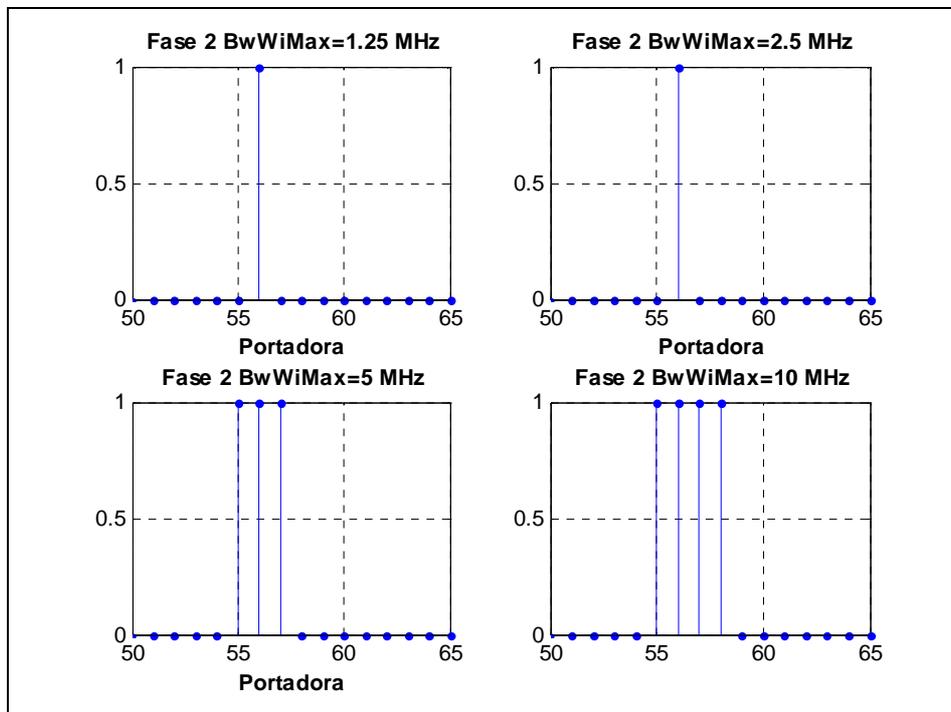


Figura 3.2.9 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=1

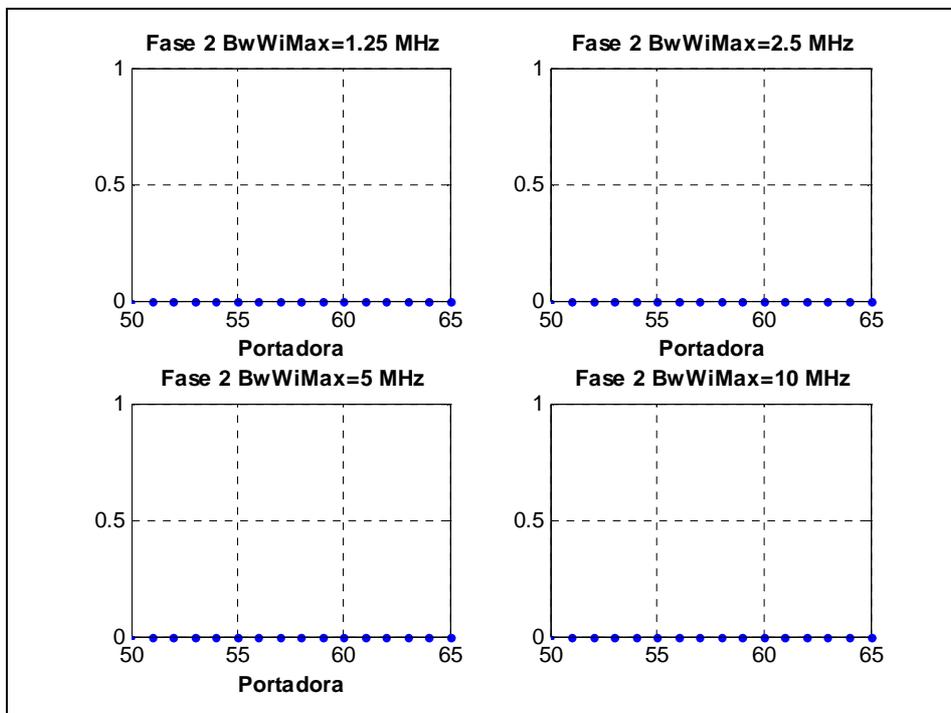


Figura 3.2.10 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=1

Tabla 3.2.5 Portadoras percibidas y detectadas con señal WiMAX de -80 dBm/MHz y M=1

<b>M=1</b>						
<b>-80 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>P<sub>dport</sub></b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>	
		1.25	3400	0.5	1	1
		1.25	3405	0.5	1	1
		1.25	3400	0.8	1	0
		1.25	3405	0.8	1	0
		2.5	3400	0.5	1	1
		2.5	3405	0.5	1	1
		2.5	3400	0.8	1	0
		2.5	3405	0.8	1	0
		5	3400	0.5	3	3
	5	3405	0.5	3	3	
	5	3400	0.8	3	0	
	5	3405	0.8	3	0	
	10	3400	0.5	4	4	
	10	3405	0.5	4	4	
	10	3400	0.8	4	0	
	10	3405	0.8	4	0	

### 3.2.3.2 M=2

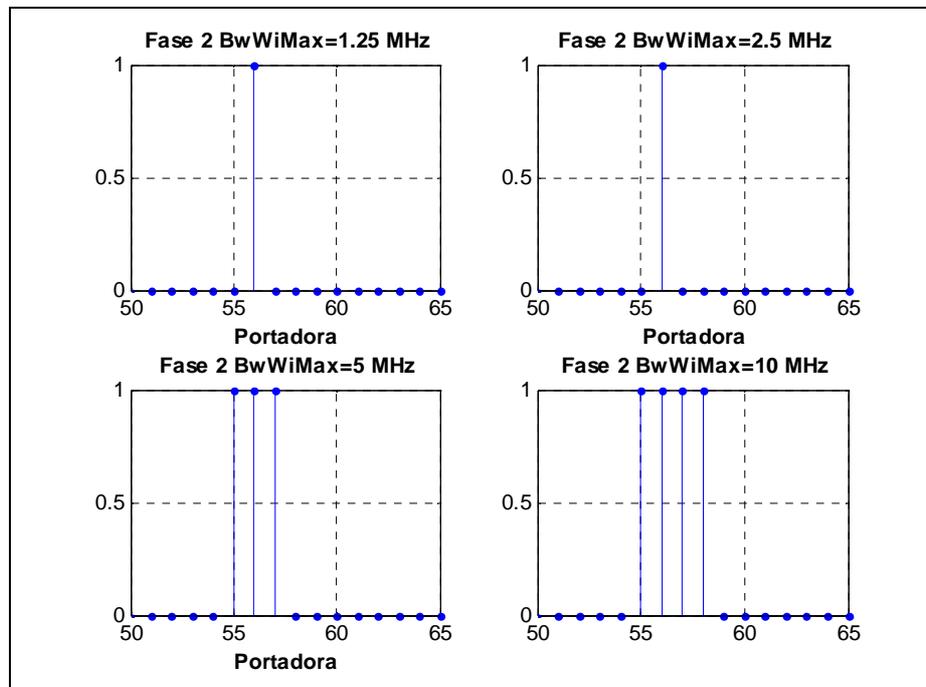


Figura 3.2.11 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 ó Pd>0.8 M=2

Tabla 3.2.6 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -80 dBm/MHz y M=2

<b>M=2</b>					
<b>-80 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>P<sub>dport</sub></b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	1
	1.25	3405	0.5	1	1
	1.25	3400	0.8	1	1
	1.25	3405	0.8	1	1
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	1
	2.5	3405	0.8	1	1
	5	3400	0.5	3	3
	5	3405	0.5	3	3
	5	3400	0.8	3	3
	5	3405	0.8	3	3
	10	3400	0.5	4	4
	10	3405	0.5	4	4
	10	3400	0.8	4	4
10	3405	0.8	4	4	

### 3.2.4 Señal WiMAX de -85 dBm/MHz

#### 3.2.4.1 M=1

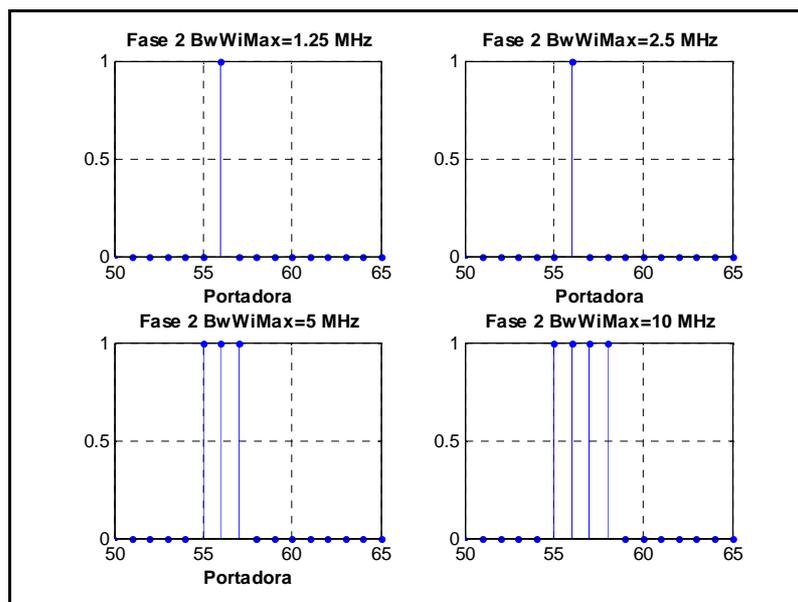


Figura 3.2.12 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=1

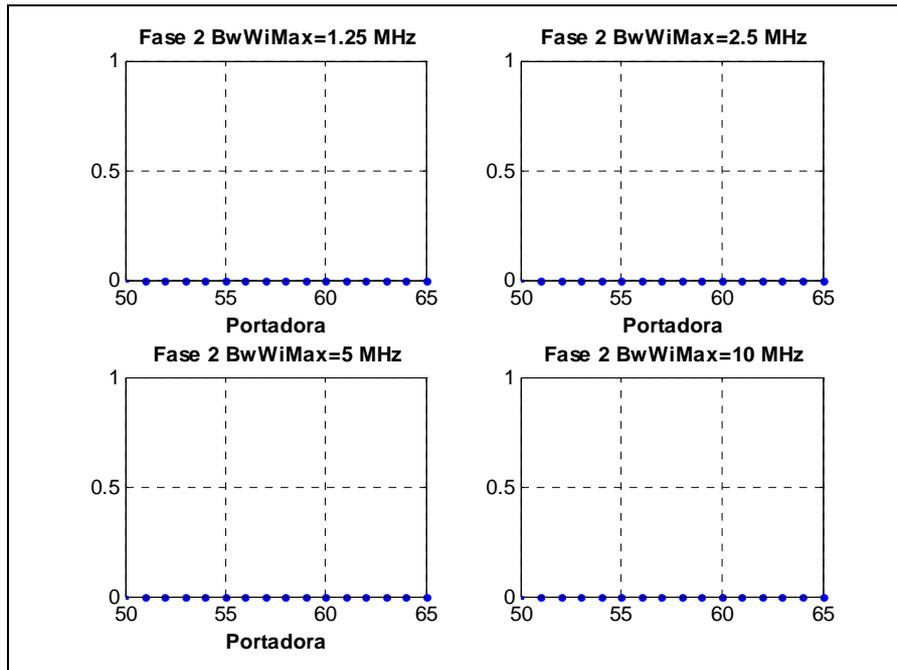


Figura 3.2.13 Portadoras detectadas estableciendo  $P_d > 0.8$   $M=1$

Tabla 3.2.7 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -85 dBm/MHz y  $M=1$

<b>M=1</b>					
	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b><math>P_{dport}</math></b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	<b>-85 dBm/MHz</b>	1.25	3400	0.5	1
1.25		3405	0.5	1	1
1.25		3400	0.8	1	0
1.25		3405	0.8	1	0
2.5		3400	0.5	1	1
2.5		3405	0.5	1	1
2.5		3400	0.8	1	0
2.5		3405	0.8	1	0
5		3400	0.5	3	3
5		3405	0.5	3	3
5		3400	0.8	3	0
5		3405	0.8	3	0
10		3400	0.5	4	4
10		3405	0.5	4	4
10		3400	0.8	4	0
10		3405	0.8	4	0

### 3.2.4.2 M=2

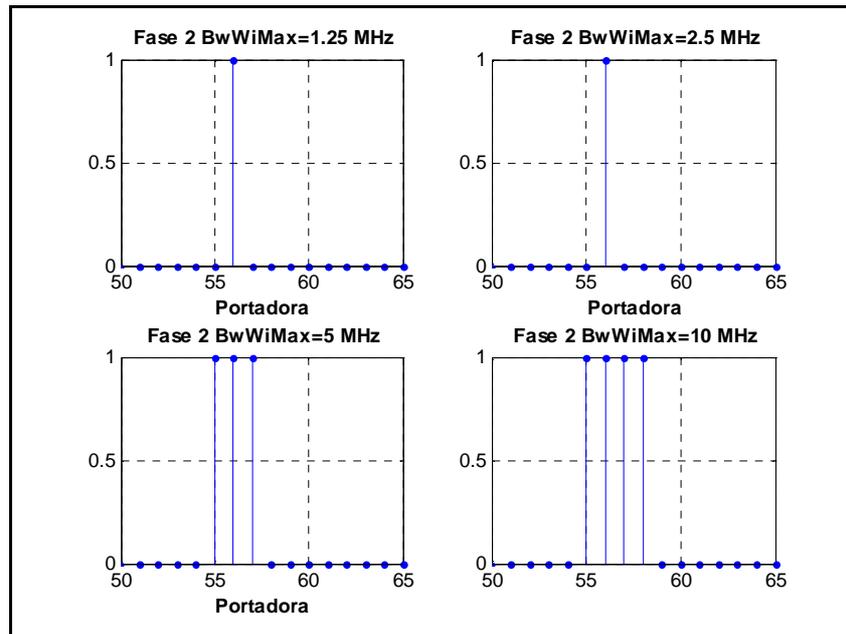


Figura 3.2.14 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 ó Pd>0.8 M=2

Tabla 3.2.8 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -85 dBm/MHz y M=2

<b>M=2</b>					
	Bw	Fc		Número de	Número de
	Nominal (MHz)	WiMAX (MHz)	P <sub>dport</sub>	portadoras detectadas	portadoras detectadas
<b>-85 dBm/MHz</b>	1.25	3400	0.5	1	1
	1.25	3405	0.5	1	1
	1.25	3400	0.8	1	1
	1.25	3405	0.8	1	1
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	1
	2.5	3405	0.8	1	1
	5	3400	0.5	3	3
	5	3405	0.5	3	3
	5	3400	0.8	3	3
	5	3405	0.8	3	3
	10	3400	0.5	4	4
	10	3405	0.5	4	4
	10	3400	0.8	4	4
	10	3405	0.8	4	4

### 3.2.5 Señal WiMAX de -90 dBm/MHz

#### 3.2.5.1 M=1

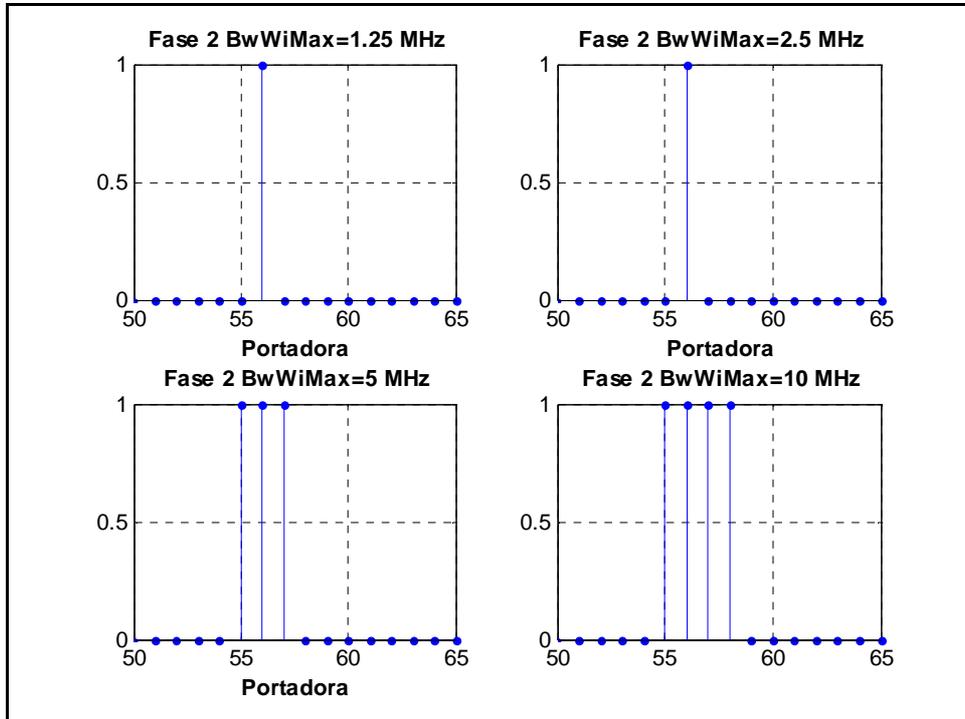


Figura 3.2.15 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=1

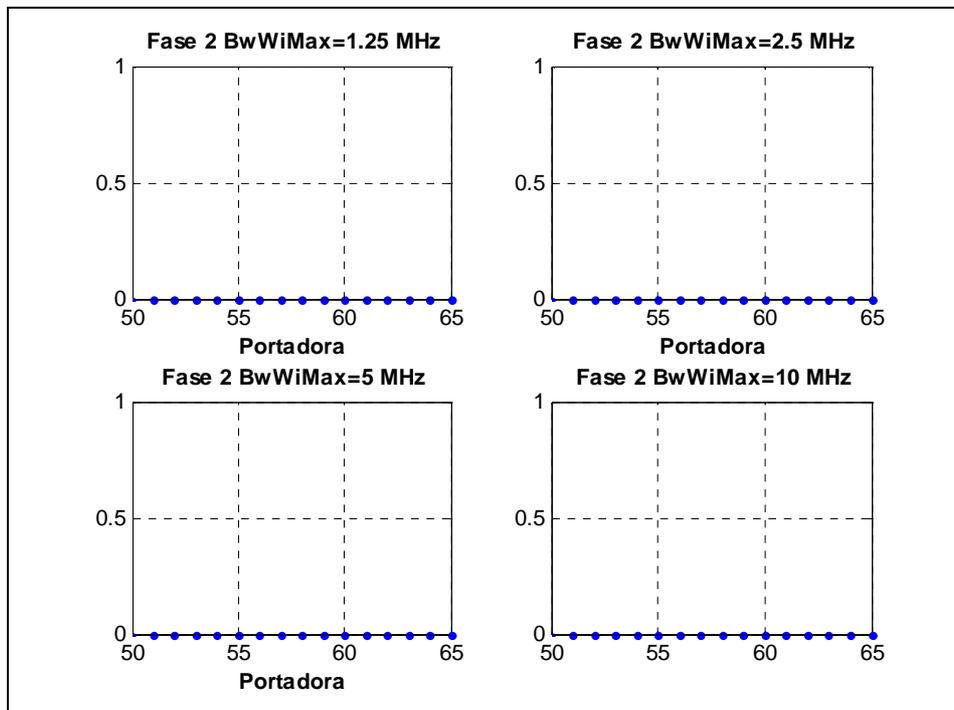


Figura 3.2.16 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=1

Tabla 3.2.9 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -90 dBm/MHz y M=1

<b>M=1</b>					
<b>-90 dBm/MHz</b>	Bw Nominal (MHz)	Fc WiMAX (MHz)	$P_{dport}$	Número de portadoras detectadas	Número de portadoras detectadas
	1.25	3400	0.5	1	1
	1.25	3405	0.5	1	1
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	3
	5	3405	0.5	3	3
	5	3400	0.8	3	0
	5	3405	0.8	3	0
	10	3400	0.5	4	4
	10	3405	0.5	4	4
10	3400	0.8	4	0	
10	3405	0.8	4	0	

### 3.2.5.2 M=2

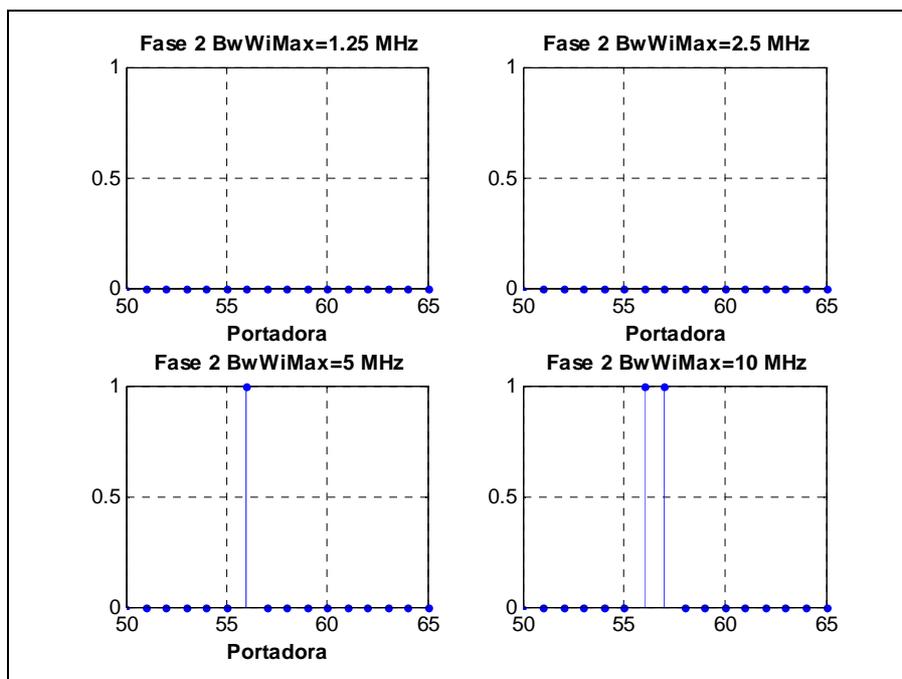


Figura 3.2.17 Portadoras detectadas estableciendo  $P_d > 0.8$  M=2

Tabla 3.2.10 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -90 dBm/MHz y M=2

<b>M=2</b>					
<b>-90 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>P<sub>dport</sub></b>	<b>Número portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	1
	1.25	3405	0.5	1	1
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	3
	5	3405	0.5	3	3
	5	3400	0.8	3	1
	5	3405	0.8	3	1
	10	3400	0.5	4	4
	10	3405	0.5	4	4
10	3400	0.8	4	2	
10	3405	0.8	4	2	

### 3.2.5.3 M=3

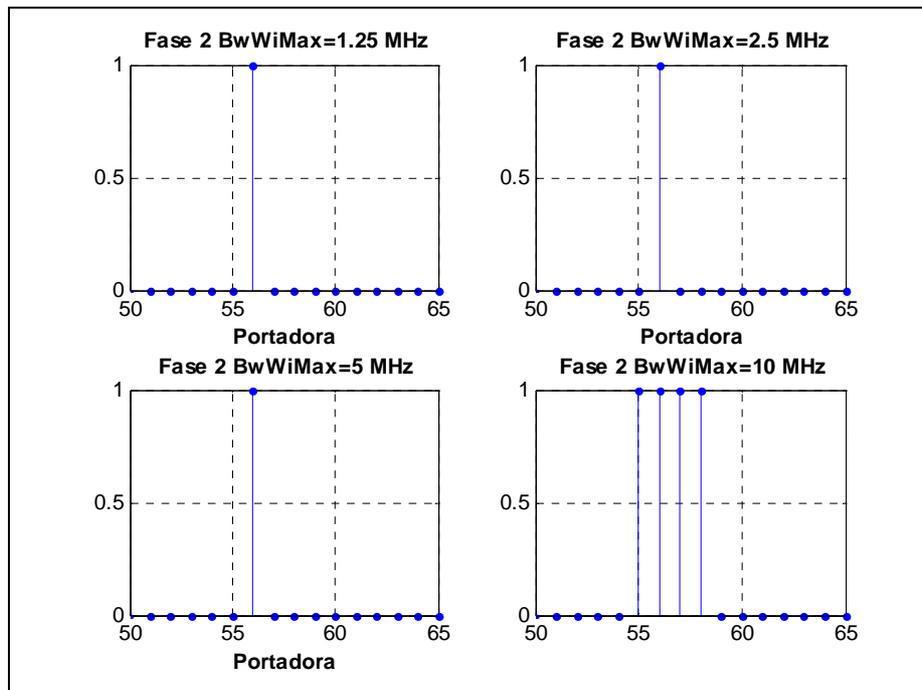


Figura 3.2.18 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=3

Tabla 3.2.11 Portadoras percibidas detectadas con una señal WiMAX de -90 dBm/MHz y M=3

<b>M=3</b>						
<b>-90 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal</b>	<b>Fc WiMAX</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>	
		1.25	3400	0.5	1	1
		1.25	3405	0.5	1	1
		1.25	3400	0.8	1	1
		1.25	3405	0.8	1	1
		2.5	3400	0.5	1	1
		2.5	3405	0.5	1	1
		2.5	3400	0.8	1	1
		2.5	3405	0.8	1	1
		5	3400	0.5	3	3
		5	3405	0.5	3	3
		5	3400	0.8	3	1
		5	3405	0.8	3	1
		10	3400	0.5	4	4
		10	3405	0.5	4	4
	10	3400	0.8	4	4	
	10	3405	0.8	4	4	

### 3.2.6 Señal WiMAX de -95 dBm/MHz

#### 3.2.6.1 M=1

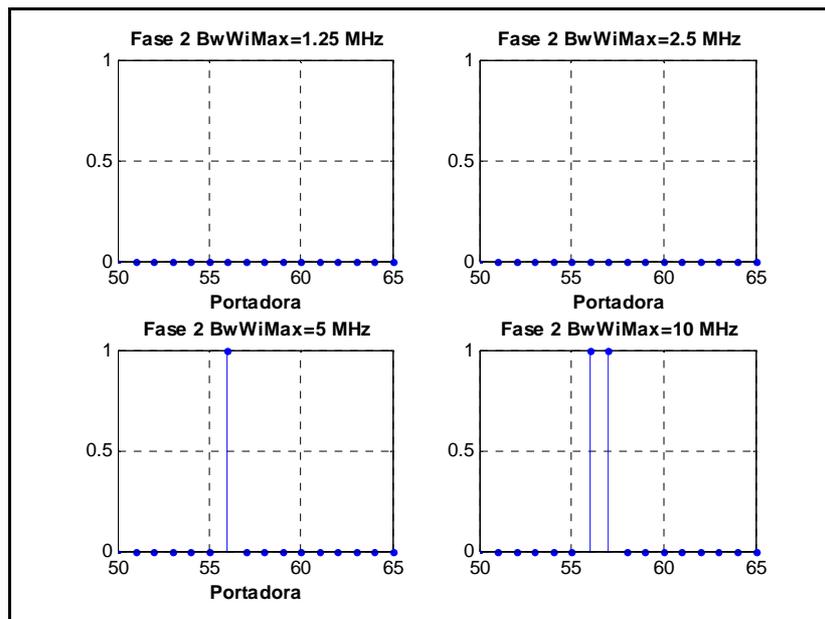


Figura 3.2.19 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=1

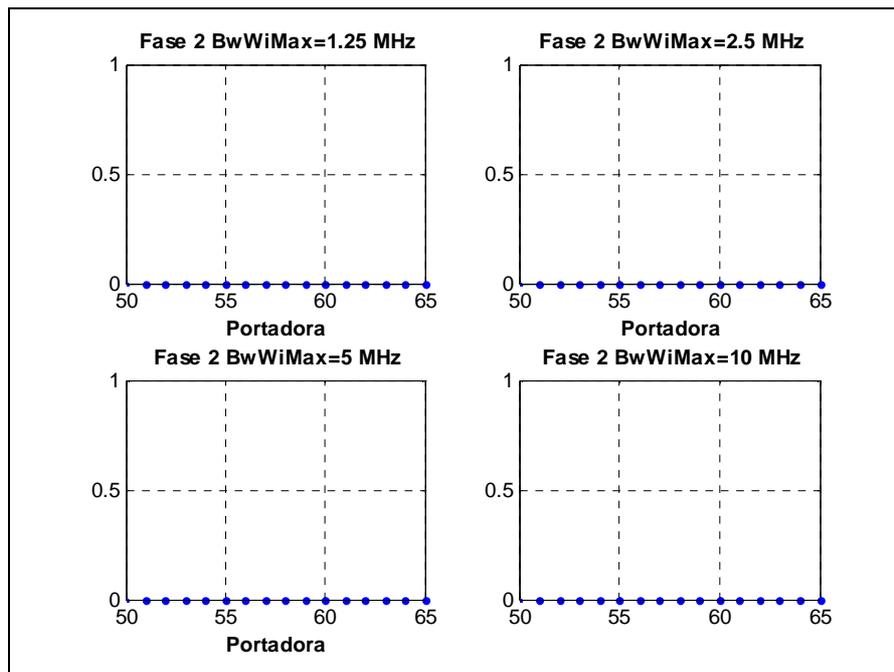


Figura 3.2.20 Portadoras detectadas estableciendo  $P_d > 0.8$   $M=1$

Tabla 3.2.12 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -95 dBm/MHz y  $M=1$

<b>M=1</b>					
	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>		<b>Número de posibles portadoras detectadas</b>	<b>Número de portadoras verdaderamente detectadas</b>
			<b><math>P_{dport}</math></b>		
<b>-95 dBm/MHz</b>	1.25	3400	0.5	1	0
	1.25	3405	0.5	1	0
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	0
	2.5	3405	0.5	1	0
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	1
	5	3405	0.5	3	1
	5	3400	0.8	3	0
	5	3405	0.8	3	0
	10	3400	0.5	4	2
	10	3405	0.5	4	2
	10	3400	0.8	4	0
	10	3405	0.8	4	0

### 3.2.6.2 M=2

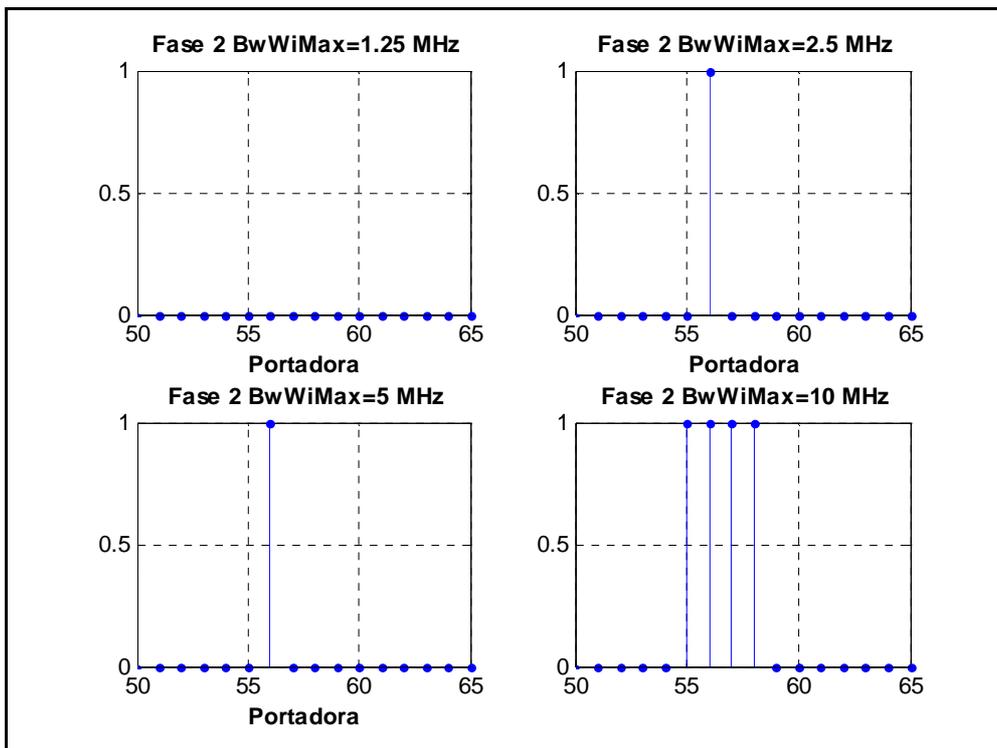


Figura 3.2.21 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=2

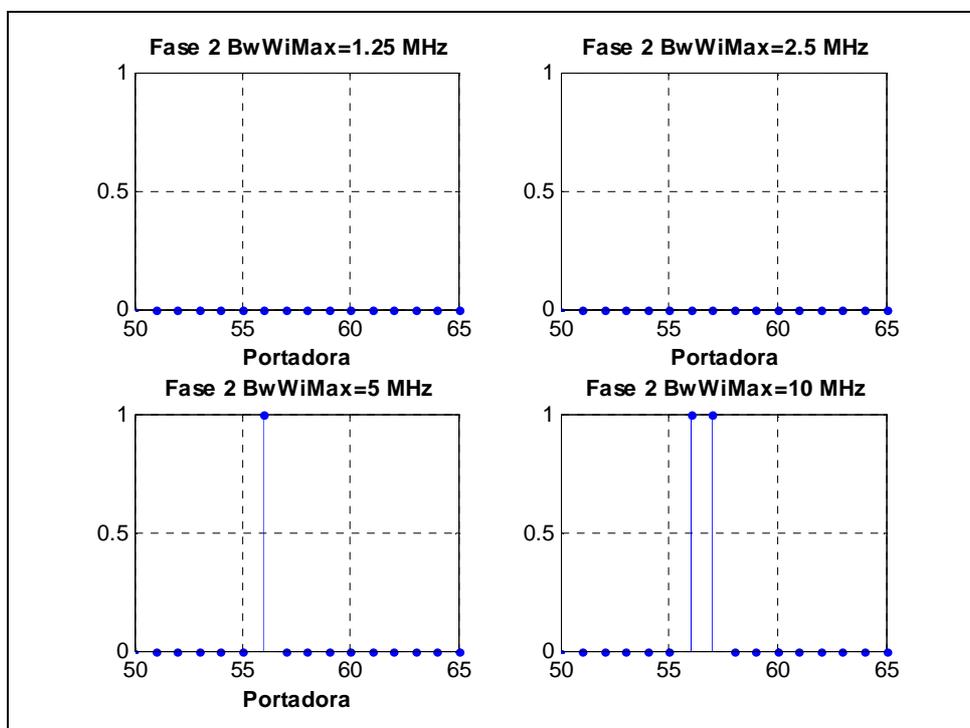


Figura 3.2.22 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=2

Tabla 3.2.13 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -95 dBm/MHz y M=2

<b>M=2</b>					
<b>-95 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>P<sub>dport</sub></b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	0
	1.25	3405	0.5	1	0
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	1
	5	3405	0.5	3	1
	5	3400	0.8	3	1
	5	3405	0.8	3	1
	10	3400	0.5	4	4
10	3405	0.5	4	4	
10	3400	0.8	4	2	
10	3405	0.8	4	2	

### 3.2.6.3 M=3

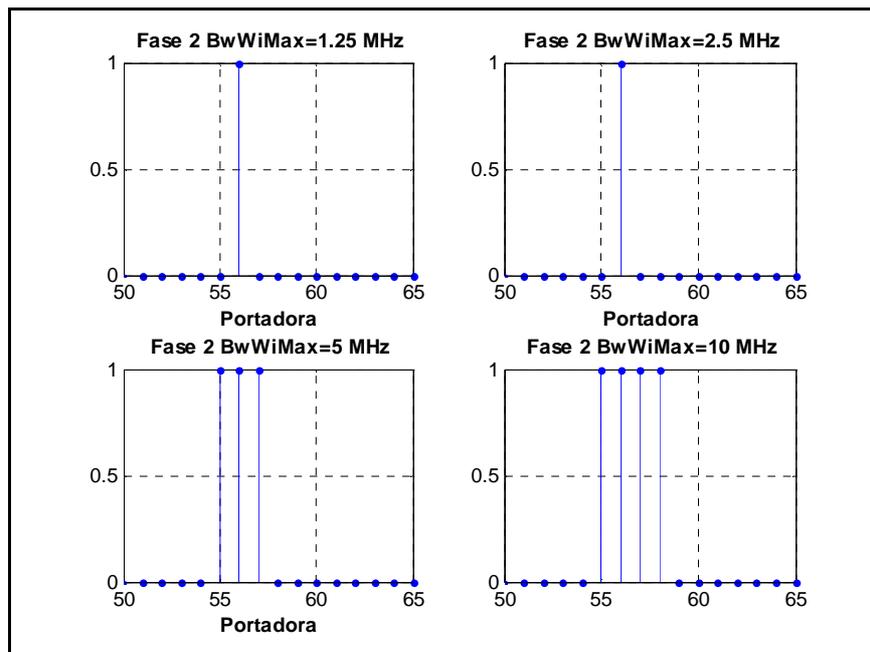


Figura 3.2.23 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=3

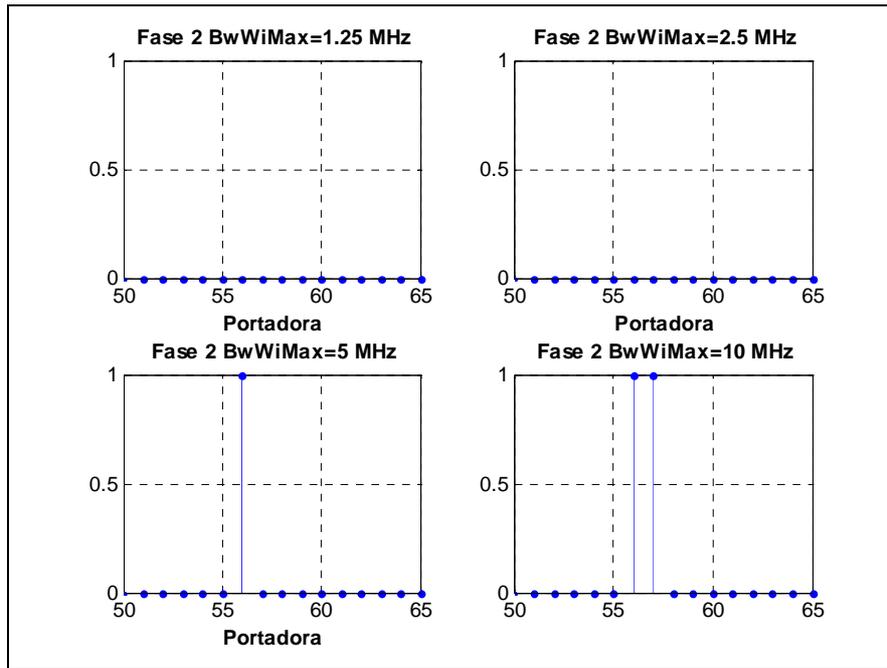


Figura 3.2.24 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=3

Tabla 3.2.14 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -95 dBm/MHz y M=3

<b>M=3</b>					
	<b>Bw Nominal</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
<b>-95 dBm/MHz</b>	1.25	3400	0.5	1	1
	1.25	3405	0.5	1	1
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	3
	5	3405	0.5	3	3
	5	3400	0.8	3	1
	5	3405	0.8	3	1
	10	3400	0.5	4	4
	10	3405	0.5	4	4
	10	3400	0.8	4	2
	10	3405	0.8	4	2

### 3.2.6.4 M=4

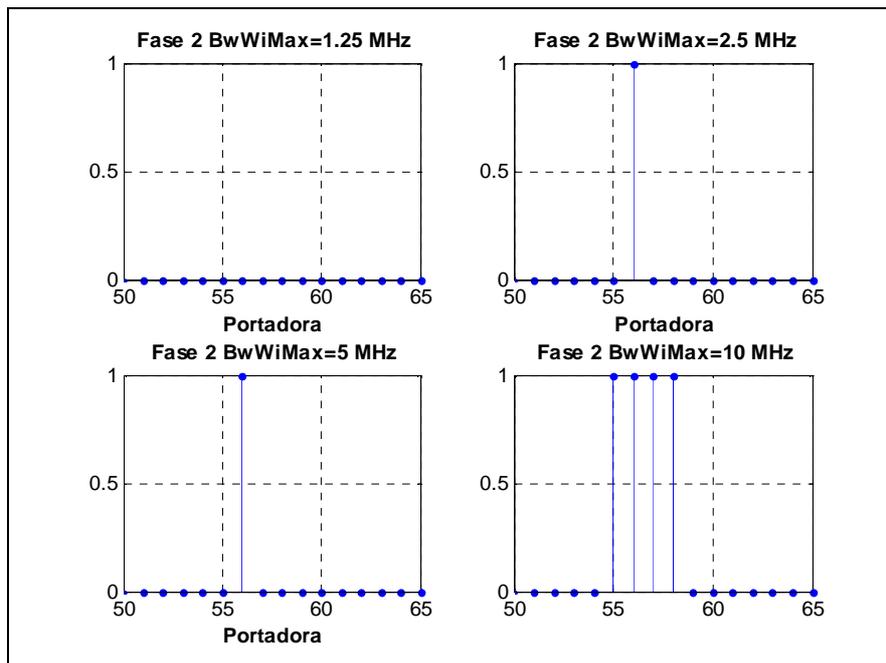


Figura 3.2.25 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=4

Tabla 3.2.15 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -95 dBm/MHz y M=4

<b>M=4</b>						
<b>-95 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>	
		1.25	3400	0.5	1	1
		1.25	3405	0.5	1	1
		1.25	3400	0.8	1	0
		1.25	3405	0.8	1	0
		2.5	3400	0.5	1	1
		2.5	3405	0.5	1	1
		2.5	3400	0.8	1	1
		2.5	3405	0.8	1	1
		5	3400	0.5	3	3
		5	3405	0.5	3	3
		5	3400	0.8	3	1
		5	3405	0.8	3	1
		10	3400	0.5	4	4
		10	3405	0.5	4	4
		10	3400	0.8	4	4
	10	3405	0.8	4	4	

### 3.2.7 Señal WiMAX de -100 dBm/MHz

#### 3.2.7.1 M=1

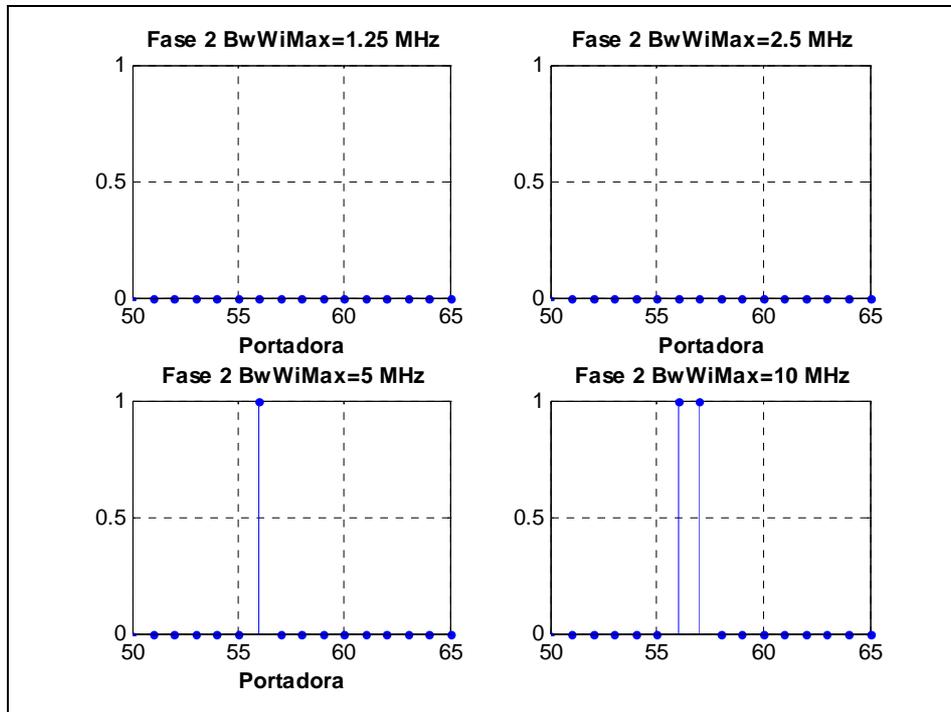


Figura 3.2.26 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=1

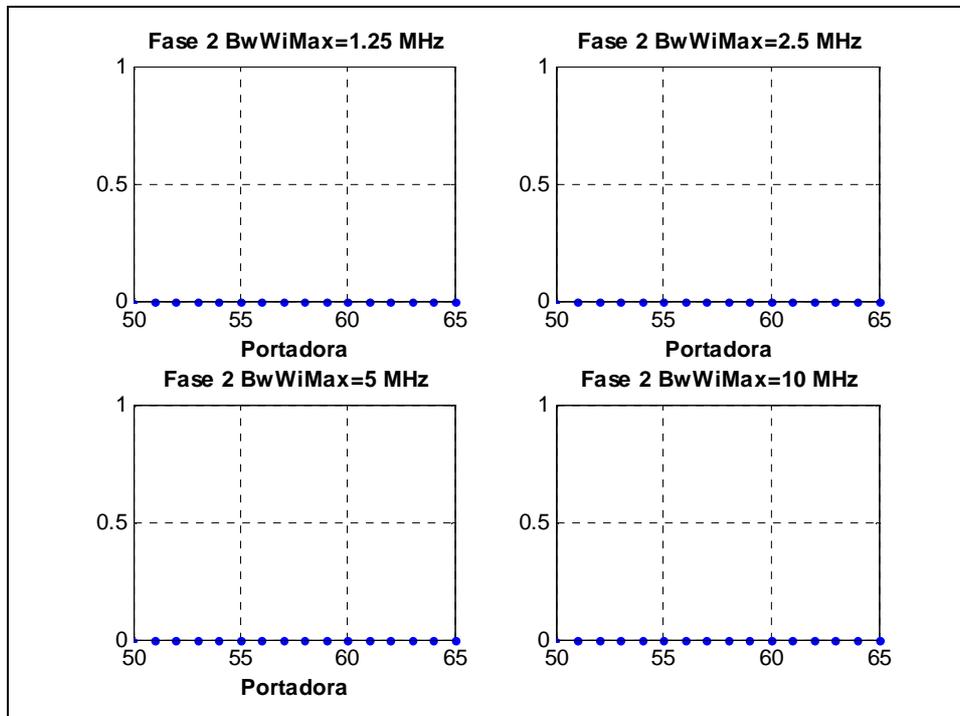


Figura 3.2.27 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=1

Tabla 3.2.16 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -100 dBm/MHz y M=1

<b>M=1</b>					
<b>-100 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>P<sub>dport</sub></b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	0
	1.25	3405	0.5	1	0
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	0
	2.5	3405	0.5	1	0
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	1
	5	3405	0.5	3	1
	5	3400	0.8	3	0
5	3405	0.8	3	0	
10	3400	0.5	4	2	
10	3405	0.5	4	2	
10	3400	0.8	4	0	
10	3405	0.8	4	0	

### 3.2.7.2 M=2

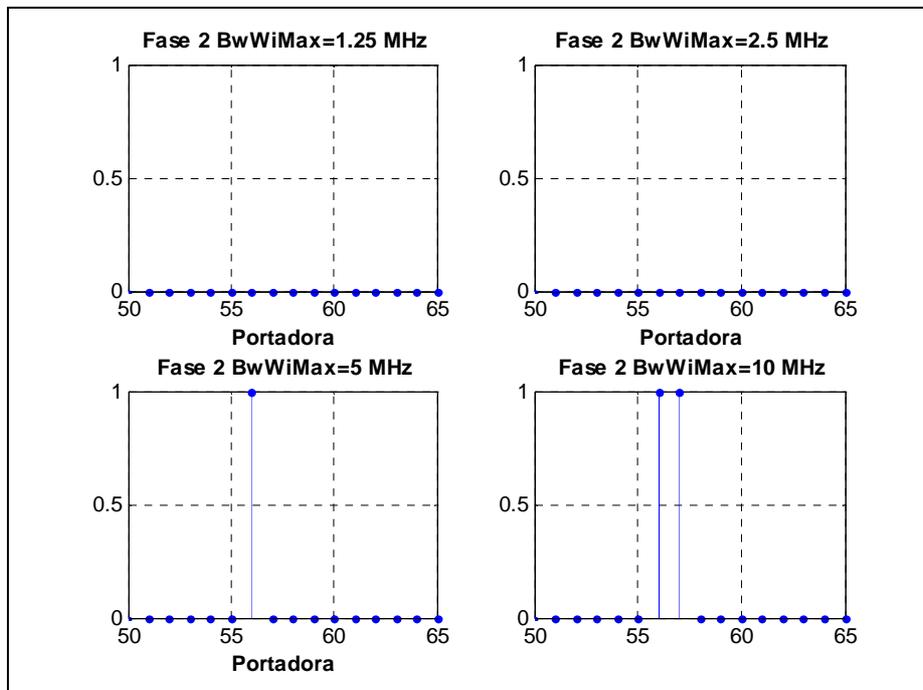


Figura 3.2.28 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=2

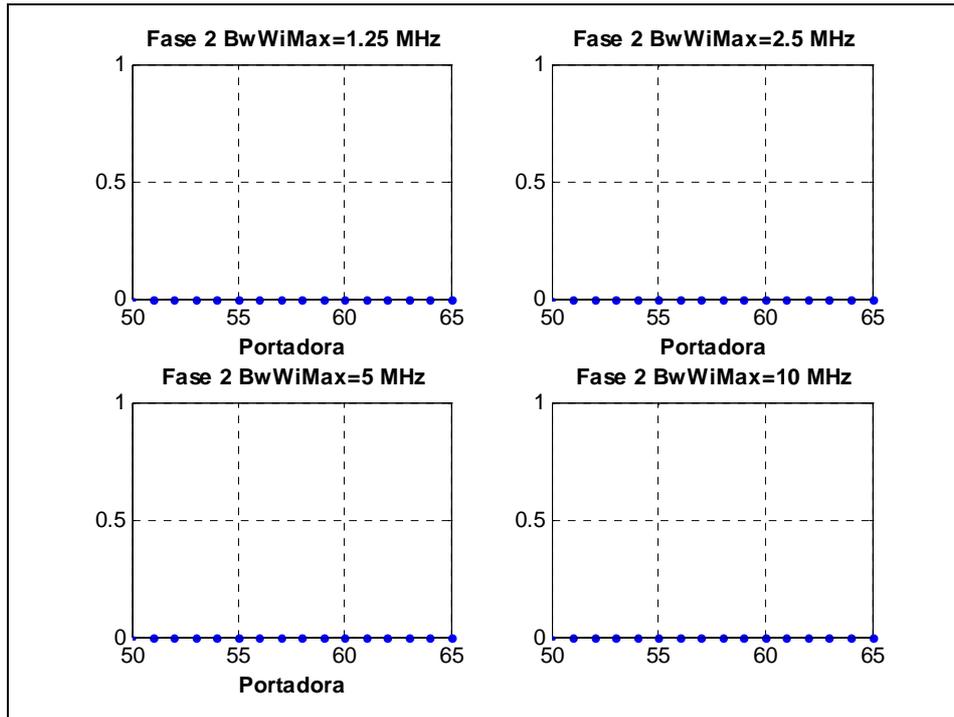


Figura 3.2.29 Portadoras detectadas estableciendo  $P_d > 0.8$   $M=2$

Tabla 3.2.17 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de  $-100$  dBm/MHz y  $M=2$

<b>M=2</b>					
	<b>Bw Nominal (MHz)</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b><math>P_{dport}</math></b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
<b>-100 dBm/MHz</b>	1.25	3400	0.5	1	0
	1.25	3405	0.5	1	0
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	0
	2.5	3405	0.5	1	0
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	1
	5	3405	0.5	3	1
	5	3400	0.8	3	0
	5	3405	0.8	3	0
	10	3400	0.5	4	2
	10	3405	0.5	4	2
	10	3400	0.8	4	0
	10	3405	0.8	4	0

### 3.2.7.3 M=3

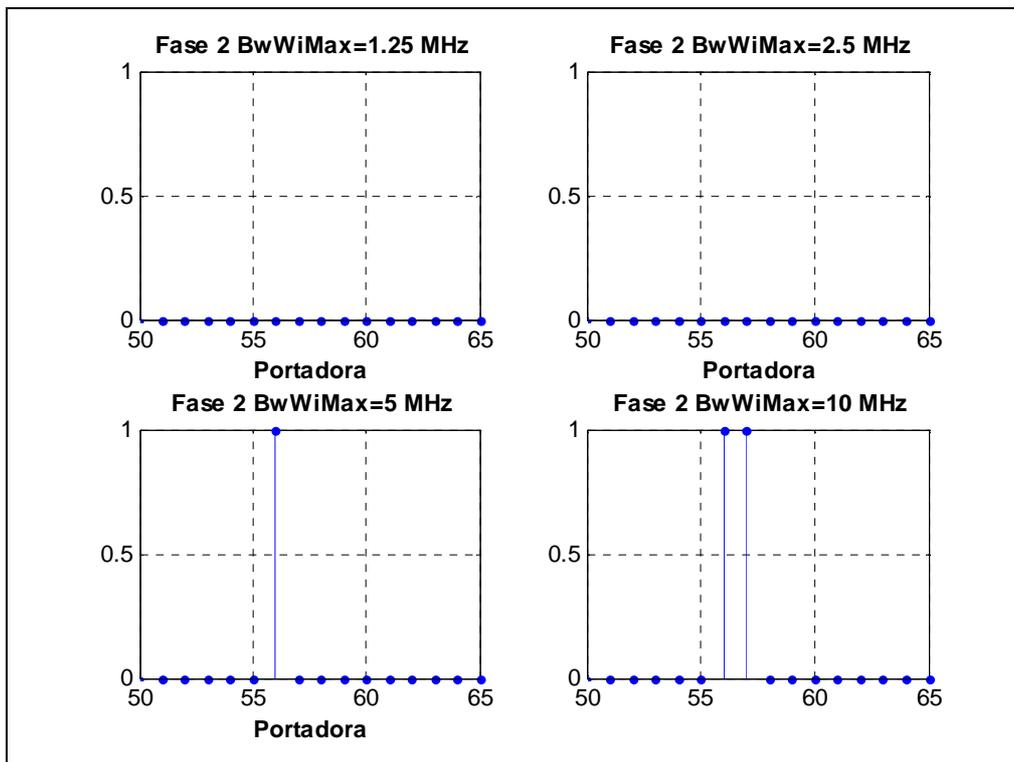


Figura 3.2.30 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=3

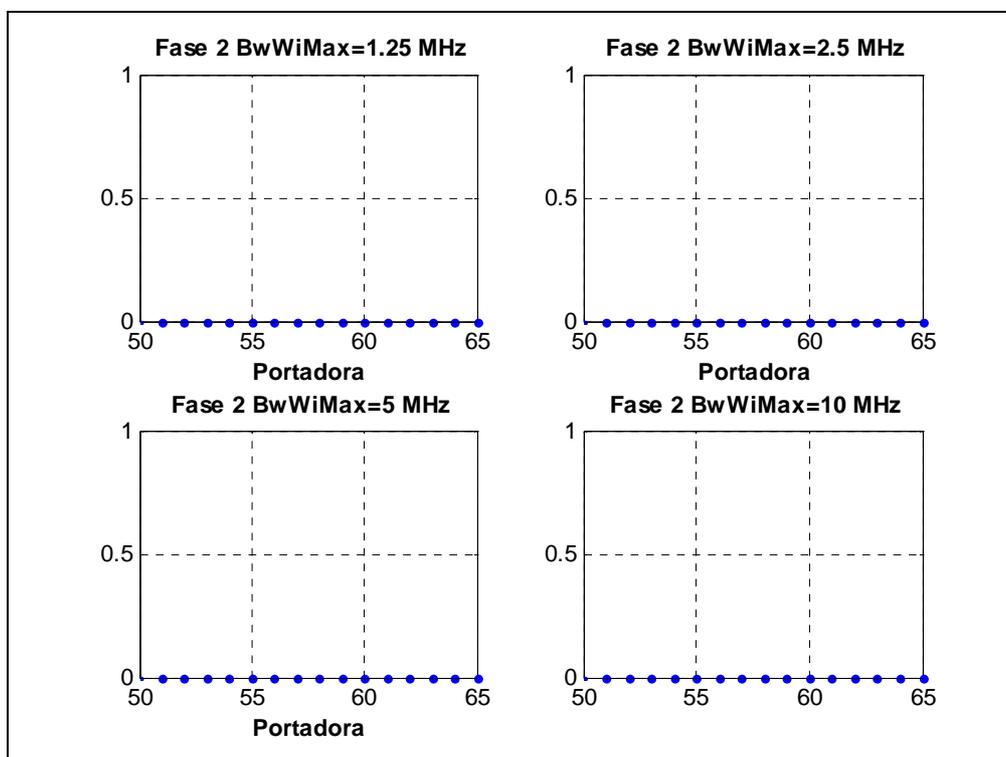


Figura 3.2.31 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=3

Tabla 3.2.18 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -100 dBm/MHz y M=3

<b>M=3</b>						
<b>-100 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>	
		1.25	3400	0.5	1	0
		1.25	3405	0.5	1	0
		1.25	3400	0.8	1	0
		1.25	3405	0.8	1	0
		2.5	3400	0.5	1	0
		2.5	3405	0.5	1	0
		2.5	3400	0.8	1	0
		2.5	3405	0.8	1	0
		5	3400	0.5	3	1
		5	3405	0.5	3	1
		5	3400	0.8	3	0
		5	3405	0.8	3	0
		10	3400	0.5	4	2
		10	3405	0.5	4	2
	10	3400	0.8	4	0	
	10	3405	0.8	4	0	

### 3.2.7.4 M=4

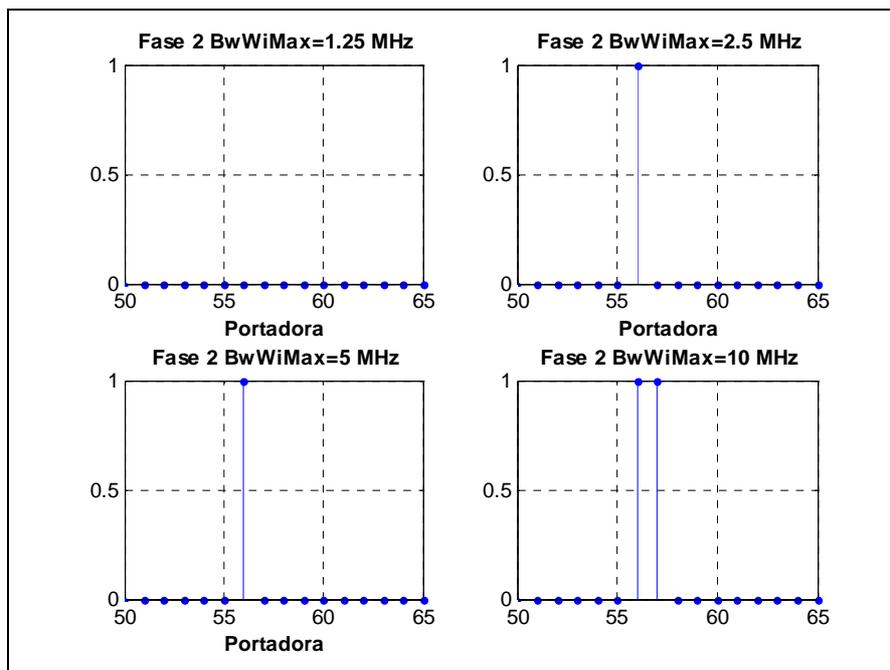


Figura 3.2.32 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=4

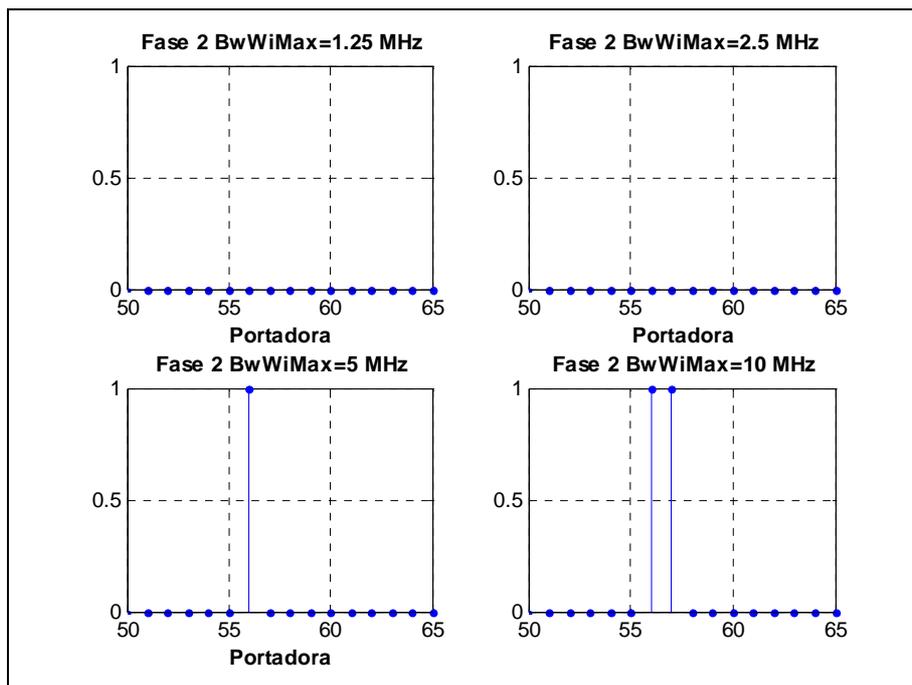


Figura 3.2.33 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=4

Tabla 3.2.19 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -100 dBm/MHz y M=4

<b>M=4</b>					
<b>-100 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	0
	1.25	3405	0.5	1	0
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	1
5	3405	0.5	3	1	
5	3400	0.8	3	1	
5	3405	0.8	3	1	
10	3400	0.5	4	2	
10	3405	0.5	4	2	
10	3400	0.8	4	2	
10	3405	0.8	4	2	

### 3.2.7.5 M=5

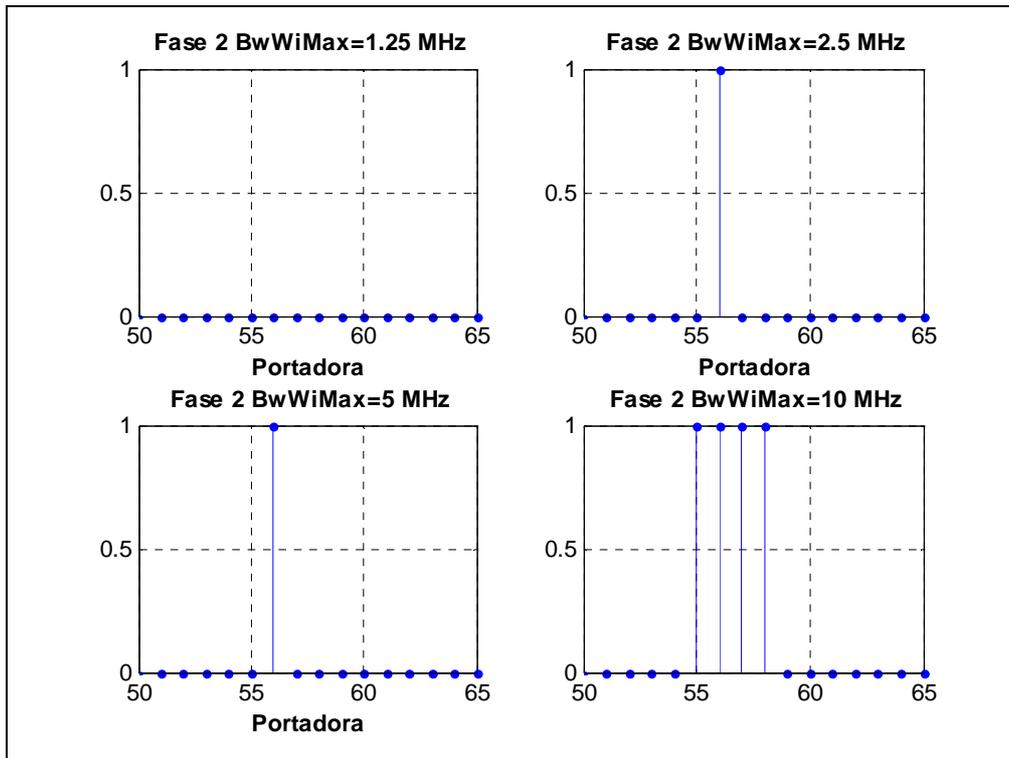


Figura 3.2.34 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=5

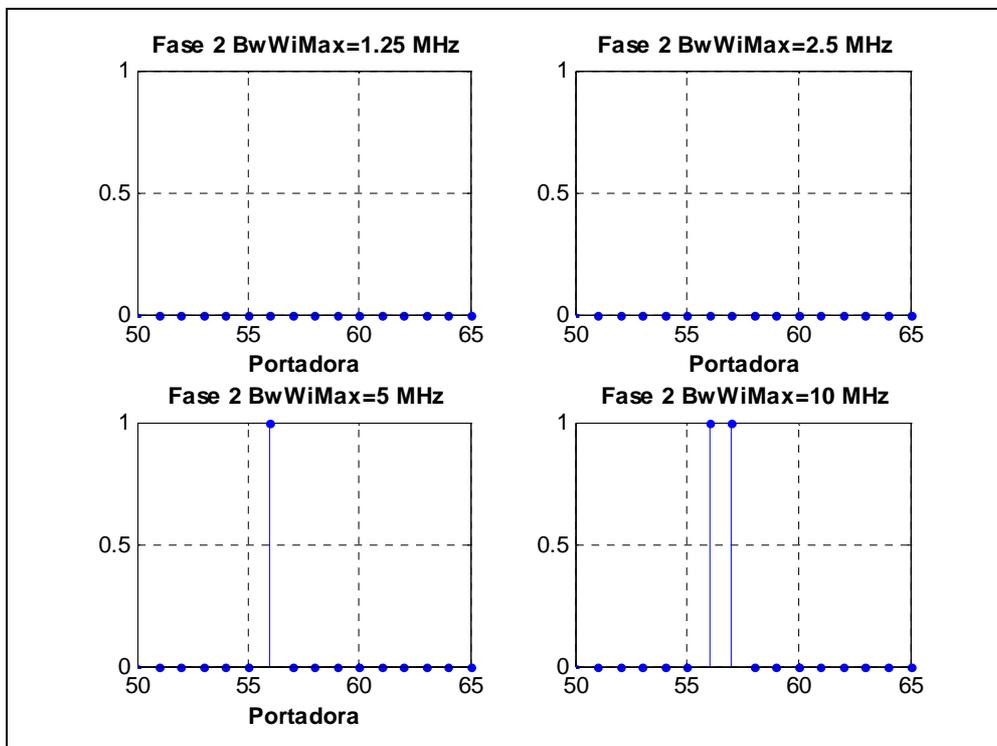


Figura 3.2.35 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.8 M=5

Tabla 3.2.20 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -100 dBm/MHz y M=5

<b>M=5</b>					
<b>-100 dBm/MHz</b>	<b>BwNominal</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	0
	1.25	3405	0.5	1	0
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	1
	2.5	3405	0.5	1	1
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	1
	5	3405	0.5	3	1
	5	3400	0.8	3	1
	5	3405	0.8	3	1
	10	3400	0.5	4	4
	10	3405	0.5	4	4
10	3400	0.8	4	2	
10	3405	0.8	4	2	

### 3.2.8 Señal WiMAX de -105 dBm/MHz

#### 3.2.8.1 M=1

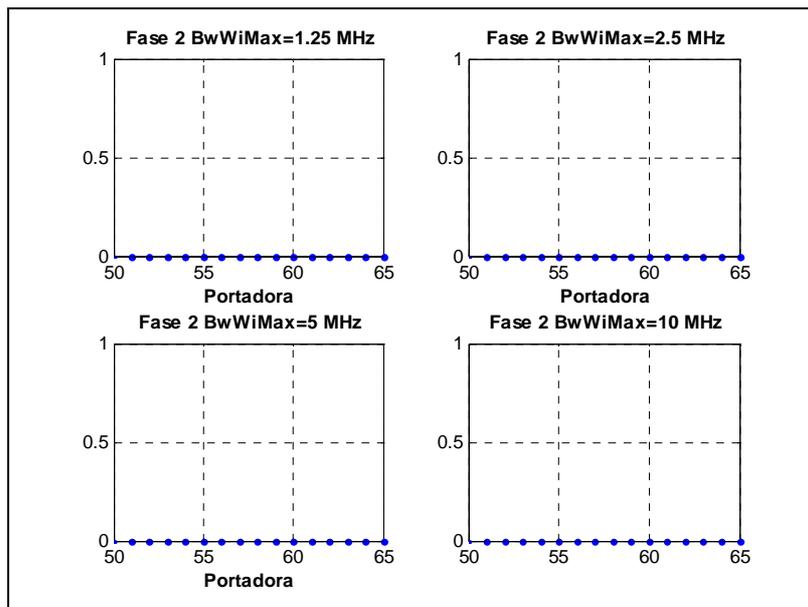


Figura 3.2.36 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 ó Pd>0.8 M=1

Tabla 3.2.21 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -105 dBm/MHz y M=1

<b>M=1</b>					
<b>-105 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	0
	1.25	3405	0.5	1	0
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	0
	2.5	3405	0.5	1	0
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	0
	5	3405	0.5	3	0
	5	3400	0.8	3	0
	5	3405	0.8	3	0
	10	3400	0.5	4	0
	10	3405	0.5	4	0
10	3400	0.8	4	0	
10	3405	0.8	4	0	

### 3.2.8.2 M=2

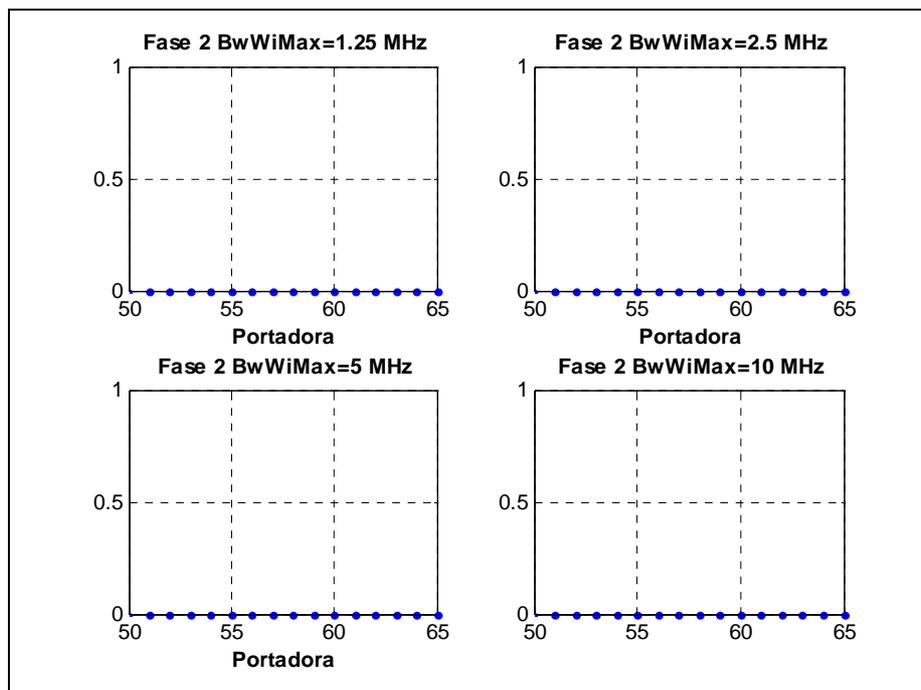


Figura 3.2.37 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 ó Pd>0.8 M=2

Tabla 3.2.22 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -105 dBm/MHz y M=2

<b>M=2</b>					
	<b>Bw Nominal</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
<b>-105 dBm/MHz</b>	1.25	3400	0.5	1	0
	1.25	3405	0.5	1	0
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	0
	2.5	3405	0.5	1	0
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	0
	5	3405	0.5	3	0
	5	3400	0.8	3	0
	5	3405	0.8	3	0
	10	3400	0.5	4	0
	10	3405	0.5	4	0
	10	3400	0.8	4	0
	10	3405	0.8	4	0

### 3.2.8.3 M=3

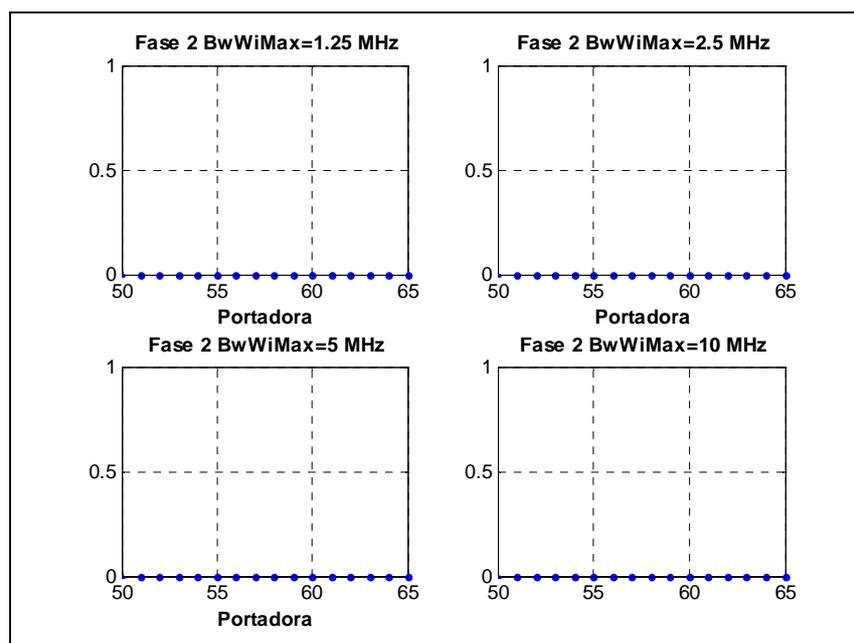


Figura 3.2.38 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 ó Pd>0.8 M=3

Tabla 3.2.23 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -105 dBm/MHz y M=3

<b>M=3</b>					
<b>-105 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
	1.25	3400	0.5	1	0
	1.25	3405	0.5	1	0
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	0
	2.5	3405	0.5	1	0
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	0
	5	3405	0.5	3	0
	5	3400	0.8	3	0
	5	3405	0.8	3	0
	10	3400	0.5	4	0
	10	3405	0.5	4	0
10	3400	0.8	4	0	
10	3405	0.8	4	0	

### 3.2.8.4 M=4

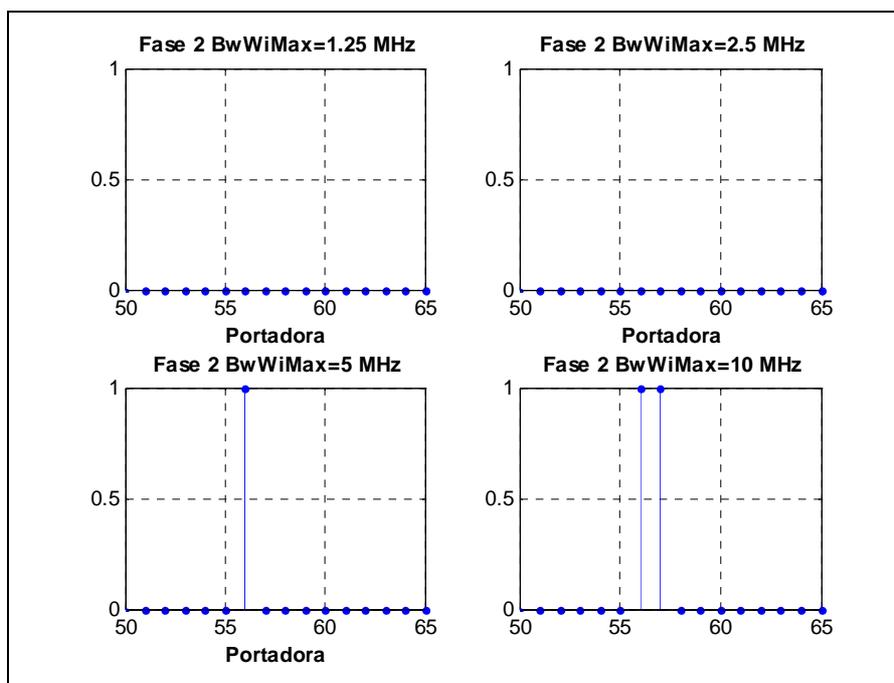


Figura 3.2.39 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=4

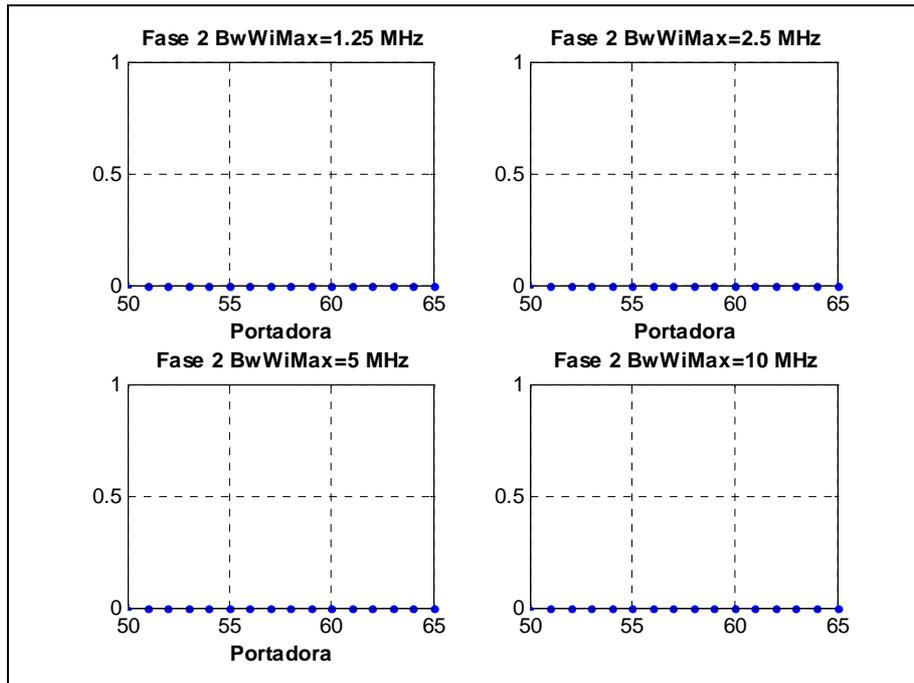


Figura 3.2.40 Portadoras detectadas estableciendo  $P_d > 0.8$   $M=4$

Tabla 3.2.24 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de  $-105$  dBm/MHz y  $M=4$

<b>M=4</b>					
	<b>Bw Nominal</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>
<b>-105 dBm/MHz</b>	1.25	3400	0.5	1	0
	1.25	3405	0.5	1	0
	1.25	3400	0.8	1	0
	1.25	3405	0.8	1	0
	2.5	3400	0.5	1	0
	2.5	3405	0.5	1	0
	2.5	3400	0.8	1	0
	2.5	3405	0.8	1	0
	5	3400	0.5	3	1
	5	3405	0.5	3	1
	5	3400	0.8	3	0
	5	3405	0.8	3	0
	10	3400	0.5	4	2
	10	3405	0.5	4	2
	10	3400	0.8	4	0
	10	3405	0.8	4	0

### 3.2.8.5 M=5

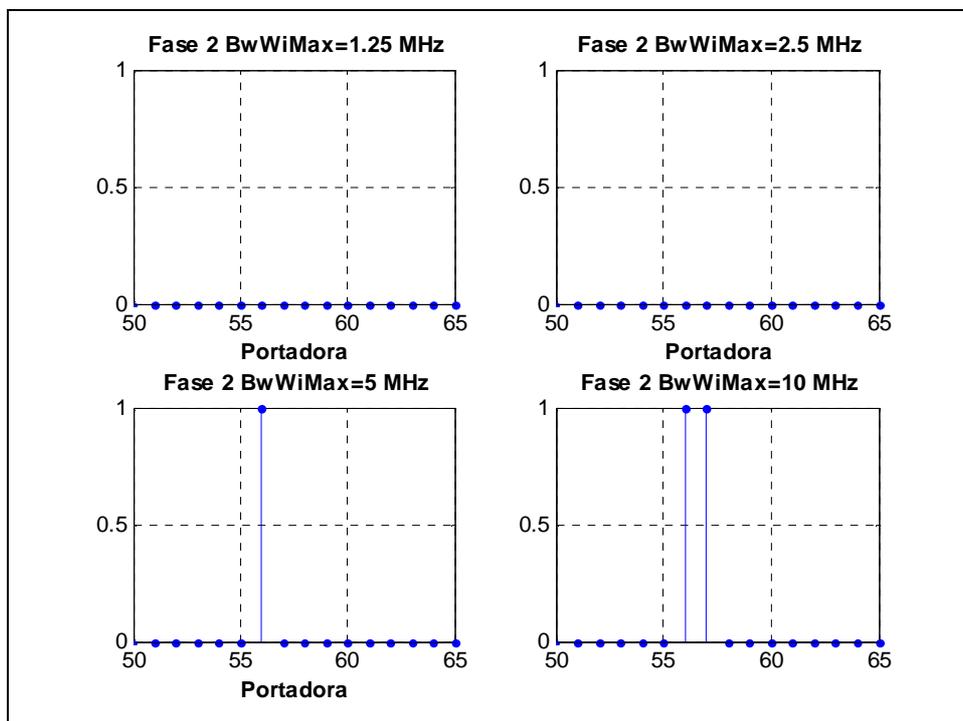


Figura 3.2.41 Portadoras detectadas estableciendo Pd>0.5 M=5

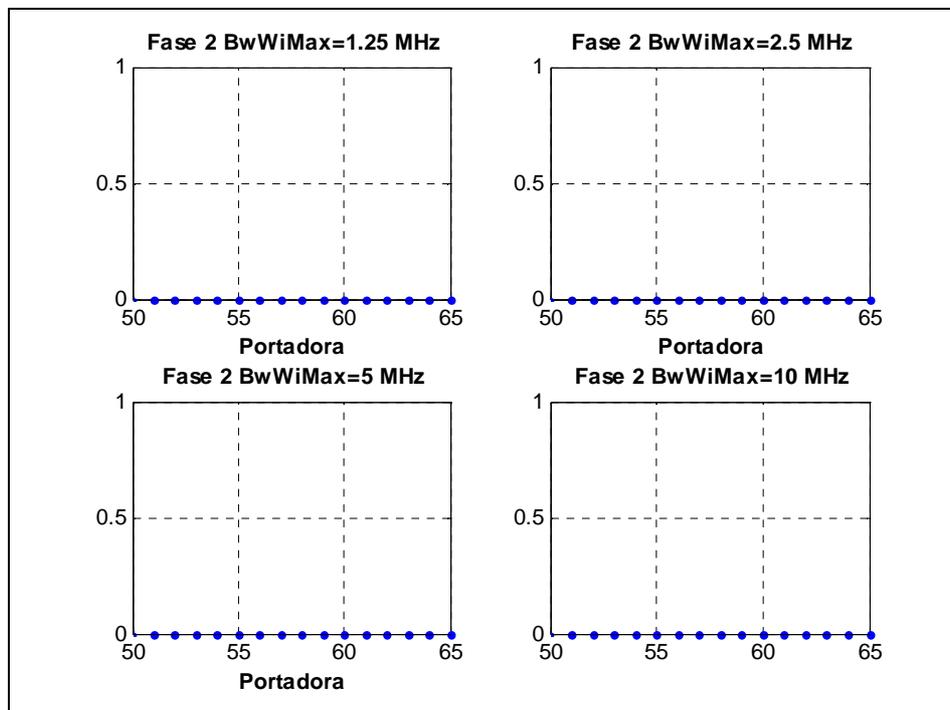


Figura 3.2.42 Portadoras detectadas estableciendo Pd> 0.8 M=5

Tabla 3.2.25 Portadoras percibidas y detectadas con una señal WiMAX de -105 dBm/MHz y M=5

<b>M=5</b>						
<b>-105 dBm/MHz</b>	<b>Bw Nominal</b>	<b>Fc WiMAX (MHz)</b>	<b>Pdport</b>	<b>Número de portadoras percibidas</b>	<b>Número de portadoras detectadas</b>	
		1.25	3400	0.5	1	0
		1.25	3405	0.5	1	0
		1.25	3400	0.8	1	0
		1.25	3405	0.8	1	0
		2.5	3400	0.5	1	0
		2.5	3405	0.5	1	0
		2.5	3400	0.8	1	0
		2.5	3405	0.8	1	0
		5	3400	0.5	3	1
		5	3405	0.5	3	1
		5	3400	0.8	3	0
		5	3405	0.8	3	0
		10	3400	0.5	4	2
		10	3405	0.5	4	2
	10	3400	0.8	4	0	
	10	3405	0.8	4	0	

En todos los casos en los que se detecte la señal WiMAX, la frecuencia central aproximada de la señal detectada es: **3398 MHz**. Ésta es la frecuencia que el Filtro Notch debe utilizar como  $f_{\text{central}}$ . Eso representa una desviación del valor real de  $\pm 2\text{MHz}$ .

---

### 3.3 Conclusiones de la Detección

Se ha demostrado en el Capítulo 3 que la probabilidad de detectar una señal WiMAX depende de:

- Nivel de señal WiMAX que se detecta: Cuanto menor sea el nivel de la señal, más difícil será detectarla.
- Umbral de probabilidad en la percepción: A mayor nivel de umbral establecido, menor probabilidad de percibir portadoras que se solapan con una señal WiMAX.
- Número de veces que se realiza el ciclo completo de detección (M): Cuantas más veces se realice la detección mejor será la probabilidad de detección (pero también aumentará la probabilidad de falsa alarma)

Después de las simulaciones realizadas, podemos concluir:

- Con niveles de potencia de señal WiMAX entre -70 y -85 dBm/MHz y probabilidad de detección mayor que 0.5 en la detección (segunda fase), siempre se detectarán las mismas portadoras que en la primera fase (Figura 3.3.1)

Si se establece que la probabilidad de detección (en la segunda fase) debe ser mayor que 0.8, será necesario realizar al menos 2 veces (M=2) el ciclo completo de detección (Figura 3.3.1)

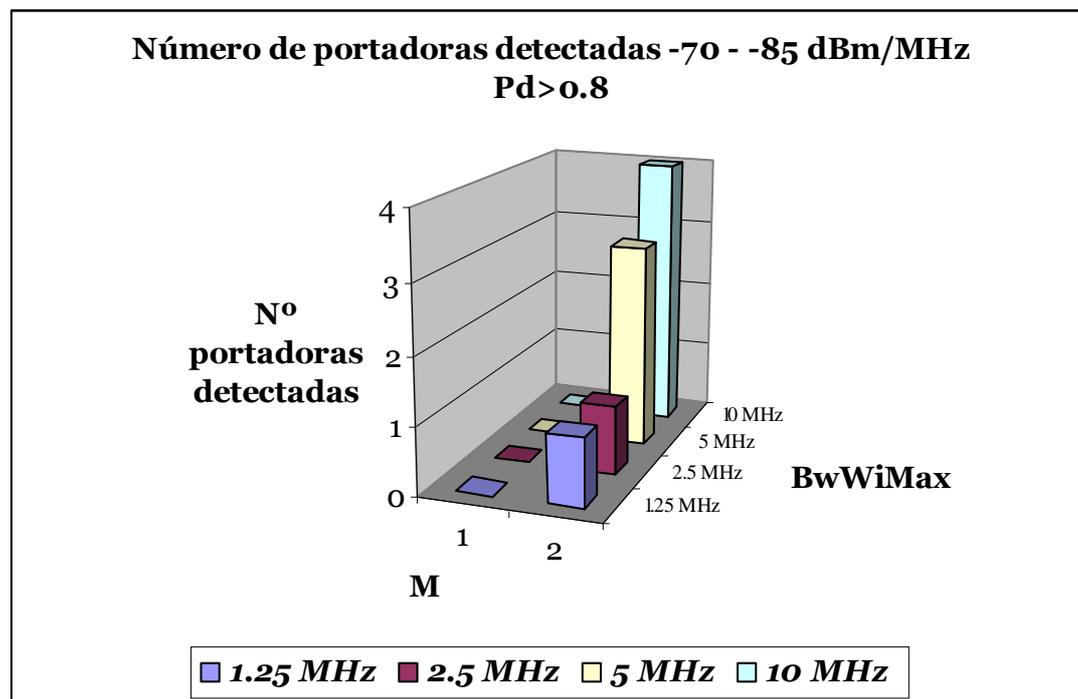
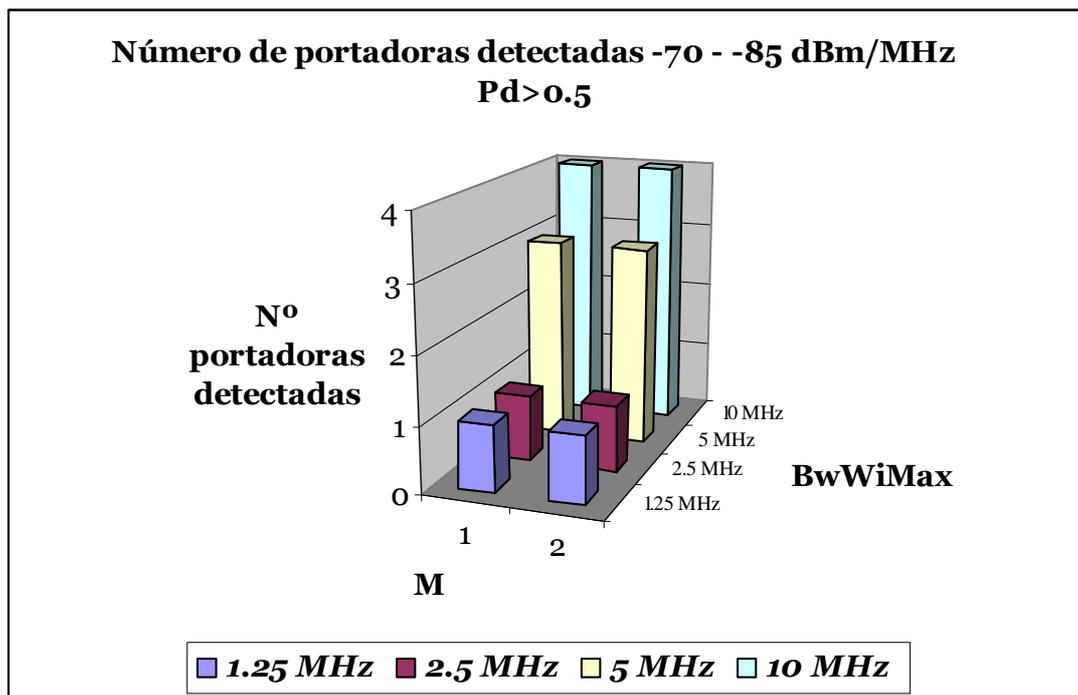
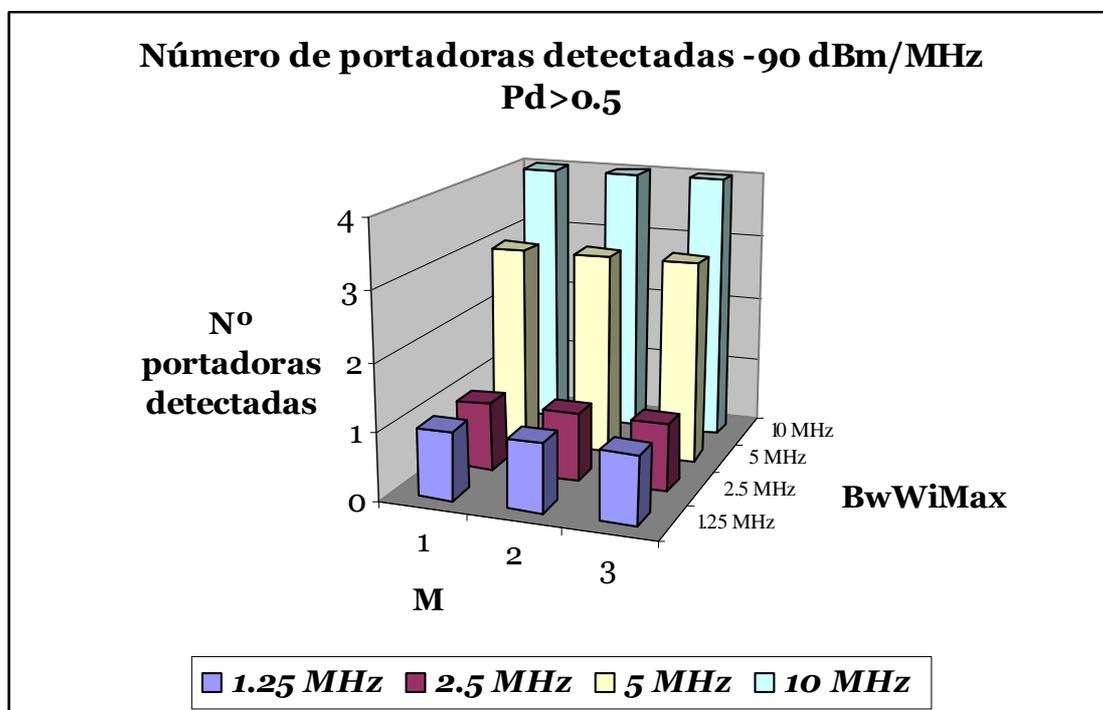


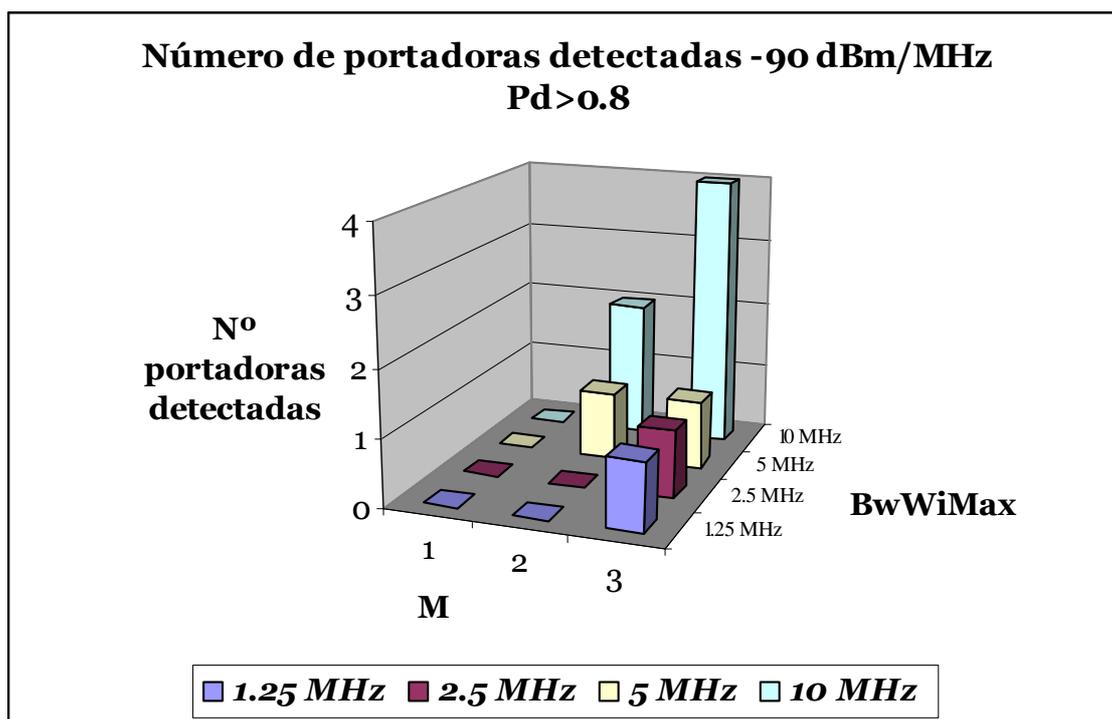
Figura 3.3.1 Portadoras detectadas con señales entre -70 y 85 dBm/MHz Pd>0.5 (a) y Pd>0.8 (b)

- Con un nivel de potencia de  $-90\text{dBm/MHz}$  y probabilidad de detección mayor que 0.5 en la detección (segunda fase), se detectarán las mismas portadoras que en la primera fase (Figura 3.3.2)

Si se establece que la probabilidad de detección (en la segunda fase) debe ser mayor que 0.8 y el ciclo completo de detección se realiza una vez no se detectará ninguna portadora. Si se realiza 2 veces no se detectarán portadoras en anchos de banda mínimos (1.25 MHz y 2.5 MHz).

Realizando el ciclo de detección 3 veces, sí se detectarán portadoras MB-OFDM UWB que se solapan con señales WiMAX (Figura 3.3.2)





(b)

Figura 3.3.2 Portadoras detectadas con señales de -90 dBm/MHz Pd>0.5 (a) y Pd>0.8 (b)

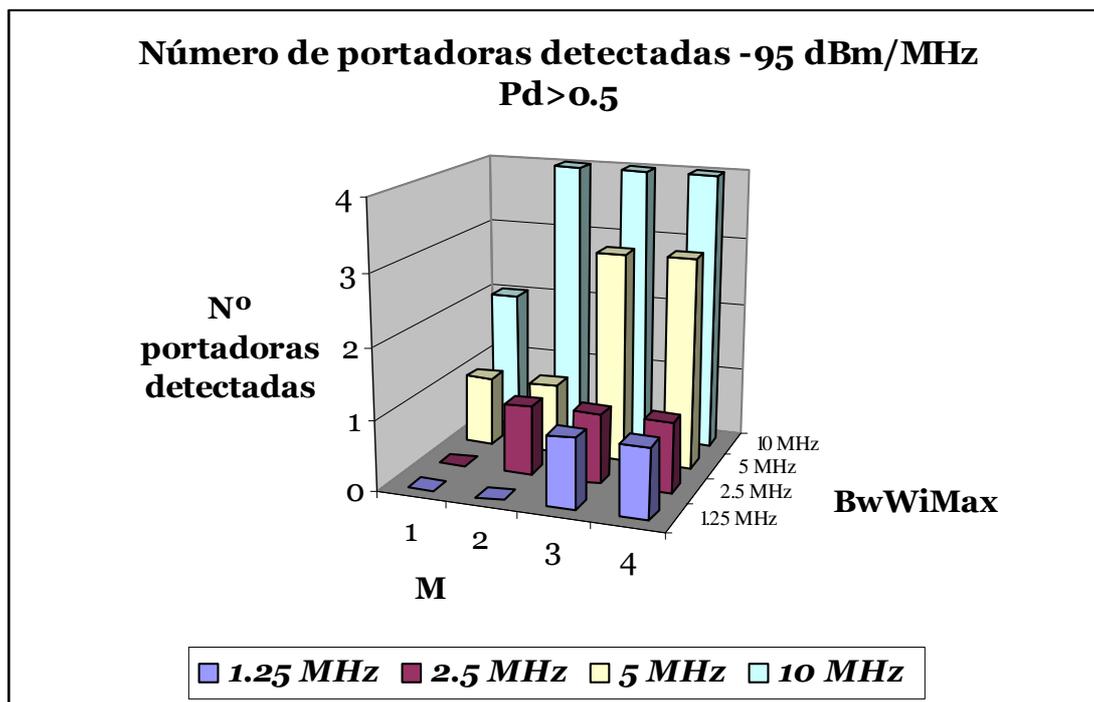
- Con un nivel de potencia de -95 dBm/MHz y probabilidad de detección mayor que 0.5, la primera vez que se realiza el ciclo de detección no se detectarán portadoras que se solapen con señales WiMAX si los anchos de banda son 1.25 y 2.5 MHz (Figura 3.3.3)

Realizando el ciclo dos veces, aún no será posible detectar portadoras si el ancho de banda de la señal WiMAX es 1.25 MHz.

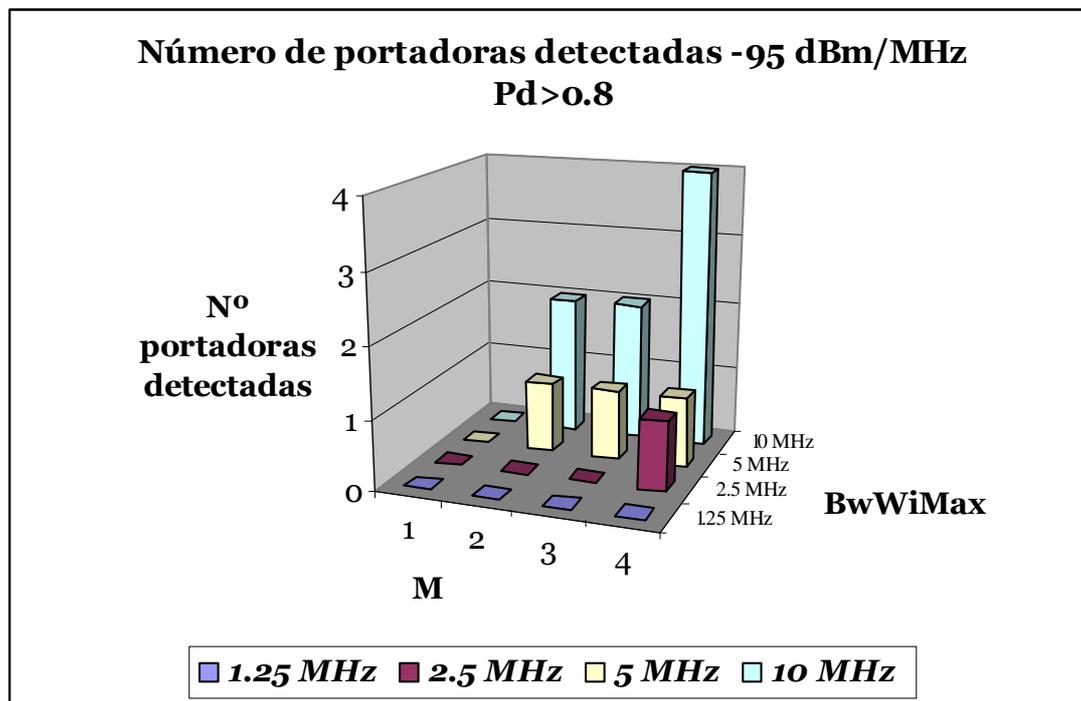
Si se realiza la detección 3 veces será posible detectar portadoras que se solapan con señal WiMAX.

Si la probabilidad de detección en cada portadora es 0.8 no será posible detectar ninguna portadoras en el primero ciclo de detección, si se realiza 2 ó 3 veces no será posible detectar portadoras que se solapen con señales WiMAX de 1.25 MHz y 2.5 MHz.

Finalmente, realizando 4 ciclos de detección será posible detectar portadoras que interfieren con señales WiMAX de 2.5, 5 y 10 MHz. (Figura 3.3.3)



(a)



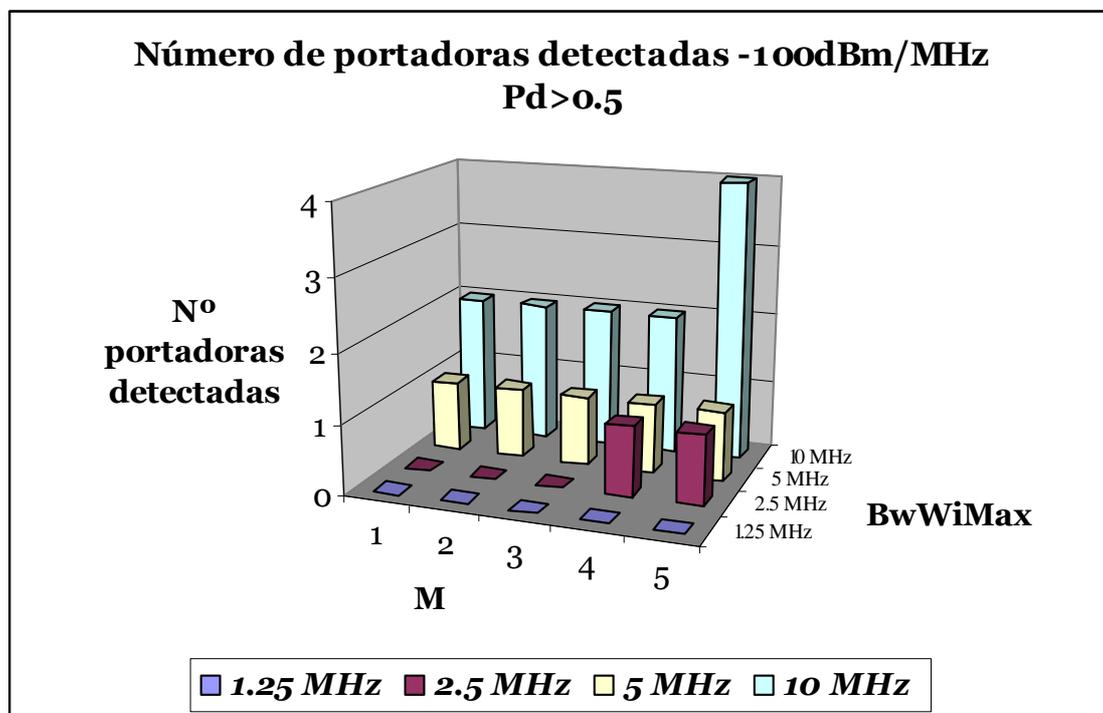
(b)

Figura 3.3.3 Portadoras detectadas con señales de -95 dBm/MHz Pd>0.5 (a) y Pd>0.8 (b)

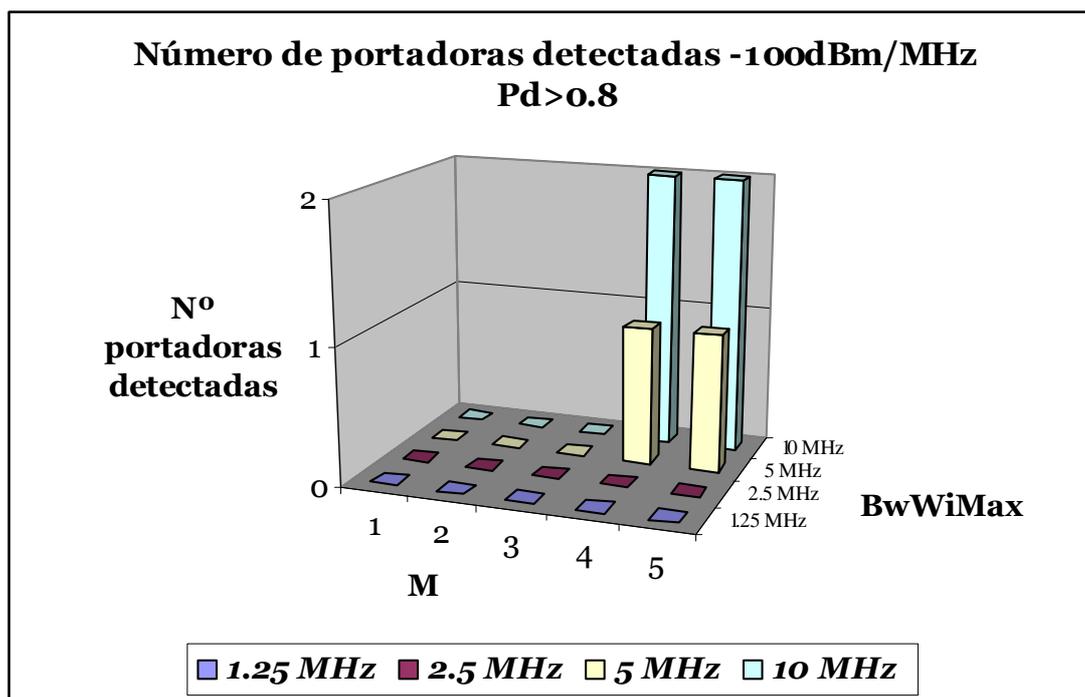
- Si la señal WiMAX a detectar tiene un nivel de potencia de -100 dBm/MHz la situación empeora. No será posible detectar señales WiMAX de 1.25 MHz aún realizando 5 veces el proceso completo de detección (y no olvidemos que en este caso tendríamos una probabilidad de falsa alarma elevada).

Con  $M=1,2$  ó  $3$  y probabilidad de detección en cada portadora mayor que  $0.5$  sí se podrá detectar señales WiMAX de  $5$  y  $10$  MHz, con  $M=4$  también se detectarán señales WiMAX de  $2.5$  MHz. (Figura 3.3.4)

Estableciendo una probabilidad de detección mayor que  $0.8$  en cada portadora no será posible detectar ninguna señal WiMAX si realiza el ciclo de detección entre  $1$  y  $3$  veces. Si en estas condiciones se realiza  $4$  ó  $5$  veces se podrán detectar señales WiMAX de  $5$  y  $10$  MHz. (Figura 3.3.4)



(a)

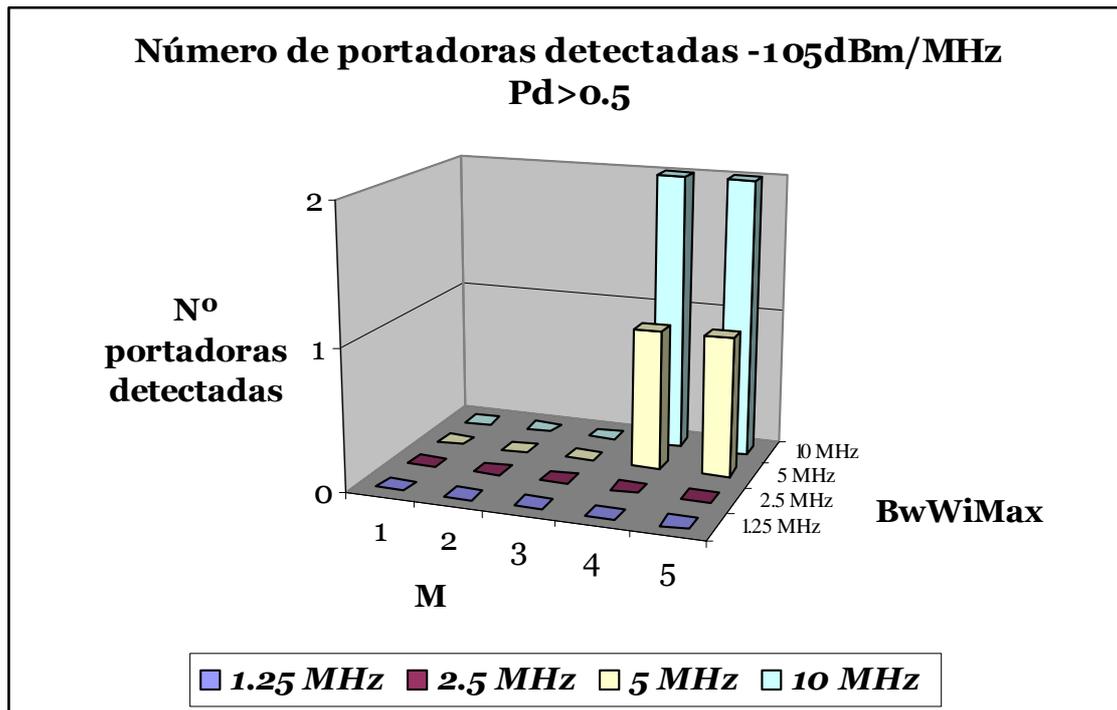


(b)

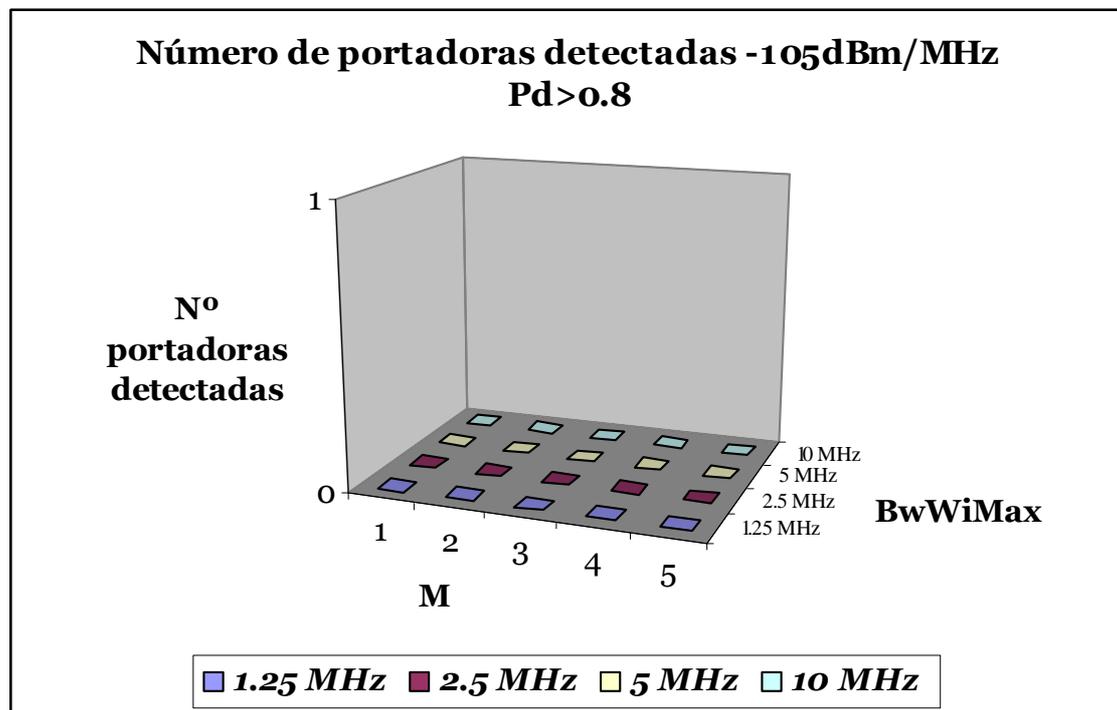
Figura 3.3.4 Portadoras detectadas con señales de -100 dBm/MHz Pd>0.5 (a) y Pd>0.8 (b)

- Si la señal WiMAX a detectar tiene un nivel de potencia de -105 dBm y la probabilidad de detección en cada portadora se define que debe ser mayor que 0.8, no será posible detectar ninguna señal WiMAX, incluso realizando 5 veces el proceso completo de detección.

Si la probabilidad de detección en cada portadora se establece en 0.5, se detectarán señales WiMAX de 5 y 10 MHz a partir de la cuarta vez que se realice el proceso de detección completo (M=4) (Figura 3.3.5)



(a)



(b)

Figura 3.3.5 Portadoras detectadas con señales de -105 dBm/MHz Pd>0.5 (a) y Pd>0.8 (b)

# Capítulo 4

## Evitación de la transmisión de la señal UWB en la banda WiMAX

### 4.1 Eliminación de portadoras

Una vez detectada la señal WiMAX es importante permitir la coexistencia entre la señal de banda estrecha detectada y nuestra señal de banda ancha. Para esto y por la naturaleza de la señal MB-OFDM podemos eliminar portadoras de dicha señal para reducir su potencia en la zona del espectro que nos interesa.

Eso forma parte de la lógica de nuestro receptor/transmisor que estará contenida en una tarjeta programable (por ejemplo una *FPGA*) y que decidirá cómo debe comportarse el dispositivo UWB y si es necesario activar el filtro Notch (cuando eliminar portadoras no sea suficiente).

Debemos programarla para que realice un *mapeo* entre las frecuencias de la señal WiMAX detectada y las frecuencias correspondientes de la señal MB-OFDM UWB poniendo estos últimos a 0. De esta forma, protegeremos el sistema de banda estrecha reduciendo la potencia transmitida por la señal MB-OFDM UWB en las frecuencias en las que ambas señales se solapan. Esto afectará a la  $E_b/N_0$  de nuestra señal UWB que se verá gravemente reducida en esas zonas.

Por tanto, dependiendo del ancho de banda de la señal WiMAX detectada el número de portadoras de la señal MB-OFDM a eliminar (NPE) en cada caso está definido por la Ecuación 4.1:

$$\mathbf{NPE} = \left\lceil \frac{Bw_{WiMAX}(MHz)}{4.125MHz} \right\rceil + 1 \quad (4.1)$$

- Donde 4.125 MHz es la separación entre portadoras MB-OFDM UWB.

Para que la señal WiMAX y la señal MB-OFDM UWB coexistan, es necesario reducir la potencia de la señal UWB hasta que interfiera lo menos posible con la señal WiMAX. Para asegurar que la señal WiMAX transmitirá sin interferencias, definimos una potencia mínima de la señal MB-OFDM UWB -82 dBm/MHz en la banda de la señal WiMAX. [13]

En el caso de un ancho de banda de señal *WiMAX* de 1.25 MHz sólo es necesario eliminar dos portadoras porque el ancho de banda de la señal *WiMAX* (1.25 MHz) es menor que el ancho de banda que separa dos portadoras *MB-OFDM* (4.125 MHz):

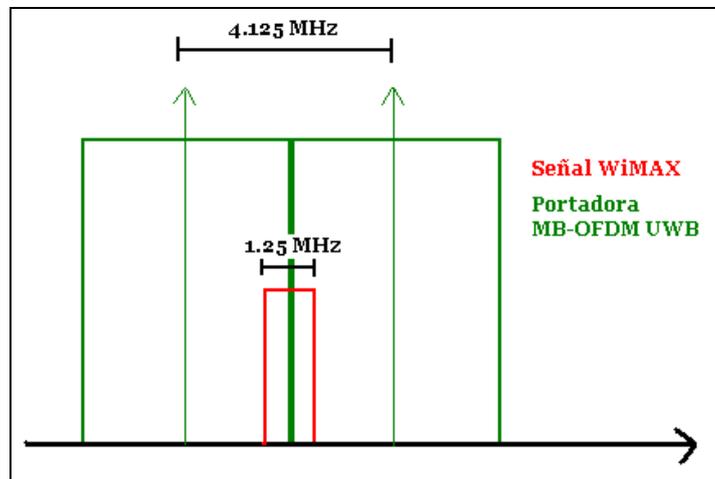


Figura 4.1.1 Señal WiMAX de 1.25 MHz entre dos portadoras MB-OFDM UWB

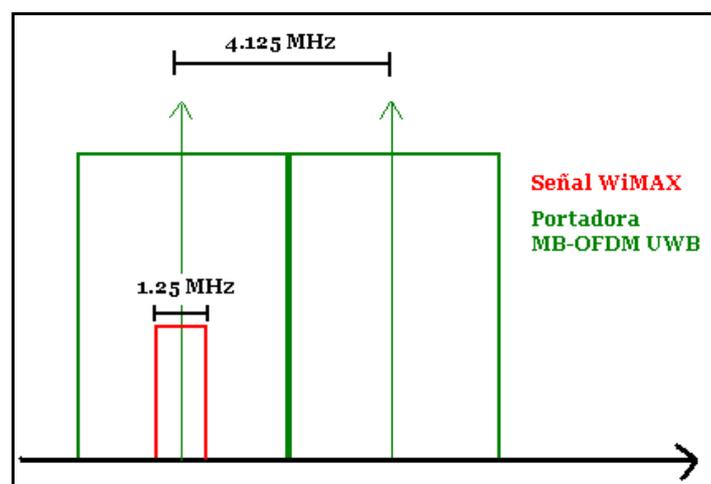


Figura 4.1.2 Señal WiMAX de 1.25 MHz en una portadora MB-OFDM UWB

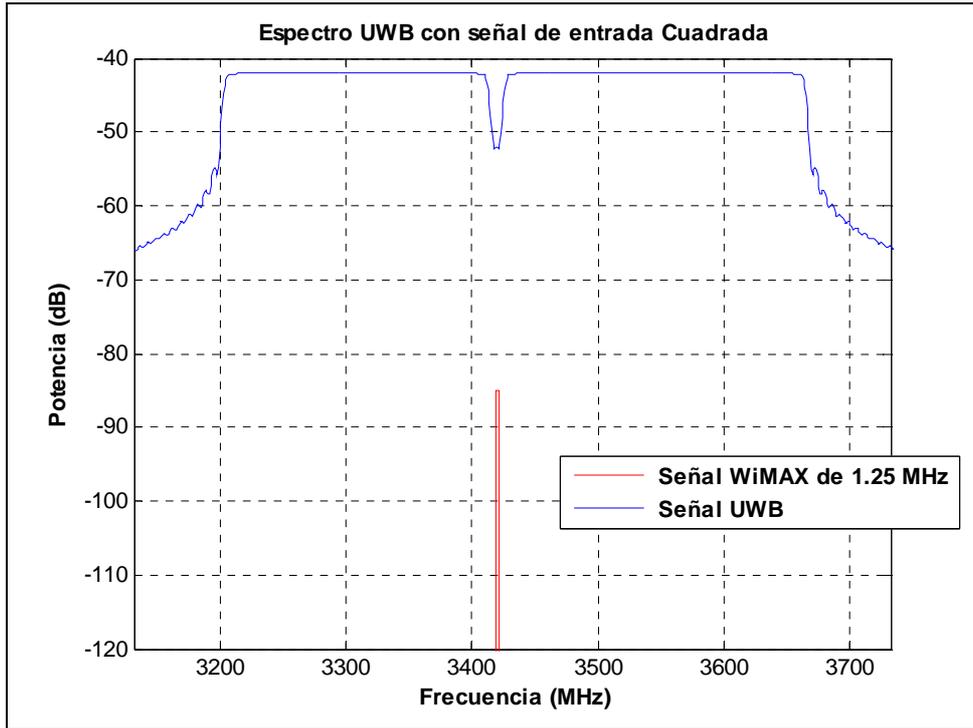


Figura 4.1.3 Espectro MB-OFDM UWB después de eliminar 2 portadoras

Como podemos observar eliminando dos portadoras no conseguimos atenuar la señal al menos hasta -82 dBm/MHz por tanto esto no será suficiente.

Con una señal WiMAX de 2.5 MHz, igual que en el caso anterior, sólo es necesario eliminar dos portadoras porque el ancho de banda de la señal WiMAX es menor que el ancho de banda que separa dos portadoras MB-OFDM (4.125 MHz):

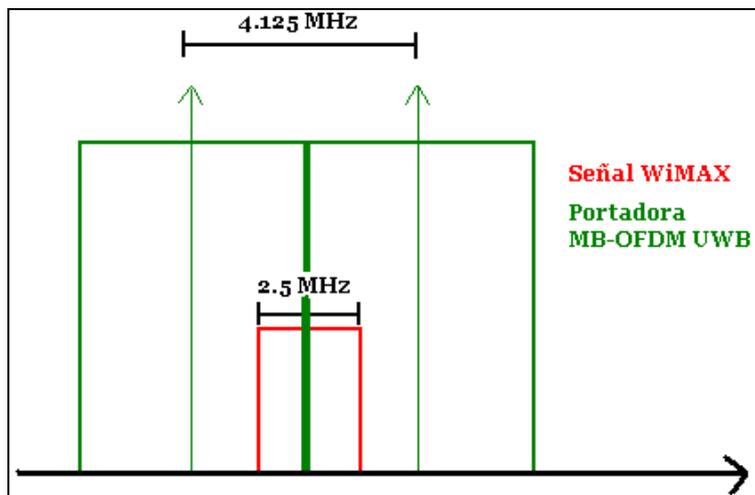


Figura 4.1.4 Señal WiMAX de 2.5 MHz entre dos portadoras MB-OFDM UWB

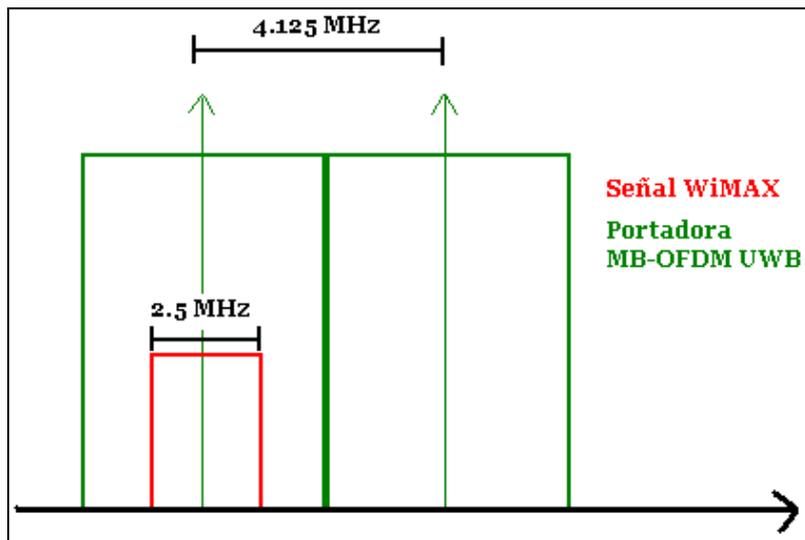


Figura 4.1.5 Señal WiMAX de 2.5 MHz en una portadora MB-OFDM UWB

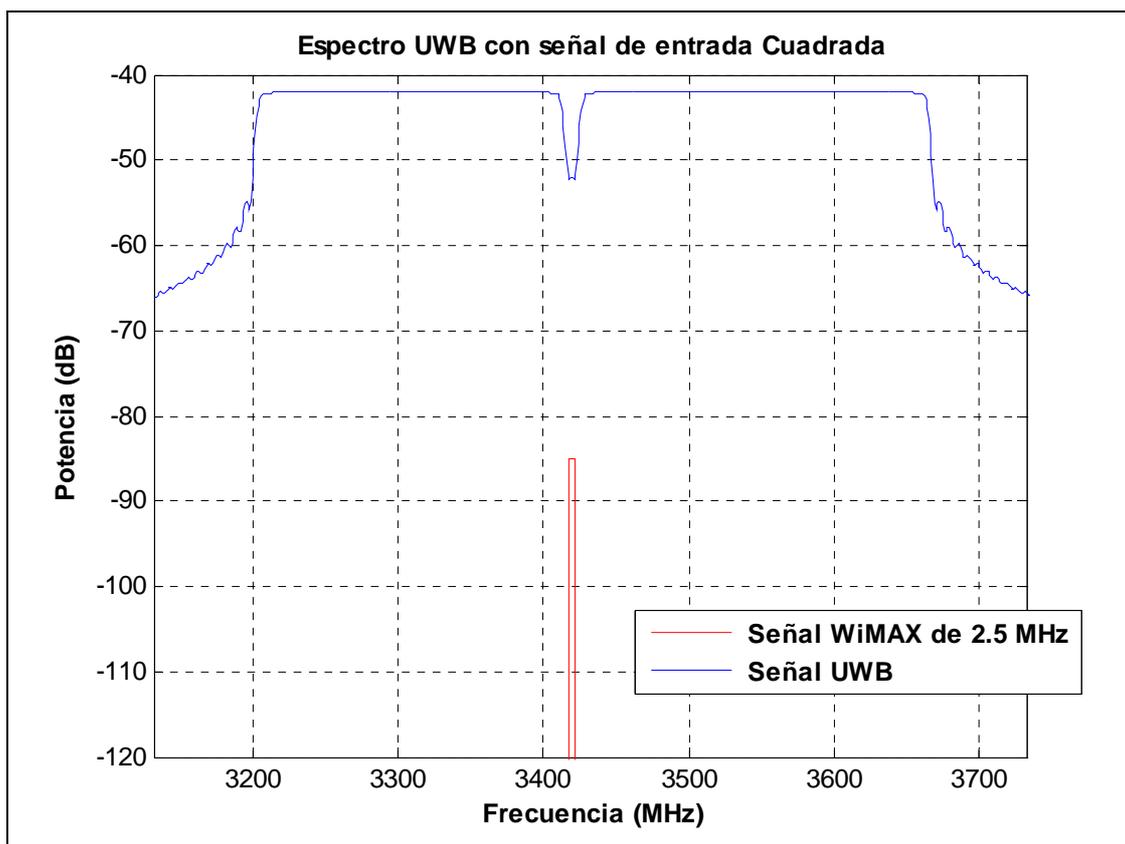


Figura 4.1.6 Espectro MB-OFDM UWB después de eliminar 2 portadoras

Con una señal WiMAX de 5 MHz de ancho de banda es necesario eliminar tres portadoras de la señal *MB-OFDM UWB* porque el ancho de banda de la señal WiMAX es menor que el ancho de banda entre tres portadoras MB-OFDM (8.25 MHz):

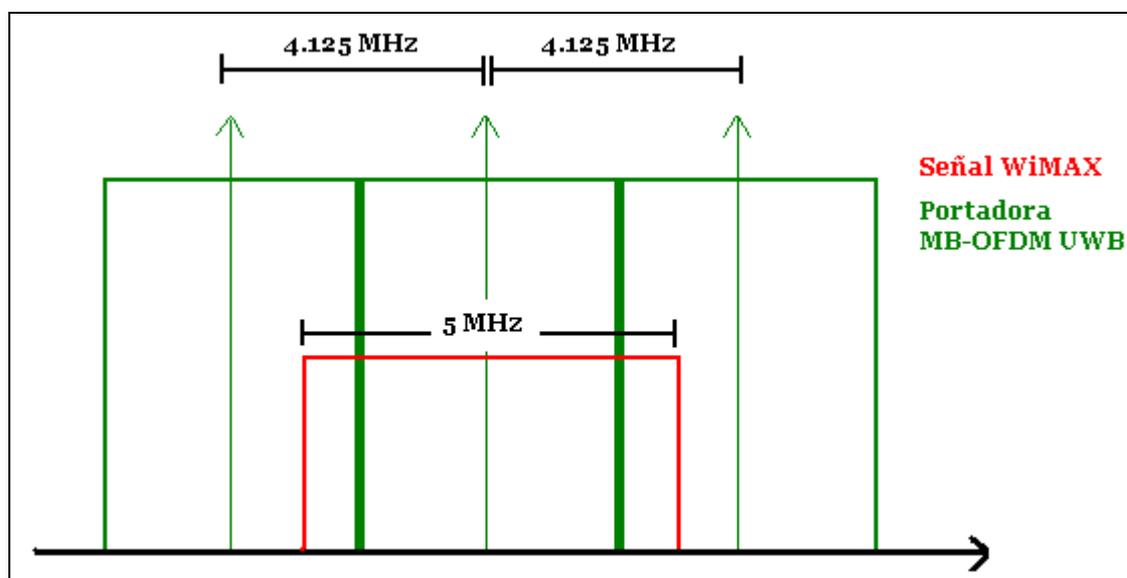


Figura 4.1.7 Señal WiMAX de 5 MHz en una portadora MB-OFDM UWB

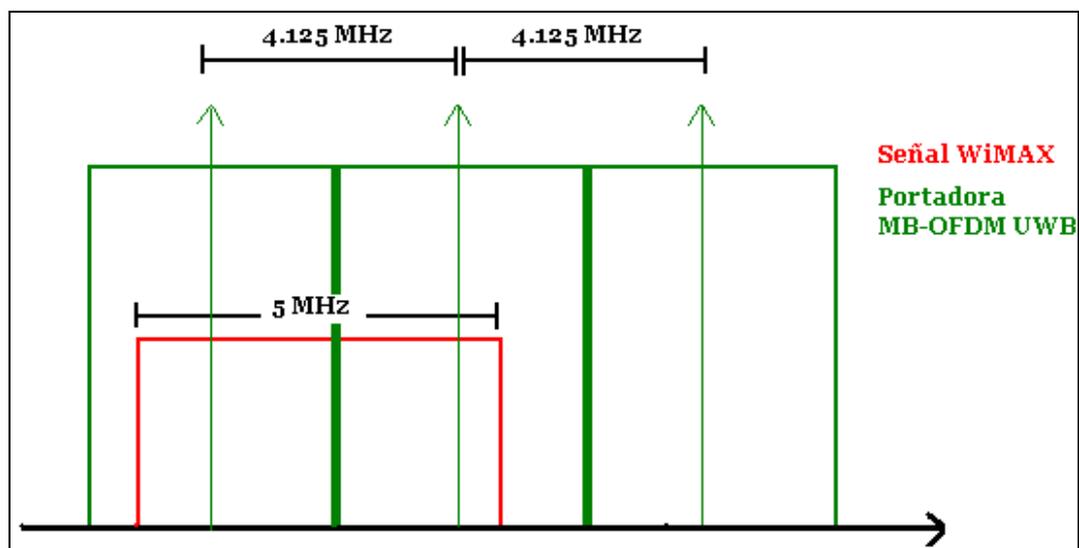


Figura 4.1.8 Señal WiMAX de 5 MHz entre dos portadoras MB-OFDM UWB

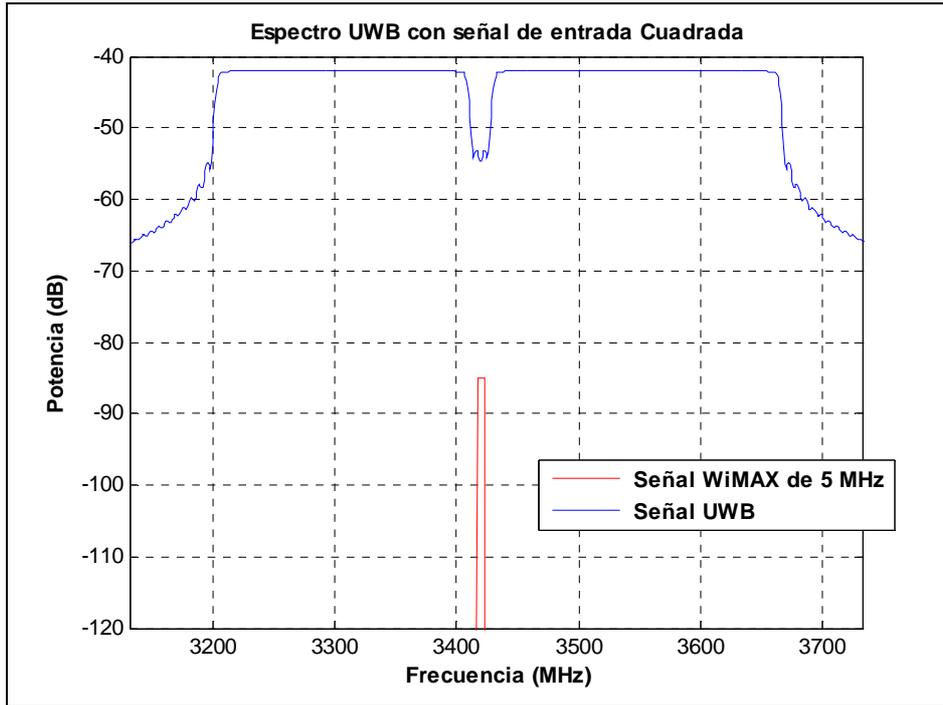


Figura 4.1.9 Espectro MB-OFDM UWB después de eliminar 3 portadoras

Con una señal WiMAX de 10 MHz de ancho de banda, siguiendo el razonamiento de los casos anteriores, el número de portadoras que debemos eliminar para atenuar la potencia de la señal MB-OFDM UWB es:  $10\text{MHz}/4.125\text{ MHz} + 1 = 3.42$   
 → 4 portadoras

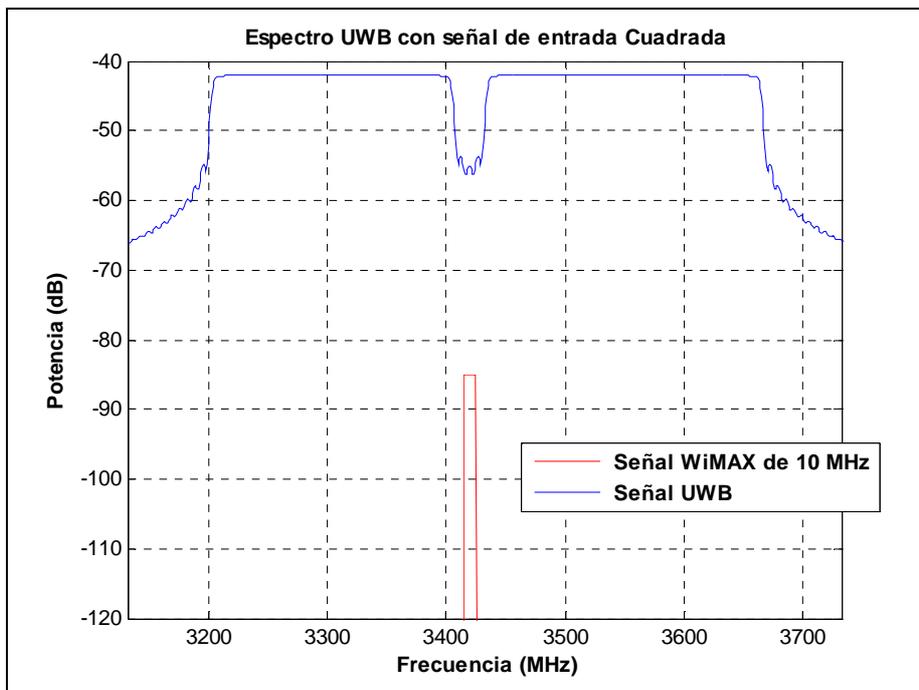


Figura 4.1.10 Espectro MB-OFDM UWB después de eliminar 4 portadoras

Para atenuar la señal MB-OFDM UWB en la banda de la señal WiMAX de 20 MHz, eliminamos 6 portadoras (resultado de  $20\text{MHz}/4.125\text{ MHz} + 1$ )

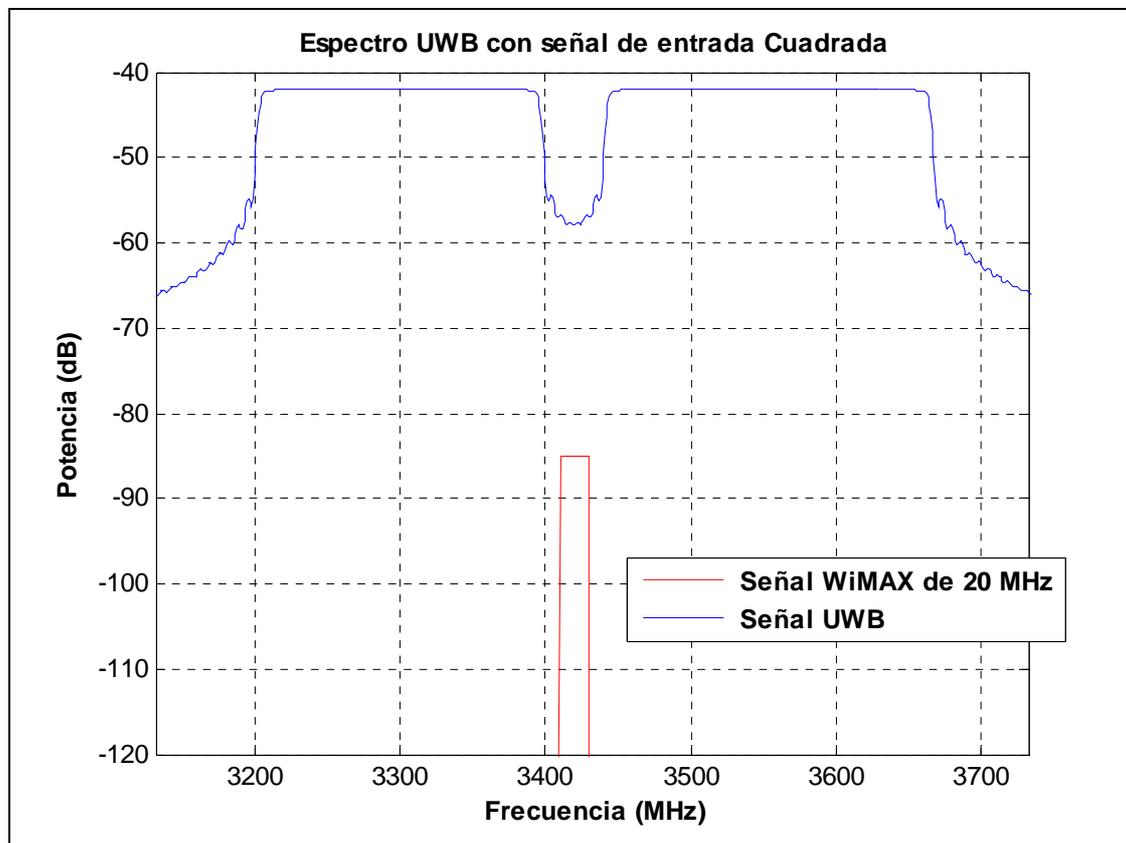


Figura 4.1.11 Espectro MB-OFDM UWB después de eliminar 6 portadoras

Aunque eliminando portadoras conseguimos reducir la potencia de la señal MB-OFDM UWB, hemos visto que no es suficiente porque en ningún caso alcanzamos la potencia objetivo de  $-82\text{ dBm/MHz}$  para que pueda coexistir con una señal WiMAX de  $-70\text{ dBm/MHz}$  de potencia.

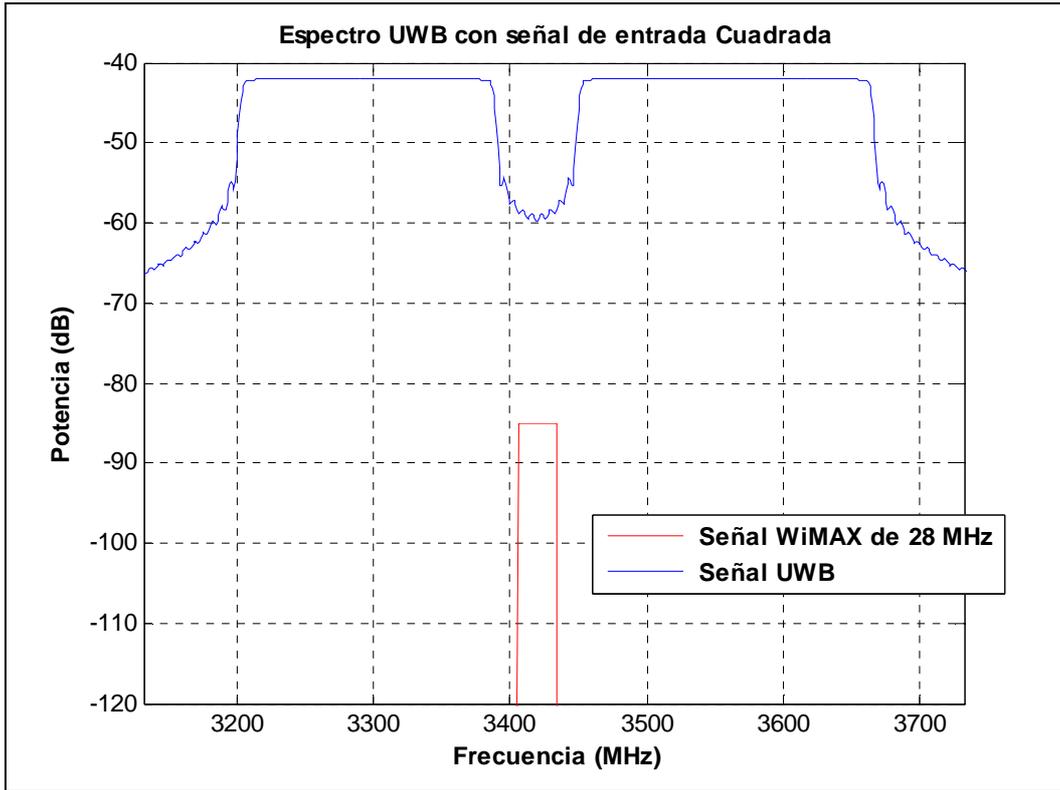


Figura 4.1.12 Espectro MB-OFDM UWB después de eliminar 8 portadoras

El número de portadoras a eliminar viene definido en la siguiente Tabla 4.4.1:

Tabla 4.1.1 Número de portadoras MB-OFDM a eliminar

Bw WiMAX (MHz)	Número de portadoras MB-OFDM a eliminar
1,25	2
1.75	2
2,5	2
3-5	2
5	3
7	3
10	4
14	5
20	6
28	8

De los ejemplos anteriores comprobamos que en el peor de los casos eliminamos 8 portadoras y sólo conseguimos reducir la potencia aproximadamente unos 20 dB que están lejos de los 40 dB que pretendemos reducir. Una primera solución pasa por anular

más tonos (a los lados) [14] y la Figura 4.1.13 demuestra que anulando 40 tonos no conseguimos atenuar la señal los 40 dB deseados, sólo la degradamos aún más.

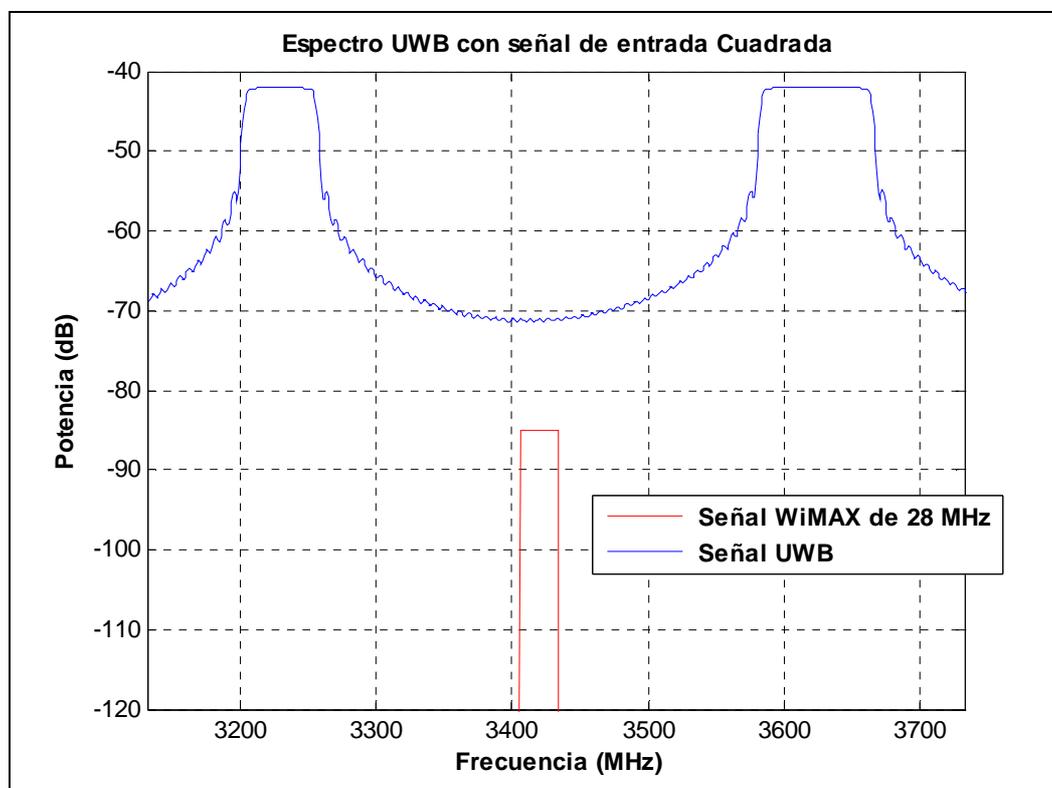


Figura 4.1.13 Señal MB-OFDM UWB eliminando 40 portadoras

Ahora necesitamos otra ayuda para conseguir reducir aún más la potencia de la señal MB-OFDM en la banda de la señal WiMAX. En los diferentes estudios existentes sobre este tema se barajan varias posibilidades, por ejemplo la cancelación activa de interferencias o la aplicación de un filtro Notch digital en el dominio del tiempo después del bloque IFFT [10]. El efecto de cualquiera de estas dos “ayudas” es evidente, ya que perderemos las portadoras que se eliminan con cualquiera de esas dos técnicas.

Nuestro trancceptor cuenta también con un filtro Notch que actúa de una forma u otra en caso de que la potencia resultante de eliminar portadoras no sea menor o igual a -82 dBm/MHz y dependiendo de las características sea la señal detectada.

## 4.2 Filtro Notch

Para implementar el método de DAA, un Filtro Notch RF es un dispositivo útil para eliminar una banda que se quiere evitar. Existen trabajos de investigación [15–17] en los que los autores proponen técnicas de filtrado basadas en una combinación de filtros paso banda y filtros Notch como una implantación inicial de las técnicas DAA. Esos filtrados proporcionan una profundidad en la banda que se desea eliminar que efectivamente puede dejar la potencia en el nivel deseado para que no interfiera con la señal BWA, pero este filtro actúa siempre en esa banda sin importar si ésta está operativa o no.

Para un sistema radio UWB como en el que basamos nuestro estudio, sería más adecuado poder utilizar un filtro Notch sintonizable, que nos permita elegir la banda a eliminar en función de dónde aparezca la señal WiMAX. Hay un estudio [18] en el que se indica que se diseñó un filtro eliminabanda Notch sintonizable. Aunque ese filtro no es aplicable a un sistema UWB porque su área de tuneado es limitada, nos sirve de base para definir un filtro que englobe todas las características requeridas.

Una nueva técnica para conseguir el rango de tuneo requerido en un sistema UWB se definió en [19]. Pero en este caso el inconveniente es que la banda a eliminar cubría casi toda la banda inferior de UWB (entre 2 y 5 GHz), y que es precisamente en la que centramos nuestro estudio (Figura 4.2.1). Una situación ideal sería que el ancho de banda del filtro Notch sea igual al ancho de banda de la señal detectada (en nuestro caso WiMAX) y sabemos que anchos de banda mayores degradarán la señal MB-OFDM UWB y esto afectará directamente a la calidad y tasa binaria de la comunicación.

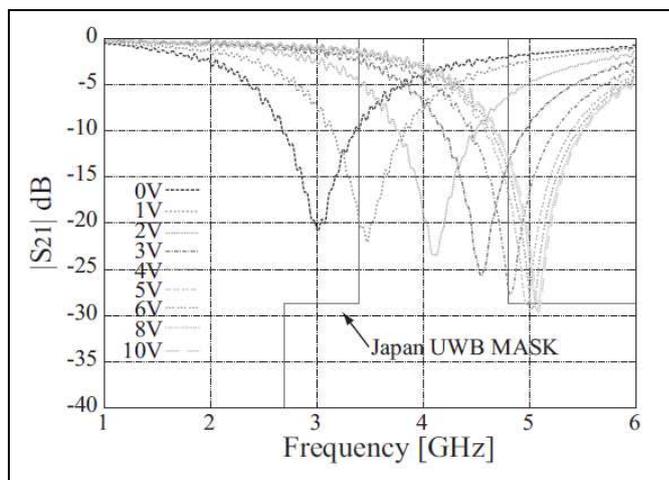


Figura 4.2.1 Características de transmisión del Filtro Notch tuneable usando cortocircuito

Finalmente encontramos el filtro definido en [20] en el que para diseñarlo se reemplaza el cortocircuito final utilizado en [19] (Filtro Notch de la Figura 4.2.2) por un circuito abierto haciendo que el circuito tenga un cuarto de longitud de onda más.

De acuerdo con la teoría de Líneas de transmisión, un circuito con corto circuito y otro con circuito abierto y un cuarto más de longitud de onda tienen el mismo rendimiento en la frecuencia central, pero el comportamiento es diferente en el resto de frecuencias.

En la Figura 4.2.2 podemos ver los circuitos y los filtros correspondientes. En ambos casos la frecuencia de resonancia está en torno a 3.25 GHz y se utilizan condensadores  $C_s = 3$  pF. Queda por tanto claro que la propuesta con circuito abierto ofrece una banda más estrecha a eliminar que la configuración en cortocircuito (aproximadamente una cuarta parte menos).

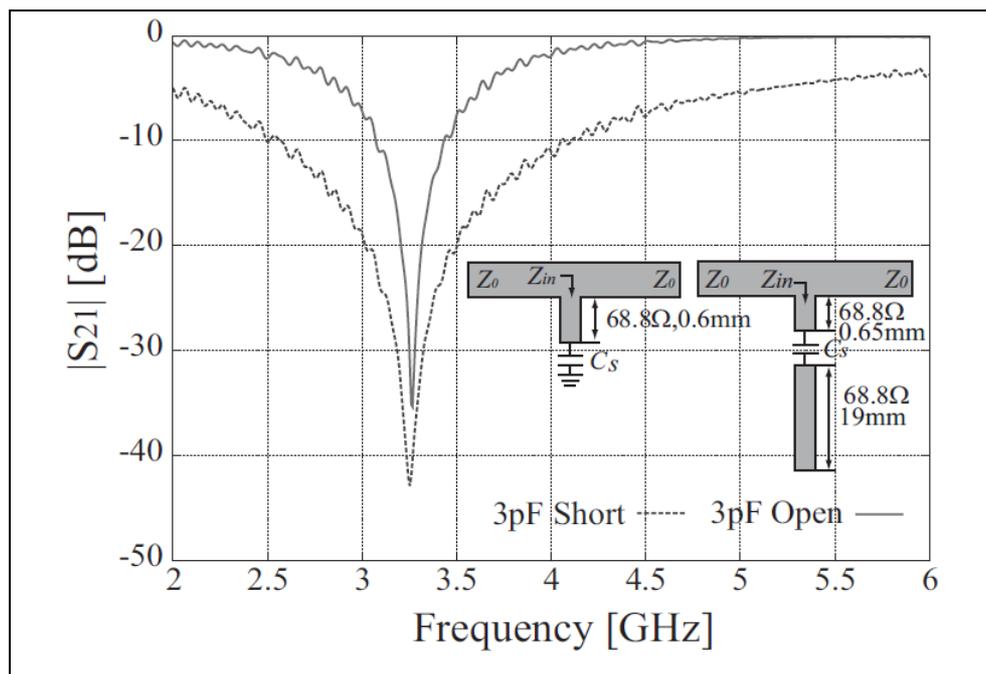


Figura 4.2.2 Características de transmisión de un filtro Notch con corto circuito y circuito abierto

Mediante una simulación de *Matlab* hemos implementado los dos filtros anteriores con las siguientes características

Tabla 4.2.1 Características de los Filtros Notch implmentados

<b>B<sub>Atenuación</sub>(dB)</b>	<b>Filtro Notch con corto circuito</b>	<b>Filtro Notch con circuito abierto</b>
	<b>Ancho de Banda (MHz)</b>	
<b>B<sub>3</sub> dB</b>	24 MHz	36 MHz
<b>B<sub>10</sub> dB</b>	80 MHz	124 MHz
<b>B<sub>20</sub> dB</b>	244 MHz	430 MHz

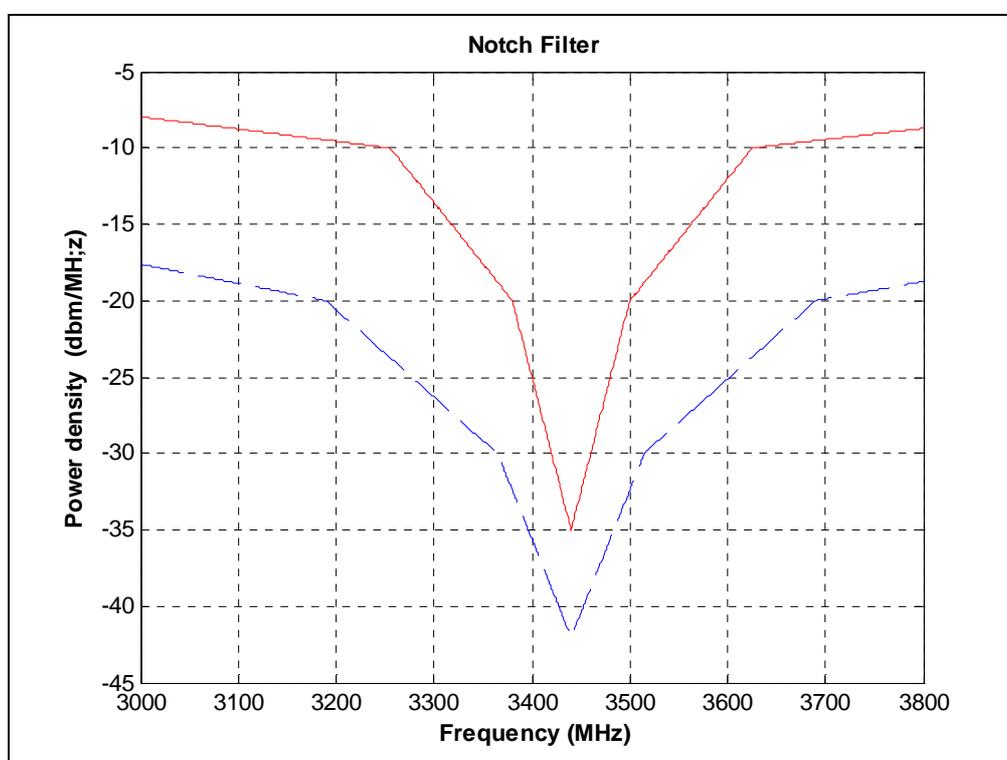


Figura 4.2.3 Filtros Noch con circuito abierto (rojo) cuya máxima atenuación es 35 dB y corto circuito (azul) cuya máxima atenuación es 43 dB

Si tenemos en cuenta que eliminando portadoras de la señal MB-OFDM UWB conseguimos reducir su potencia entre -52 y -57 dBm/MHz aproximadamente cualquiera de los dos filtros de la Figura 4.2.3 nos serviría para reducir la potencia hasta -82 dBm/MHz. Con el primer filtro (rojo) alcanzaríamos entre -87 y -92 dBm/MHz y con el segundo filtro (azul) alcanzaríamos entre -95 y -100 dBm/MHz.

Ya que ambos filtros cumplen las condiciones necesarias para conseguir que la señal MB-OFDM coexista con la señal WiMAX, elegimos el que tiene mejores prestaciones tanto en la banda superior, que permitirá no atenuar tanto la señal MB-OFDM en zonas que no sea necesario como en las bandas centrales por el mismo motivo. Esto lo cumple el filtro rojo (circuito abierto y un cuarto más de longitud de onda).

Ahora que ya tenemos definido el filtro a utilizar, también debemos estudiar cómo será posible utilizar el filtro únicamente cuando creamos que es conveniente. Es decir, sabemos que nuestro estudio en primer lugar realiza una eliminación de portadoras y si la potencia mínima de la señal MB-OFDM UWB es superior a -82 dBm/MHz el filtro Notch nos ayudará a reducirla. En este punto es importante tener en cuenta dos características que debe tener el circuito (switch) que controle la activación del filtro:

- El filtro se activa al detectar la señal del sistema WiMAX
- La frecuencia central que debe utilizar el filtro Notch es la que detecte nuestro receptor UWB, y que será una frecuencia aproximada a la frecuencia central de la señal WiMAX detectada.
- Debe ser capaz de trabajar en altas frecuencias, con respuestas rápida y larga vida de duración.

A continuación en la Figura 4.2.4 presentamos el circuito completo de transmisión que incluye la antena receptora, el filtro Notch, el receptor UWB y el switch que activará y desactivará el filtro cuando sea necesario.

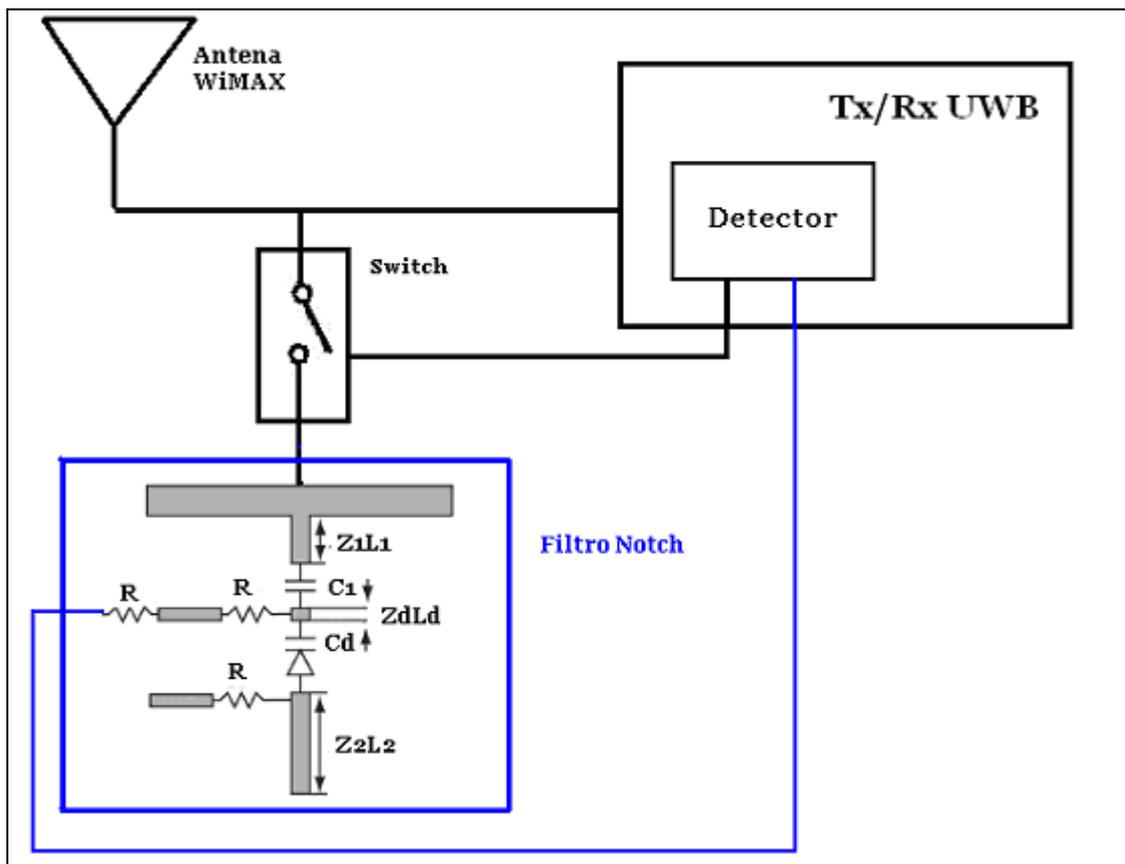


Figura 4.2.4 Circuito de activación del filtro Notch

Parámetros del filtro Notch utilizado [20]

Tabla 4.2.2 Parámetros del Filtro Notch utilizado

$Z_1$	68.8 $\Omega$
$Z_2$	100 $\Omega$
$Z_c$	68.8 $\Omega$
$C_1$	10 pF
$R_d$	15 $\Omega$
$L_1$	0.65 mm
$L_2$	15 mm
$L_c$	2 mm
$R$	10 K $\Omega$

$C_d$  es el parámetro más importante en el circuito, y es el que definirá la frecuencia del filtro. A continuación indicamos los valores utilizados en [20]:

Tabla 4.2.3 Valores de  $C_d$  utilizados en [20] para implementar el Filtro Notch

$C_d$ (pF)	$f_{\text{central}}$ (GHz)
10	3.17
2	3.52
1	3.86
0.4	4.55

Cuando se detecte una señal WiMAX, se aplica una tensión en  $V_{in}$ , el switch en este caso equivale a una resistencia que cada vez se va haciendo más pequeña y por tanto el switch estará en modo *ON* (Figura 4.2.5) y el filtro Notch se activará para atenuar la señal MB-OFDM UWB en la frecuencia correspondiente. Si no se detecta ninguna señal, no existe tensión en  $V_{in}$  por tanto, el switch en este caso equivale a una resistencia que cada vez se va haciendo más grande (idealmente infinita) y por tanto el switch permanecerá en modo *OFF* (Figura 4.2.6) y la señal MB-OFDM UWB casi no sufrirá ninguna modificación.

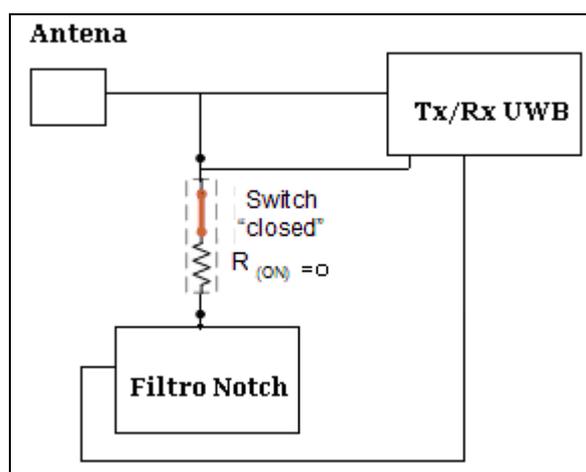


Figura 4.2.5 Circuito con Switch en modo ON

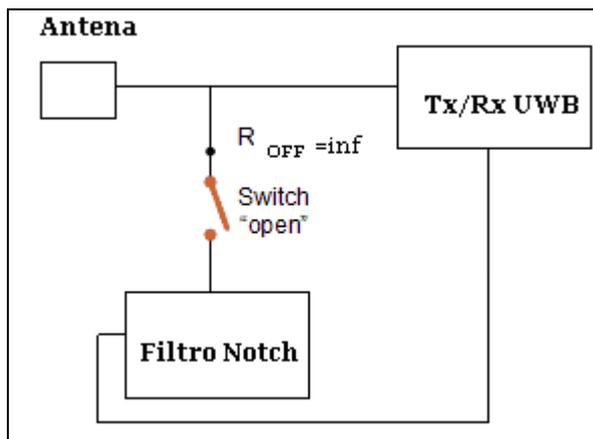


Figura 4.2.6 Circuito con Switch en modo OFF

Es importante tener en cuenta para la implementación de este circuito las características de un switch real que sea capaz de trabajar en la banda de 3.5 GHz. Hoy en día existen diversos dispositivos de este tipo capaces de trabajar con bajas pérdidas de inserción (~ 3 dB) y con gran aislamiento (hasta 100 dB) [21].

Si tenemos en cuenta que una situación ideal un switch tiene 0 dB de pérdidas de inserción y aislamiento infinito, esto significa en modo *ON* el switch tiene una resistencia  $R_{on} = 0 \Omega$  y en modo *OFF* una  $R_{off} = \infty$ .

Veamos a continuación cómo afectará esto en el Proyecto que hemos realizado. Para ello analizamos las pérdidas de inserción (IL) [22]:

$$IL(dB) = 20 \log_{10} \left( 1 + \frac{R_{on}}{2Z_o} \right) \tag{4.2}$$

Si tenemos en cuenta que  $Z_o = 50 \Omega$

Tabla 4.2.4 Valores de  $R_{on}$  para distintos valores de Pérdidas de Inserción

<b>Pérdidas de inserción (dB)</b>	<b><math>R_{on}</math> (<math>\Omega</math>)</b>
0	0
0.2	2.33
0.4	4.71
0.6	7.15
0.8	9.65
1	12.2

Comprobamos que conforme aumentan las pérdidas de inserción, la resistencia del circuito equivalente del switch ( $R_{on}$ ) también aumento y se aleja del caso ideal (0  $\Omega$ ).

## 4.3 Resultados después de eliminar portadoras y aplicar Filtro Notch

Una vez detectada la señal WiMAX, decidido el número de portadoras que se debe eliminar y calculada la frecuencia central aproximada de la señal detectada, será necesario activar el filtro Notch.

### 4.3.1 Señal de entrada cuadrada

#### 4.3.1.1 $B_w\text{WiMAX}=1.25$ MHz centrada en $f=3420$ MHz

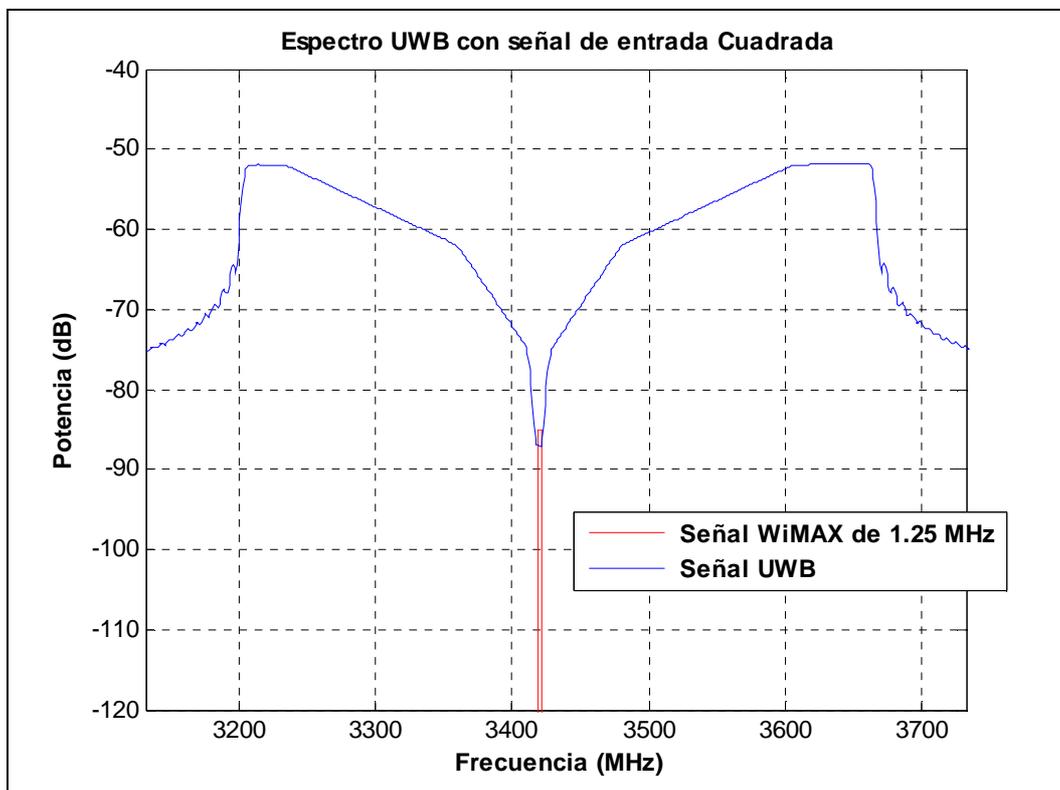


Figura 4.3.1 Espectro MB-OFDM después de eliminar 2 portadoras y aplicar Filtro Notch

Si se detecta una WiMAX de **1.25 MHz**, se eliminarán 2 portadoras MB-OFDM UWB. El nivel de potencia de la señal UWB después de esto estará en  $-52.31$  dBm/MHz, lo cual no cumple el criterio establecido (ser menor o igual que  $-82$  dBm/MHz). Por tanto será necesario activar el filtro Notch, después de esta fase el nivel de señal UWB será, en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada de  **$-87.3$  dBm/MHz**.

### 4.3.1.2 BwWiMAX=2.5 MHz centrada en f=3420 MHz

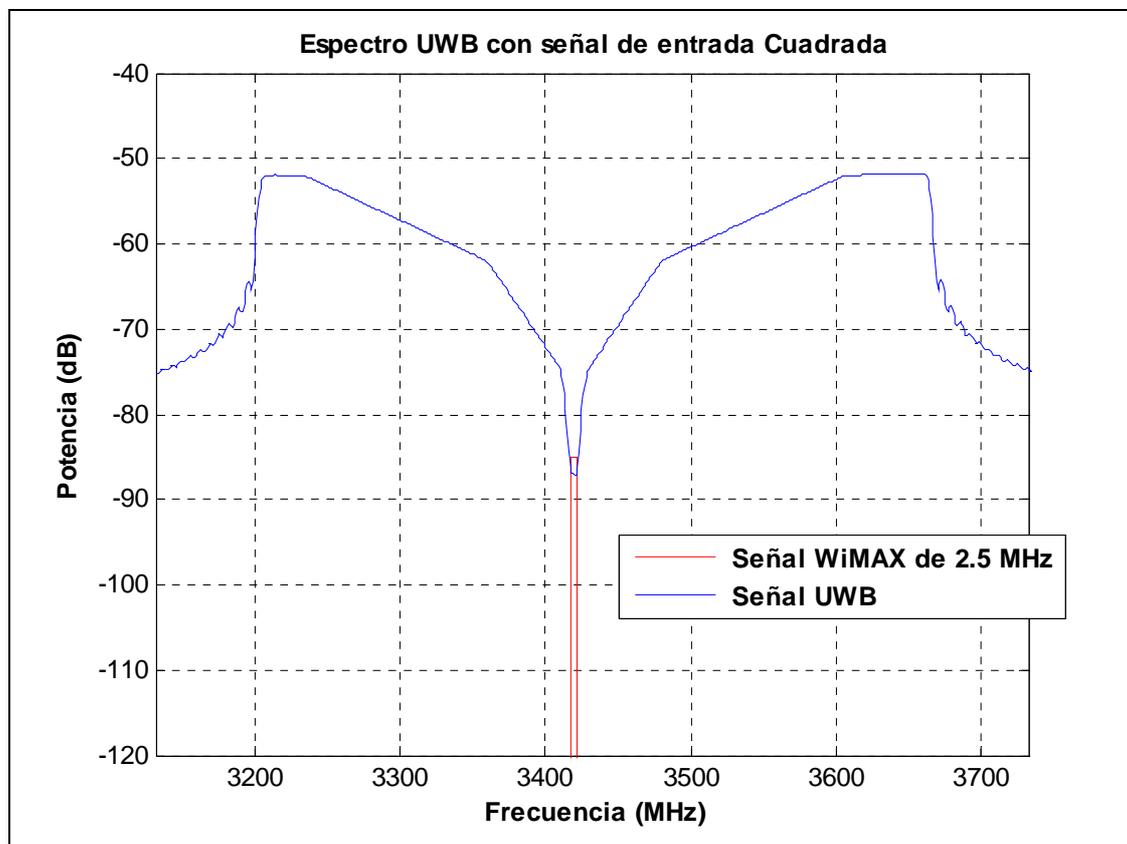


Figura 4.3.2 Espectro MB-OFDM después de eliminar 2 portadoras y aplicar Filtro Notch

Con una señal WiMAX de **2.5 MHz**, también será necesario eliminar 2 portadoras y el nivel de potencia de la señal MB-OFDM UWB se reducirá hasta **-52.31 dBm/MHz**. También será necesario activar el filtro Notch e igual que en caso anterior se conseguirá un nivel mínimo de señal UWB, en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada, de **-87.3 dBm/MHz**.

### 4.3.1.3 $B_w\text{WiMAX} = 5 \text{ MHz}$ centrada en $f = 3420 \text{ MHz}$

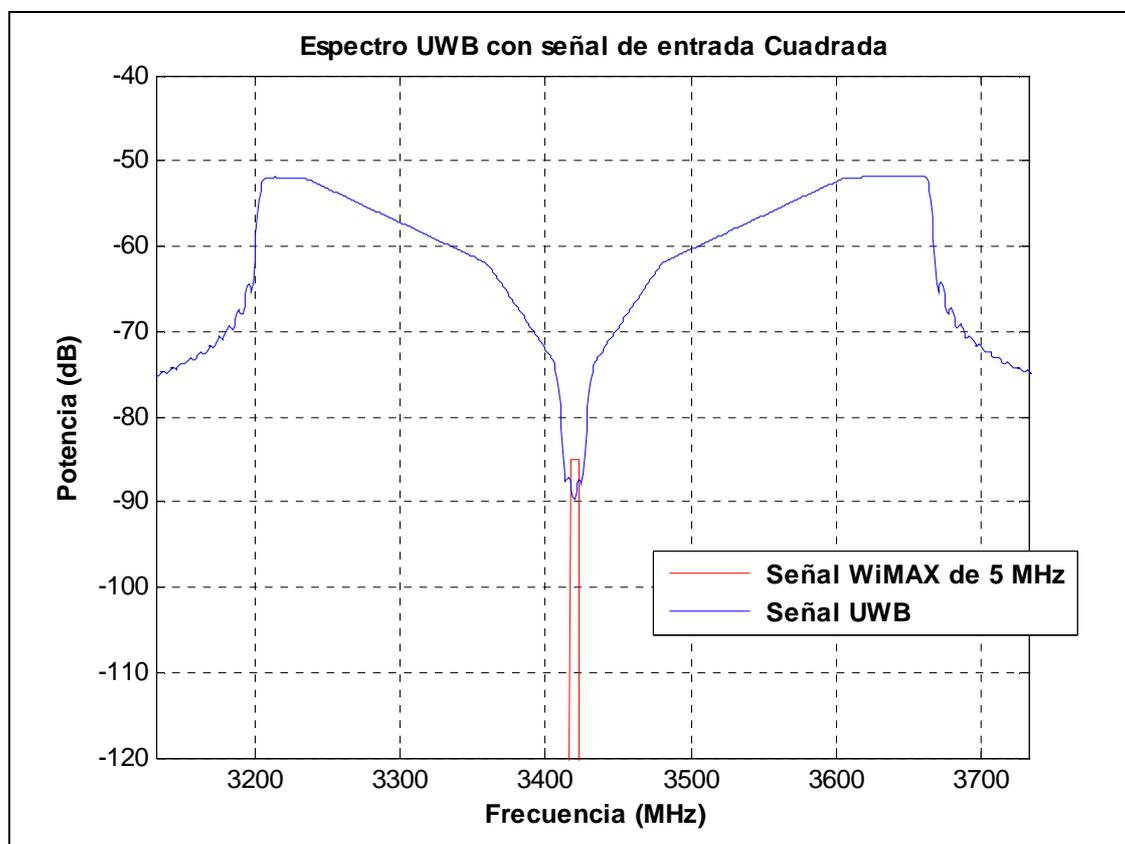


Figura 4.3.3 Espectro MB-OFDM después de eliminar 3 portadoras y aplicar Filtro Notch

Con una señal WiMAX de **5 MHz**, se eliminarán 3 portadoras MB-OFDM UWB quedando esta señal con un nivel mínimo de potencia de  $-54.85 \text{ dBm/MHz}$ . También en este caso será necesario activar el filtro Notch y se conseguirá reducir la potencia en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada hasta  **$-89.59 \text{ dBm/MHz}$** .

#### 4.3.1.4 $B_w\text{WiMAX}=10$ MHz centrada en $f=3420$ MHz

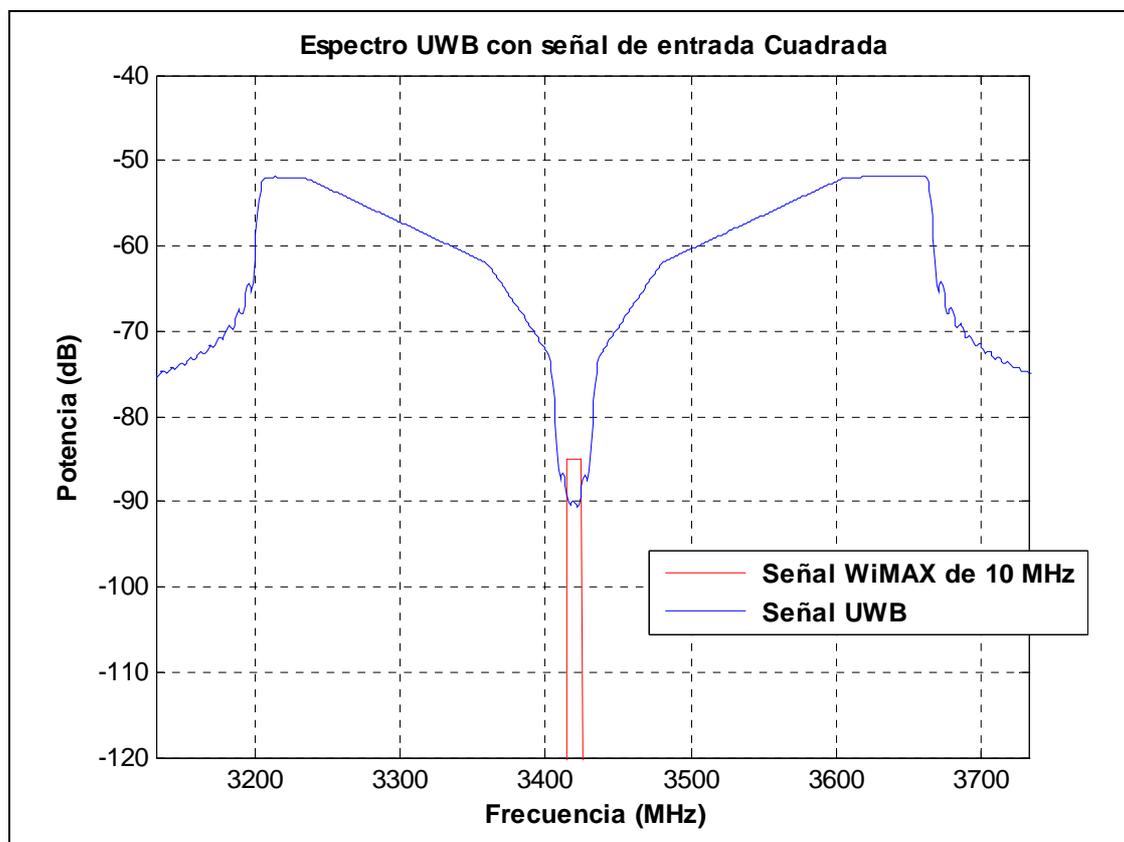


Figura 4.3.4 Espectro MB-OFDM después de eliminar 4 portadoras y aplicar Filtro Notch

Con una señal WiMAX de **10 MHz**, será necesario eliminar 4 portadoras reduciendo el nivel de potencia de la señal UWB, en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada hasta  $-56.3$  dBm/MHz. Se activará por tanto el filtro Notch y después de aplicarlo en la señal UWB, la potencia mínima de esta señal, en la frecuencia central de la señal WiMAX será de  **$-90.81$  dBm/MHz**.

### 4.3.1.5 BwWiMAX=20 MHz centrada en f=3420 MHz

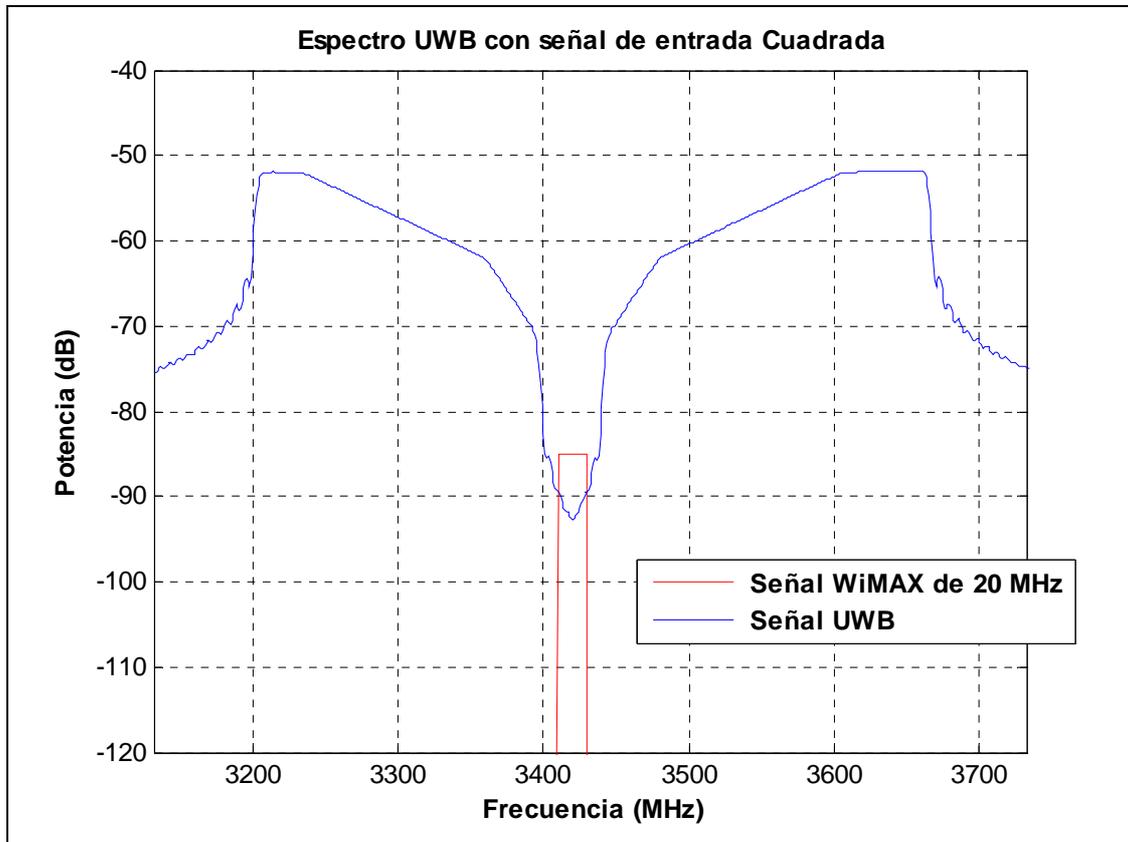


Figura 4.3.5 Espectro MB-OFDM después de eliminar 6 portadoras y aplicar Filtro Notch

Con una señal WiMAX de **20 MHz** se eliminan 6 portadoras MB-OFDM UWB, consiguiendo reducir su nivel de potencia hasta un valor mínimo de  $-57.89$  dBm/MHz (en la frecuencia central de la señal WiMAX). Al ser un valor de potencia inferior al establecido como nivel de potencia objetivo, se aplica el filtro Notch y éste consigue reducir el nivel de potencia de la señal UWB hasta  **$-92.81$  dBm/MHz** en la frecuencia central de la señal WiMAX.

### 4.3.1.6 $B_w\text{WiMAX}=28$ MHz centrada en $f=3420$ MHz

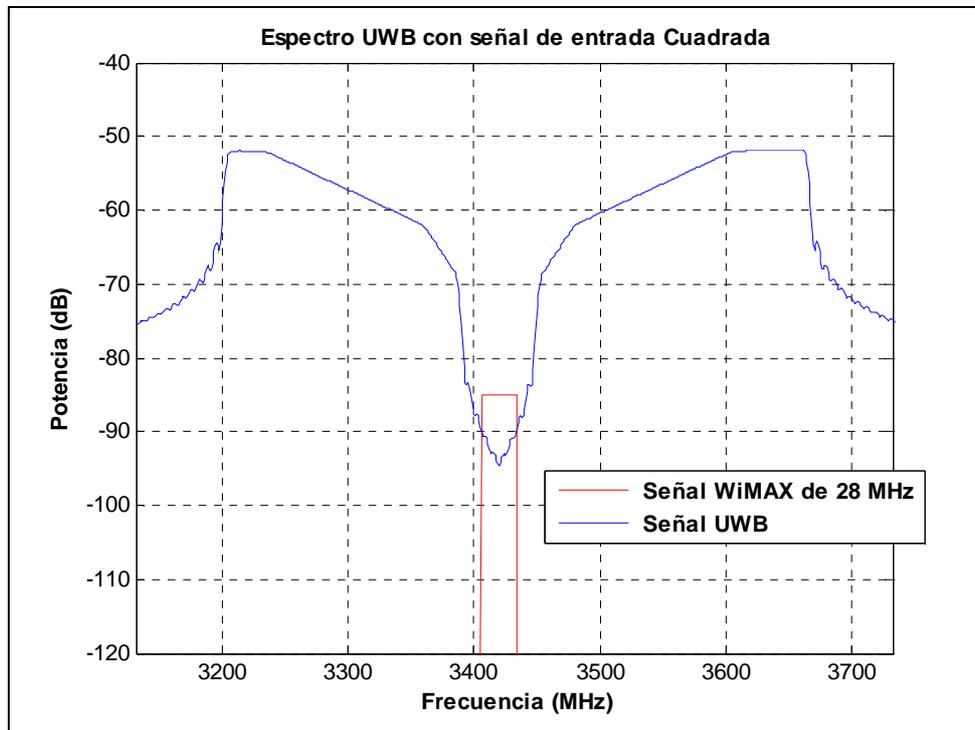


Figura 4.3.6 Espectro MB-OFDM después de eliminar 8 portadoras y aplicar Filtro Notch

Con una señal WiMAX de **28 MHz**, se eliminan 8 portadoras y el nivel de potencia de la señal UWB alcanza un mínimo de  $-59.73$  dBm/MHz, se activa por tanto el filtro Notch y se consigue un valor mínimo de potencia de la señal UWB (en la frecuencia central de la señal WiMAX) de  **$-94.53$  dBm/MHz**

En Las figuras anteriores (4.3.1 – 4.3.6) observamos que el filtro Notch ayuda a reducir el nivel de potencia de la señal MB-OFDM UWB en la frecuencia que le indicamos que es la frecuencia central de la señal WiMAX. Este es el principal objetivo de incluir este filtro en nuestro receptor, pero también se produce un efecto dañino en los laterales de la señal MB-OFDM UWB debido al filtro. Para compensar esta atenuación residual, debemos incluir en la lógica de control del filtro Notch una condición que haga que cada vez que se detecten señales WiMAX y se tenga que eliminar portadoras UWB, activar el filtro y mientras la señal detectada no se encuentre en los extremos de la banda, el transmisor suba la potencia en esas frecuencias, de esta forma esa subida de potencia compensaría la atenuación residual causada por el filtro Notch en la señal MB-OFDM UWB.

### 4.3.2 Señal de entrada coseno alzado con $\alpha = 0.25$ (señal no estándar):

#### 4.1.1 $Bw_{WiMAX} = 1.25$ MHz centrada en $f = 3420$

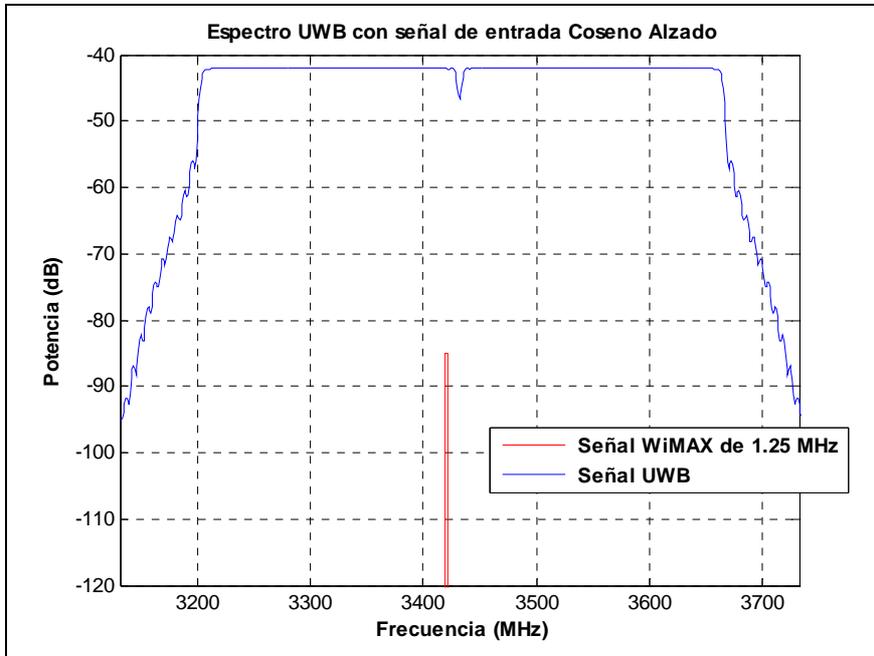


Figura 4.3.7 Espectro señal MB-OFDM UWB y señal WiMAX de 1.25 MHz

Si se detecta una WiMAX de **1.25 MHz**, se eliminarán 2 portadoras MB-OFDM UWB.

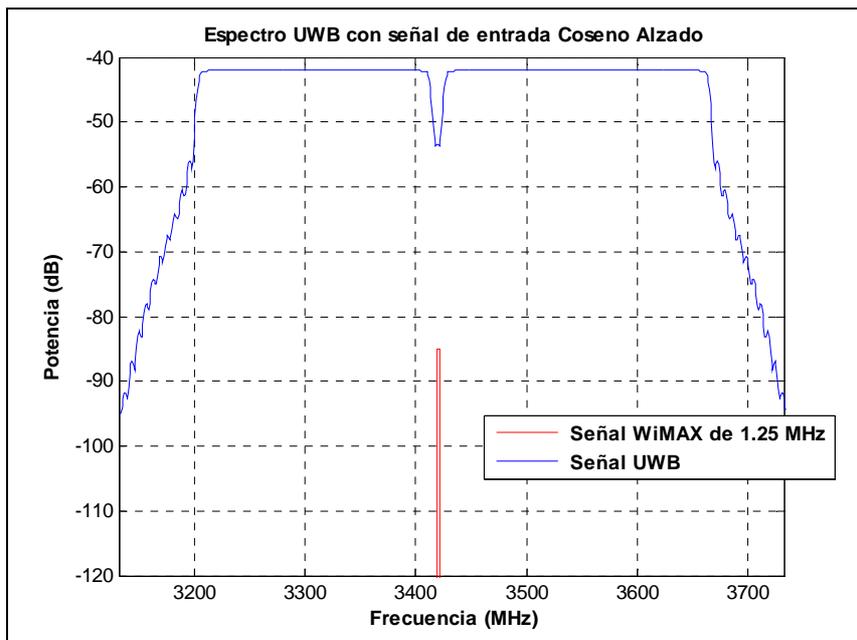


Figura 4.3.8 Espectro UWB después de eliminar dos portadoras

El nivel de potencia mínimo de la señal UWB en la frecuencia central de la señal WiMAX será aproximadamente  $-53.6 \text{ dBm /MHz}$ , lo cual no cumple el criterio establecido (ser menor o igual que  $-82 \text{ dBm/MHz}$ ) y es necesario activar el Filtro Notch:

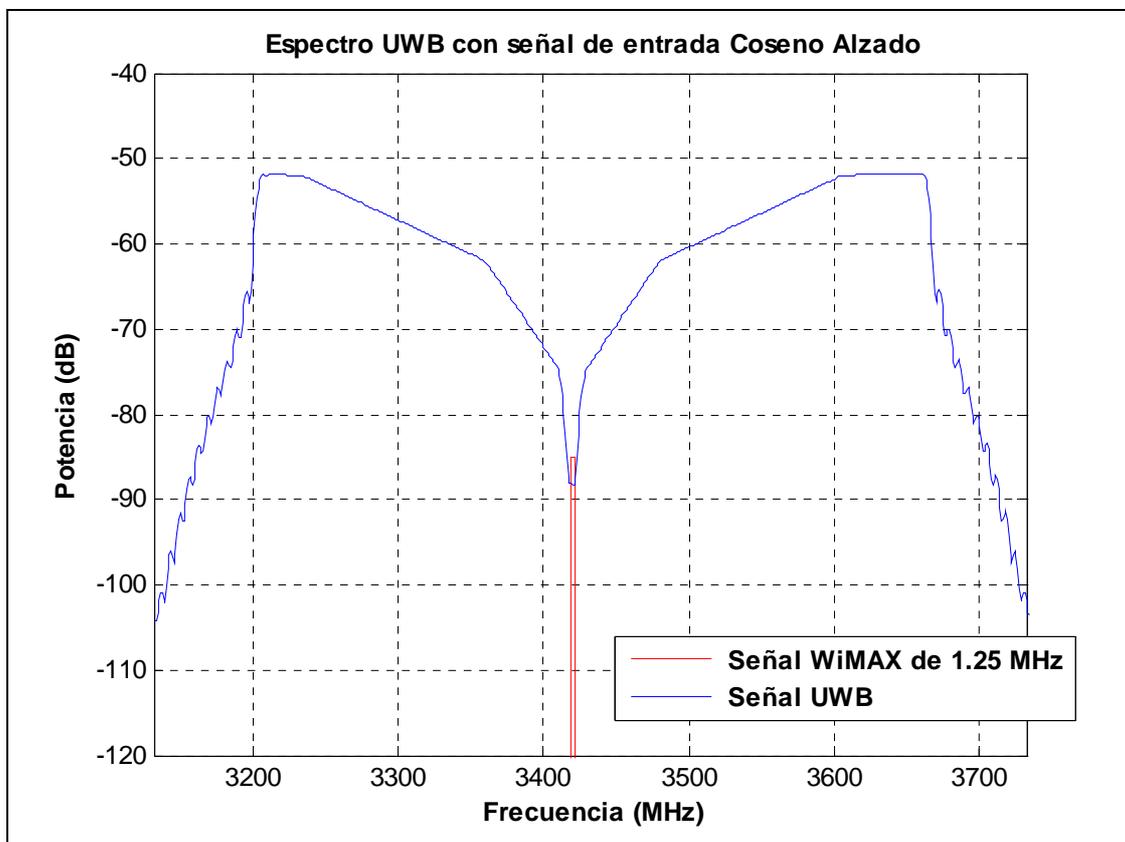


Figura 4.3.9 Espectro UWB después de eliminar 2 portadoras y aplicar Filtro Notch

Después de esto, el nivel de señal UWB será, en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada de  **$-88.54 \text{ dBm/MHz}$** .

### 4.3.2.1 BwWiMAX=2.5 MHz centrada en f=3420 MHz

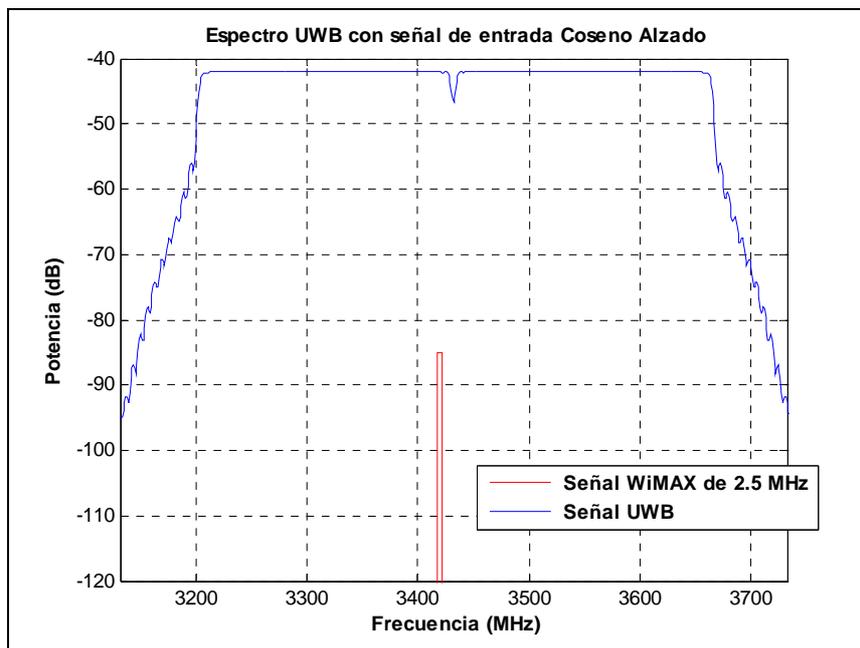


Figura 4.3.10 Espectro MB-OFDM UWB y señal WiMAX de 2.5 MHz

Con una señal WiMAX de **2.5 MHz**, también será necesario eliminar 2 portadoras y el nivel de potencia de la señal MB-OFDM UWB, en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada, se reducirá hasta -53.6 dBm/MHz.

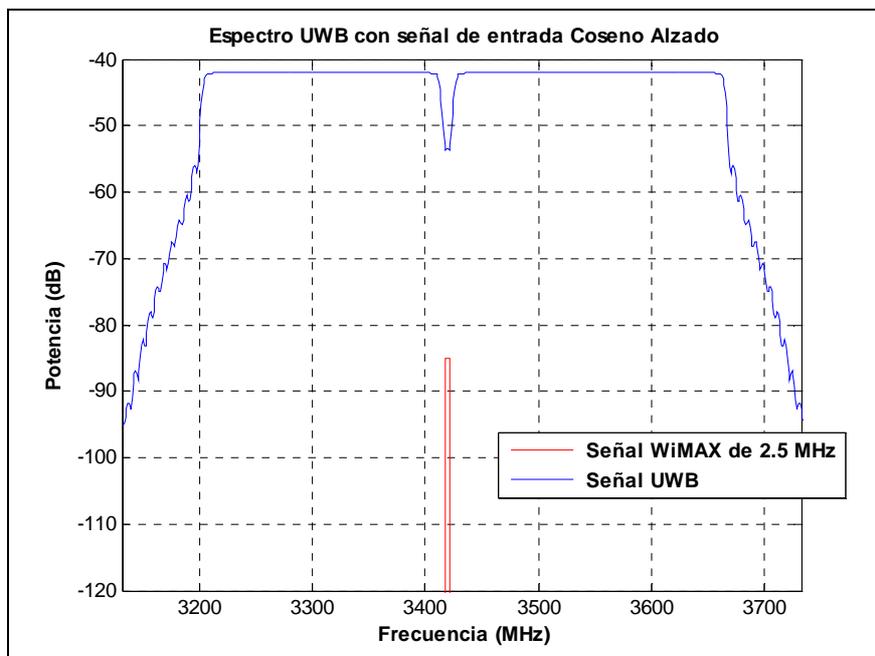


Figura 4.3.11 Espectro UWB después de eliminar dos portadoras

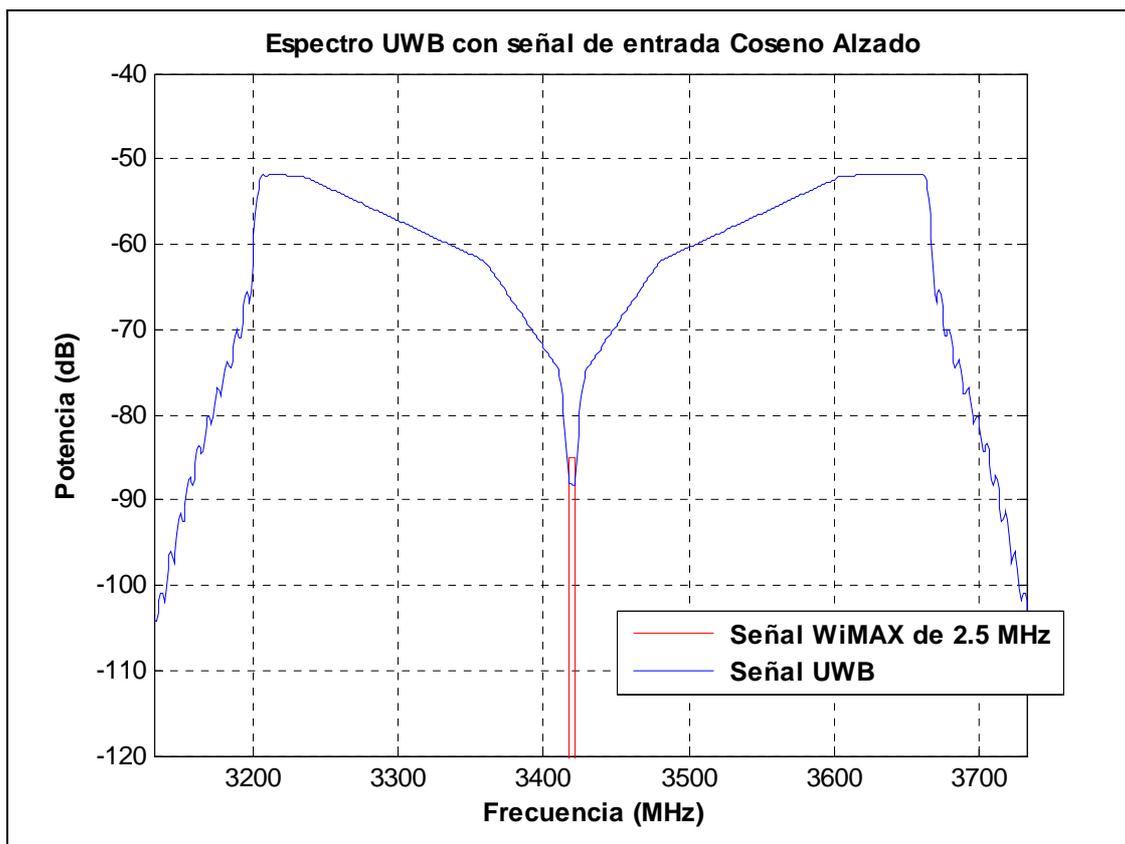


Figura 4.3.12 Espectro UWB después de eliminar 2 portadoras y aplicar Filtro Noch

También será necesario activar el filtro Notch e igual que en caso anterior se conseguirá un nivel mínimo de señal UWB, en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada, de **-88.54 dBm/MHz**.

### 4.3.2.2 $B_w\text{WiMAX}=5$ MHz centrada en $f=3420$ MHz

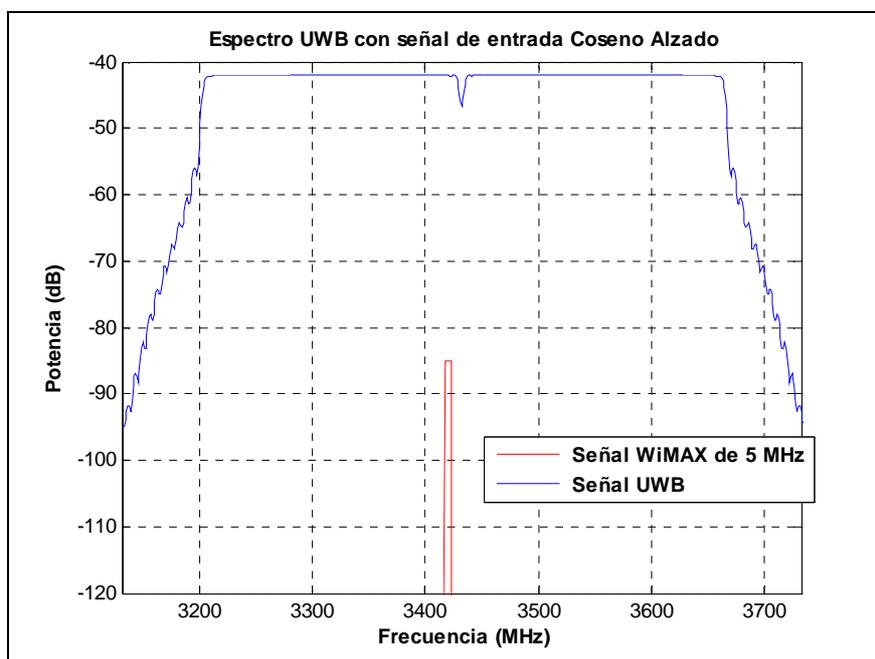


Figura 4.3.13 Espectro MB-OFDM UWB y señal WiMAX de 5 MHz

Con una señal WiMAX de **5 MHz**, se eliminarán 3 portadoras MB-OFDM UWB quedando esta señal con un nivel de potencia de  $-57.29$  dBm/MHz en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada.

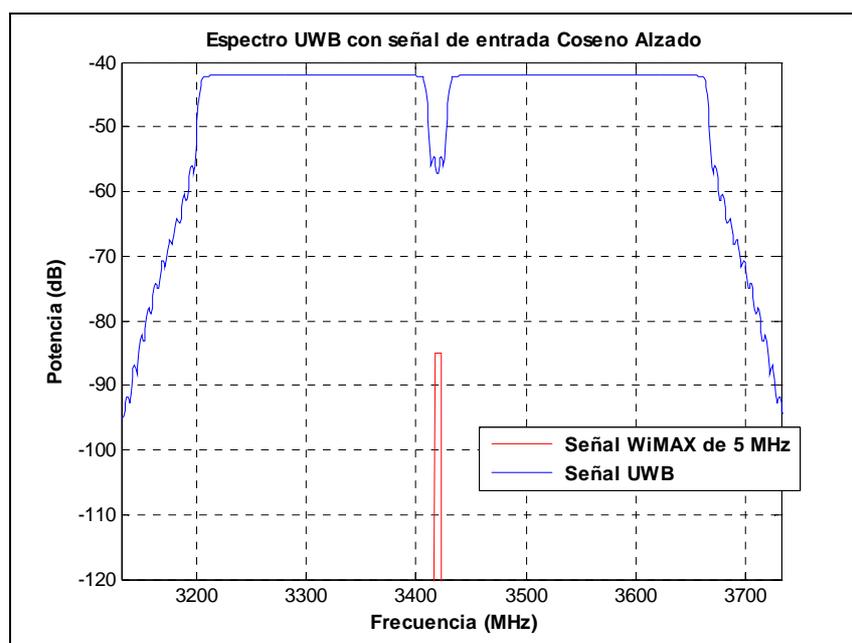


Figura 4.3.14 Espectro UWB después de eliminar 3 portadoras

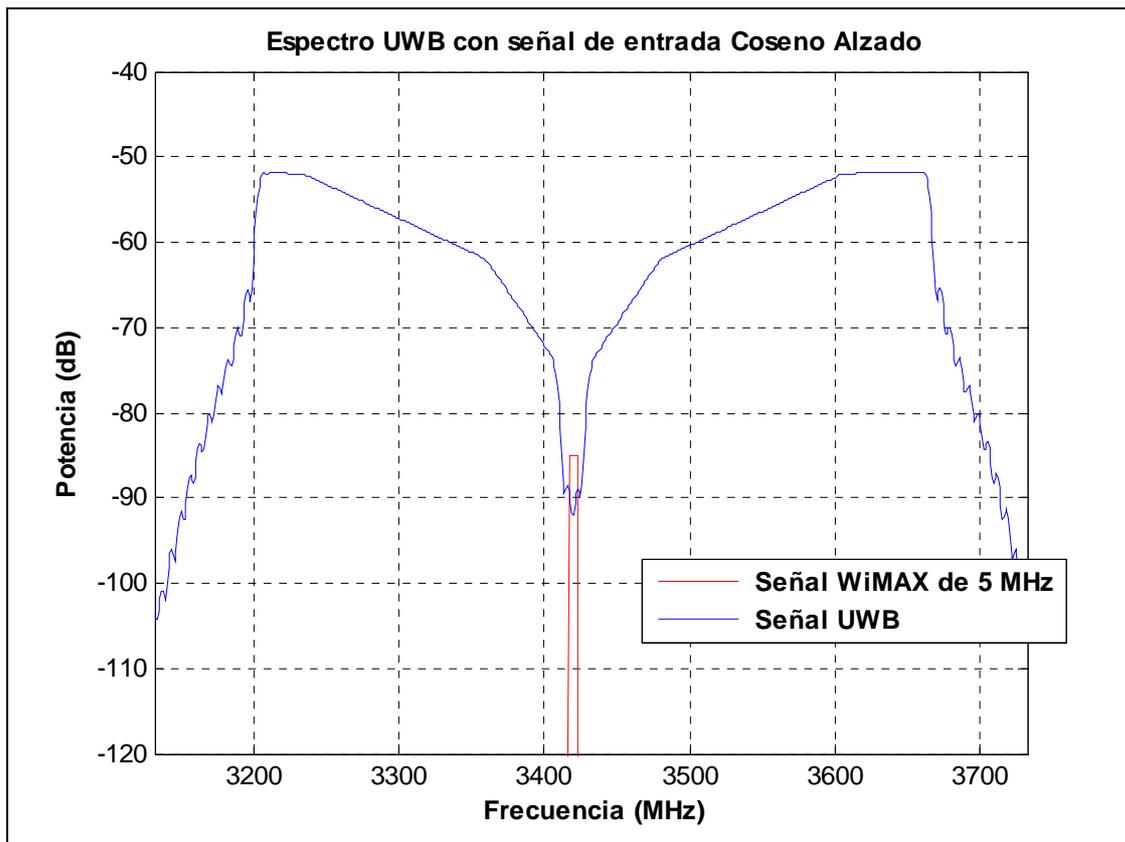


Figura 4.3.15 Espectro UWB después de eliminar 3 portadoras y aplicar Filtro Notch

También en este caso será necesario activar el filtro Notch y se conseguirá reducir la potencia en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada hasta **-92.038 dBm/MHz**.

### 4.3.2.3 $B_w$ WiMAX=10 MHz centrada en $f=3420$ MHz

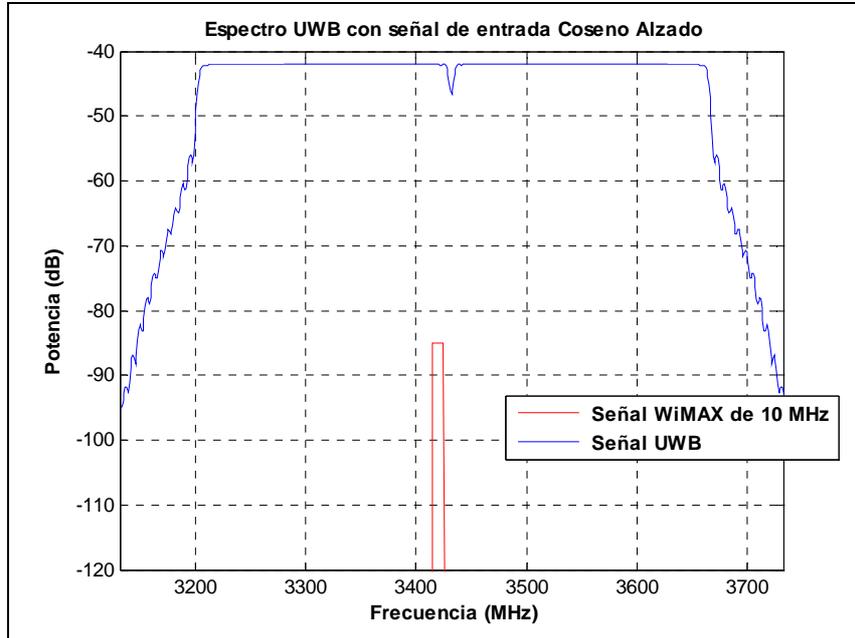


Figura 4.3.16 Espectro MB-OFDM UWB y señal WiMAX 10 MHz

Con una señal WiMAX de **10 MHz**, será necesario eliminar 4 portadoras reduciendo el nivel de potencia de la señal UWB, en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada hasta -59.83 dBm/MHz.

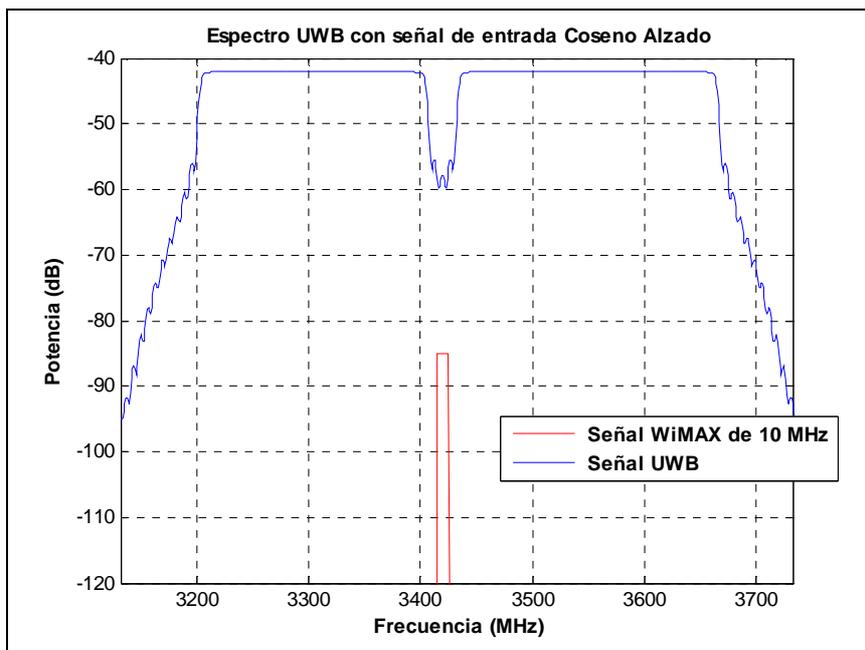


Figura 4.3.17 Espectro UWB después de eliminar 4 portadoras

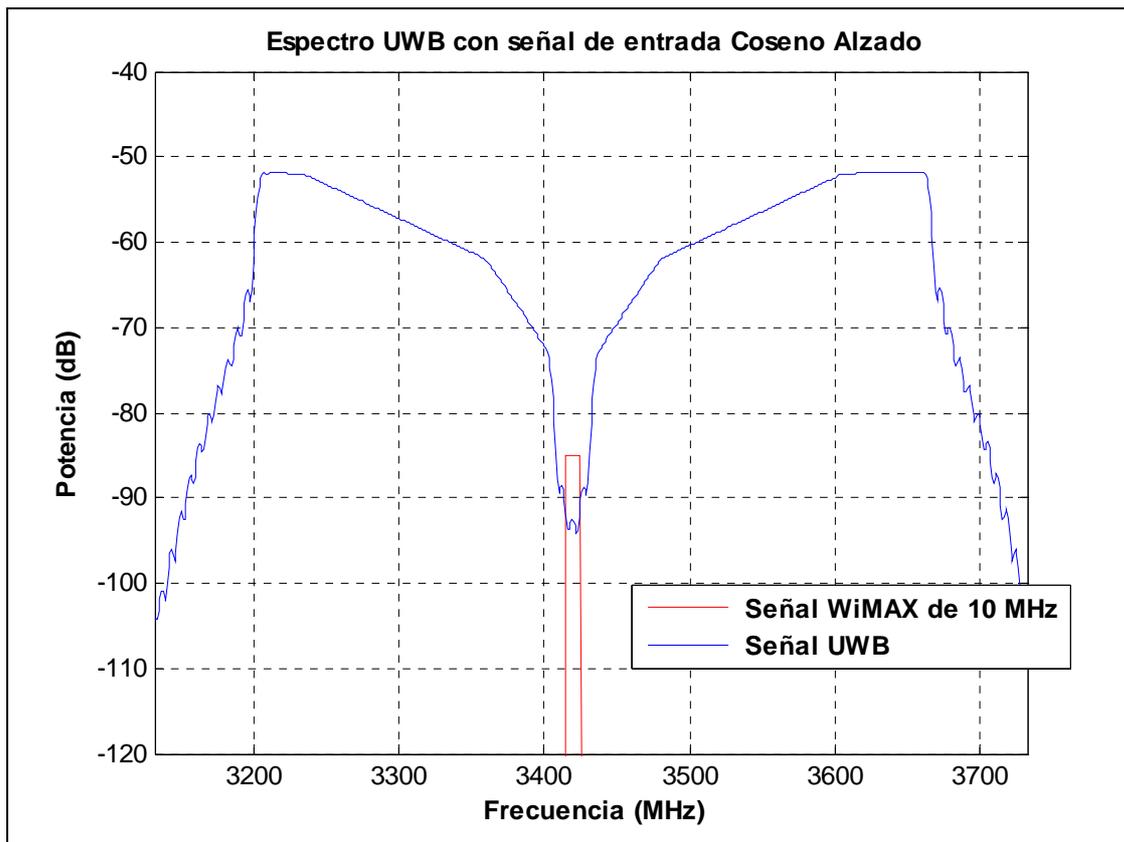


Figura 4.3.18 Espectro UWB después de eliminar 4 portadoras y aplicar Filtro Notch

Se activará por tanto el filtro Notch y después de aplicarlo en la señal UWB, la potencia mínima de esta señal, en la frecuencia central de la señal WiMAX será de  $\underline{\underline{94.33 \text{ dBm/MHz}}}$ .

#### 4.3.2.4 $B_w\text{WiMAX}=20$ MHz centrada en $f=3420$ MHz

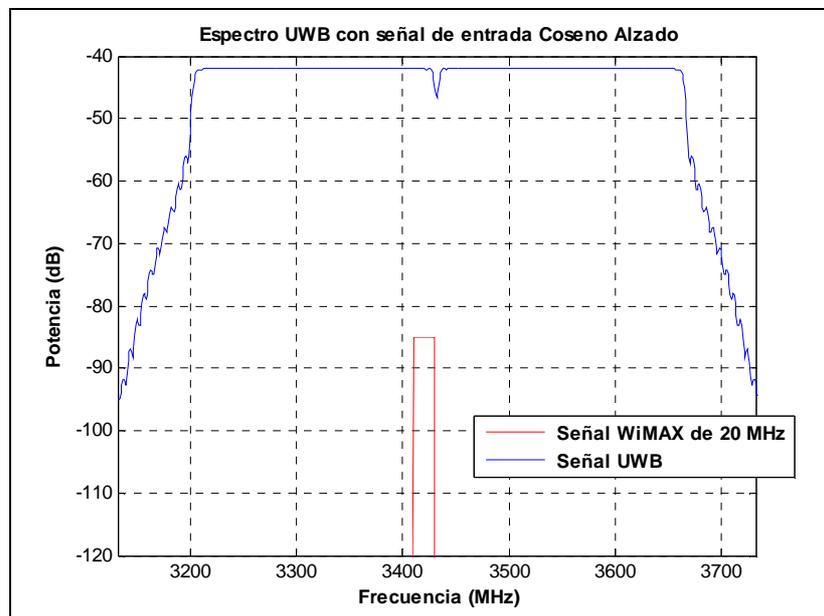


Figura 4.3.19 Espectro MB-OFDM UWB y señal WiMAX de 20 MHz

Con una señal WiMAX de **20 MHz** se eliminan 6 portadoras MB-OFDM UWB, consiguiendo reducir su nivel de potencia hasta un valor mínimo de  $-63.26$  dBm/MHz (en la frecuencia central de la señal WiMAX).

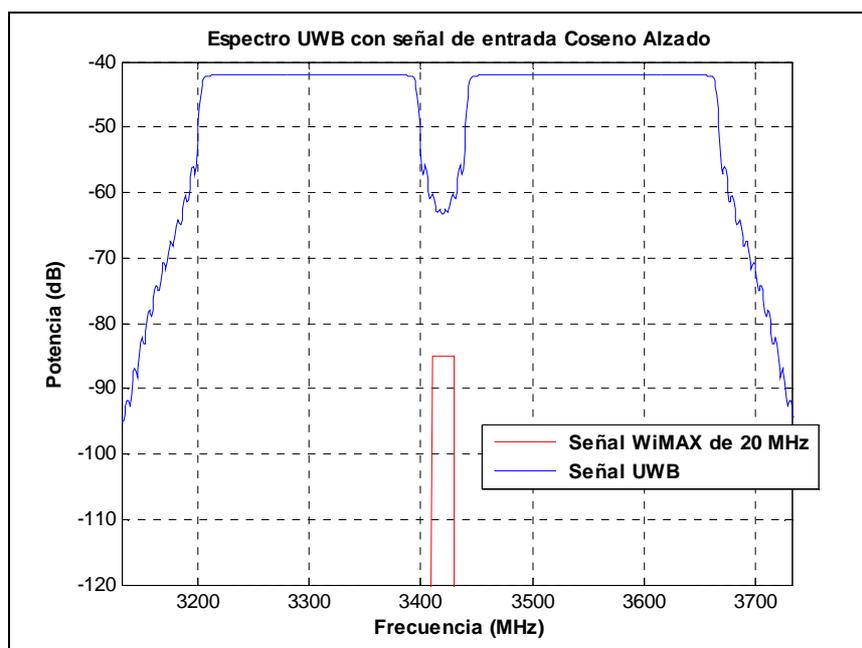


Figura 4.3.20 Espectro UWB después de eliminar 6 portadoras

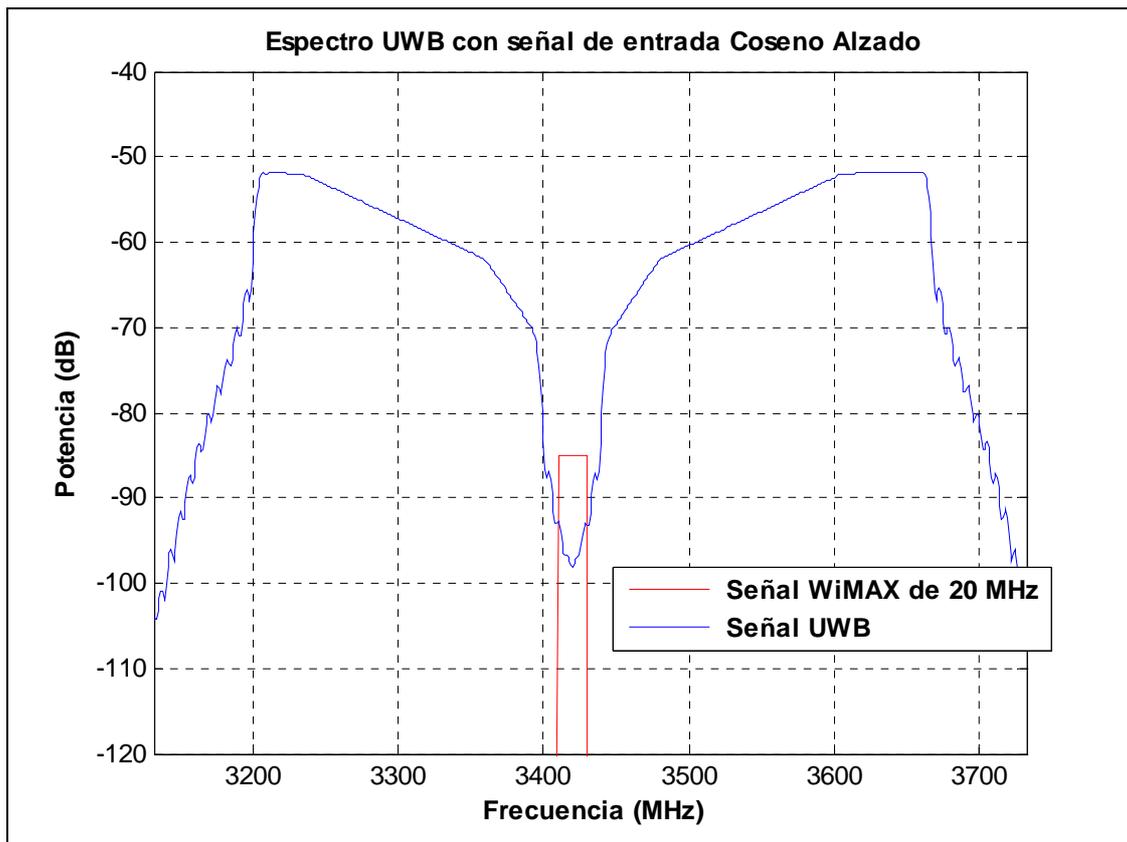


Figura 4.3.21 Espectro UWB después de eliminar 6 portadoras y aplicar Filtro Ntoch

Al ser un valor de potencia inferior al establecido como nivel de potencia objetivo, se aplica el filtro Notch y éste consigue reducir el nivel de potencia de la señal UWB hasta **-98.02 dBm/MHz** en la frecuencia central de la señal WiMAX.

### 4.3.2.5 $B_w\text{WiMAX}=28$ MHz centrada en $f=3420$ MHz

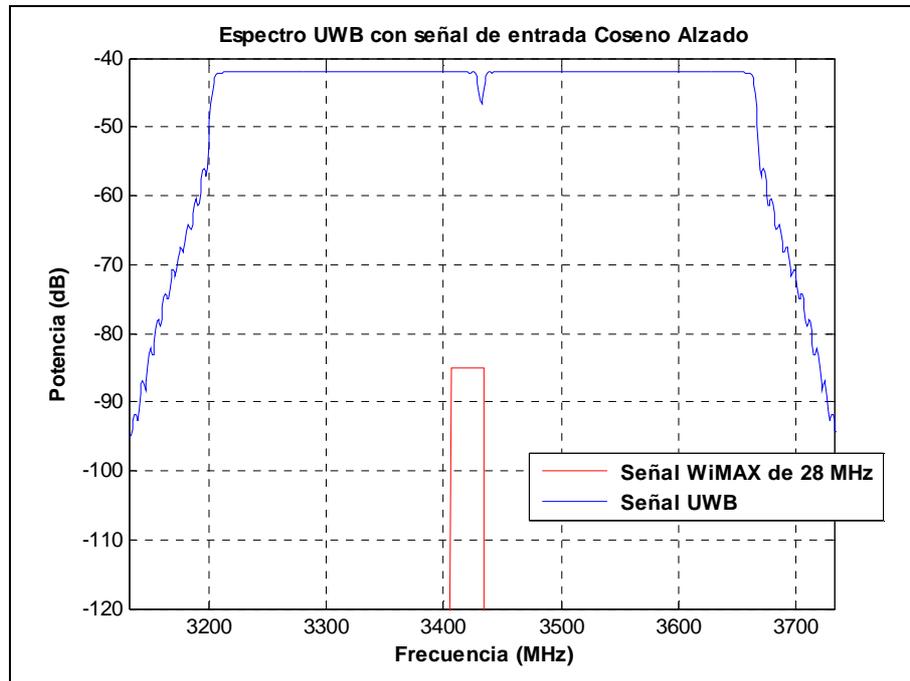


Figura 4.3.22 Espectro MB-OFDM y señal WiMAX de 28 MHz

Con una señal WiMAX de **28 MHz**, se eliminan 8 portadoras y el nivel de potencia de la señal UWB alcanza un mínimo de  $-68.55$  dBm/MHz

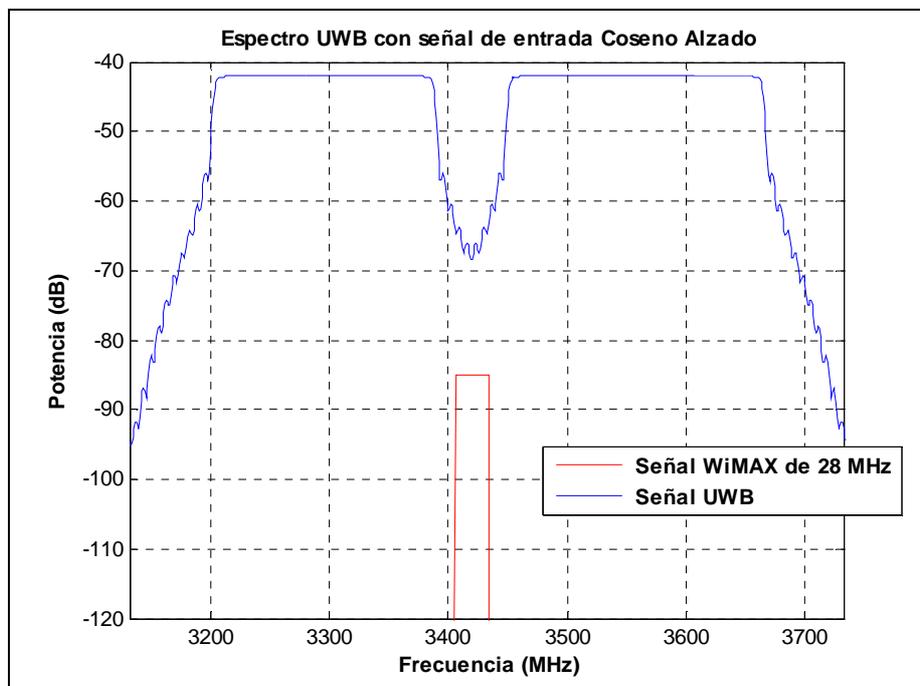


Figura 4.3.23 Espectro UWB después de eliminar 8 portadoras

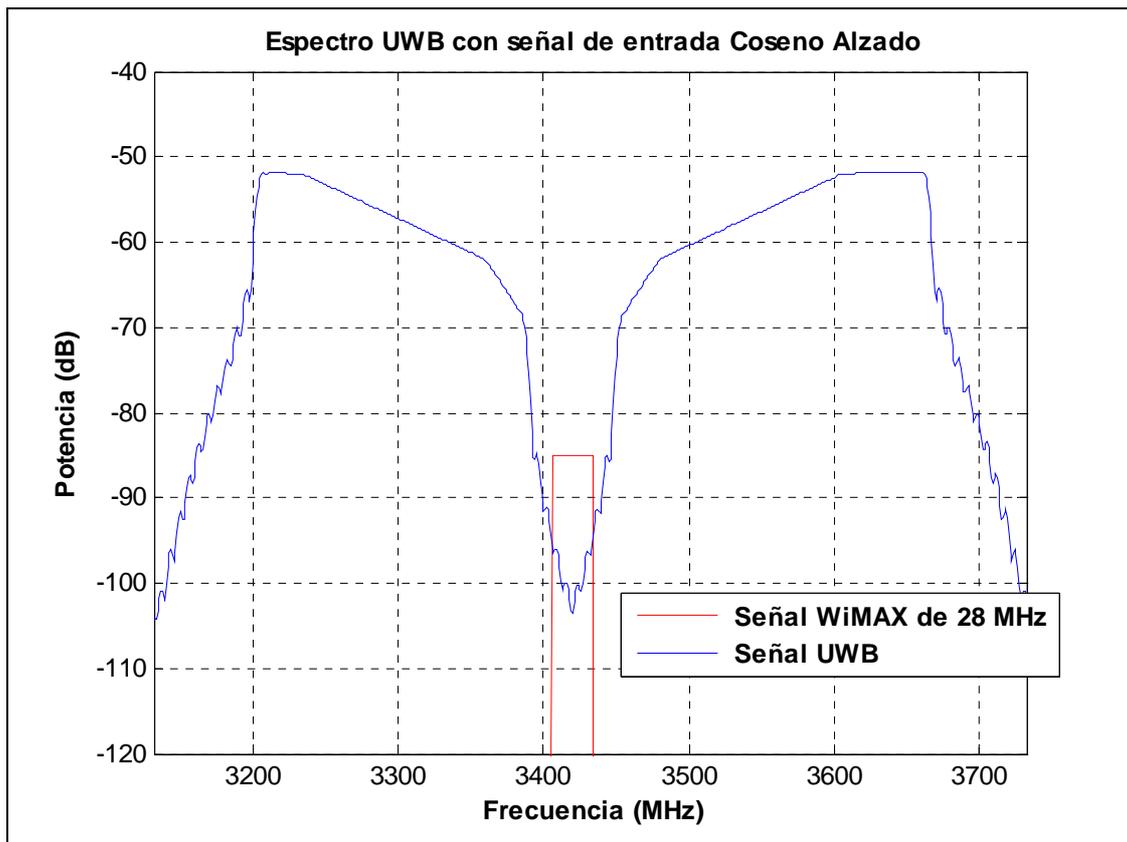


Figura 4.3.24 Espectro UWB después de eliminar 8 portadoras y aplicar Filtro Ntoch

Se activa por tanto el filtro Notch y se consigue un valor mínimo de potencia de la señal UWB (en la frecuencia central de la señal WiMAX) de **-103.35 dBm/MHz**

## 4.4 Efectos de las técnicas de mitigación de la interferencia

Calculamos la  $E_b/N_o$  [3] resultante de nuestra señal MB-OFDM UWB después del proceso de eliminar portadoras y aplicar el filtro Notch. La obtenemos según la fórmula definida en el Capítulo 3.

Como podemos deducir, la  $E_b/N_o$  depende de la tasa binaria con la que estemos trabajando. Por tanto, para cada tasa binaria presentaremos las  $E_b/N_o$  requeridas en una situación “normal” sin presencia de una señal interferente WiMAX.

Después, obtendremos las  $E_b/N_o$  resultantes después de aplicar el mecanismo DAA en la señal MB-OFDM y compararemos estos resultados con los anteriores.

Finalmente, también compararemos las distancias de transmisión máximas antes de aplicar el mecanismo DAA y después de aplicar la técnica ADD.

A continuación podemos ver las máximas distancias de transmisión para cada tasa binaria en un punto de las dos primeras bandas MB-OFDM UWB según las  $E_b/N_o$  objetivo [23]:

Tabla 4.4.1 Distancias de transmisión ideales para cada tasa binaria MB-OFDM UWB en los dos extremos de las dos primeras bandas

<b>Tasa Binaria Neta</b>	<b>53.3 Mbps</b>	<b>80 Mbps</b>	<b>106.6 Mbps</b>	<b>160 Mbps</b>	<b>200 Mbps</b>	<b>320 Mbps</b>	<b>400 Mbps</b>	<b>480 Mbps</b>
<b><math>E_b/N_o</math> requerida</b>	<b>3.6 dB</b>	<b>3.9 dB</b>	<b>3.6 dB</b>	<b>3.9 dB</b>	<b>4.3 dB</b>	<b>3.9 dB</b>	<b>4.3 dB</b>	<b>4.6 dB</b>
<b>3683 MHz</b>	7.25 m	6.25 m	6 m	5 m	4.5 m	4 m	3.5 m	3.25 m
<b>4211 MHz</b>	6.75 m	5.75 m	5.5 m	4.5 m	4 m	3.5 m	3.25 m	2.75 m

### 4.4.1 $E_b/N_o$ antes y después de aplicar DAA con señal de entrada cuadrada

#### 4.4.1.1 53.3 Mbps

$E_b/N_o$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=7.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

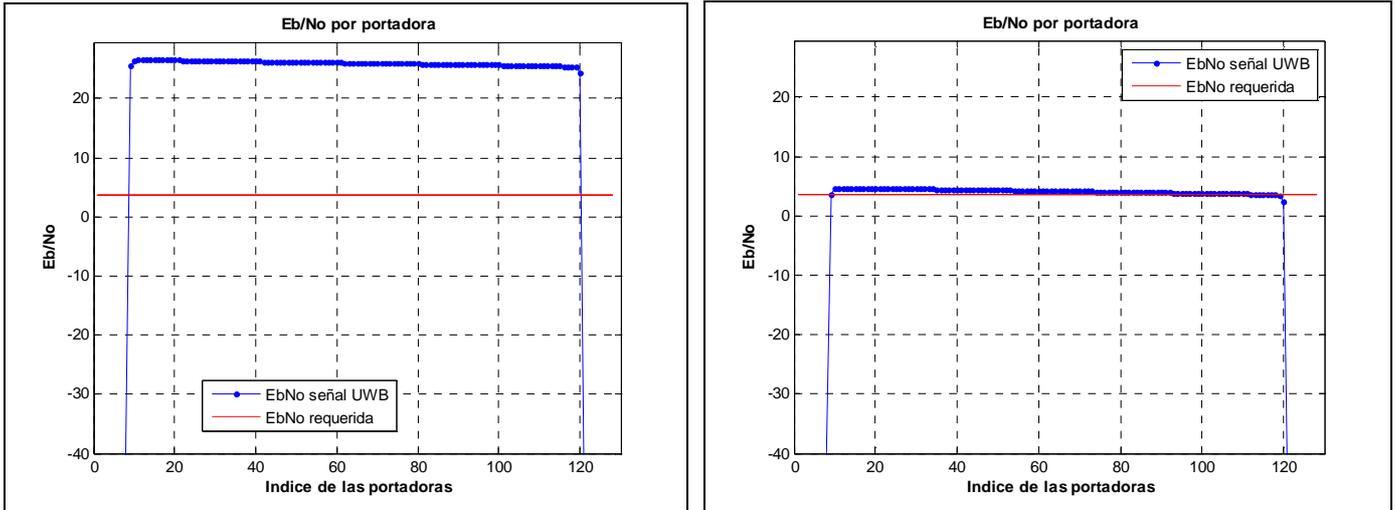


Figura 4.4.1  $E_b/N_o$  53.3 Mbps  $d=1$  m (izquierda) y  $d=7.25$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para una distancia  $d=1$ m y  $d=7.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

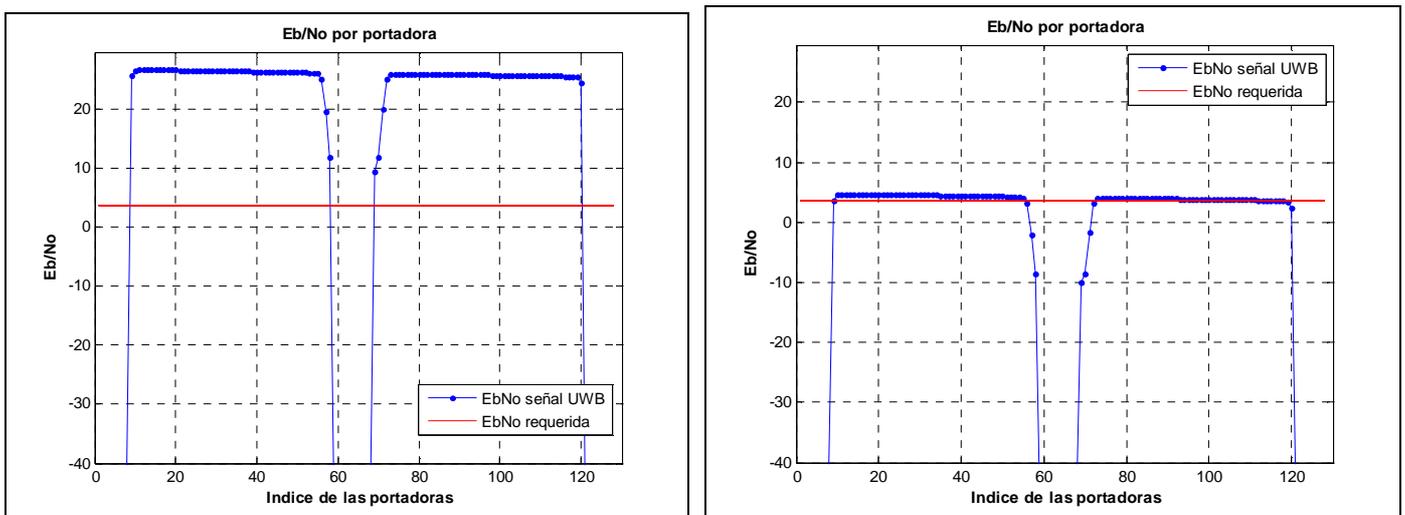


Figura 4.4.2  $E_b/N_o$  53.3 Mbps eliminando 8 portadoras  $d=1$  m (izquierda) y  $d=7.25$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para una distancia  $d=1m$  y  $d=3.5 m$  (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

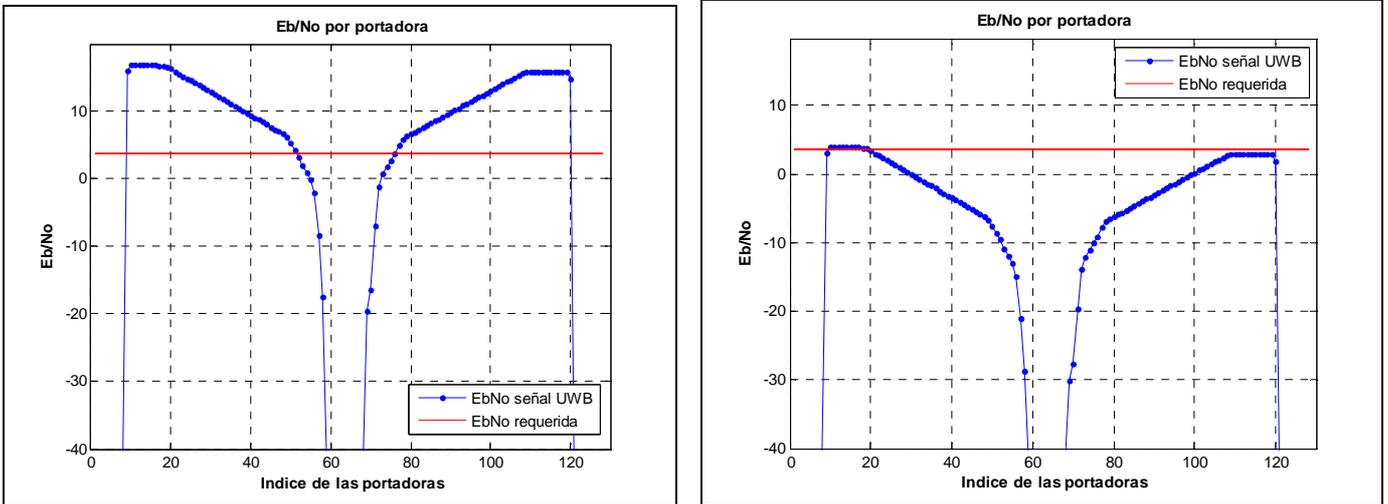


Figura 4.4.3  $E_b/N_o$  53.3 Mbps  $d=1 m$  (izquierda) y  $d=3.5 m$  (derecha) eliminando 8 portadoras

### 4.4.1.2 80 Mbps

$E_b/N_o$  para una distancia  $d=1 m$  y  $d=6.25 m$  (para esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida)

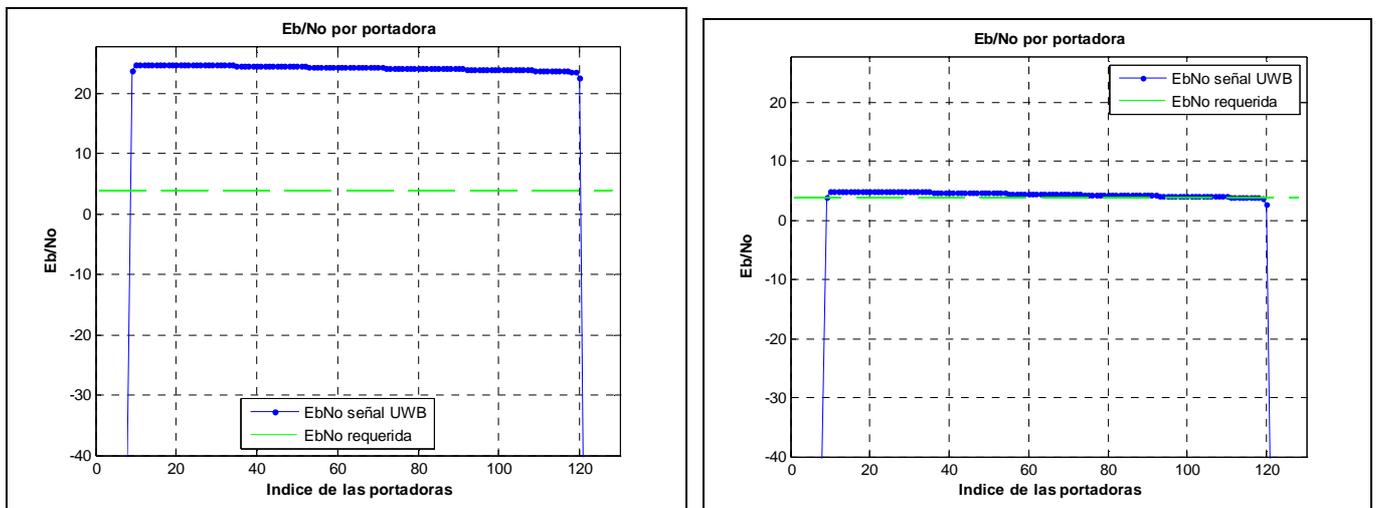


Figura 4.4.4  $E_b/N_o$  80 Mbps  $d=1 m$  (izquierda) y  $d= 6.25 m$  (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para una distancia  $d=1$  m y  $d=6.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

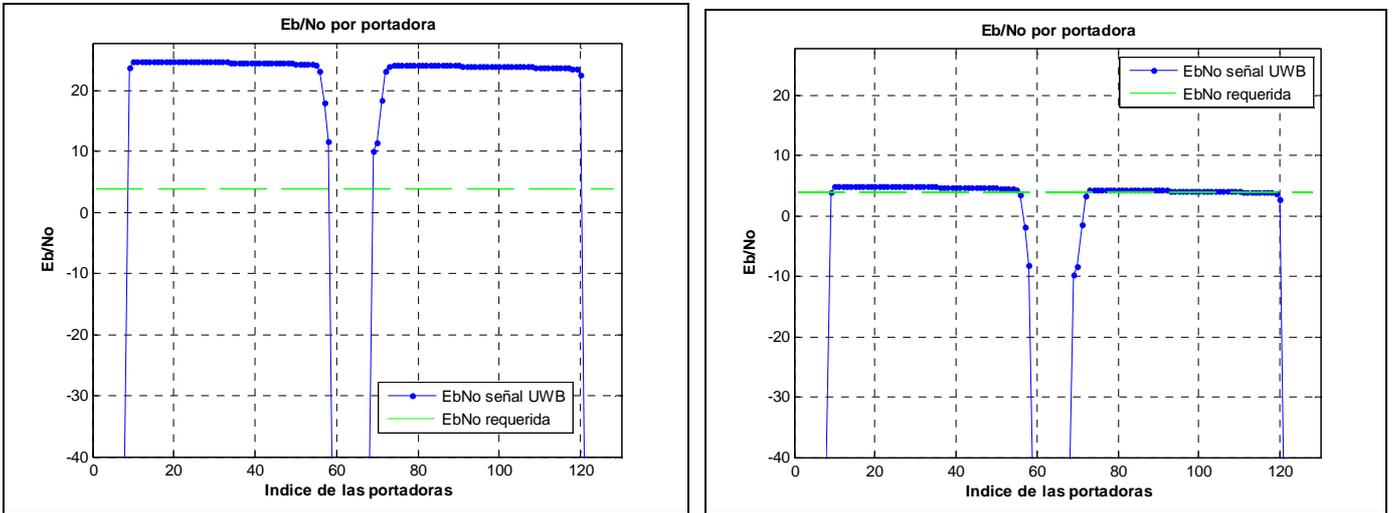


Figura 4.4.5  $E_b/N_o$  80 Mbps  $d=1$  m (izquierda) y  $d= 6.25$  m (derecha) eliminando 8 portadoras

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para una distancia  $d=1$  m y  $d= 2.75$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

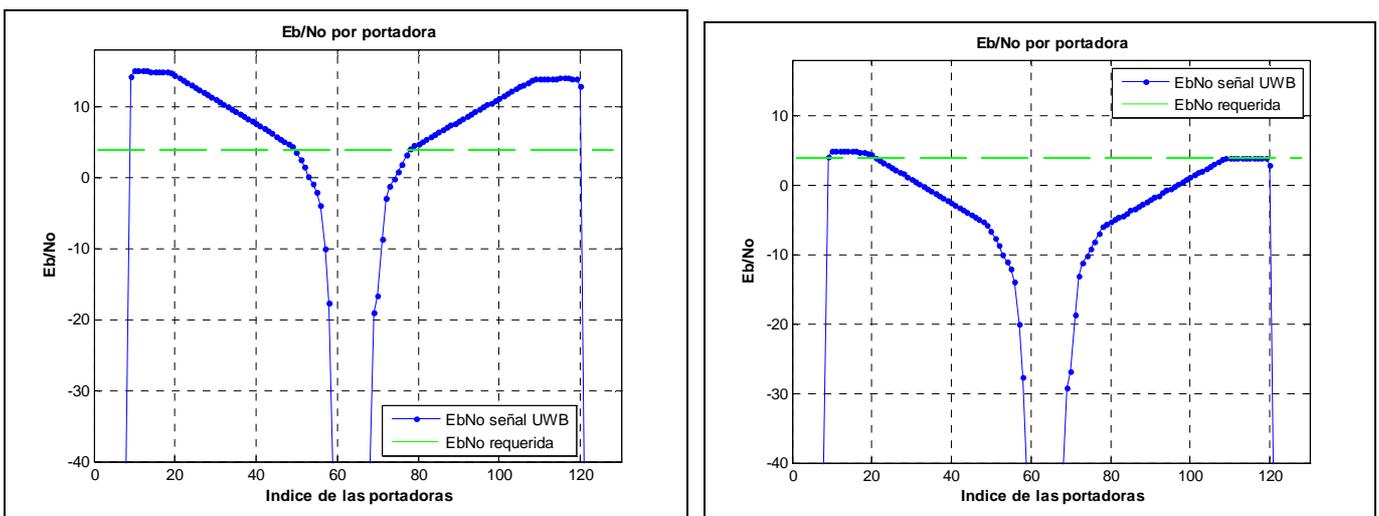


Figura 4.4.6  $E_b/N_o$  80 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=2.75$  m (derecha) eliminando 8 portadoras y después de aplicar el Filtro Notch

### 4.4.1.3 106.6 Mbps

$E_b/N_0$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=5.75$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

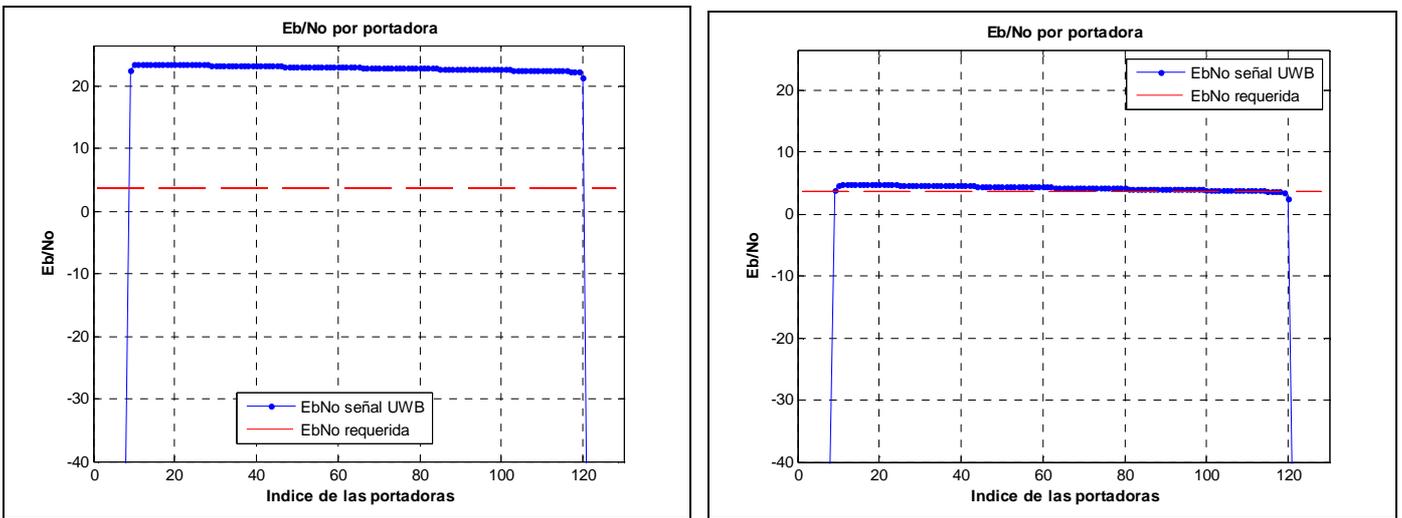


Figura 4.4.7  $E_b/N_0$  106.6 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=6$  m (derecha)

$E_b/N_0$  después de haber eliminado 8 portadoras para unas distancias  $d=1$  m y  $d=5.75$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

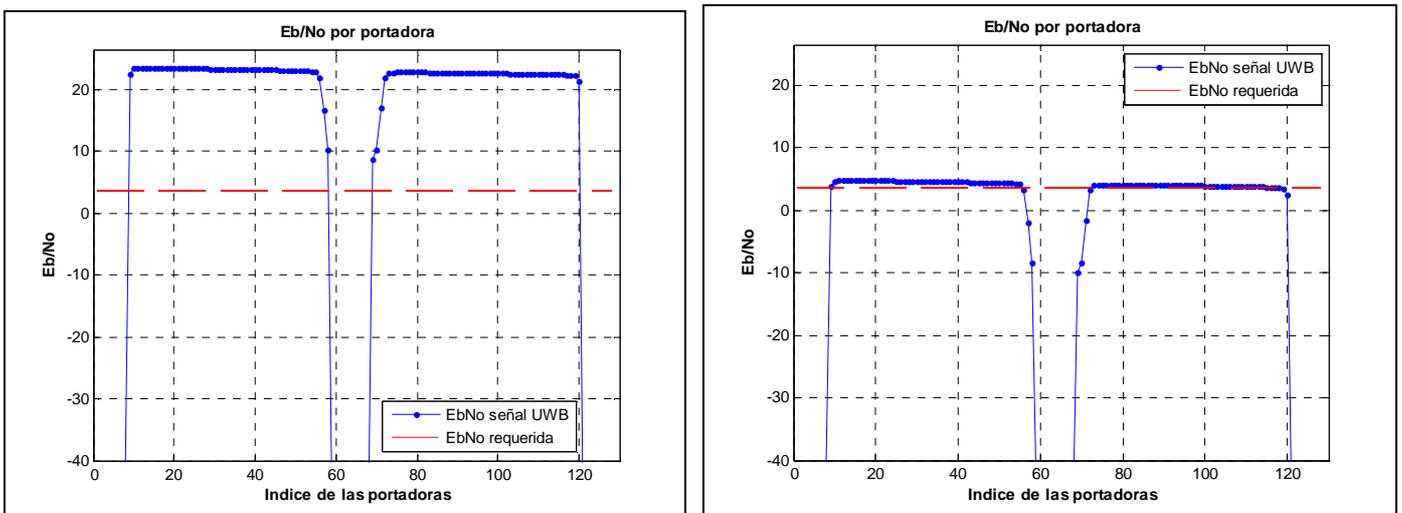


Figura 4.4.8  $E_b/N_0$  106.6 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=6$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para una distancia  $d=1$  m y  $d=2.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

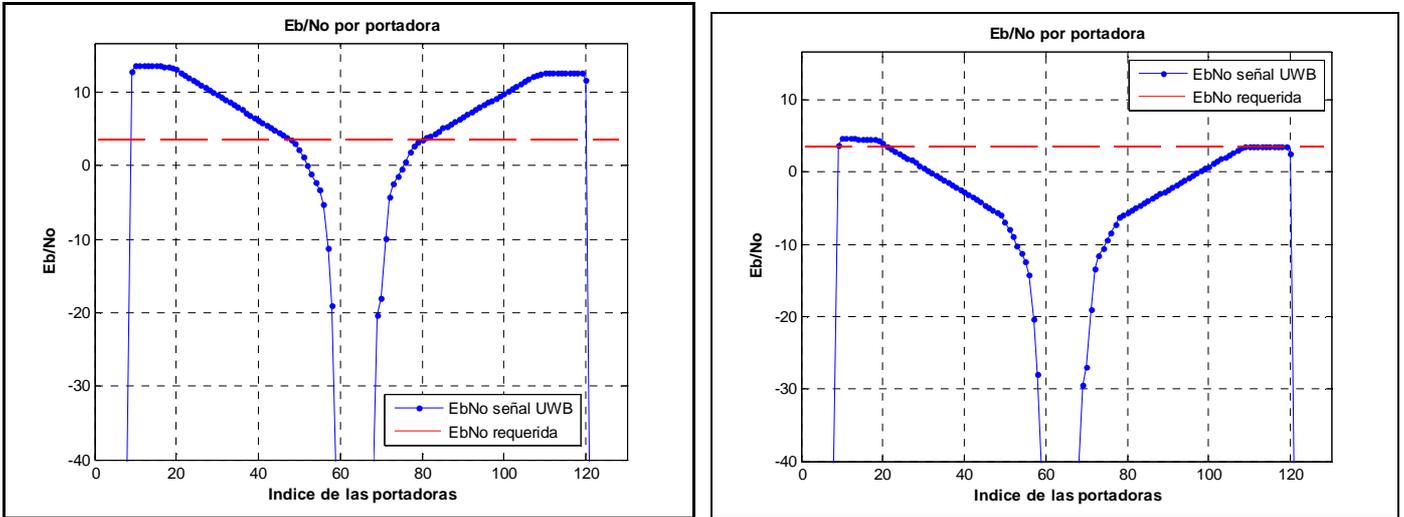


Figura 4.4.9  $E_b/N_o$  106.6 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=2.5$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y Filtro Notch

### 4.4.1.4 160 Mbps

$E_b/N_o$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=5$  m (en esta última distancia las portadoras no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

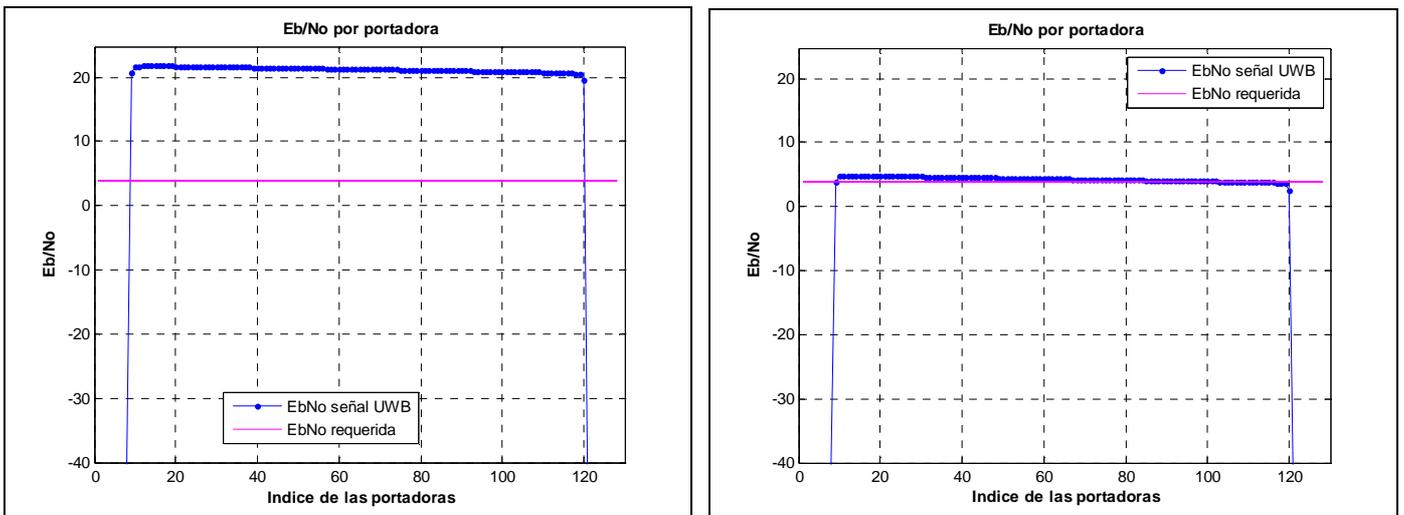


Figura 4.4.10  $E_b/N_o$  160 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=5$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para unas distancias  $d=1$  m y  $d=5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

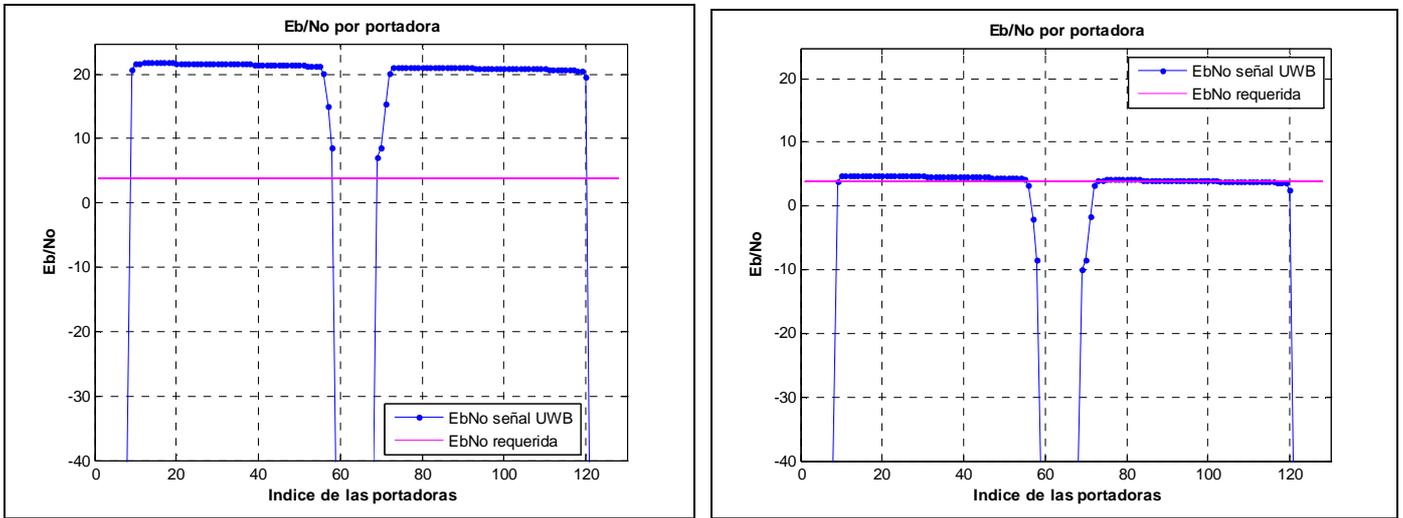


Figura 4.4.11  $E_b/N_o$  160 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=5$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para una distancia  $d=1$  m y  $d=2.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

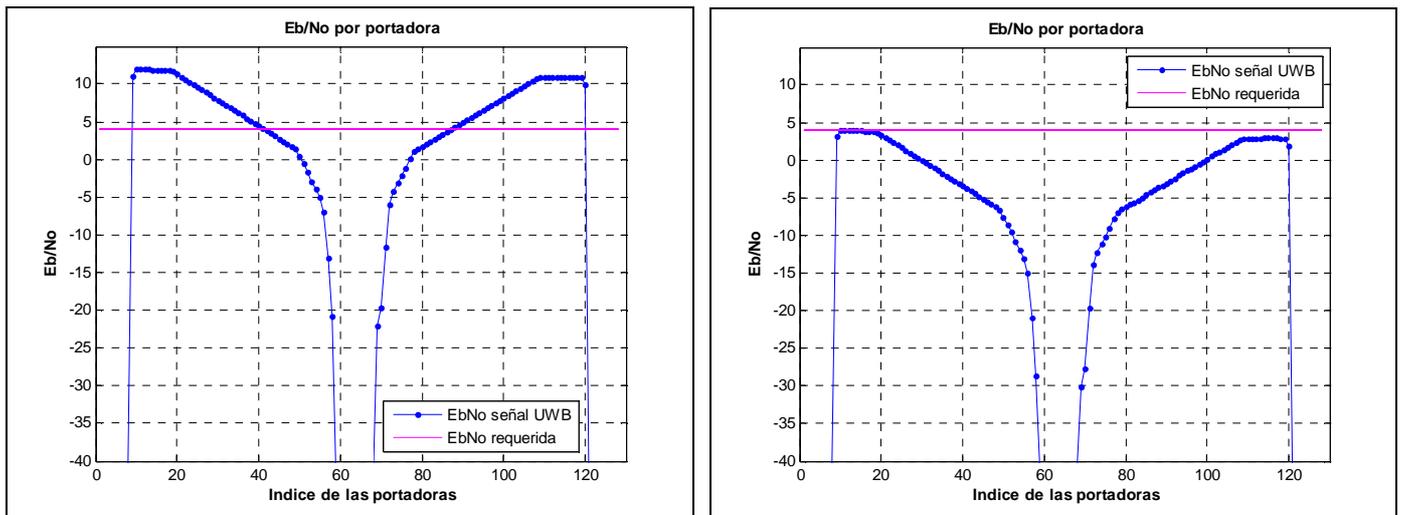


Figura 4.4.12  $E_b/N_o$  160 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=2.25$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y después de aplicar el filtro Notch

### 4.4.1.5 200 Mbps

$E_b/N_o$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=4.5$  m (en esta última distancia ninguna portadora cumple la  $E_b/N_o$  requerida):

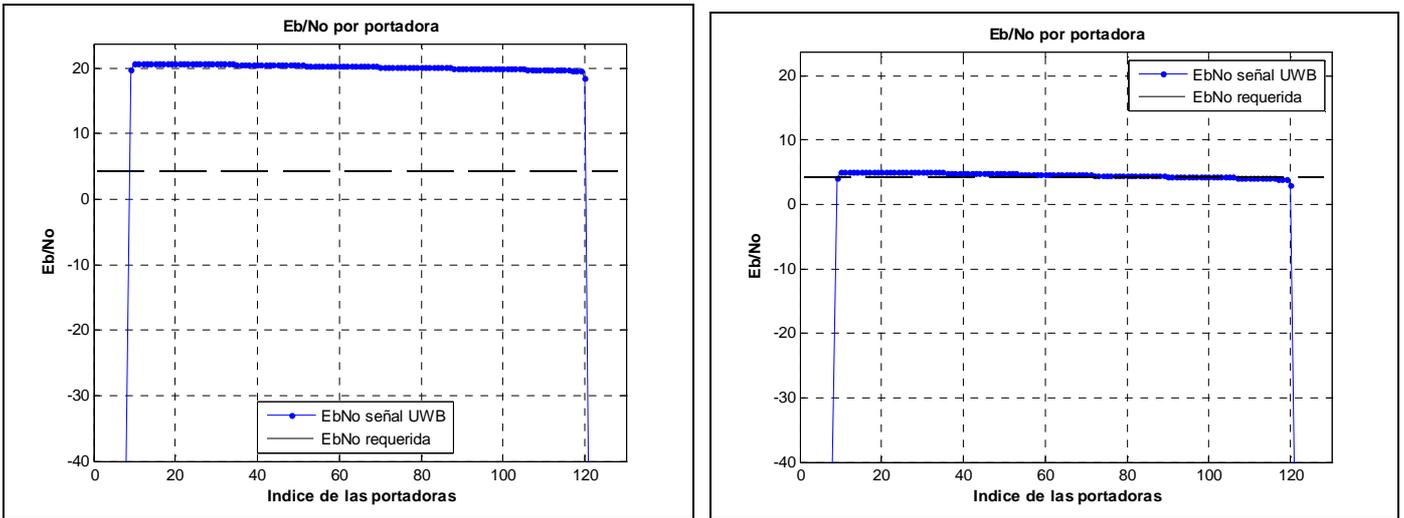


Figura 4.4.13  $E_b/N_o$  200 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=4.5$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para unas distancias  $d=1$  m y  $d=4.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

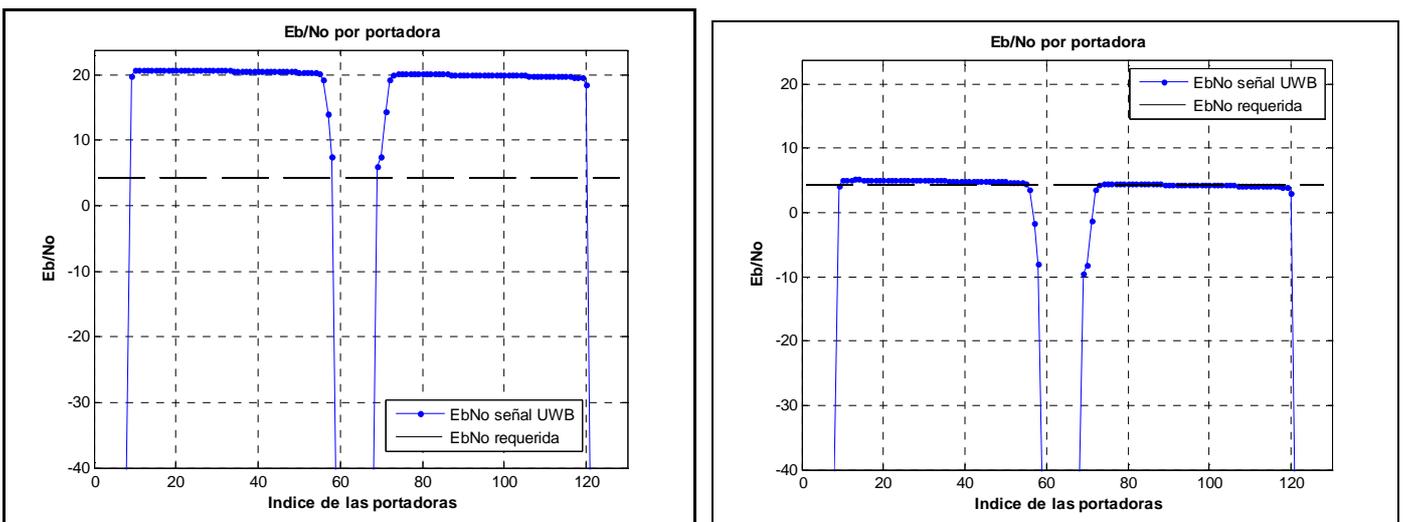


Figura 4.4.14  $E_b/N_o$  200 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=4.5$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_0$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=2$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

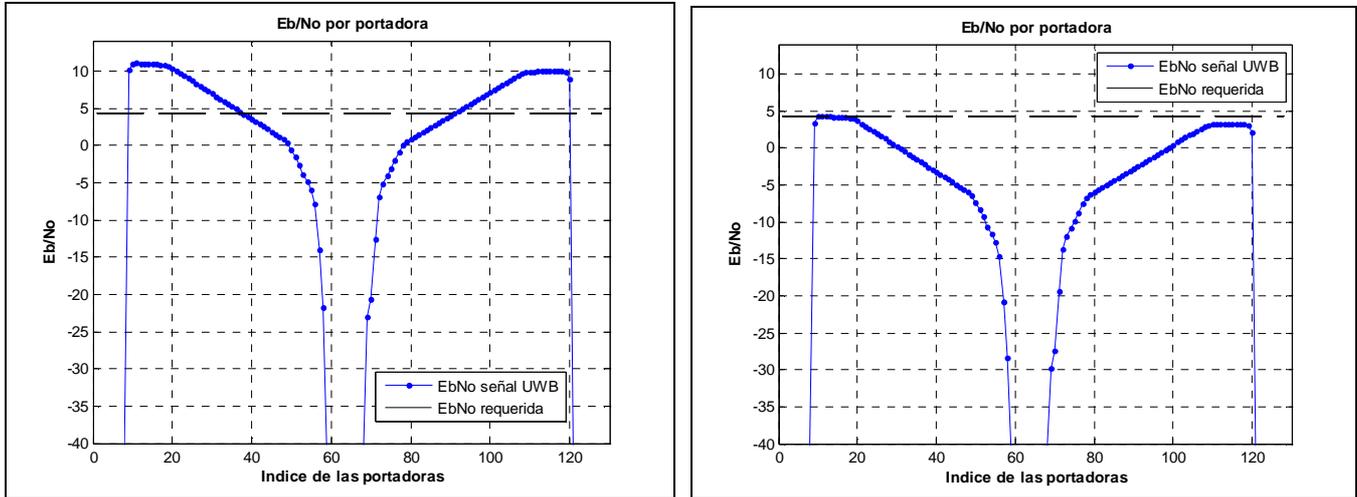


Figura 4.4.15  $E_b/N_0$  200 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=2$  m (derecha) Eiminando 8 portadoras y aplicando Filtro Notch

### 4.4.1.6 320 Mbps

$E_b/N_0$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=4$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

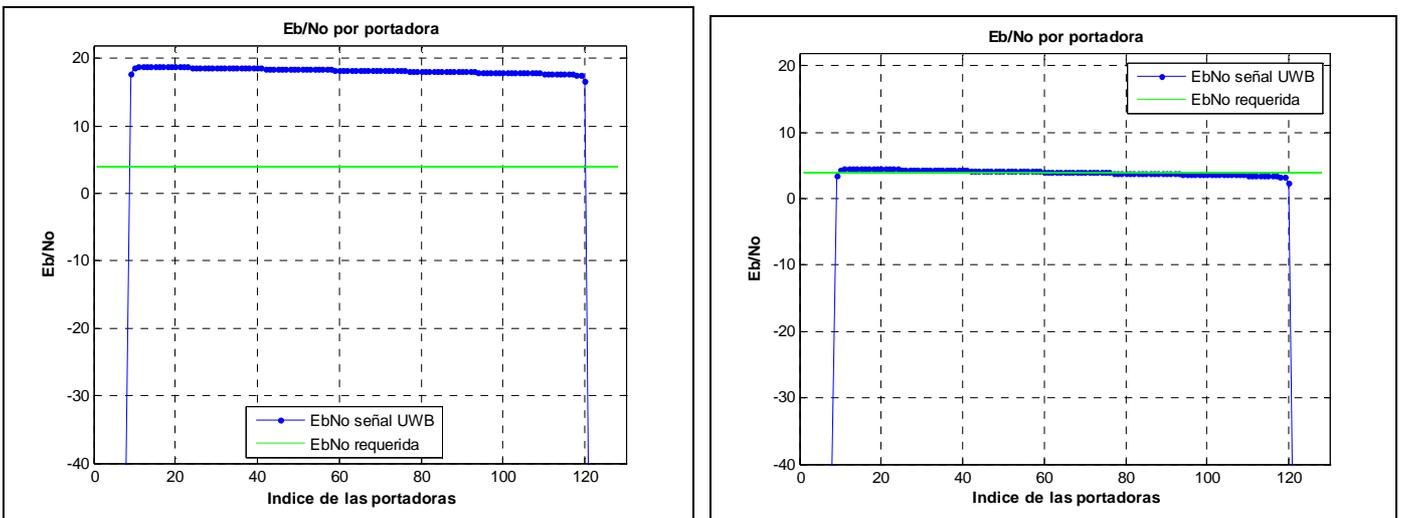


Figura 4.4.16  $E_b/N_0$  320 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=4$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber Eliminado 8 portadoras para unas distancias  $d=1$  m y  $d=4$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

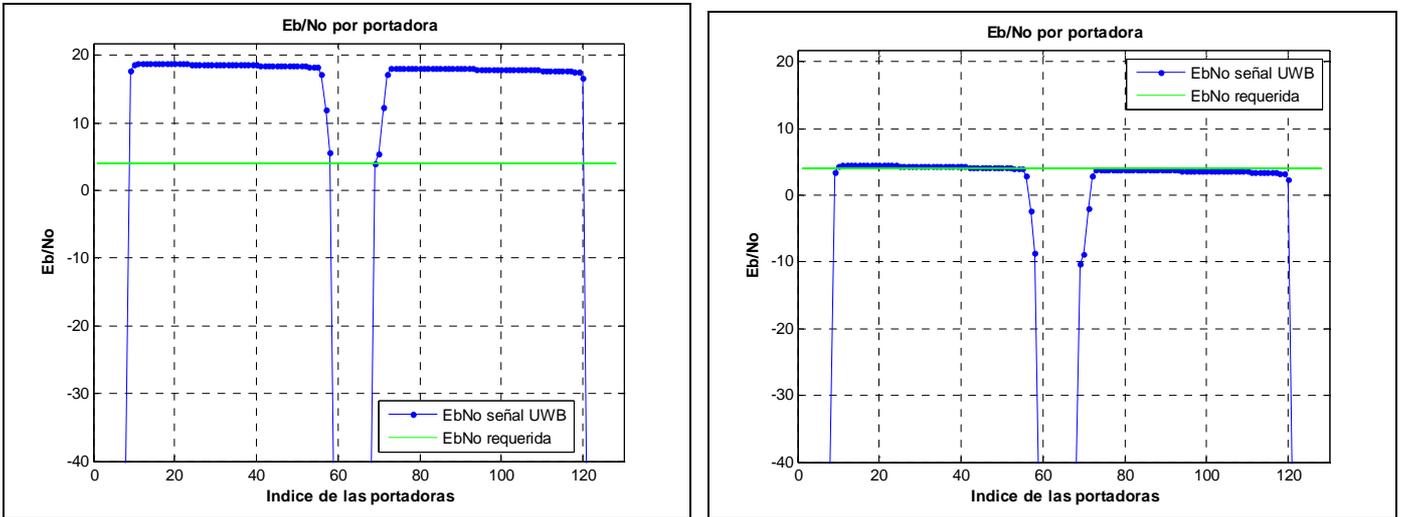


Figura 4.4.17  $E_b/N_o$  320 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=4$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=1.75$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

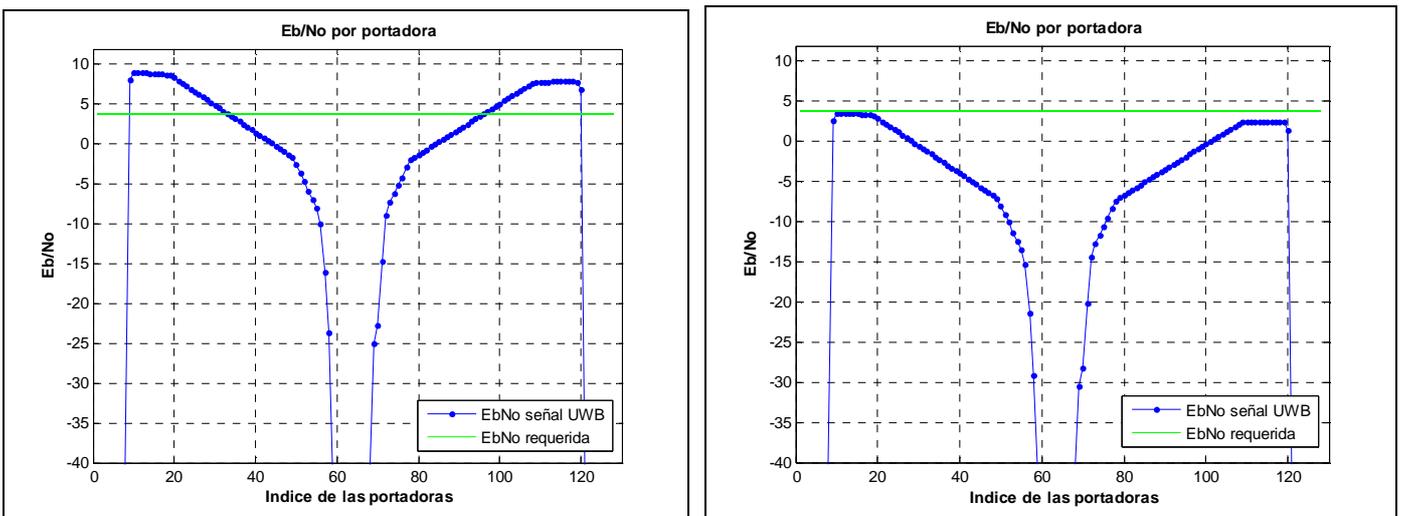


Figura 4.4.18  $E_b/N_o$  320 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=1.75$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y después de la activación del Filtro Notch

### 4.4.1.7 400 Mbps

$E_b/N_o$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=3.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

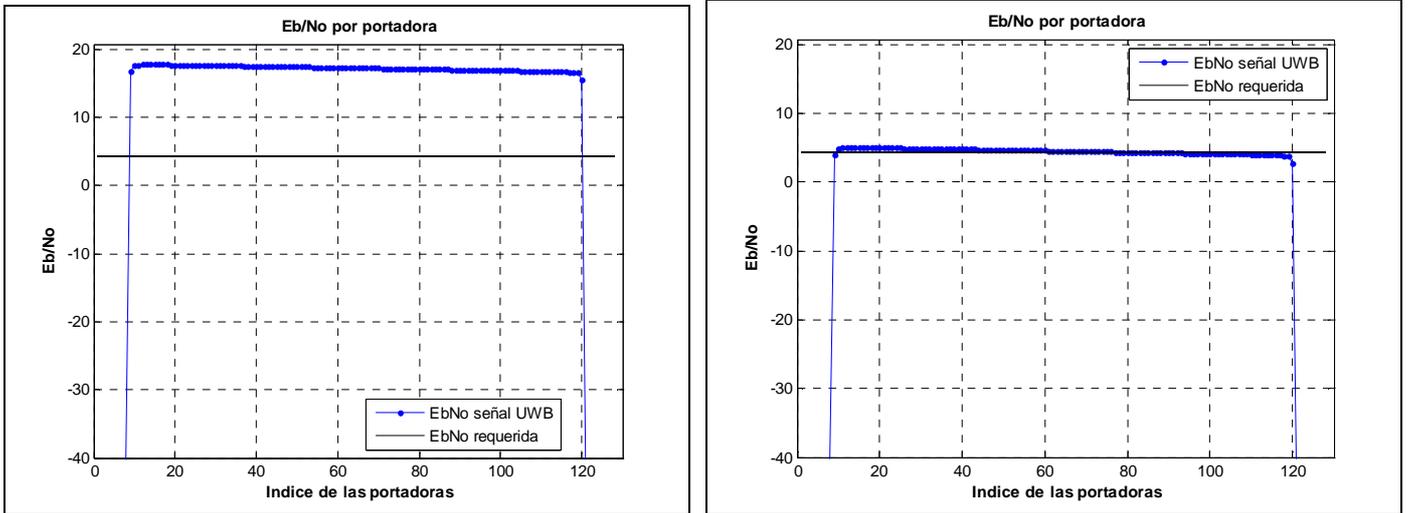


Figura 4.4.19  $E_b/N_o$  400 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=3.5$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para unas distancias  $d=1$  m y  $d=3.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

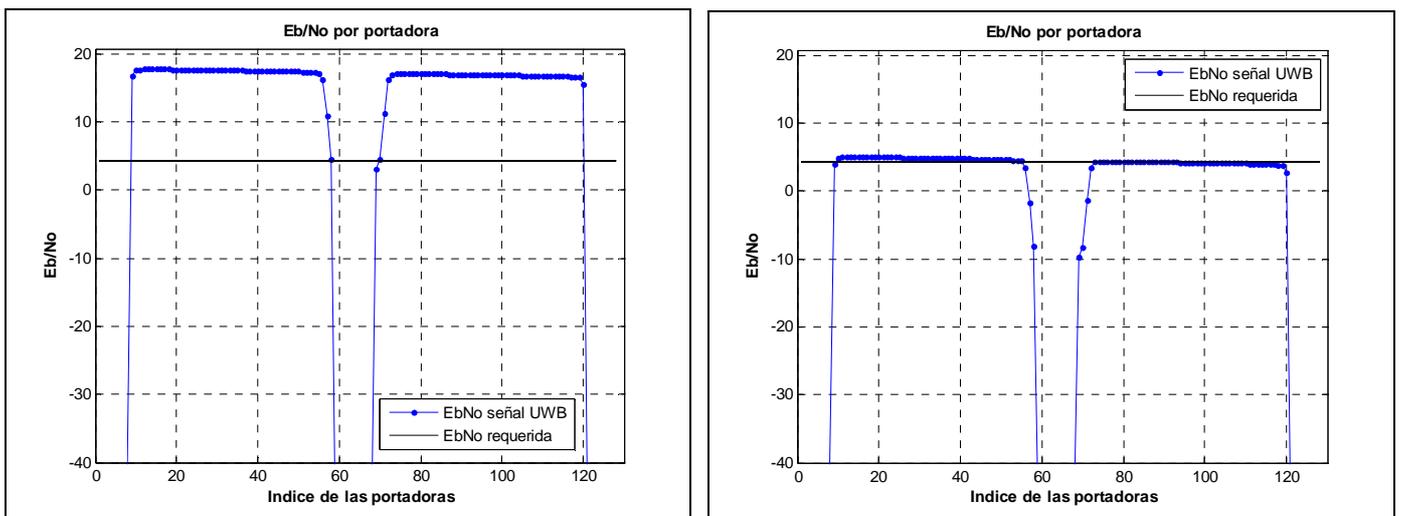


Figura 4.4.20  $E_b/N_o$  400 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=3.5$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_0$  después de haber eliminando 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=1.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

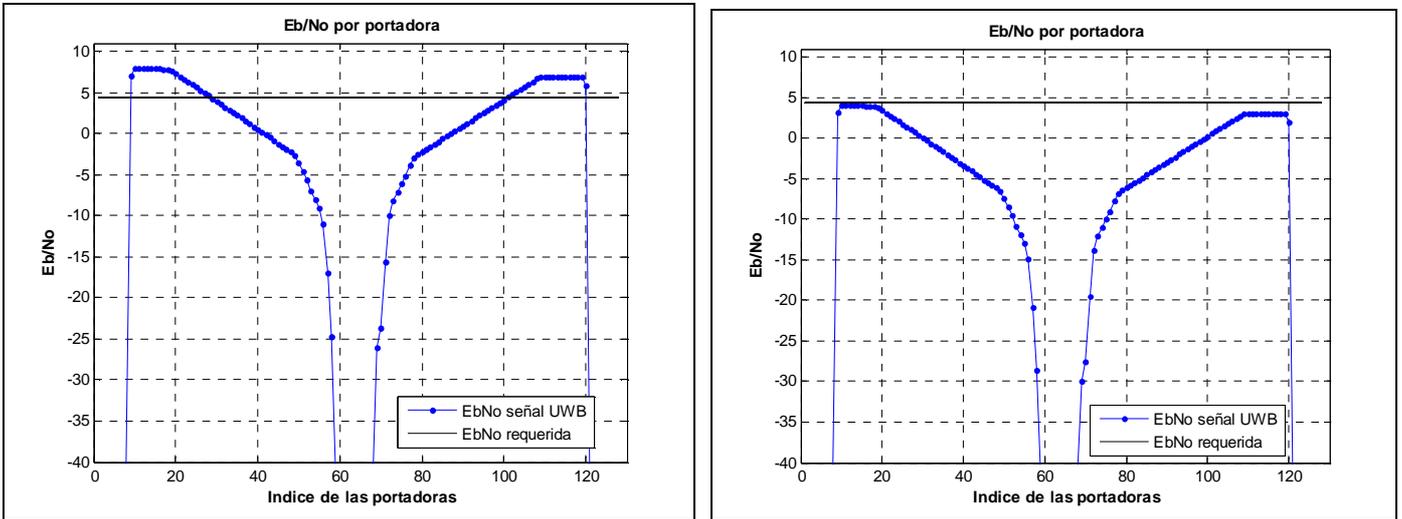


Figura 4.4.21  $E_b/N_0$  400 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=1.5$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y después de aplicar el Filtro Notch

### 4.4.1.8 480 Mbps

$E_b/N_0$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=3.25$  m (para esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

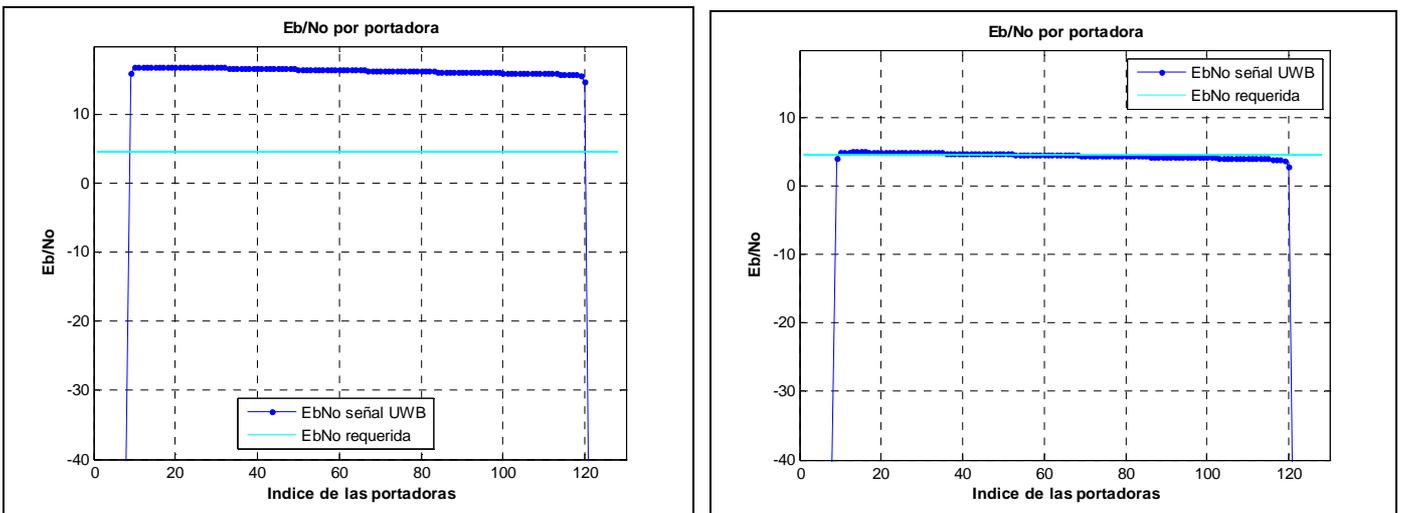


Figura 4.4.22  $E_b/N_0$  480 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=3.25$  m (derecha)

$E_b/N_0$  después de haber eliminado 8 portadoras para unas distancias  $d=1$  m y  $d=3.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

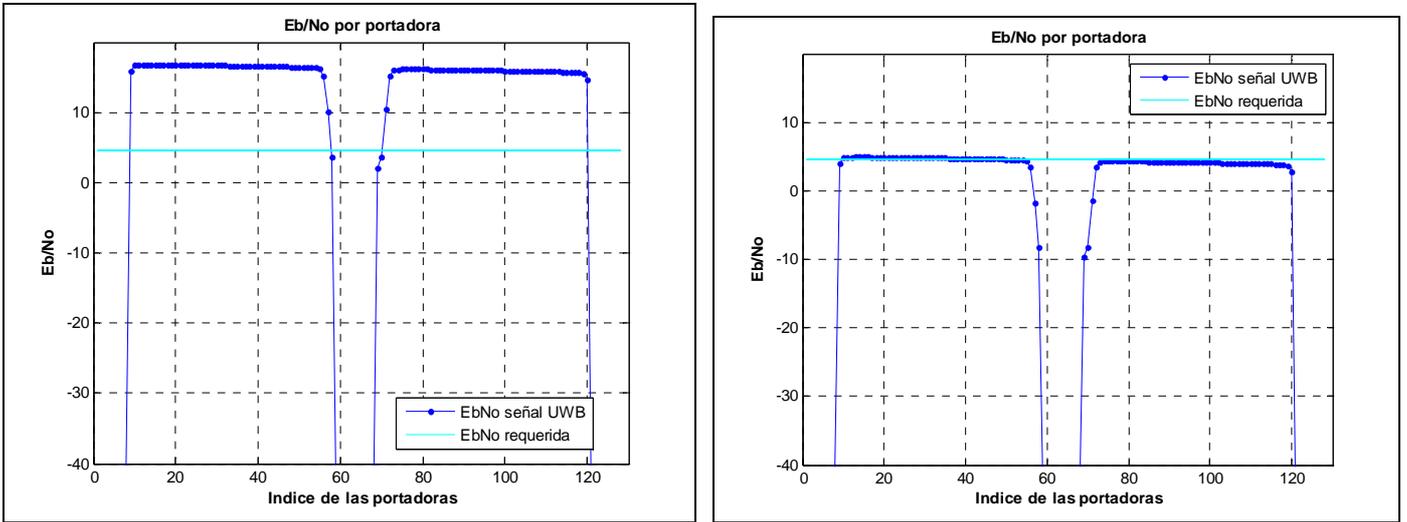


Figura 4.4.23  $E_b/N_0$  480 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=3.25$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_0$  después de haber Eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias:  $d=1$  m y  $d=1.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

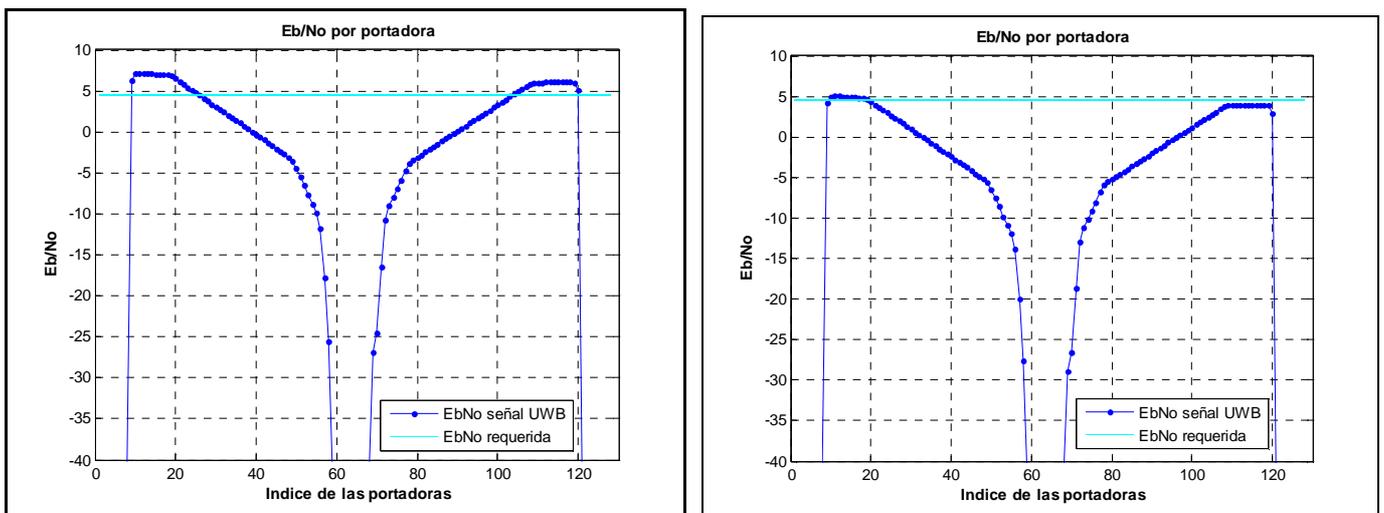


Figura 4.4.24  $E_b/N_0$  480 Mbps  $d=1.25$  m Ninguna portadora cumple la  $E_b/N_0$  requerida

Tabla 4.4.2 Distancias de transmisión UWB con señal de entrada cuadrada

Tasa Binaria Neta		53.3 Mbps	80 Mbps	106.6 Mbps	160 Mbps	200 Mbps	320 Mbps	400 Mbps	480 Mbps
Distancia Máxima	Sin aplicar ADD	7.25 m	6.25 m	6 m	5 m	4.5 m	4 m	3.5 m	3.25 m
	Eliminando 8 portadoras	7.25 m	6.25 m	6 m	5 m	4.5 m	4 m	3.5 m	3.25 m
	Eliminando 8 portadoras y Filtro Notch	3.5 m	2.75 m	2.5 m	2.25m	2 m	1.75 m	1.5 m	1.25 m

En la Tabla 4.4.2 podemos ver un resumen de las distancias de transmisión de las señales UWB en todas las posibles tasas binarias cuando no hay interferencia con la señal WiMAX (y por tanto no se aplica *Detect and Avoid*), cuando se eliminan 8 portadoras y cuando se eliminan 8 portadoras y a la vez se aplica el Filtro Notch. Podemos observar que eliminar portadoras no afecta a la distancia de transmisión, es decir eliminando 8 portadoras la distancia de transmisión máxima es la misma que en caso de no eliminar ninguna, lo que sí afecta considerablemente es aplicar el Filtro Notch.

\* Para realizar las simulaciones anteriores, hemos considerado un salto de 0.25 m de precisión en las distancias.

## 4.4.2 $E_b/N_0$ antes y después de aplicar DAA con señal de coseno alzado $\alpha=0.25$ (señal no estándar)

### 4.4.2.1 53.3 Mbps

$E_b/N_0$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=7.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

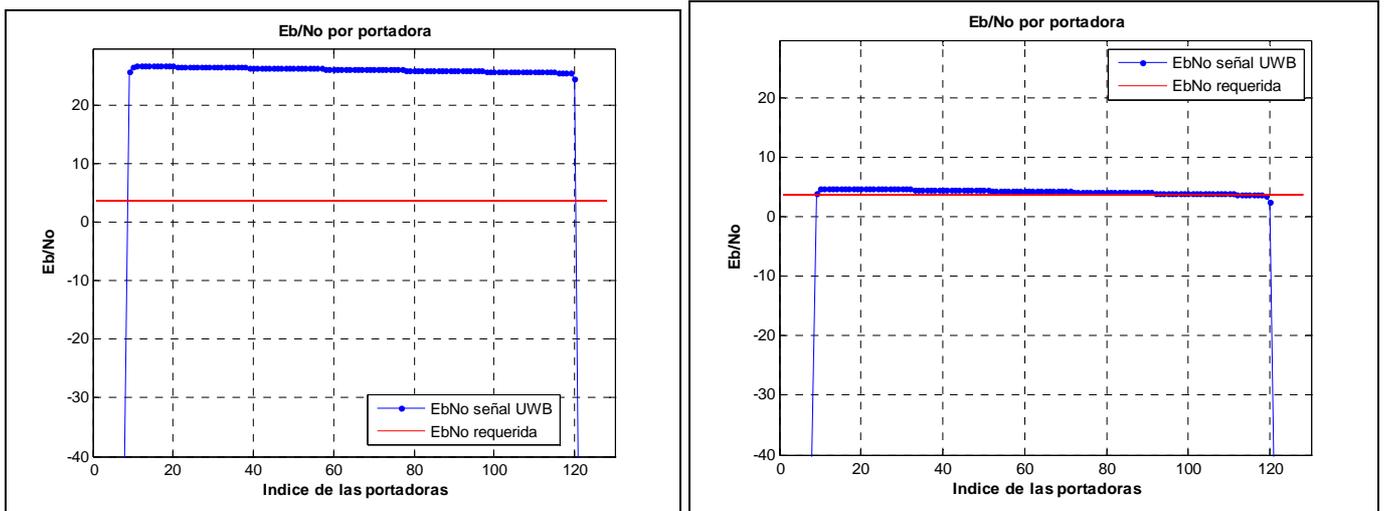


Figura 4.4.25  $E_b/N_0$  53.3 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=7.25$  m (derecha)

$E_b/N_0$  después de haber eliminado 8 portadoras en una distancia  $d=1$  m y  $d=7.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

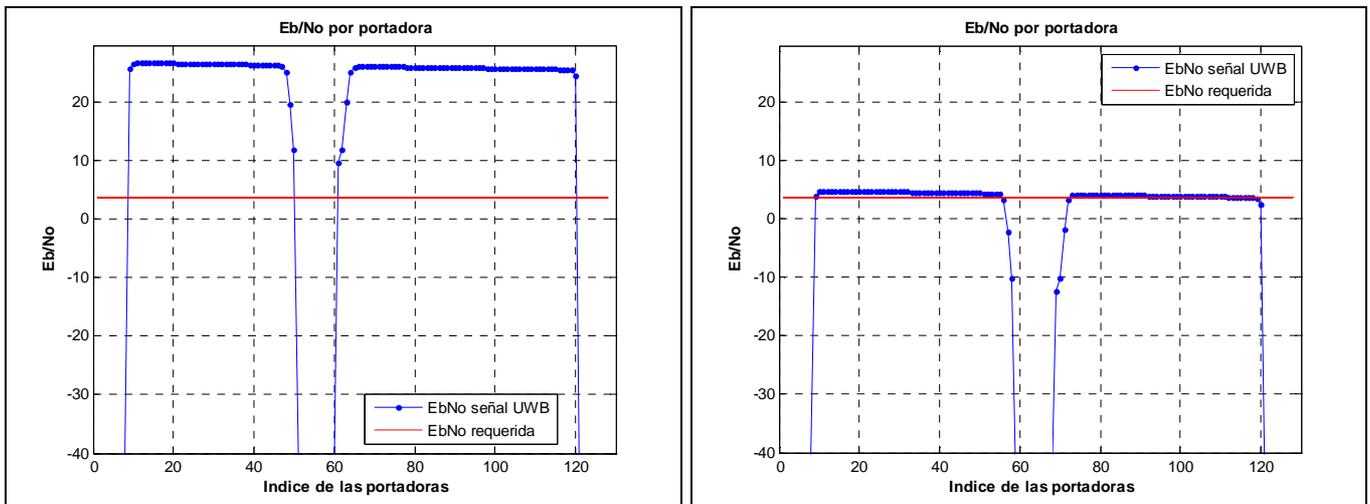


Figura 4.4.26  $E_b/N_0$  53.3 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=7.25$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_0$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=3.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

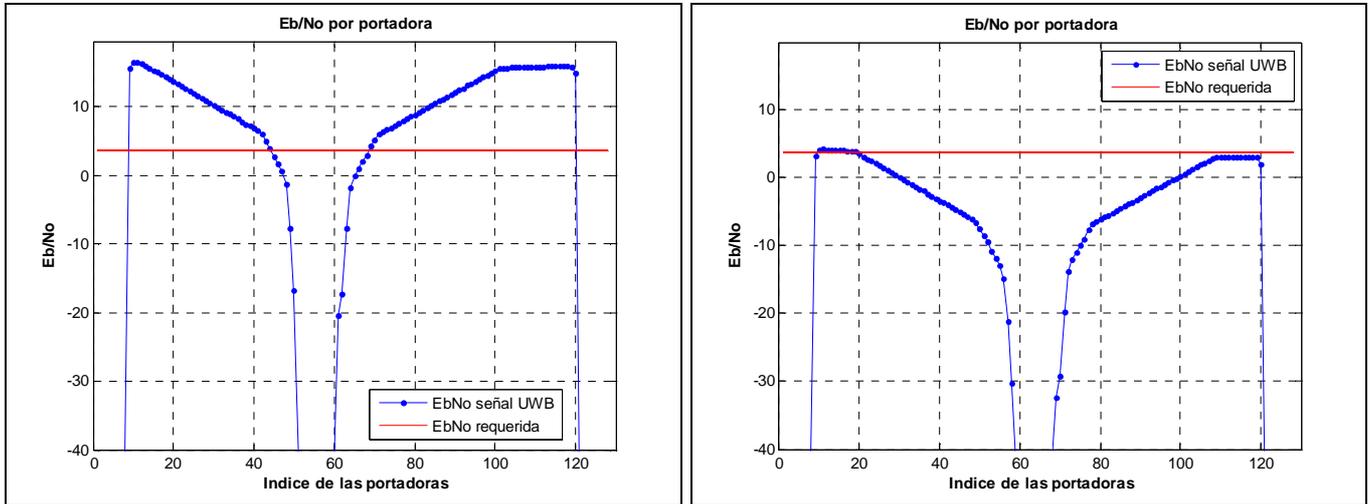


Figura 4.4.27  $E_b/N_0$  53.3 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=3.5$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y aplicando el Filtro Notch

### 4.4.2.2 80 Mbps

$E_b/N_0$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=6.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

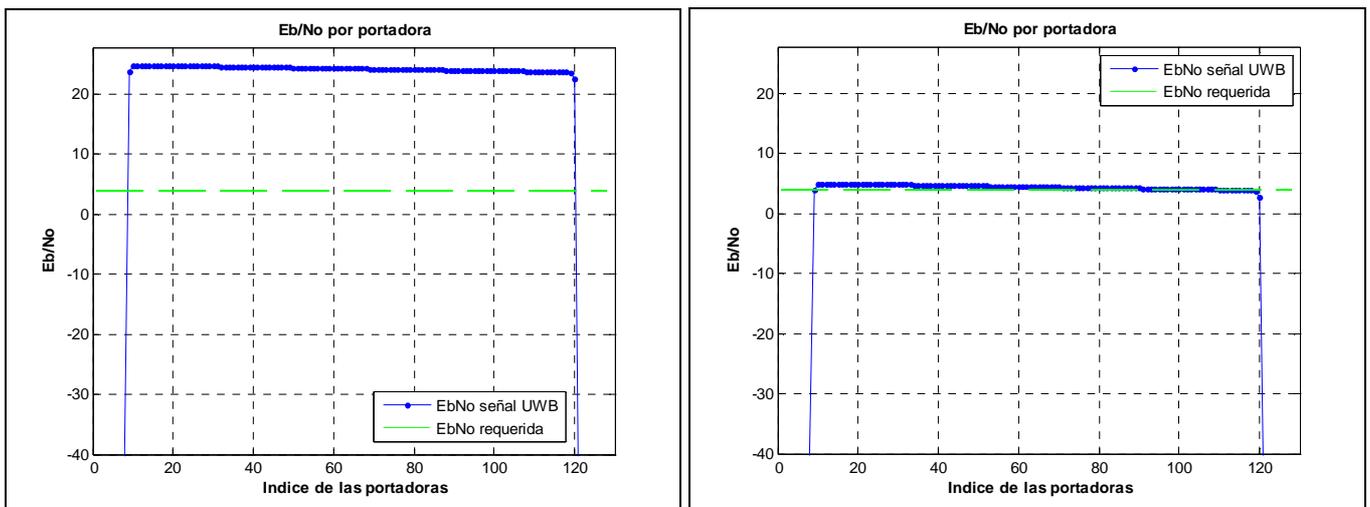


Figura 4.4.28  $E_b/N_0$  80 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=6.25$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para una distancia  $d=1$  m y  $d=6.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

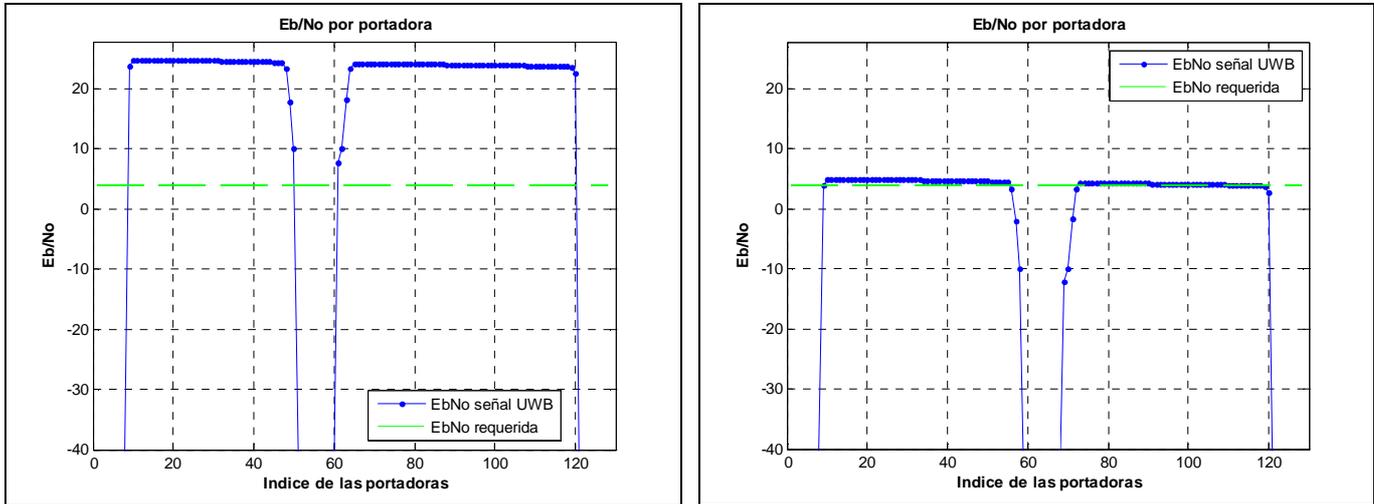


Figura 4.4.29  $E_b/N_o$  80 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=6.25$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=3$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

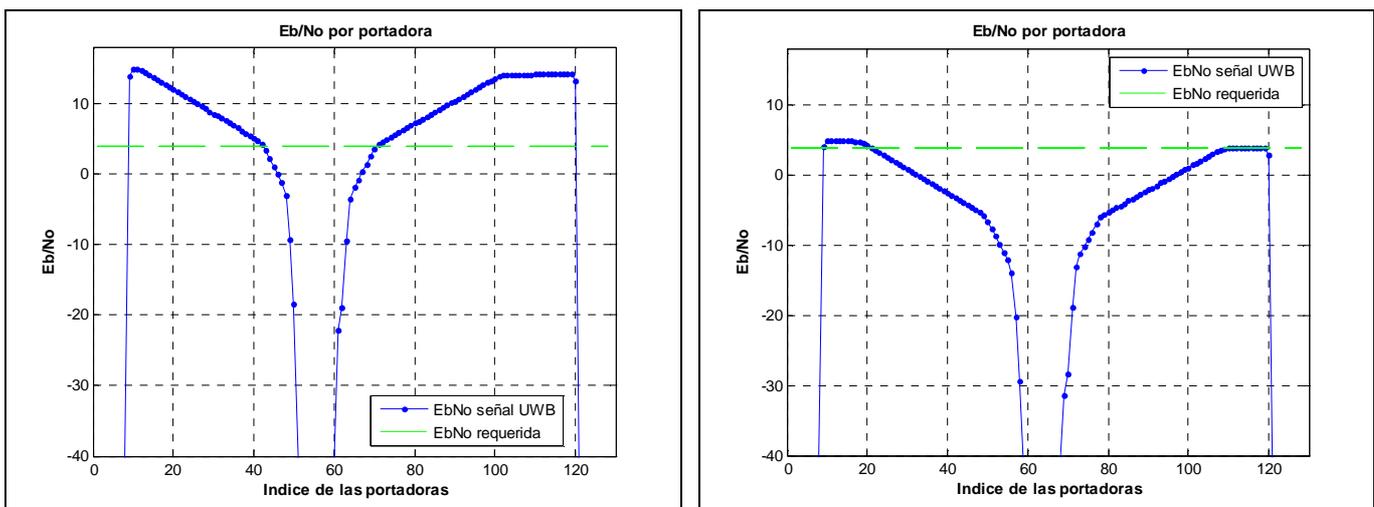


Figura 4.4.30  $E_b/N_o$  80 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=3$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y aplicado Filtro Notch

### 4.4.2.3 106.6 Mbps

$E_b/N_o$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=6$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

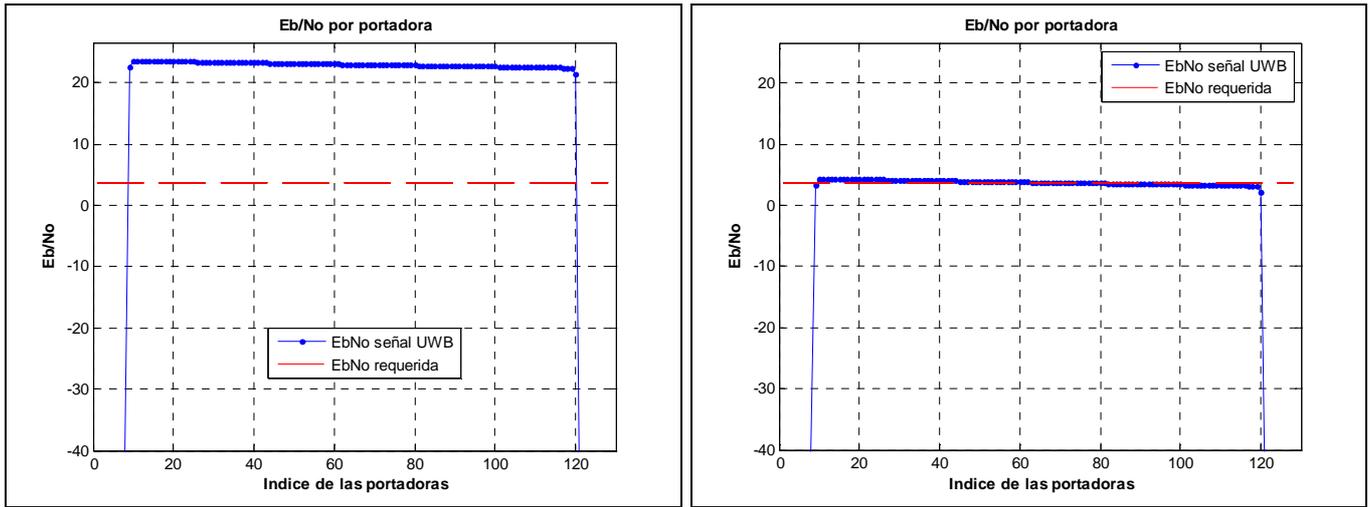


Figura 4.4.31  $E_b/N_o$  106.6 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=6$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para una distancia  $d=1$  m y  $d=6$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

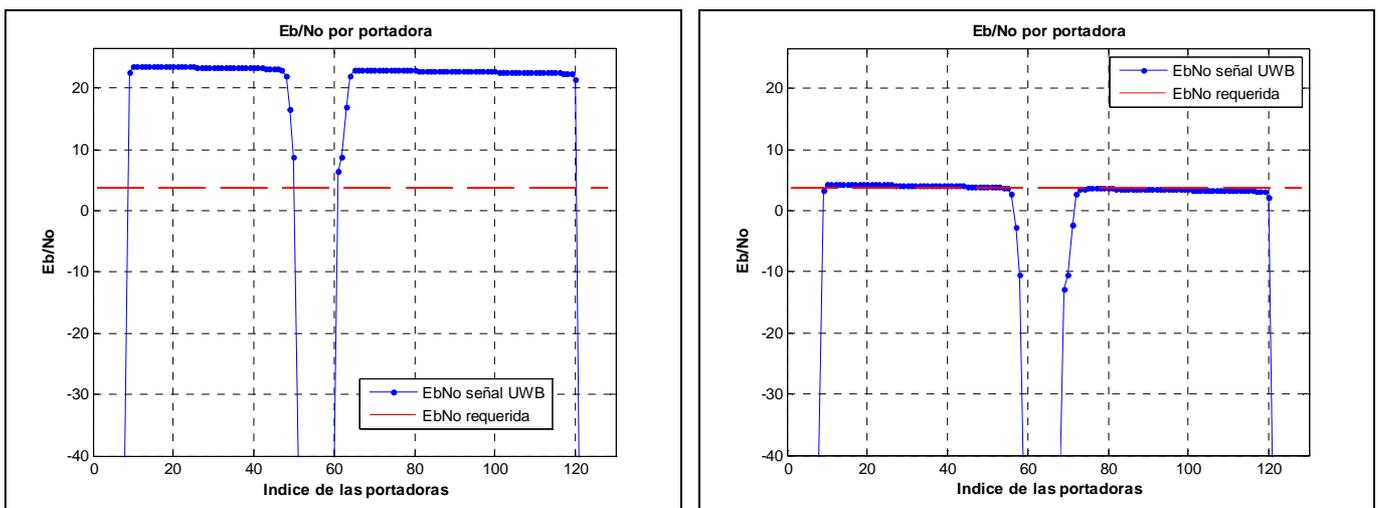


Figura 4.4.32  $E_b/N_o$  106.6 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=6$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_0$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=2.75$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

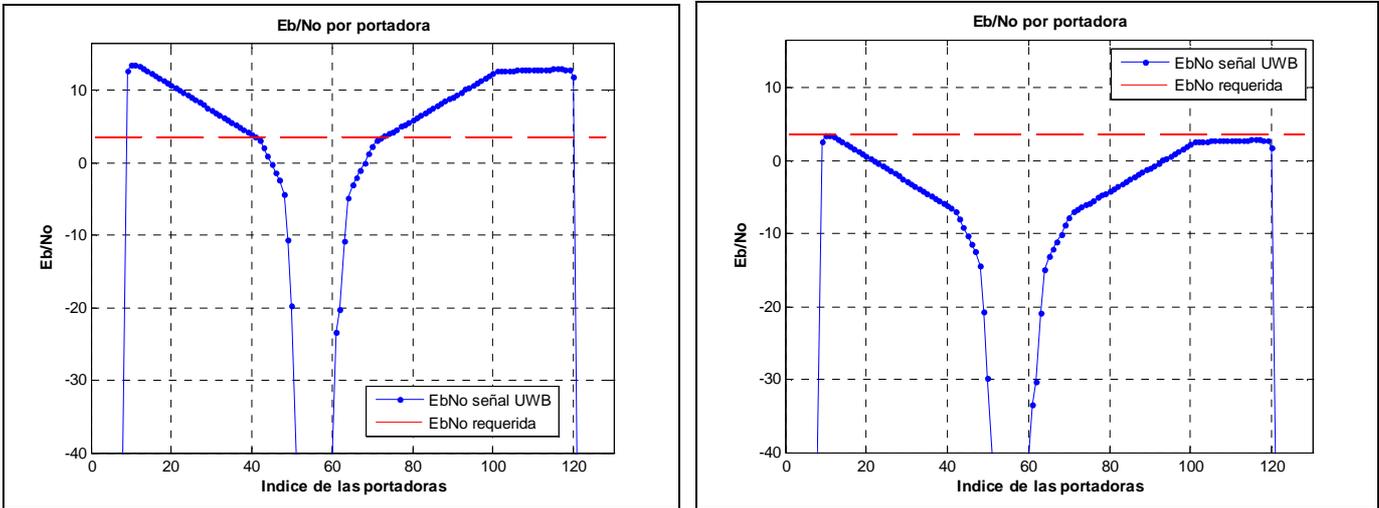


Figura 4.4.33  $E_b/N_0$  106.6 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=2.75$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y aplicando Filtro Notch

### 4.4.2.4 160 Mbps

$E_b/N_0$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

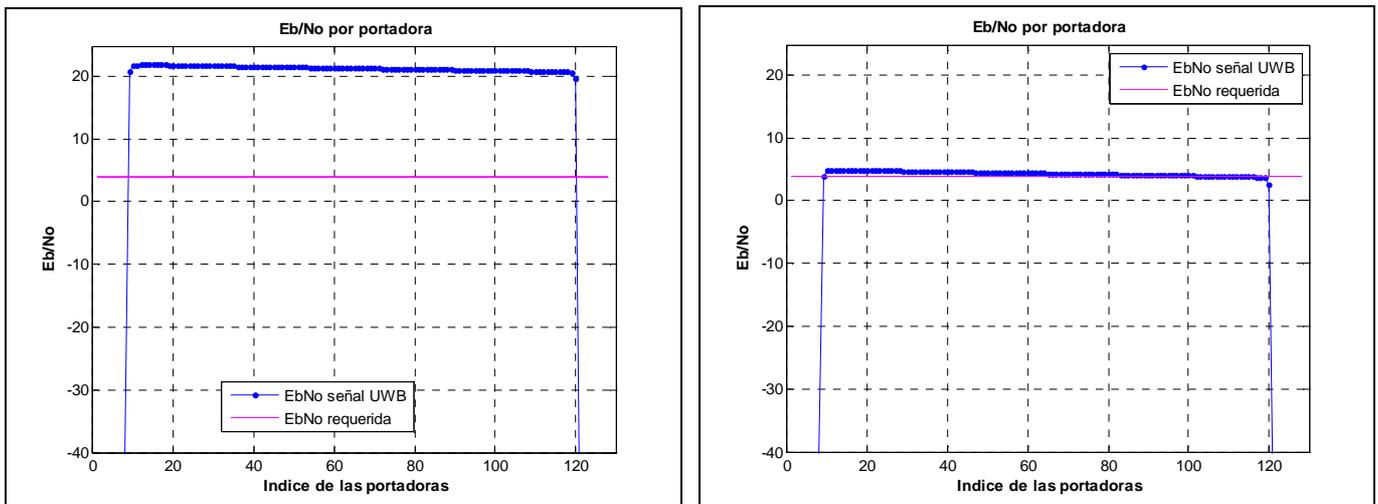


Figura 4.4.34  $E_b/N_0$  160 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=5$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para una distancia  $d=1$  m y  $d=5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

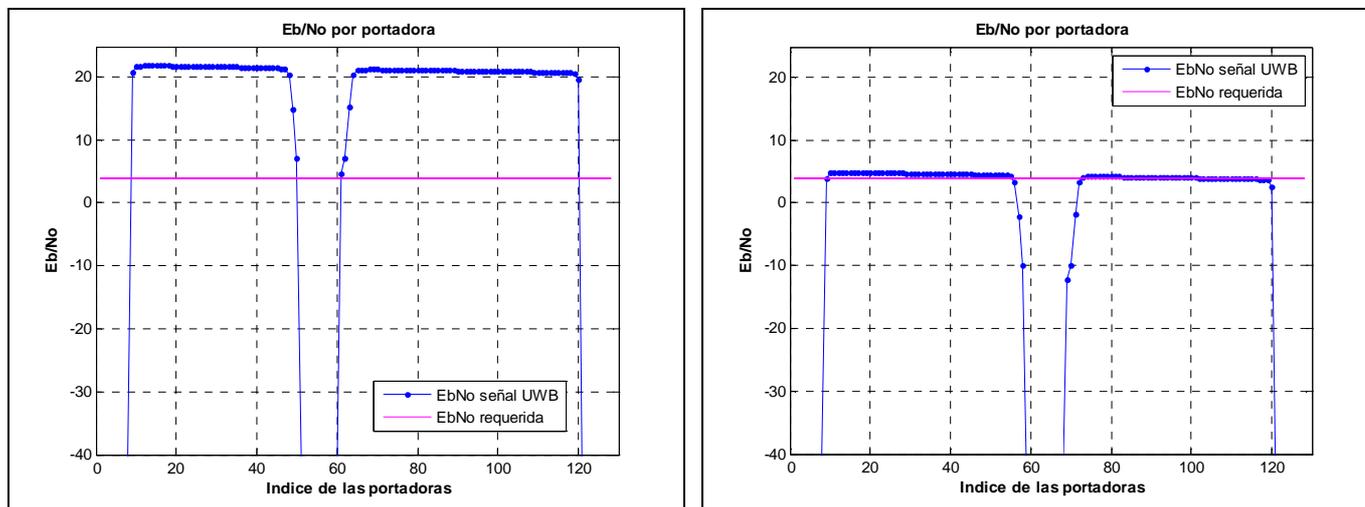


Figura 4.4.35  $E_b/N_o$  160 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=5$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=2.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

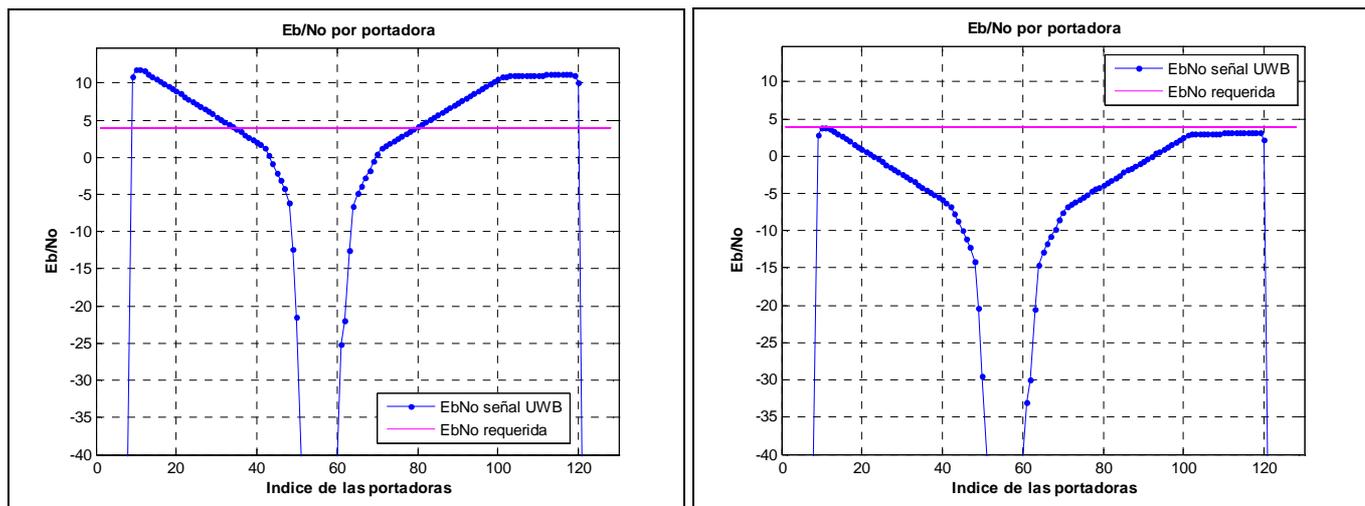


Figura 4.4.36  $E_b/N_o$  160 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=2.25$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

### 4.4.2.5 200 Mbps

$E_b/N_0$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=4.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

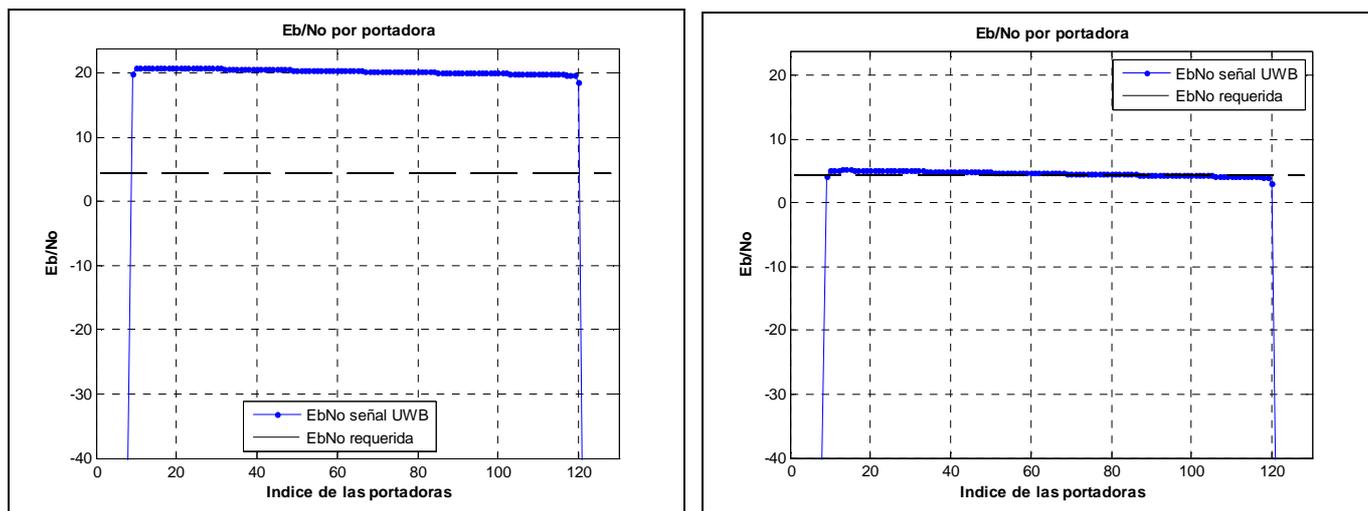


Figura 4.4.37  $E_b/N_0$  200 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=4.5$  m (derecha)

$E_b/N_0$  después de haber Eliminado 8 portadoras para una distancia  $d=1$  m y  $d=4.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

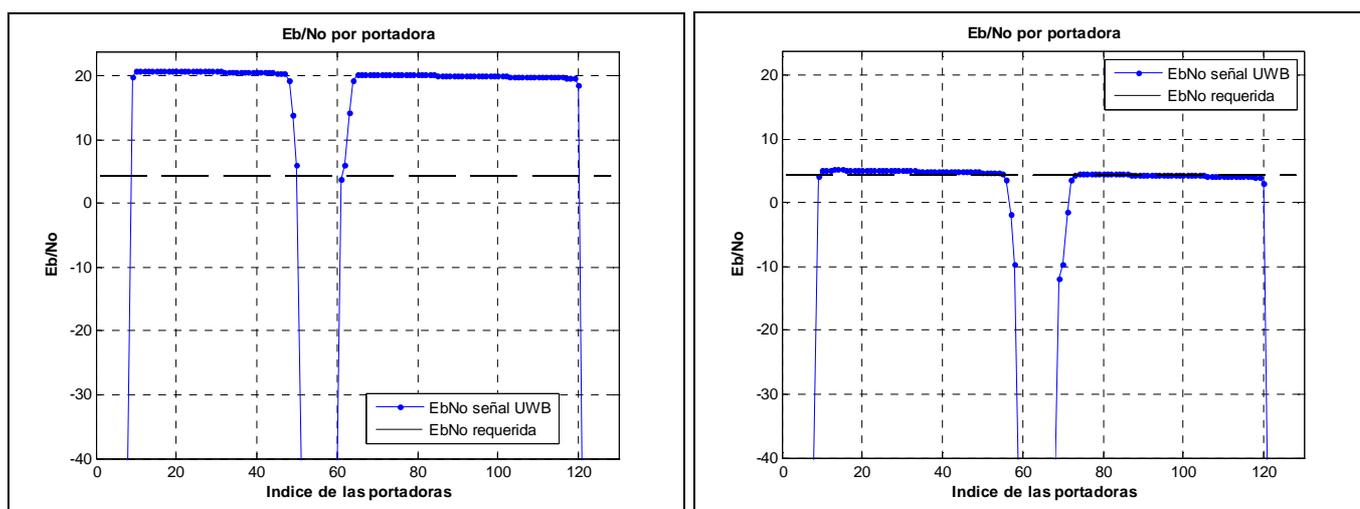


Figura 4.4.38  $E_b/N_0$  200 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=4.5$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=2$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

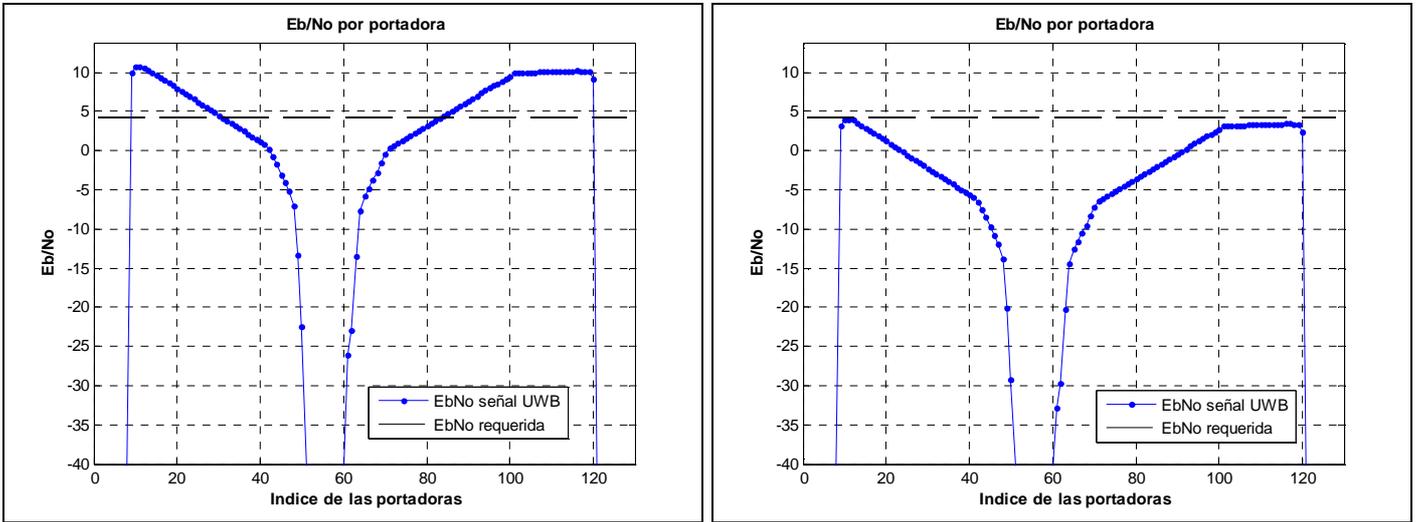


Figura 4.4.39  $E_b/N_o$  200 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=2$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y aplicando Filtro Notch

### 4.4.2.6 320 Mbps

$E_b/N_o$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=4$  m (para esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

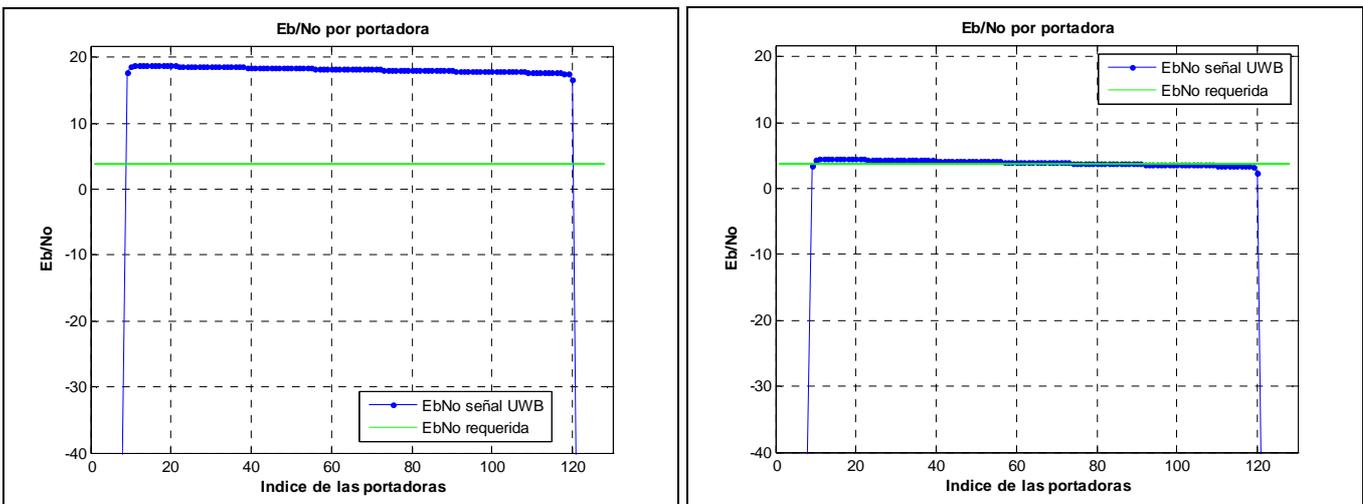


Figura 4.4.40  $E_b/N_o$  320 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=4$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para una distancia  $d=1$  m y  $d=4$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

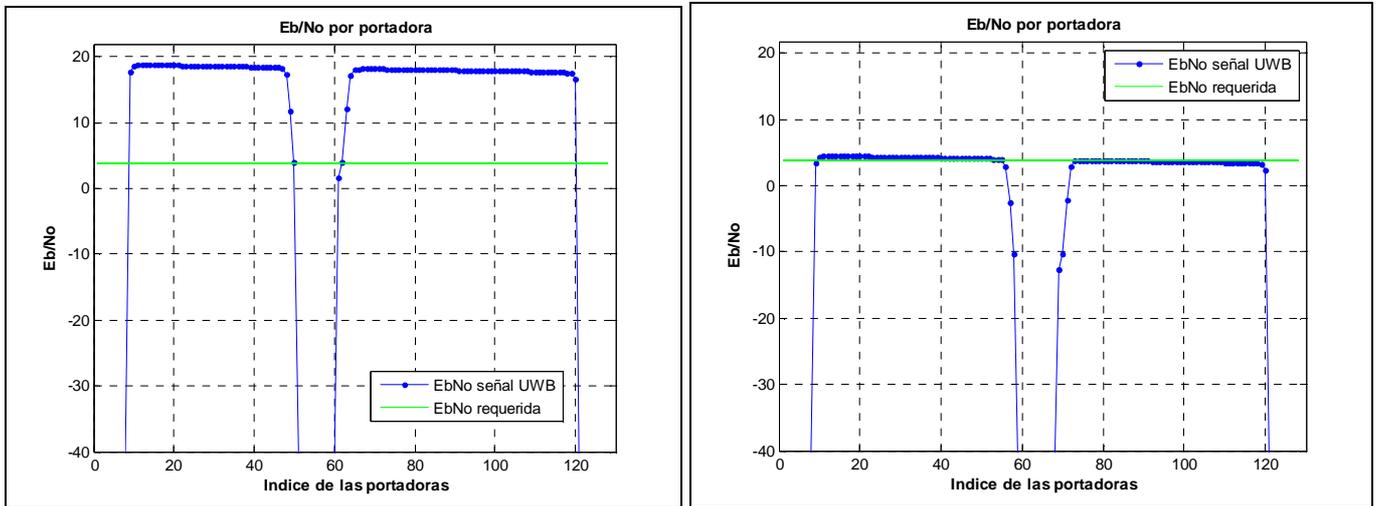


Figura 4.4.41  $E_b/N_o$  320 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=4$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=1.75$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

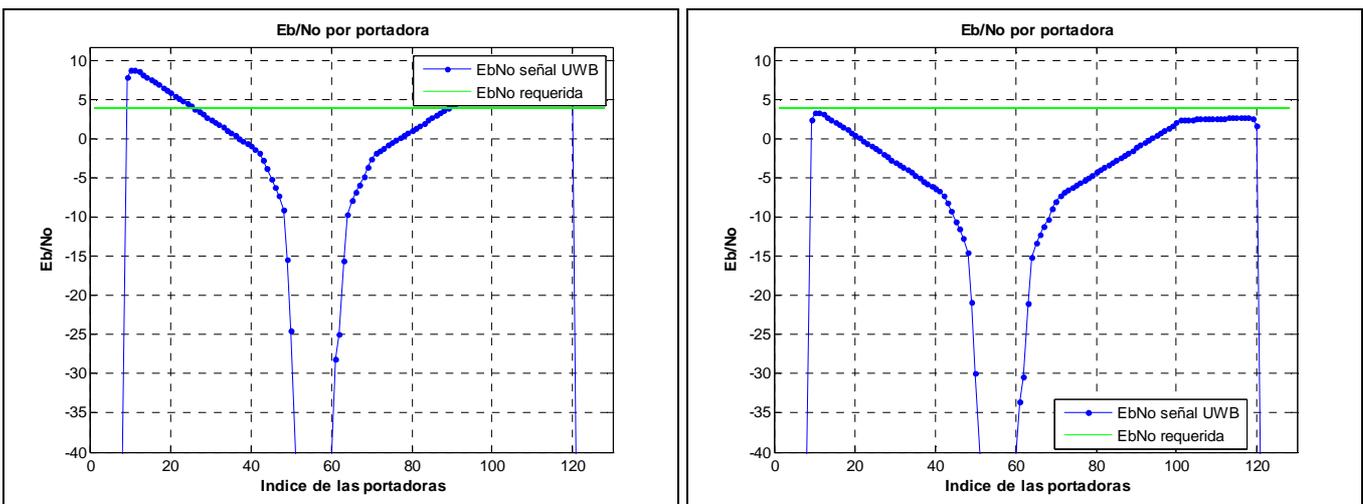


Figura 4.4.42  $E_b/N_o$  320 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=1.75$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y aplicando Filtro Notch

### 4.4.2.7 400 Mbps

$E_b/N_o$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=3.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

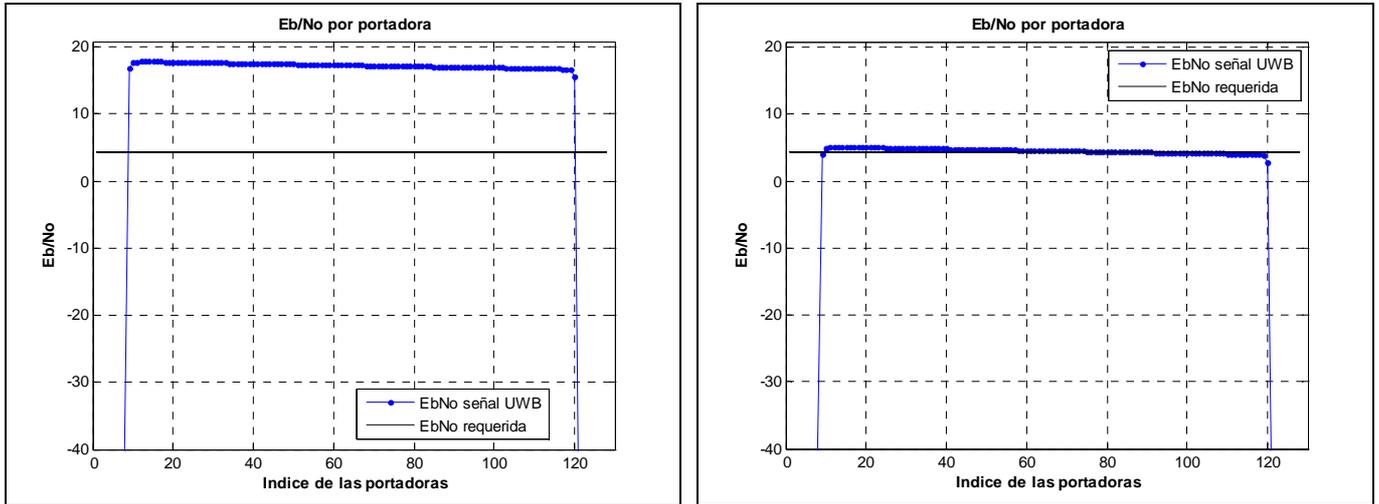


Figura 4.4.43  $E_b/N_o$  400 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=3.5$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para una distancia  $d=1$  m y  $d=3.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

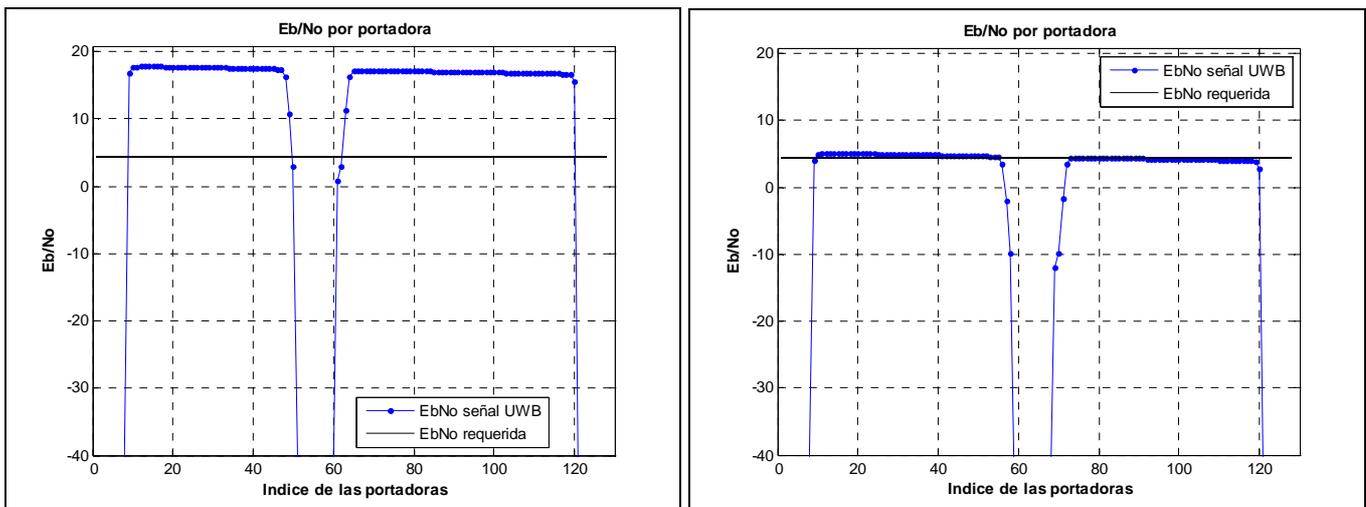


Figura 4.4.44  $E_b/N_o$  400 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=3.5$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_0$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=1.5$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

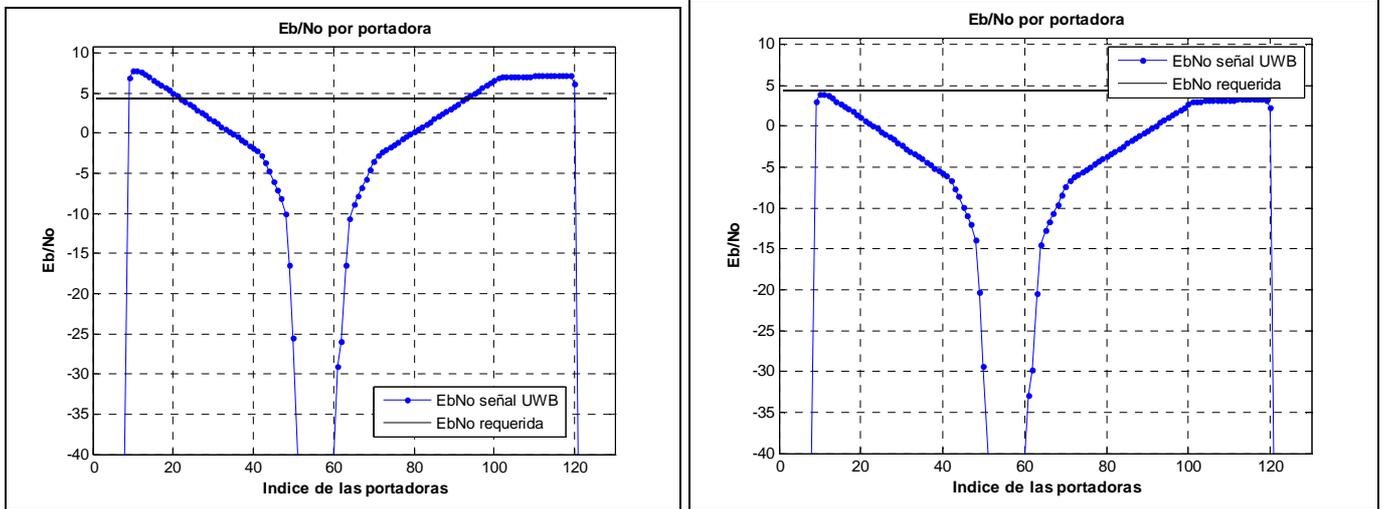


Figura 4.4.45  $E_b/N_0$  400 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=1.5$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y activando Filtro Notch

### 4.4.2.8 480 Mbps

$E_b/N_0$  para una distancia  $d=1$  m y  $d=3.25$  m (para esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_0$  requerida):

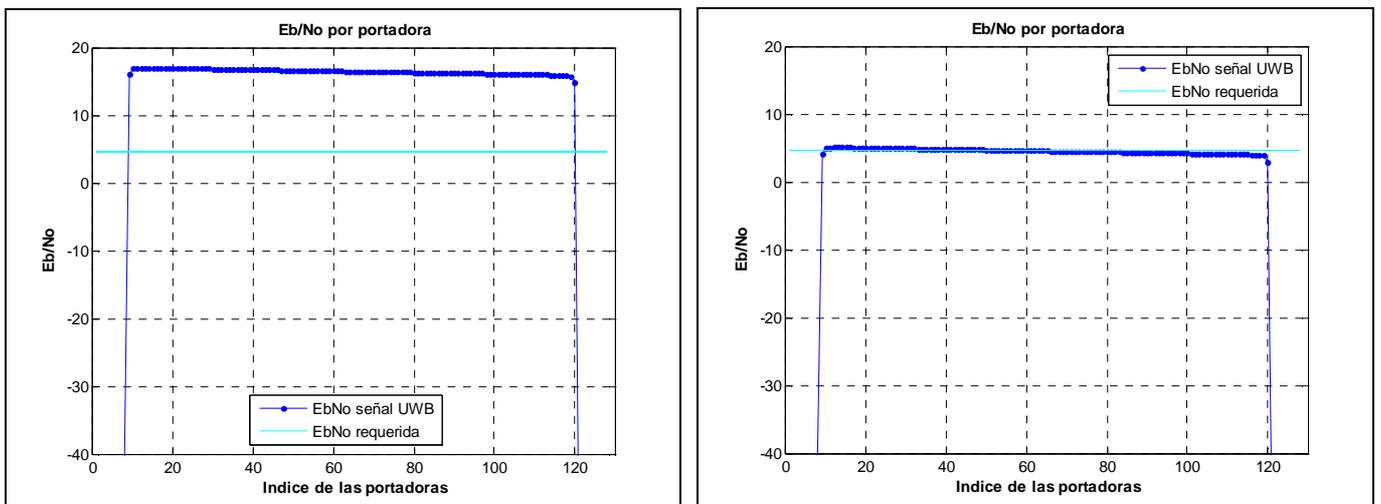


Figura 4.4.46  $E_b/N_0$  480 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=3.25$  m (derecha)

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras para una distancia  $d=1$  m y  $d=3.25$  m (para esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

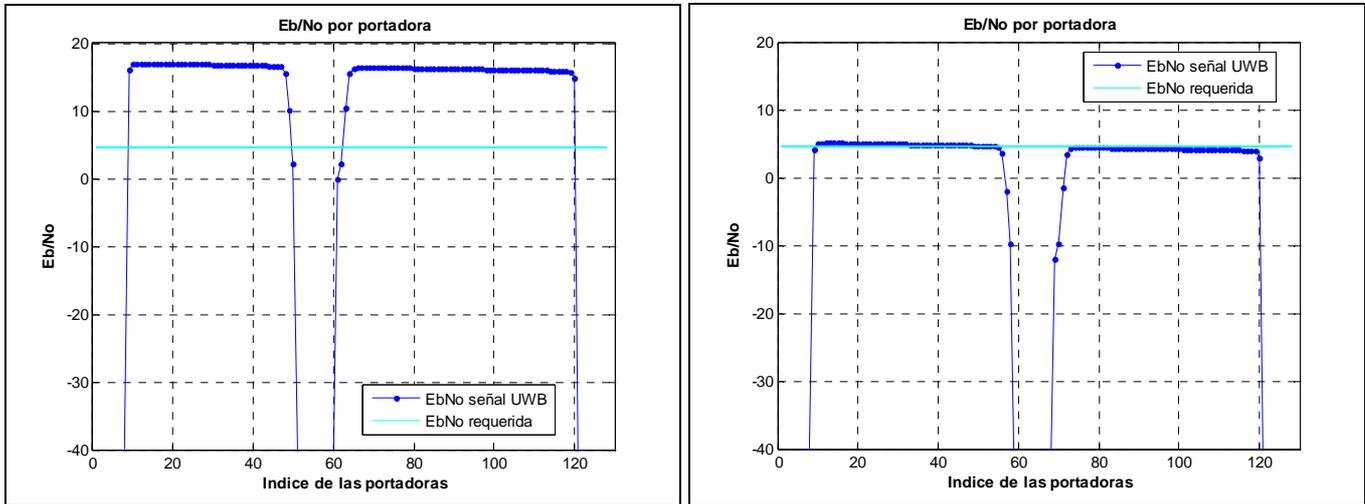


Figura 4.4.47  $E_b/N_o$  480 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=3.25$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras

$E_b/N_o$  después de haber eliminado 8 portadoras y de la activación del filtro para unas distancias  $d=1$  m y  $d=1.25$  m (en esta última distancia las portadoras MB-OFDM UWB no cumplen la  $E_b/N_o$  requerida):

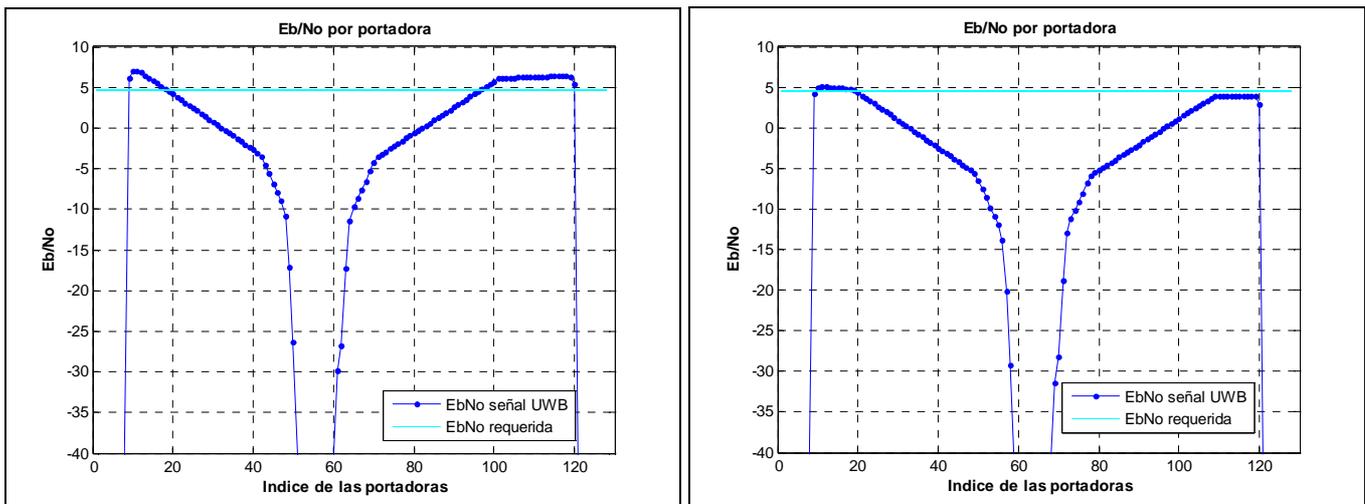


Figura 4.4.48  $E_b/N_o$  480 Mbps  $d=1$  m (izquierda)  $d=1.25$  m (derecha) Eliminando 8 portadoras y aplicando Filtro Notch

Tabla 4.4.3 Distancias de transmisión UWB con señal de entrada coseno alzado  $\alpha=0.25$ 

Tasa Binaria Neta		53.3 Mbps	80 Mbps	106.6 Mbps	160 Mbps	200 Mbps	320 Mbps	400 Mbps	480 Mbps
Distancia Máxima	Sin ADD	7.25 m	6.25 m	6 m	5 m	4.5 m	4 m	3.5 m	3.25 m
	Eliminando 8 portadoras	7.25 m	6.25 m	6 m	5 m	4.5 m	4 m	3.5 m	3.25 m
	Eliminando 8 portadoras y Filtro Notch	3.5 m	3 m	2.75 m	2.25m	2 m	1.75 m	1.5 m	1.25 m

En la Tabla 4.4.3 podemos ver las distancias de transmisión, en este caso cuando la señal de entrada en la señal UWB es de coseno alzado con  $\alpha=0.25$  (señal no estándar). De la misma forma que hemos comprobado en la Tabla 4.4.2, también vemos en este caso que eliminar portadoras no afecta a las distancias de transmisión sin embargo el Filtro Notch sí.

También observamos que al utilizar una señal de entrada de estas características (coseno alzado) el comportamiento ante el mecanismo DAA aplicado es ligeramente mejor, por ejemplo, con una tasa binaria de 80 Mbps después de eliminar 8 portadoras y aplicar el Filtro Notch, la máxima distancia de transmisión es 3 metros y al utilizar una señal de entrada cuadrada es 2.75 m.

Sin embargo, en este caso también es necesario aplicar el filtro Notch, por tanto aunque utilizando una señal de entrada de coseno alzado mejora ligeramente las prestaciones del sistema, podemos decir que casi no hay diferencia entre utilizar ésta señal o una señal de entrada cuadrada.

*\* Para realizar las simulaciones anteriores, hemos considerado un salto de 0.25 m de precisión en las distancias.*

### 4.4.3 Número de portadoras que no cumplen $E_b/N_o$ con señal de entrada cuadrada

El número de portadoras eliminadas como ya hemos dicho antes depende del ancho de banda de la señal WiMAX, pero evidentemente al aplicar el filtro Notch también de alguna forma equivale a eliminar portadoras, porque las estamos “borrando” de la señal MB-OFDM UWB.

A continuación presentamos el número de portadoras eliminadas después de aplicar el filtro Notch en el mejor de los casos (cuando antes del filtro sólo eliminamos 2 portadoras  $BW_{WiMAX}=1.25$  y  $2.5$  MHz) y en el peor de los casos (cuando antes del filtro eliminamos 8 portadoras:  $BW_{WiMAX}=28$  MHz) en tres puntos diferentes de la banda y las distancias de transmisión resultantes en cada caso.

#### 4.4.3.1 53.3 Mbps

Tabla 4.4.4 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 53.3 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

fc	3298 MHz		3430 MHz		3566 MHz	
Distancia	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	2	18	2	18	2	19
1.5 m	2	31	2	32	2	35
2 m	2	45	2	50	2	46
2.5 m	2	52	2	64	2	53
3 m	2	58	2	75	2	58
3.5 m	2	87	2	96	2	67
$d_{max}$	3.75 m		3.75 m		3.75 m	

En 53.3 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 3.75 m.

Tabla 4.4.5 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 53.3 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	8	16	8	16	8	17
1.5 m	8	29	8	30	8	33
2 m	8	43	8	48	8	44
2.5 m	8	50	8	62	8	51
3 m	8	56	8	73	8	56
3.5 m	8	85	8	94	8	65
<b>d<sub>max</sub> Tx</b>	<b>3.75 m</b>		<b>3.75 m</b>		<b>3.75 m</b>	

En 53.3 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 3.75 m.

#### 4.4.3.2 80 Mbps

Tabla 4.4.6 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 80 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	2	22	2	22	2	23
1.5 m	2	42	2	44	2	43
2 m	2	51	2	62	2	52
2.5 m	2	58	2	77	2	59
3 m	2	106	2	101	2	75
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>3.25 m</b>		<b>3.25 m</b>		<b>3.25 m</b>	

En 80 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 3.25 m.

Tabla 4.4.7 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 80 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1m	8	20	8	20	8	21
1.5 m	8	40	8	42	8	41
2 m	8	49	8	60	8	50
2.5 m	8	56	8	75	8	57
3 m	8	104	8	99	8	73
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>3.25 m</b>		<b>3.25 m</b>		<b>3 m</b>	

En 80 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 3 m.

### 4.4.3.3 106.6 Mbps

Tabla 4.4.8 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 106 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	2	25	2	27	2	29
1.5 m	2	45	2	50	2	46
2 m	2	54	2	67	2	54
2.5 m	2	62	2	90	2	61
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>3 m</b>		<b>3 m</b>		<b>3 m</b>	

En 106.6 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 3 m.

Tabla 4.4.9 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 106 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	8	23	8	25	8	27
1.5 m	8	43	8	48	8	44
2 m	8	52	8	65	8	52
2.5 m	8	60	8	88	8	59
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>2.75 m</b>		<b>2.75 m</b>		<b>2.75 m</b>	

En 106.6 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2.75 m.

#### 4.4.3.4 160 Mbps

Tabla 4.4.10 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 160 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	2	38	2	39	2	41
1.5 m	2	51	2	62	2	52
2 m	2	60	2	81	2	61
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>2.25 m</b>		<b>2.5 m</b>		<b>2.25 m</b>	

En 160 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2.25 m.

Tabla 4.4.11 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 160 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	8	36	8	37	8	39
1.5 m	8	49	8	60	8	50
2 m	8	58	8	79	8	59
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>2.25 m</b>		<b>2.25 m</b>		<b>2.25 m</b>	

En 160 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2.25 m.

#### 4.4.3.5 200 Mbps

Tabla 4.4.12 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 200 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	2	44	2	48	2	45
1.5 m	2	56	2	71	2	56
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>2 m</b>		<b>2 m</b>		<b>2 m</b>	

En 200 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2 m.

Tabla 4.4.13 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 200 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	8	42	8	46	8	43
1.5 m	8	54	8	69	8	54
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>2 m</b>		<b>2 m</b>		<b>2 m</b>	

En 200 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2 m

#### 4.4.3.6 320 Mbps

Tabla 4.4.14 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 320 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	2	49	2	58	2	50
1.5 m	2	62	2	82	2	61
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>1.75 m</b>		<b>1.75 m</b>		<b>1.75 m</b>	

En 320 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.75 m

Tabla 4.4.15 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 320 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	8	47	8	56	8	48
1.5 m	8	60	8	80	8	59
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>1.75 m</b>		<b>1.75 m</b>		<b>2 m</b>	

En 320 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.75 m

#### 4.4.3.7 400 Mbps

Tabla 4.4.16 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 400 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	2	53	2	66	2	54
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>	

En 400 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.5 m

Tabla 4.4.17 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 400 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	8	51	8	64	8	52
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>	

En 400 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.5 m.

#### 4.4.3.8 480 Mbps

Tabla 4.4.18 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 480 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	2	54	2	70	2	55
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>	

En 480 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.5 m

Tabla 4.4.19 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 480 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	8	56	8	72	8	57
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>1.25 m</b>		<b>1.25 m</b>		<b>1.25 m</b>	

En 480 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.25 m

#### 4.4.4 Tasas binarias resultantes con señal de entrada cuadrada

Calculamos las tasas binarias resultantes suponiendo que trabajamos en *modo no saltante*, es decir sólo trabajamos en la primera banda y no es posible saltar a la segunda o tercera.

##### 4.4.4.1 53.3 Mbps

Tabla 4.4.20 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras+ filtro Notch con tasa binaria inicial de 53.3 Mbps

<b>53.3 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	43.78 Mbps	43.78 Mbps	43.3 Mbps
1.5 m	37.59 Mbps	37.12 Mbps	35.69 Mbps
2 m	30.93 Mbps	28.55 Mbps	30.46 Mbps
2.5 m	27.6 Mbps	21.89 Mbps	27.13 Mbps
3 m	24.75 Mbps	16.65 Mbps	24.75 Mbps
3.5 m	10.95 Mbps	6.66 Mbps	20.46 Mbps

Con una tasa binaria original de 53.3 Mbps, al eliminar 2 portadoras+Filtro Notch la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 43.78 Mbps y en peor de los casos hasta 6.66 Mbps.

Tabla 4.4.21 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + filtro Notch con tasa binaria inicial de 53.3 Mbps

<b>53.3 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	41.88 Mbps	41.88 Mbps	41.4 Mbps
1.5 m	35.69 Mbps	35.21 Mbps	33.79 Mbps
2 m	29.03 Mbps	27.13 Mbps	28.55 Mbps
2.5 m	25.7 Mbps	19.99 Mbps	25.22 Mbps
3 m	22.84 Mbps	14.75 Mbps	22.84 Mbps
3.5 m	10.45 Mbps	4.76 Mbps	18.56 Mbps

Con una tasa binaria original de 53.3 Mbps, al eliminar 8 portadoras +Filtro Notch la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 41.88 Mbps y en peor de los casos a 4.76 Mbps.

#### 4.4.4.2 80 Mbps

Tabla 4.4.22 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 80 Mbps

<b>80 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	62.86 Mbps	62.86 Mbps	62.14 Mbps
1.5 m	48.57 Mbps	47.14 Mbps	47.86 Mbps
2 m	42.14 Mbps	34.29 Mbps	41.43Mbps
2.5 m	37.15 Mbps	23.57 Mbps	36.43 Mbps
3 m	2.86 Mbps	6.43 Mbps	25 Mbps

Con una tasa binaria original de 80 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 62.86 Mbps y en peor de los casos a 2.86 Mbps.

Tabla 4.4.23 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 80 Mbps

<b>80 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	60 Mbps	60 Mbps	59.29 Mbps
1.5 m	45.71 Mbps	44.24 Mbps	45 Mbps
2 m	39.29 Mbps	31.43 Mbps	38.57 Mbps
2.5 m	34.29 Mbps	20.71 Mbps	33.57 Mbps
3 m	0	3.57 Mbps	22.14 Mbps

Con una tasa binaria original de 80 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 60 Mbps y en peor de los casos a 0 Mbps.

### 4.4.4.3 106.6 Mbps

Tabla 4.4.24 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 106 Mbps

<b>106.6 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	80.9 Mbps	79 Mbps	77.1 Mbps
1.5 m	61.87 Mbps	57.12 Mbps	60.91 Mbps
2 m	53.3 Mbps	40.93 Mbps	53.3 Mbps
2.5 m	45.69 Mbps	19.03 Mbps	46.64 Mbps

Con una tasa binaria original de 106.6 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 80.9 Mbps y en peor de los casos a 19.03 Mbps

Tabla 4.4.25 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 106 Mbps

<b>106.6 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	77.1 Mbps	75.2 Mbps	73.3 Mbps
1.5 m	58.06 Mbps	53.3 Mbps	57.11 Mbps
2 m	49.5 Mbps	37.12 Mbps	49.5 Mbps
2.5 m	41.88 Mbps	15.23Mbps	42.83 Mbps

Con una tasa binaria original de 106.6 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 77.1 Mbps y en peor de los casos a 15.23 Mbps.

#### 4.4.4.4 160 Mbps

Tabla 4.4.26 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 160 Mbps

<b>160 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	102.86 Mbps	101.43 Mbps	98.57 Mbps
1.5 m	84.29 Mbps	68.57 Mbps	82.86 Mbps
2 m	71.43 Mbps	41.43 Mbps	70 Mbps

Con una tasa binaria original de 160 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 102.86 Mbps y en peor de los casos a 41.43 Mbps

Tabla 4.4.27 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 160 Mbps

<b>160 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	97.14 Mbps	95.71 Mbps	92.86 Mbps
1.5 m	78.57 Mbps	62.86 Mbps	77.14 Mbps
2 m	65.71 Mbps	35.71 Mbps	64.29 Mbps

Con una tasa binaria original de 160 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 97.14 Mbps y en peor de los casos a 35.71 Mbps.

#### 4.4.4.5 200 Mbps

Tabla 4.4.28 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 200 Mbps

<b>200 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	117.86 Mbps	110.71 Mbps	116.07 Mbps
1.5 m	96.43 Mbps	69.64 Mbps	96.43 Mbps

Con una tasa binaria original de 200 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 117.86 Mbps y en peor de los casos a 69.64 Mbps

Tabla 4.4.29 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 200 Mbps

<b>200 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	110.71 Mbps	103.57 Mbps	108.93 Mbps
1.5 m	89.29 Mbps	62.5 Mbps	89.29 Mbps

Con una tasa binaria original de 200 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 110.71 Mbps y en peor de los casos a 62.5 Mbps.

#### 4.4.4.6 320 Mbps

Tabla 4.4.30 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 320 Mbps

<b>320 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	174.29 Mbps	148.57 Mbps	171.43 Mbps
1.5 m	137.14 Mbps	80 Mbps	140 Mbps

Con una tasa binaria original de 320 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 174.29 Mbps y en peor de los casos a 80 Mbps.

Tabla 4.4.31 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 320 Mbps

<b>320 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	162.86 Mbps	137.14 Mbps	160 Mbps
1.5 m	125.71 Mbps	68.57 Mbps	128.57 Mbps

Con una tasa binaria original de 320 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 162.86 Mbps y en peor de los casos a 68.57 Mbps.

#### 4.4.4.7 400 Mbps

Tabla 4.4.32 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 400 Mbps

<b>400 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	203.57 Mbps	157.14 Mbps	200 Mbps

Con una tasa binaria original de 400 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 203.57 Mbps y en peor de los casos a 157.14 Mbps

Tabla 4.4.33 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 400 Mbps

<b>400 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	189.29 Mbps	142.86 Mbps	185.71 Mbps

Con una tasa binaria original de 400 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 189.29 Mbps y en peor de los casos a 142.86 Mbps.

### 4.4.4.8 480 Mbps

Tabla 4.4.34 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 480 Mbps

<b>480 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	240 Mbps	171.43 Mbps	235.71 Mbps

Con una tasa binaria original de 480 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 240 Mbps y en peor de los casos a 171.43 Mbps.

Tabla 4.4.35 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 480 Mbps

<b>480 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	205.71 Mbps	137.14 Mbps	201.43 Mbps

Con una tasa binaria original de 480 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 205.71 Mbps y en peor de los casos a 137.14 Mbps.

## 4.4.5 Número de portadoras que no cumplen $E_b/N_o$ con señal de entrada coseno alzado $\alpha=0.25$ (señal no estándar)

### 4.4.5.1 53.3 Mbps

Tabla 4.4.36 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 53.3 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	2	18	2	18	2	19
1.5 m	2	30	2	32	2	35
2 m	2	45	2	50	2	46
2.5 m	2	52	2	64	2	53
3 m	2	58	2	75	2	58
3.5 m	2	87	2	96	2	67
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>3.75 m</b>		<b>3.75 m</b>		<b>3.75 m</b>	

En 53.3 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 3.75 m.

Tabla 4.4.37 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 53.3 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	8	16	8	16	8	17
1.5 m	8	28	8	30	8	33
2 m	8	43	8	48	8	44
2.5 m	8	50	8	62	8	51
3 m	8	56	8	73	8	56
3.5 m	6	85	6	94	8	65
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>3.5 m</b>		<b>3.5 m</b>		<b>3.5 m</b>	

En 53.3 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 3.5 m

#### 4.4.5.2 80 Mbps

Tabla 4.4.38 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 80 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	2	22	2	22	2	23
1.5 m	2	42	2	42	2	43
2 m	2	51	2	62	2	52
2.5 m	2	58	2	77	2	59
3 m	2	106	2	100	2	75
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>3 m</b>		<b>3.25 m</b>		<b>3.25 m</b>	

En 80 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 3.25 m

Tabla 4.4.39 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 80 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	8	20	8	20	8	21
1.5 m	8	40	8	40	8	41
2 m	8	49	8	60	8	50
2.5 m	8	56	8	75	8	57
3 m	8	104	8	98	8	73
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>3 m</b>		<b>3 m</b>		<b>3 m</b>	

En 80 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 3 m.

### 4.4.5.3 106 Mbps

Tabla 4.4.40 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 106 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	2	25	2	27	2	29
1.5 m	2	45	2	50	2	46
2 m	2	54	2	67	2	54
2.5 m	2	62	2	87	2	61
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>2.75 m</b>		<b>3 m</b>		<b>3 m</b>	

En 106.6 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 3 m.

Tabla 4.4.41 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 106 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	8	23	8	25	8	27
1.5 m	8	43	8	48	8	44
2 m	8	52	8	65	8	52
2.5 m	8	61	8	85	8	59
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>2.75 m</b>		<b>2.75 m</b>		<b>2.75 m</b>	

En 106.6 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2.75 m.

#### 4.4.5.4 160 Mbps

Tabla 4.4.42 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 160 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	2	38	2	39	2	41
1.5 m	2	51	2	62	2	52
2 m	2	60	2	81	2	61
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>2.25 m</b>		<b>2.5 m</b>		<b>2.5 m</b>	

En 160 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2.5 m.

Tabla 4.4.43 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 160 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	8	36	8	37	8	39
1.5 m	8	49	8	60	8	50
2 m	8	58	8	79	8	59
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>2.25 m</b>		<b>2.25 m</b>		<b>2.25 m</b>	

En 160 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2.25 m.

### 4.4.5.5 200 Mbps

Tabla 4.4.44 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 200 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	2	44	2	48	2	45
1.5 m	2	56	2	71	2	56
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>2 m</b>		<b>2 m</b>		<b>2.25 m</b>	

En 200 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2.25 m.

Tabla 4.4.45 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 200 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	8	42	8	46	8	43
1.5 m	8	54	8	69	8	54
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>2 m</b>		<b>2 m</b>		<b>2 m</b>	

En 200 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2 m.

### 4.4.5.6 320 Mbps

Tabla 4.4.46 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 320 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	2	49	2	58	2	50
1.5 m	2	62	2	82	2	61
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>1.75 m</b>		<b>1.75 m</b>		<b>2 m</b>	

En 320 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 2 m.

Tabla 4.4.47 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 320 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>	<b>Nº portadoras eliminadas</b>	<b>Nº de portadoras no cumplen <math>E_b/N_o</math></b>
1 m	8	47	8	56	8	48
1.5 m	8	60	8	80	8	59
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>1.75 m</b>		<b>1.75 m</b>		<b>1.75 m</b>	

En 200 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.75 m.

### 4.4.5.7 400 Mbps

Tabla 4.4.48 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 400 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	2	53	2	66	2	54
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>		<b>1.75 m</b>	

En 400 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.75 m.

Tabla 4.4.49 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 400 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	8	51	8	64	8	52
<b>d<sub>max</sub></b>	<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>	

En 400 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.5 m.

### 4.4.5.8 480 Mbps

Tabla 4.4.50 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 480 Mbps (eliminando 2 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	2	56	2	72	2	57
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>		<b>1.5 m</b>	

En 480 Mbps, eliminando 2 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.5 m.

Tabla 4.4.51 Número de portadoras que no cumplen  $E_b/N_o$  requerida en 480 Mbps (eliminando 8 portadoras antes del filtro Notch)

<b>fc</b>	<b>3298 MHz</b>		<b>3430 MHz</b>		<b>3566 MHz</b>	
<b>Distancia</b>	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$	Nº portadoras eliminadas	Nº de portadoras no cumplen $E_b/N_o$
1 m	8	54	8	70	8	55
<b><math>d_{max}</math></b>	<b>1.25 m</b>		<b>1.25 m</b>		<b>1.25 m</b>	

En 480 Mbps, eliminando 8 portadoras y aplicando el filtro Notch, la máxima distancia de transmisión posible es aproximadamente 1.25 m.

#### 4.4.6 Tasas binarias resultantes con señal de entrada coseno alzado $\alpha=0.25$ (señal no estándar)

Calculamos las tasas binarias resultantes suponiendo que trabajamos en *modo no saltante*, es decir sólo trabajamos en la primera banda y no es posible saltar a la segunda o tercera.

##### 4.4.6.1 53.3 Mbps

Tabla 4.4.52 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 53.3 Mbps

<b>53.3 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	43.78 Mbps	43.78 Mbps	43.3 Mbps
1.5 m	38.07Mbps	37.12 Mbps	35.69 Mbps
2 m	30.93 Mbps	28.55 Mbps	30.46 Mbps
2.5 m	27.6 Mbps	21.9 Mbps	27.13 Mbps
3 m	24.75 Mbps	16.66 Mbps	24.75 Mbps
3.5 m	10.95 Mbps	6.66 Mbps	20.46 Mbps

Con una tasa binaria original de 53.3 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 43.78 Mbps y en peor de los casos a 6.66 Mbps.

Tabla 4.4.53 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 53.3 Mbps

<b>53.3 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	41.88 Mbps	41.88 Mbps	41.4 Mbps
1.5 m	36.17 Mbps	35.22 Mbps	33.79 Mbps
2 m	29.03 Mbps	26.65 Mbps	28.55 Mbps
2.5 m	25.7 Mbps	19.99 Mbps	25.22 Mbps
3 m	22.84 Mbps	14.75 Mbps	22.84 Mbps
3.5 m	9.99 Mbps	5.71 Mbps	18.56 Mbps

Con una tasa binaria original de 53.3 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 41.88 Mbps y en peor de los casos a 5.71 Mbps.

### 4.4.6.2 80 Mbps

Tabla 4.4.54 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 80 Mbps

<b>80 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	62.86 Mbps	62.86 Mbps	62.14 Mbps
1.5 m	48.57 Mbps	48.57 Mbps	48.86 Mbps
2 m	42.14 Mbps	34.29 Mbps	41.43 Mbps
2.5 m	37.14 Mbps	23.57 Mbps	36.43 Mbps
3 m	2.86 Mbps	7.14 Mbps	25 Mbps

Con una tasa binaria original de 80 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 62.86 Mbps y en peor de los casos a 2.86 Mbps.

Tabla 4.4.55 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 80 Mbps

<b>80 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	60 Mbps	60 Mbps	59.29 Mbps
1.5 m	45.71 Mbps	45.71 Mbps	45 Mbps
2 m	39.29 Mbps	31.43 Mbps	38.57 Mbps
2.5 m	34.29 Mbps	30.71 Mbps	33.57 Mbps
3 m	0	11.43 Mbps	22.14 Mbps

Con una tasa binaria original de 80 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 60 Mbps y en peor de los casos a 0 Mbps.

### 4.4.6.3 106 Mbps

Tabla 4.4.56 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 106 Mbps

<b>106.6 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	80.9 Mbps	79 Mbps	77.09 Mbps
1.5 m	61.87 Mbps	57.1 Mbps	60.91 Mbps
2 m	53.3 Mbps	40.93 Mbps	53.3 Mbps
2.5 m	45.69 Mbps	21.89 Mbps	46.64 Mbps

Con una tasa binaria original de 106.6 Mbps, al eliminar 2 portadoras+ Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 80.9 Mbps y en peor de los casos a 21.89 Mbps.

Tabla 4.4.57 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 106 Mbps

<b>106.6 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	77.09 Mbps	75.19 Mbps	73.29 Mbps
1.5 m	58.06 Mbps	53.3 Mbps	57.1 Mbps
2 m	49.49 Mbps	37.12 Mbps	49.49 Mbps
2.5 m	40.93 Mbps	18.08 Mbps	42.83 Mbps

Con una tasa binaria original de 106.6 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 77.09 Mbps y en peor de los casos a 18.08 Mbps.

#### 4.4.6.4 160 Mbps

Tabla 4.4.58 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 160 Mbps

<b>160 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	102.86 Mbps	101.43 Mbps	98.57 Mbps
1.5 m	84.28 Mbps	68.57 Mbps	82.86 Mbps
2 m	71.43 Mbps	41.43 Mbps	70 Mbps

Con una tasa binaria original de 160 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 102.86 Mbps y en peor de los casos a 41.43 Mbps.

Tabla 4.4.59 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 160 Mbps

<b>160 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	97.14 Mbps	95.71 Mbps	92.86 Mbps
1.5 m	78.57 Mbps	62.86 Mbps	77.14 Mbps
2 m	65.71 Mbps	35.71 Mbps	64.29 Mbps

Con una tasa binaria original de 160 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 97.14 Mbps y en peor de los casos a 35.71 Mbps.

#### 4.4.6.5 200 Mbps

Tabla 4.4.60 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 200 Mbps

<b>200 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	117.86 Mbps	110.71 Mbps	116.07 Mbps
1.5 m	96.43 Mbps	69.64 Mbps	96.43 Mbps

Con una tasa binaria original de 200 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 117.86 Mbps y en peor de los casos a 69.64 Mbps.

Tabla 4.4.61 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 200 Mbps

<b>200 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	110.71 Mbps	103.57 Mbps	108.93 Mbps
1.5 m	89.29 Mbps	62.5 Mbps	89.29 Mbps

Con una tasa binaria original de 200 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 110.71 Mbps y en peor de los casos a 62.5 Mbps.

#### 4.4.6.6 320 Mbps

Tabla 4.4.62 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 320 Mbps

<b>320 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	174.29 Mbps	148.57 Mbps	171.43 Mbps
1.5 m	137.14 Mbps	80 Mbps	140 Mbps

Con una tasa binaria original de 320 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 174.29 Mbps y en peor de los casos a 80 Mbps.

Tabla 4.4.63 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 320 Mbps

<b>320 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	162.86 Mbps	137.14 Mbps	160 Mbps
1.5 m	125.71 Mbps	68.57 Mbps	128.57 Mbps

Con una tasa binaria original de 320 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Ntoch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 162.86 Mbps y en peor de los casos a 68.57 Mbps.

#### 4.4.6.7 400 Mbps

Tabla 4.4.64 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 400 Mbps

<b>400 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	203.57 Mbps	157.14 Mbps	200 Mbps

Con una tasa binaria original de 400 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 203.57 Mbps y en peor de los casos a 157.14 Mbps.

Tabla 4.4.65 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 400 Mbps

<b>400 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	189.29 Mbps	142.86 Mbps	185.71 Mbps

Con una tasa binaria original de 400 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 189.29 Mbps y en peor de los casos a 142.86 Mbps.

### 4.4.6.8 480 Mbps

Tabla 4.4.66 Tasa binaria resultante después de eliminar 2 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 480 Mbps

<b>480 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	231.43 Mbps	162.86 Mbps	227.14 Mbps

Con una tasa binaria original de 480 Mbps, al eliminar 2 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 231.43 Mbps y en peor de los casos a 227.14 Mbps.

Tabla 4.4.67 Tasa binaria resultante después de eliminar 8 portadoras + Filtro Notch con tasa binaria inicial de 480 Mbps

<b>480 Mbps</b>			
<b>Distancia</b>	<b>3298 MHz</b>	<b>3430 MHz</b>	<b>3566 MHz</b>
1 m	214.29 Mbps	145.71 Mbps	210 Mbps

Con una tasa binaria original de 480 Mbps, al eliminar 8 portadoras + Filtro Notch, la tasa binaria se reduce en el mejor de los casos hasta 214.29 Mbps y en peor de los casos a 145.71 Mbps.

## 4.5 Conclusiones de la fase de Evitación

### 4.5.1 Eliminación de portadoras

#### Con señal de entrada cuadrada

Podemos concluir, que si trabajamos con una señal de entrada cuadrada, siempre será necesario activar el filtro Notch y esto permitirá que el nivel de potencia de la señal MB-OFDM UWB en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada sea menor o igual que -82 dBm/MHz.

#### Con señal de entrada coseno alzado

En este caso, aunque eliminando portadoras alcanzamos niveles mínimos de potencia mejores que trabajando con una señal de entrada cuadrada también será necesario activar el filtro Notch y nuevamente esto permitirá que el nivel de potencia de la señal MB-OFDM UWB en la frecuencia central de la señal WiMAX detectada sea menor o igual que -82 dBm/MHz.

Tabla 4.5.1 Niveles de potencia resultantes en MB-OFDM UWB tras aplicar DAA

<b>Nivel de Potencia en la señal MB-OFDM UWB (fcWiMAX)</b>				
<b>B<sub>w</sub> WiMAX</b>	<b>Señal de entrada cuadrada</b>		<b>Señal de entrada Coseno Alzado</b>	
	<b>Eliminando portadoras</b>	<b>Filtro Notch</b>	<b>Eliminando Portadoras</b>	<b>Filtro Notch</b>
<b>1.25 MHz</b>	-52.31 dBm/MHz	-87.3 dBm/MHz	-53.6 dBm /MHz	-88.54 dBm/MHz
<b>2.5 MHz</b>	52.31 dBm/MHz	-87.3 dBm/MHz	-53.6 dBm /MHz	-88.54 dBm/MHz
<b>5 MHz</b>	-54.85 dBm/MHz	-89.59 dBm/MHz	-57.29 dBm/MHz	-92.038dBm/MHz
<b>10 MHz</b>	-56.3 dBm/MHz	-90.81 dBm/MHz	-59.83 dBm/MHz	-94.33dBm/MHz
<b>20 MHz</b>	-57.89 dBm/MHz	-92.81 dBm/MHz	-63.26 dBm/MHz	-98.02 dBm/MHz
<b>28 MHz</b>	-59.73 dBm/MHz	-94.53 dBm/MHz	-68.55 dBm/MHz	-103.35 dBm/MHz

## 4.5.2 Efecto en la $E_b/N_0$ y en las tasas binarias:

La primera consecuencia de aplicar una técnica de Mitigación de la Interferencia es que las máximas distancias de transmisión (en las que todas las portadoras cumplen con las  $E_b/N_0$  objetivo) MB-OFDM UWB se reducen en más de la mitad (Figura 4.5.1 y Tabla 4.5.2):

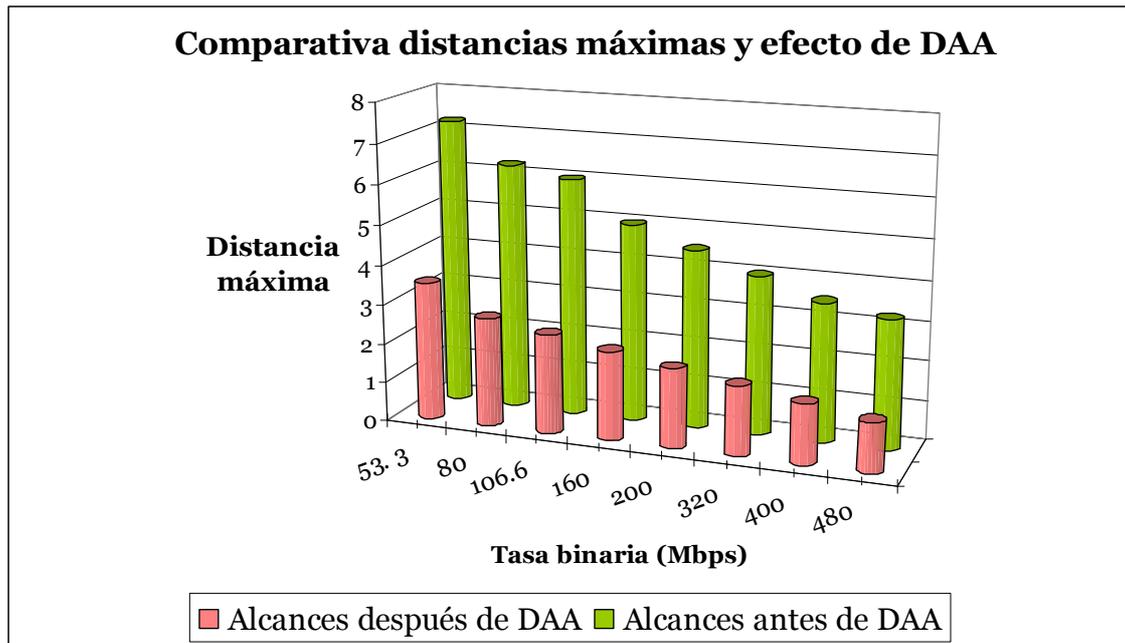


Figura 4.5.1 Distancias máximas de transmisión MB-OFDM UWB con señal de entrada cuadrada

En la figura 4.5.1 se observa:

- La tendencia conforme aumenta la tasa binaria: Esto forma parte de la naturaleza del sistema UWB. A mayor tasa binaria, menor distancia máxima de transmisión, y esta tendencia se mantiene.
- El efecto de aplicar las técnicas de mitigación de la interferencia: No debemos olvidar que estamos eliminando portadoras a la señal UWB y por tanto reducimos su potencia de transmisión. Si antes de aplicar DAA las distancia máxima (53.3 Mbps) era 7.25 m, después de aplicar esta técnicas esa distancia será 3.5 .

Tabla 4.5.2 Distancias de transmisión después de aplicar DAA con señal de entrada cuadrada

Tasa binaria	Alcance antes DAA	Alcance después de DAA
53.3 Mbps	7.25 m	3.5 m
80 Mbps	6.25 m	2.75 m
106.6 Mbps	6 m	2.5 m
160 Mbps	5 m	2.25 m
200 Mbps	4.5 m	2 m
320 Mbps	4 m	1.75 m
400 Mbps	3.5 m	1.5 m
480 Mbps	3.25 m	1.25 m

Trabajando con una señal de entrada coseno alzado y  $\alpha=0.25$  (no estándar) no hay diferencia entre las distancias máximas alcanzadas respecto al caso anterior (señal de entrada cuadrada):

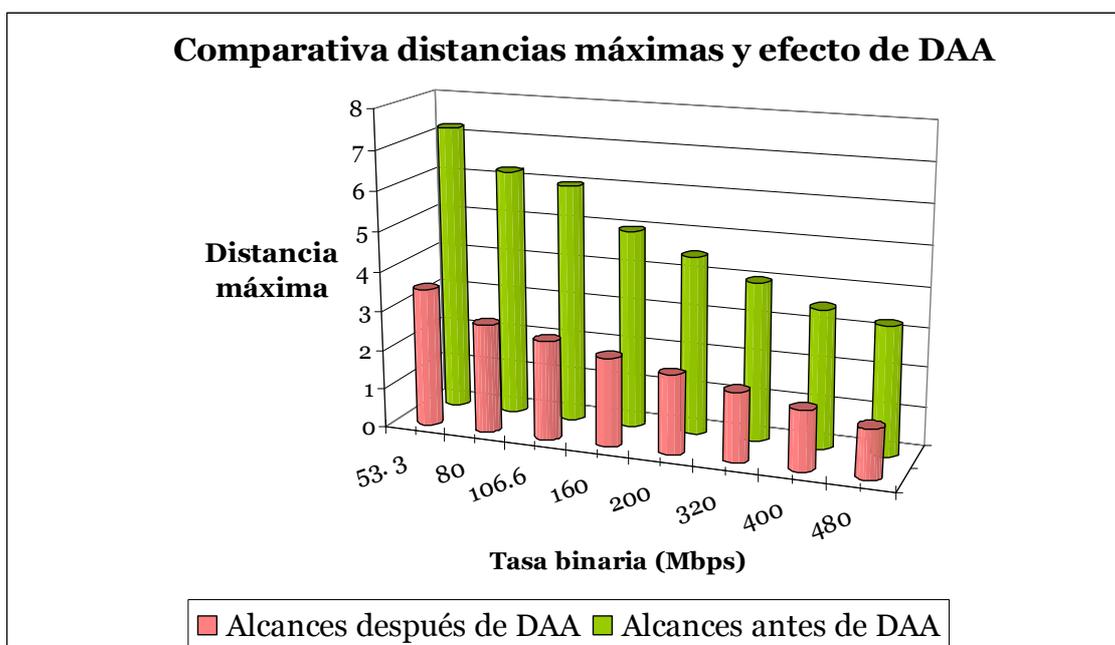


Figura 4.5.2 Distancias máximas de transmisión MB-OFDM UWB con señal de entrada coseno alzado

Tabla 4.5.3 Distancias de transmisión después de aplicar DAA con señal de entrada coseno alzado  $\alpha=0.25$

Tasa binaria	Alcance antes DAA	Alcance después de DAA
53.3 Mbps	7.25 m	3.5 m
80 Mbps	6.25 m	3 m
106.6 Mbps	6 m	2.75 m
160 Mbps	5 m	2.25 m
200 Mbps	4.5 m	2 m
320 Mbps	4 m	1.75 m
400 Mbps	3.5 m	1.5 m
480 Mbps	3.25 m	1.25 m

Veamos en las siguientes gráficas cómo se degradan las tasas binarias, teniendo en cuenta que suponemos que trabajamos en *modo no saltante*, es decir, no es posible en algún momento saltar a alguna de las otras dos bandas del primer grupo (segunda y tercera), si no que siempre trabajamos en la primera banda:

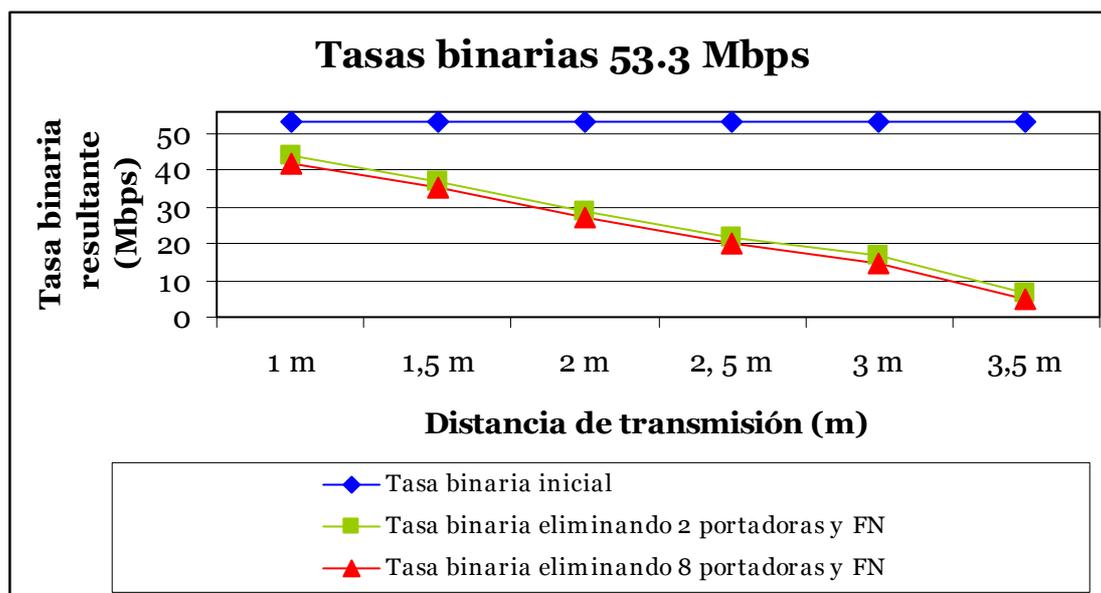


Figura 4.5.3 Tasas binarias resultantes en 53.3 Mbps

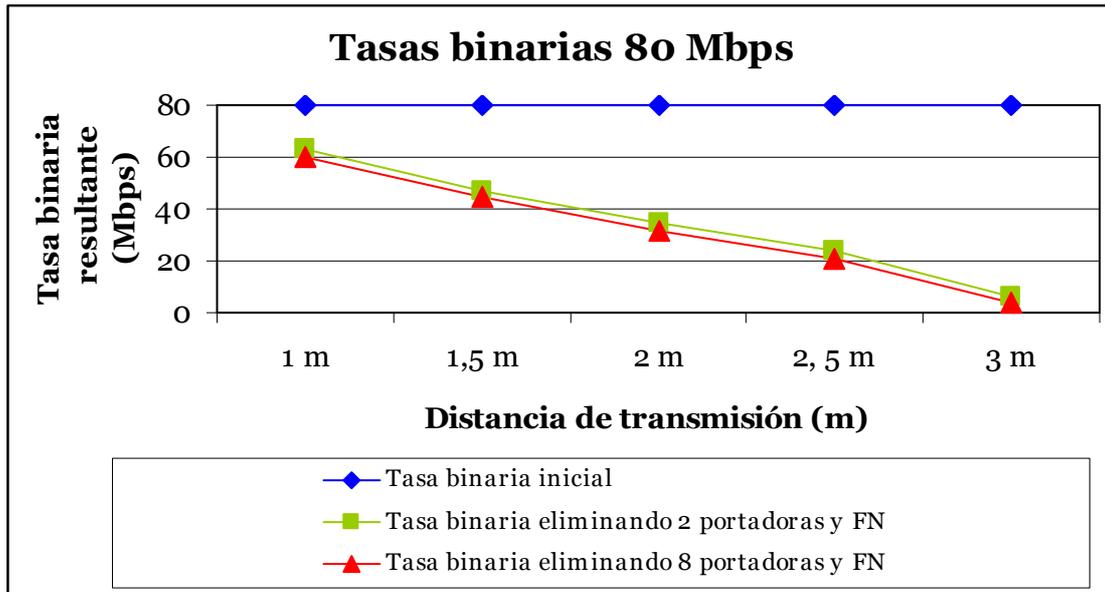


Figura 4.5.4 Tasas binarias resultantes en 80 Mbps

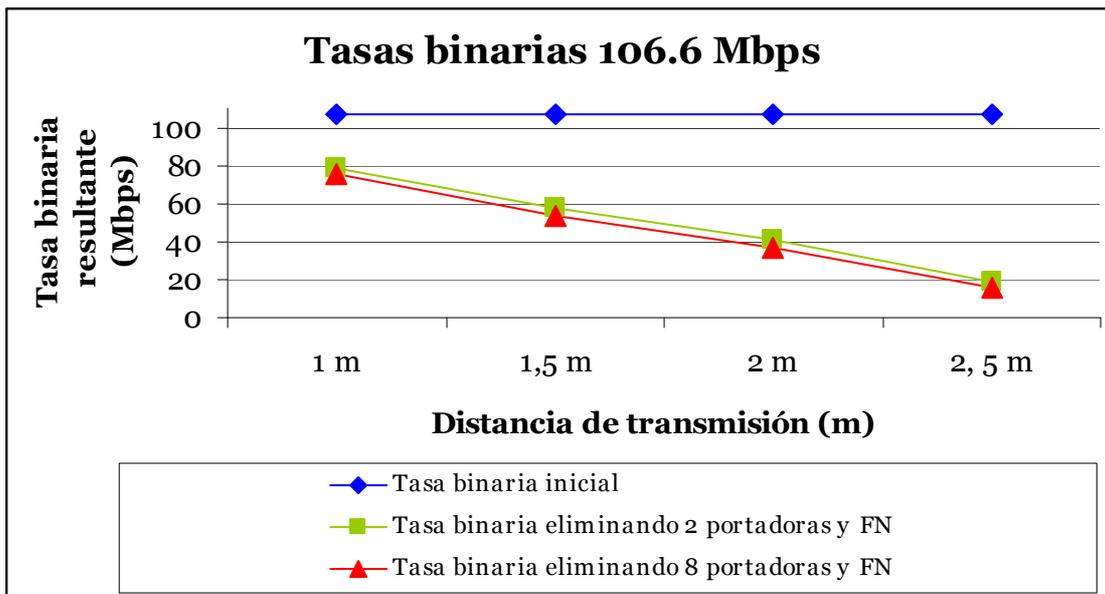


Figura 4.5.5 Tasas binarias resultantes en 106.6 Mbps

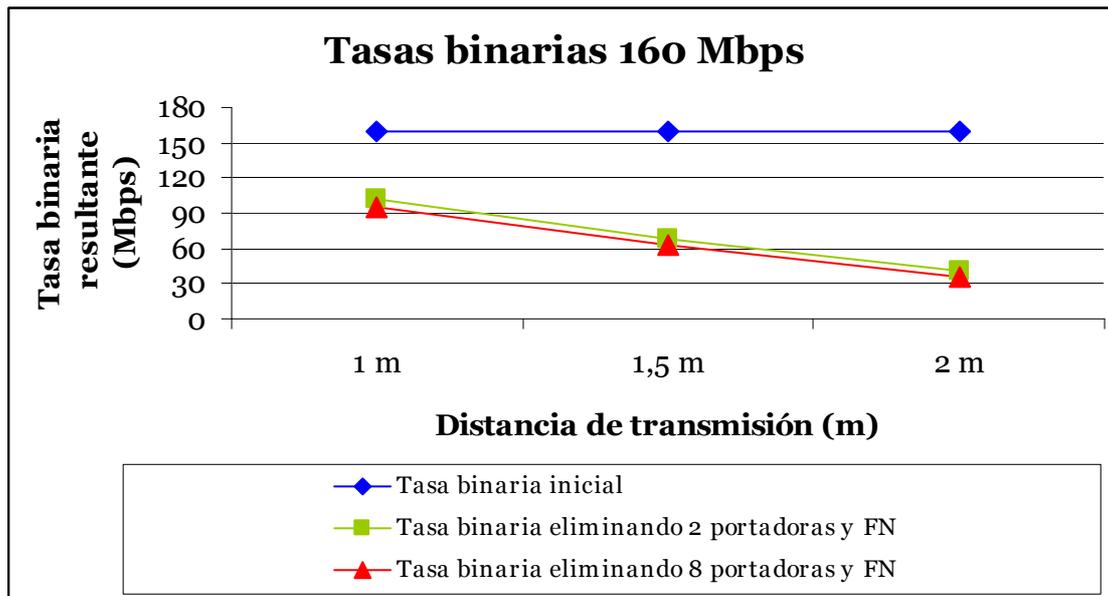


Figura 4.5.6 Tasas binarias resultantes en 160 Mbps

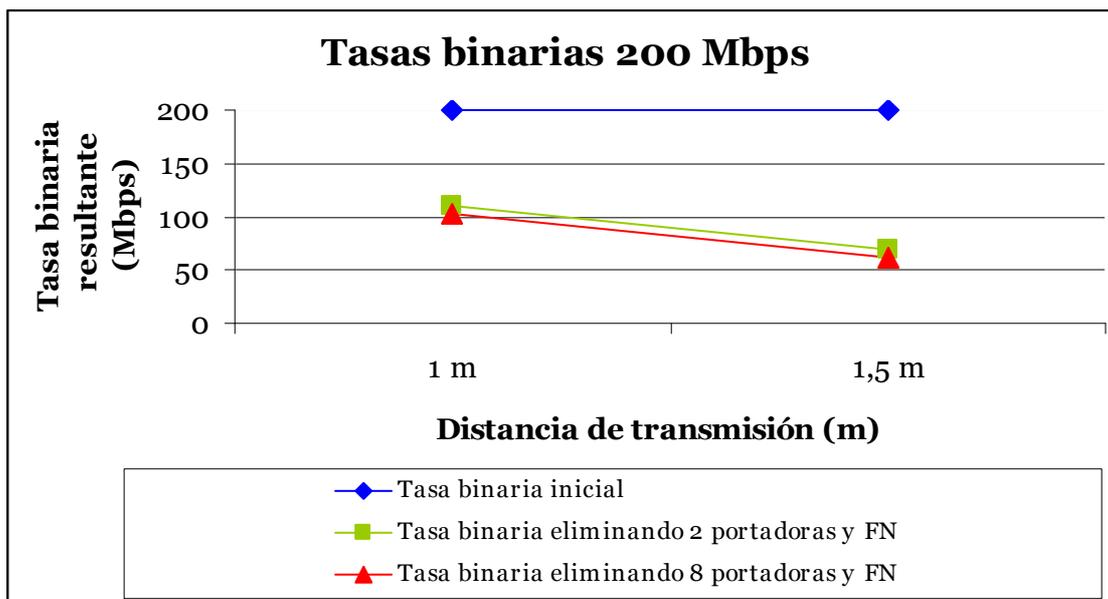


Figura 4.5.7 Tasas binarias resultantes en 200 Mbps

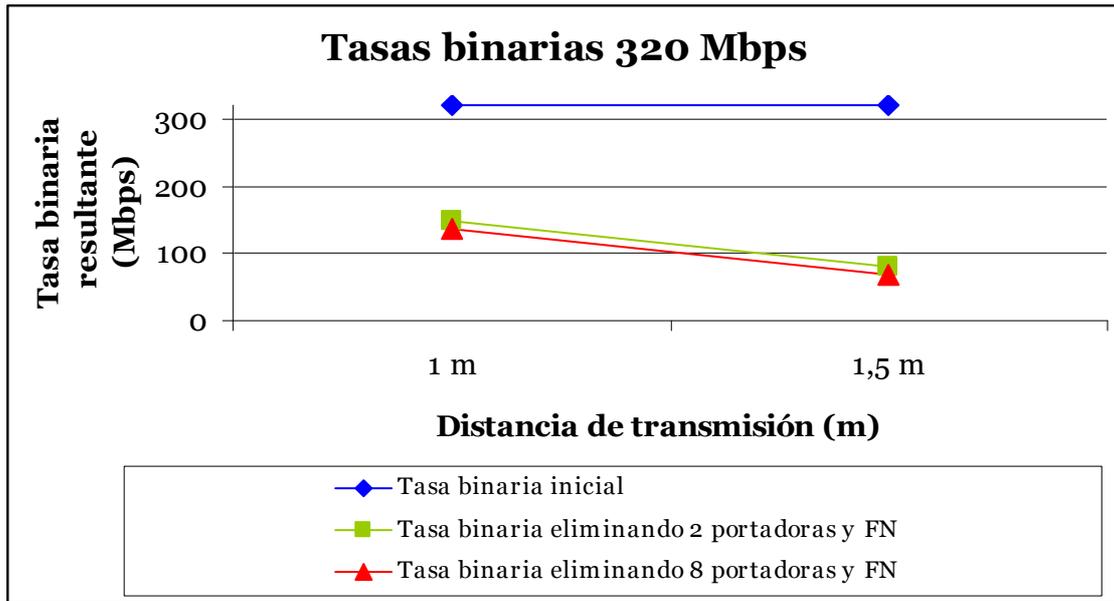


Figura 4.5.8 Tasas binarias resultantes en 320 Mbps

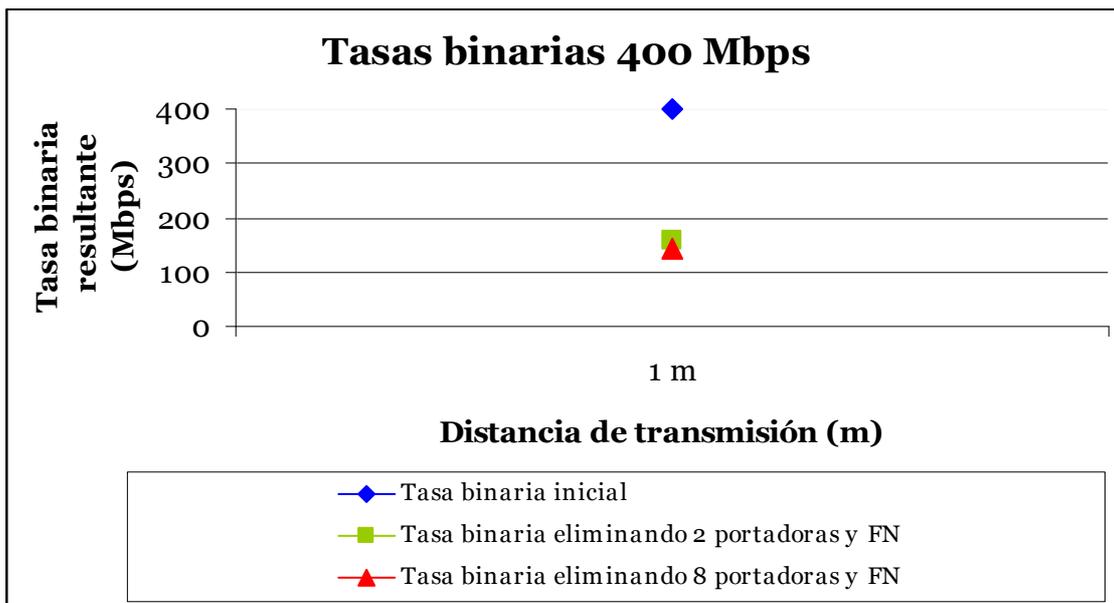


Figura 4.5.9 Tasas binarias resultantes en 400 Mbps

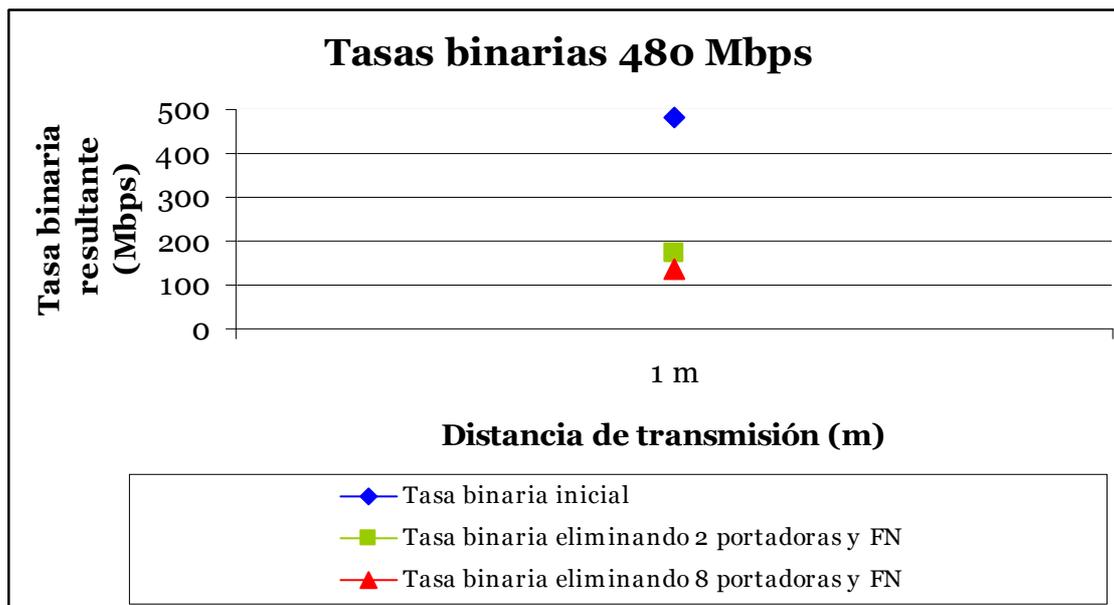


Figura 4.5.10 Tasas binarias resultantes en 480 Mbps

Como se puede observar en las Figuras 4.5.3 - 4.5.10, al aplicar DAA (Detect and Avoid) todas las tasas binarias y las distancias de transmisión se ven afectadas. Aunque es importante resaltar que las tasas binarias más altas son las que sufren mayor degradación. Por ejemplo, para 400 y 480 Mbps de tasa binaria inicial, después de aplicar DAA sólo podremos transmitir a una tasa binaria alrededor de 150 Mbps y a 1 m de distancia. En 200 y 320 Mbps, después de aplicar DAA será posible transmitir hasta 1.5 m de distancia entre 60 y 130 Mbps

## 4.6 Impacto de DAA en MB-OFDM UWB

Para recuperar la pérdida de datos producida tanto por las portadoras eliminadas como por el efecto del filtro Notch, debemos aprovechar las características que presenta la tecnología MB-OFDM: redundancia proporcionada por FDS, TDS y la codificación de canal en las tasas binarias más bajas de MB-OFDM UWB. El estándar indica que el PER (*Packet Error Rate*) debe ser de un 8% y para esto debe cumplir las  $E_b/N_o$  indicadas en la Tabla 4.4.1. Debería ser aún mejor en las tasas binarias más bajas, ya que estas son más robustas y para tasas binarias altas, el PER obtenido no se acerca al recomendado quedando de manifiesto el rendimiento de UWB cuando los dispositivos utilizan un mecanismo DAA especialmente con tasas binarias altas que son las más deseadas por los consumidores.

### 4.6.1 Distribución de datos adaptativa

Al eliminar portadoras y aplicar el filtro Notch perdemos portadoras que no poderemos recuperar. Esto como ya hemos mencionado baja la  $E_b/N_o$  y por tanto a las tasas binarias de transmisión.

Como hemos visto en los apartados anteriores de este capítulo, después de pasar por todo el proceso de DAA las tasas binarias resultantes son bastante más bajas que las definidas por el estándar y también las máximas distancias de transmisión.

Por tanto, estamos ayudando a la señal WiMAX pero a costa de dañar gravemente el rendimiento de la comunicación UWB llegando a ser no aceptable.

Será necesario definir un mecanismo que nos permita seguir ofreciendo a los consumidores tasas binarias aceptables y de alguna forma no incumpliremos las normas especificadas para MB-OFDM UWB. Como veremos más adelante, reduciendo el número de portadoras de datos a transmitir conseguiremos cambiar las tasas binarias y esto nos ayudará a compensar los efectos de DAA.

#### Nueva distribución de portadoras

Si queremos mantener una calidad de servicio y que la comunicación UWB sea aceptable para los clientes, debemos buscar la forma de ofrecer la misma tasa binaria (o aproximada) pero sin dejar de mitigar la interferencia para no interferir con la señal WiMAX.

Buscaremos una nueva forma de distribuir las portadoras, de tal forma que podamos conseguir tasas de transmisión estándar en los siguientes niveles. Por ejemplo, el primer caso de tasas binarias: 53.3 Mbps, después de aplicar DAA tenemos que a 1 m de distancia la tasa binaria resultante es de 40 Mbps y a 3.5 m un poco más de 10 Mbps ¿por qué no buscamos esos 53.3 Mbps en la siguiente tasa de transmisión? Es decir en 80 Mbps. Si transmitimos un menor número de portadoras de datos en ese nivel quizás encontremos el equilibrio para conseguir esto.

Para el caso de **53.3 Mbps** queremos encontrar esa misma tasa en los siguientes niveles, podemos ver en la Tabla 4.6.1 las distancias para las que cumpliríamos que la tasa binaria sea aproximadamente que 53.3 Mbps (en todos los casos es 1 metro).

Para respetar el estándar de MB-OFDM UWB y transmitir en las tasas binarias “oficiales” en los siguientes niveles transmitiremos menos portadoras. El nuevo número de portadoras que transmitimos lo podemos ver en la columna **Nº portadoras** y en las tres últimas columnas vemos cómo quedarían finalmente esas tasas binarias (lo más aproximadas a 53.3 Mbps) en 3298, 3400 y 3566 MHz.

También vemos que es conveniente buscar los 53.3 Mbps sólo en tasas binarias iniciales de 80, 106.6 y 160 Mbps porque a partir de 200 Mbps las tasas binarias resultantes en distintos puntos de la banda oscilan porque se eliminan un mayor número de portadoras en 3430 MHz (centro de la banda).

**Tabla 4.6.1 Tasas binarias resultantes después de aplicar ADD**

Tasa binaria original	Distancia	Tasa binaria después de DAA			Nº portadoras	Tasas binarias resultantes de transmitir un menor número de portadoras		
80 Mbps	<b>1 m</b>	57.64 Mbps	57.64 Mbps	56.85 Mbps	95	<b>53.64 Mbps</b>	<b>53.64 Mbps</b>	<b>52.84 Mbps</b>
106.6 Mbps	<b>1 m</b>	75.96 Mbps	73.76 Mbps	71.56 Mbps	82	<b>56.15 Mbps</b>	<b>53.94 Mbps</b>	<b>51.74 Mbps</b>
160 Mbps	<b>1 m</b>	89.67 Mbps	88.07 Mbps	84.87 Mbps	78	<b>54.44 Mbps</b>	<b>52.84 Mbps</b>	<b>49.64 Mbps</b>
200 Mbps	<b>1 m</b>	100.1 Mbps	92.07 Mbps	98.08 Mbps	80	<b>60.05 Mbps</b>	<b>52.04 Mbps</b>	<b>58.05 Mbps</b>
320 Mbps	<b>1 m</b>	144.12 Mbps	115.3 Mbps	140.91 Mbps	80	<b>80.06 Mbps</b>	<b>51.24 Mbps</b>	<b>76.86 Mbps</b>
400 Mbps	<b>1 m</b>	164.13 Mbps	112.1 Mbps	160.13 Mbps	85	<b>104.08 Mbps</b>	<b>52.04 Mbps</b>	<b>100.08 Mbps</b>
480 Mbps	<b>1 m</b>	182.55 Mbps	105.7 Mbps	177.74 Mbps	89	<b>129.7 Mbps</b>	<b>52.84 Mbps</b>	<b>124.9 Mbps</b>

## 4.6.2 Conclusiones después de aplicar una nueva distribución de portadoras

Veamos las tasas binarias resultantes al aplicar una nueva distribución de portadoras:

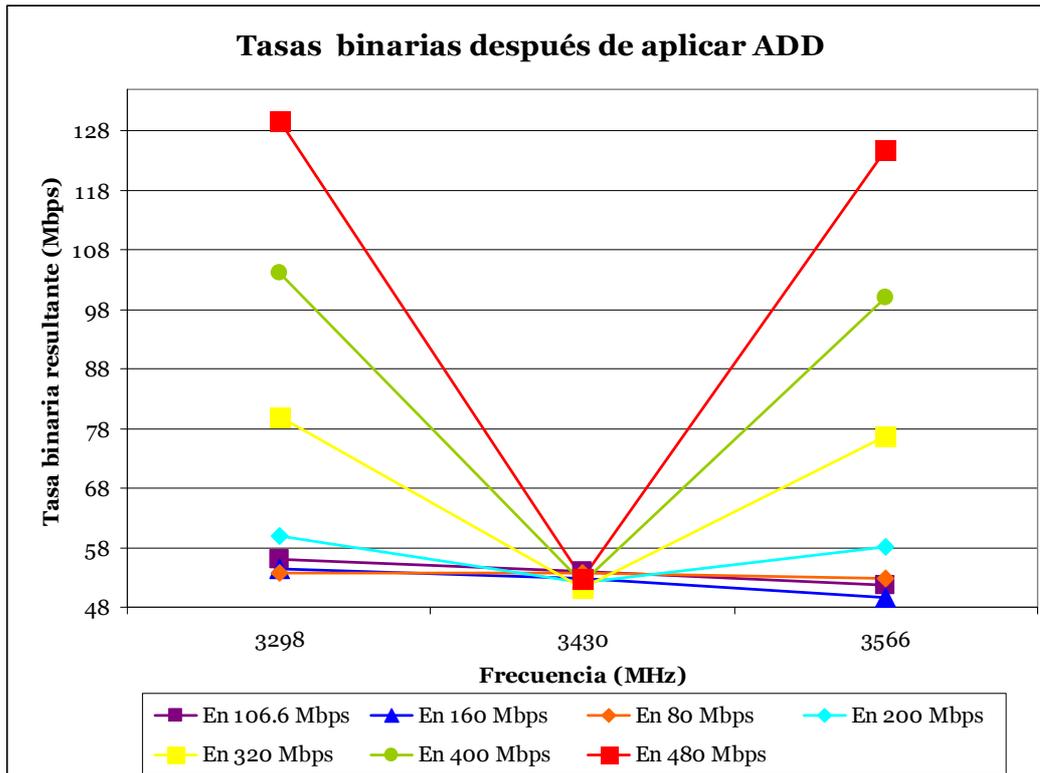


Figura 4.6.1 Tasas binarias resultantes después de aplicar ADD

Podemos ver que conseguimos una tasa binaria alrededor de los 53.3 Mbps en 80, 106.6, 160 Mbps. Para tasas binarias mayores que 160 Mbps, aunque apliquemos una nueva distribución de portadoras no conseguimos tener una tasa binaria aproximadamente de 53.3 Mbps (en todos los puntos de la banda), por tanto si queremos buscar esos 53.3 Mbps debemos hacerlo en los niveles 80, 106.6, 160 Mbps (Figura 4.6.2)

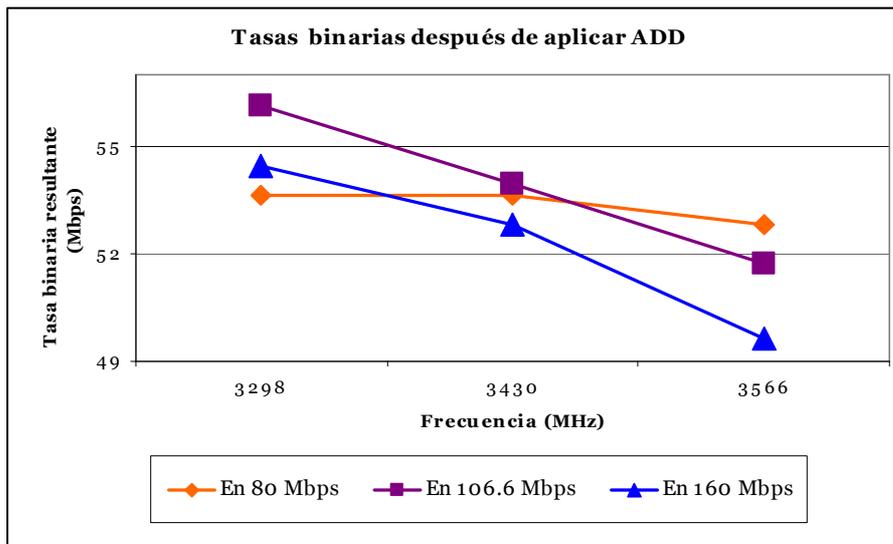


Figura 4.6.2 Tasas binarias en las que podemos buscar 53.3. Mbps aplicando ADD

En la Figura 4.6.2, vemos que transmitiendo un menor número de portadoras de datos en 80, 106.6 y 160 Mbps, conseguimos tasas binarias que pueden ofrecer un servicio próximo al que ofrece la tasa de 53.3 Mbps.

---

# Capítulo 5

## Conclusiones

---

Después de analizar los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas podemos decir que aplicar mecanismos DAA (Detect and Avoid) para permitir la coexistencia de señales UWB y señales WiMAX es una técnica eficaz que aporta grandes ventajas pero también algunas desventajas en la señal interferente UWB. Debemos tener en cuenta:

En la detección:

- Cuanto menor sea el nivel de potencia de señal WiMAX a detectar, menor será la probabilidad de detección.
- En la detección (segunda fase), cuanto mayor sea la probabilidad de decisión que establezcamos, se detectará un número menor de portadoras MB-OFDM UWB que se solapan con señal WiMAX.
- Cuantas más veces se realice el ciclo completo de detección, la probabilidad de detección aumentará pero también lo hará la probabilidad de falsa alarma.

Se ha comprobado que es necesario realizar el ciclo completo de detección más de una vez para poder detectar señales de baja potencia (con  $M=1$  detectarlas es difícil) pero teniendo cuidado de elegir un valor  $M$  que no aumente considerablemente la Probabilidad de falsa alarma.

Cuando se detecta una señal WiMAX, debemos aplicar las técnicas que mitigan la interferencia que puede causar en ella la señal MB-OFDM UWB. Para ello, en primer lugar se eliminarán las portadoras correspondientes según el ancho de banda de la señal WiMAX detectada. Una vez hecho esto, si el nivel de potencia de la señal MB-OFDM UWB es mayor que  $-82$  dBm/MHz se deberá activar el filtro Notch. Todas estas

---

acciones degradan la señal MB-OFDM UWB, eso se puede observar en la  $E_b/N_o$  y en las tasas binarias resultantes, ya que se reducen las distancias máximas de transmisión de la señal MB-OFDM UWB casi a la mitad y también las tasas binarias sufren una gran degradación; aunque en las tasas binarias más altas (320, 400 y 480 Mbps) esto es más notorio. Esta degradación en las distancias y en las tasas binarias es evidente, ya que al aplicar dichos mecanismos estamos eliminando portadoras de la señal original además del efecto dañino del Filtro.

Los efectos causados por las técnicas DAA (Detect and Avoid) en la señal MB-OFDM UWB se pueden compensar buscando una nueva distribución de las portadoras en las diferentes tasas binarias posibles. Esto nos va a permitir conseguir una tasa próxima a 53.3 Mbps en 80, 106.6 y 160 Mbps. En tasas binarias superiores a estas no es posible conseguirlo.

Podemos decir por tanto que hemos cumplido el objetivo de este Proyecto, que era **analizar la coexistencia del sistema MB-OFDM UWB con el sistema WiMAX en la banda (3.3-3.8) GHz**. Lo hemos conseguido aplicando técnicas que reducen el impacto de la señal interferente UWB en las señales WiMAX y tomando las medidas necesarias y posibles que permiten reducir el impacto de las técnicas aplicadas sobre la señal MB-OFDM UWB.

Finalmente también es importante destacar que el filtro propuesto intenta aproximarse en la medida de lo posible a un filtro real existente a día de hoy. Si dentro de unos años se puede implementar un filtro con mejores características y más cerca de lo que se considera un “*filtro ideal*”, el efecto dañino en la señal MB-OFDM UWB será menor.

---

# Referencias

---

[1] Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones, “Nota mensual Febrero 2009,” *España, 2009*.

[2] “New public safety applications and Broadband Internet access among uses envisioned by FCC authorization of Ultra WideBand technology”. *PUBLIC SAFETY APPLICATIONS AND BROADBAND INTERNET ACCESS AMONG USES ENVISIONED BY FCC AUTHORIZATION OF ULTRAWIDEBAND TECHNOLOGY*. Obtenido en la página oficial de la FCC. News. [http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering\\_Technology/News\\_Releases/2002/ret0203.html](http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/News_Releases/2002/ret0203.html).

[3] Qiyue Zou, Alireza Tarighat, Ali H. Saded (2007), “Performance Análisis of Multiband OFDM UWB Communications UIT Application to Range Improvement”, *IEEE Transactions on vehicular technology*, Vol. 56, No 6, pp 3864-3878

[4] Jiménez Tejero Alicia, (Octubre 2008) “Efecto del sistema UWB sobre sistemas de telecomunicaciones con bandas de operación por debajo de 3 GHz”, *Proyecto de Fin de Carrera. Escuela Politécnica Superior, de la Universidad Autónoma de Madrid, páginas 143-155*.

[5] Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, “*Fundamentals of WiMAX. Understanding Broadband Wireless Networking*”, Prentice Hall, ed.2007

[6] Chackchai-In, Raj Jain and Andel-Karim Tamimi, “Capacity Evaluation for IEEE 802.16e Mobile WiMAX”, *Hindawi Publishing Corporation. Journal of Computer Systems, Networks and Communications. Volume 2010, Article ID 279807, 12 pages*

[7] Loutfi Nuaymi, “*WiMAX: Technology for Broadband Wireless Acces*” Ed. Wiley

- 
- [8] <http://www.ieee802.org/16/tge/>
- [9] High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Estándar, <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-368.pdf>
- [10] S.M. Mishra et al. (June 2007), “Detect and Avoid: An Ultra-Wideband/WiMAX Coexistence Mechanism”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, N°46, pp. 68-75
- [11] R. Tandra, (2005) “Fundamental limits on detection in low snr”, *Master’s thesis, University of California Berkeley*.
- [12] IEEE Std 802.16-2004, “Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems”.
- [13] Eduardo Cano, Alberto Rabbachi, Detlef Fuehrer, and Joaquim Fortuny, (2010) “On the Evaluation of MB-OFDM UWB Interference Effects on a WiMAX Receiver”, *Hindawi Publishing Corporation EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Article ID 414927, 14 pages
- [14] S.M. Mishra et al. (Apr. 2007), “Cognitive Technology for Ultra-Wideband/WiMAX Coexistence”, *Proc. 2nd IEE Int Symp. New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, DySPAN 2007*, p.179
- [15] K. Li, D. Kurita, and T. Matsui, (2006) “Dual-ban ultra-wideband bandpass Filter”, *IEEE MTTs Int Microwave Symp4*, 1193–1196.
- [16] K. Li, D. Kurita, and T. Matsui, (2006) “UWB bandpass filters with multi notched bands”, *Proceeding of 36th European microwave week, Manchester, UK, September 10–15*

- 
- [17] K. Li, "Ultra-wideband (UWB) bandpass filters: Full passband and with notch-band Implemented", *Proceedings of the Microwave and Millimeter Wave Technology, 2007, ICMMT '07, International Conference, April 18–21, 2007*.
- [18] I.C. Hunter and J.D. Rhodes, (1982) "Electronically tunable microwave bandstop Filtres", *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 30.
- [19] K. Takizawa, Y. Yamamoto, K. Li, H.B. Li, and R. Kohno, (October 2007) "Detectand- avoid method for single carrier-UWB systems", *Proceedings of IEEE international symposium on wireless communication systems, ISWCS 2007*.
- [20] Yasuhisa Yamamoto, Karen Li, Osamu Hashimoto, (2008) "Tunable sharp Notch Filter for UWB application", *Microwave and optical technology letters, Vol. 50, No 10*, pp 2712-2715
- [21] <http://www.trilithic.com/RF%20and%20Microwave%20Components/Library/Catalogs/ps3.5p97.pdf>
- [22] [http://polibits.gelbukh.com/2009\\_40/40\\_10.pdf](http://polibits.gelbukh.com/2009_40/40_10.pdf)
- [23] Yasuhisa Yamamoto, Karen Li, Osamu Hashimoto, (2008) "Tunable sharp Notch Filter for UWB application", *Microwave and optical technology letters, Vol. 50, No 10*, pp 2712-2715
- [24] B. Kelleci (2007), "Multi-band OFDM UWB receiver with narrowband interferente supression", *Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University*, pp 12-18
- [25] Bazil Taha Ahmed y Miguel Calvo Ramón (2009) "Coexistence between UWB and other communication systems – tutorial review", *International Journal of Ultra Wideband Communications and Systems, Vol. 1, N.o 1*, pp. 67-80.

[26] Abdur Rahim, Sven Zeisberg, Ahmad Idriss and Adolf Finger (2007), "Coexistence Study between UWB and WiMAX at 3.5 GHz Band", *Paper Presented at the IEEE Internacional Conference on Ultra-WideBand*. September 24-26, 2007. Singapore

[27] Deepak Pareek, "*WIMAX: Taking Wireless to the MAX*", Auerbach Publications, Taylor&Francis Group, ed.2006

---

# Glosario

---

- **3DES:** Triple Data Encryption Standard
- **3GPP:** Third Generation Partnership Project
- **AIC:** Active Interferente Cancellation
- **ATM:** Asynchronous Transfer Mode
- **BPSK:** Binary Phase-Shift Keying
- **BSR:** Base Station Receiver
- **BWA:** Broadband Wireless Access
- **CDMA:** Code Division Multiple Access
- **CEPT:** *Conférence Européenne des administrations des Postes et des Télécommunications*
- **CPE:** Customer Premises Equipment
- **DCM:** Dual Carrier Modulation
- **DRD:** Dual Role Devices
- **DS:** Direct Sequence
- **DSSS:** Direct Sequence Spread Spectrum
- **DWA:** Device Wire Adapter
- **$E_b/N_0$ :** Relación Energía por bit/Ruido
- **ERO:** *European Radiocommunications Office*
- **ETSI:** *European Telecommunications Standards Institute*
- **FCC:** *Federal Communications Commission*
- **FH:** Frequency Hopping

- 
- **GPR:** Ground Penetrating Radar
  - **HiperMAN:** Estándar creado por la ETSI, dirigido principalmente a promover DSL inalámbrica de banda ancha, cubriendo un área geográfica grande. Se considera una alternativa europea a WiMAX.
  - **HSPA:** High Speed Packet Access
  - **HWA:** Host Wire Adapter
  - **IP:** Internet Protocol
  - **ITU-R:** *International Telecommunication Union- Radiocommunication Sector*
  - **LAN:** Local Area Network
  - **LMDS:** Local Multipoint Distribution Service
  - **LNA:** Low Noise Amplifier
  - **LTE:** Long Term Evolution
  - **MAN:** Metropolitan Area Network
  - **MBOA:** Multiband OFDM Alliance
  - **MB-OFDM:** Multiband OFDM
  - **MIMO:** Multiple Input Multiple Output
  - **OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing
  - **OOK:** On-off Keying
  - **PAL:** Phase Alternating Line
  - **PAM:** Pulse Amplitude Modulation
  - **PER:** Packet Error Rate
  - **PPM:** Pulse Position Modulation
  - **PSD:** Power Spectral Density
  - **QPSK:** Quadrature Phase Shift Keying

- 
- **RADEKL:** Radar Developers' Kit 'Lite'
  - **RSA:** Acrónimo del apellido de sus autores (Ron Rivest, Adi Shamir y Len Adleman). Es un algoritmo de encriptado de claves públicas, publicado en 1977
  - **SC:** Single Carried
  - **SDMA:** Space Division Multiple Access
  - **SM:** Spectrum Management
  - **SOFDMA:** Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
  - **SPIDER:** Short Pulse Intrusion Detection Radar
  - **SR:** Spreading Rate
  - **SS:** Spread Spectrum
  - **SSR:** Subscriber Station Receiver
  - **TDOA:** Time Difference of Arrival
  - **TH:** Time Hopping
  - **TN:** Thermal Noise
  - **UWB:** Ultra-Wide Band
  - **UWEN:** UWB Wireless Embedded Networks
  - **WCDMA:** Wideband Code Division Multiple Access
  - **WEIRD:** WIMAX Extension to Isolated Research Data Networks
  - **WiMAX:** Worldwide Interoperability for Microwave Access
  - **WLL:** Wireless Local Loop

# Presupuesto

## 1. Ejecución Material

- Compra de ordenador personal (Software incluido)..... 2000 €
- Alquiler de impresora láser durante 6 meses.....50 €
- Material de oficina..... 150 €
- Total de ejecución material ..... 2.200 €**

## 2. Gastos generales

- 16 % sobre Ejecución Material..... 352 €

## 3. Beneficio Industrial

- 6 % sobre Ejecución Material..... 132 €

## 4. Honorarios Proyecto

- 700 horas a 15 € / hora ..... 10500 €

## 5. Material fungible

- Gastos de impresión ..... 90 €
- Encuadernación..... 20 €

**Total material fungible ..... 110 €**

## 6. Subtotal del presupuesto

- Subtotal Presupuesto..... 13.294 €

## 7. I.V.A. aplicable

- 18% Subtotal Presupuesto..... 2392,92 €

## 8. Total presupuesto

- **Total Presupuesto ..... 15686,92 €**

Madrid, Mayo de 2011

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Marilia Núñez Exebio

Ingeniero Superior de Telecomunicación

---

# Pliego de condiciones

---

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de un estudio de la Coexistencia entre los Sistemas MB-OFDM UWB y WiMAX 3.5 GHz. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho estudio. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

## Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.

2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.

---

4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad “Presupuesto de Ejecución de Contrata” y anteriormente llamado “Presupuesto de Ejecución Material” que hoy designa otro concepto.

### **Condiciones particulares**

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.

2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.

3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.

5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.

---

6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.

7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.