



# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

---

División de Ciencias e Ingeniería

Ultra WideBand como alternativa de  
comunicaciones inalámbricas

Trabajo Monográfico  
para obtener el grado de

Ingeniero en Redes

PRESENTA

**Llancy Jazmín Ramírez Pool**

Supervisor de Monografía

**Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar**

Supervisores

**Dr. Homero Toral Cruz**

**MTI. Vladimir Veniamin Cabañas Victoria**

Chetumal, Quintana Roo, México, Junio de 2012.



# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

---

## División de Ciencias e Ingeniería

Trabajo monográfico elaborado bajo supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

### INGENIERO EN REDES

Comité de Trabajo Monográfico

**Supervisor:** **Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar**

---

**Supervisor**

**Supervisor:** **Dr. Homero Toral Cruz**

---

**Supervisor**

**Supervisor:** **M. T. I. Vladimir Veniamin Cabañas Victoria**

---

**Supervisor**

Chetumal, Quintana Roo, México, Junio de 2012.

## **Agradecimientos**

A Dios, por prestarme la salud necesaria en este camino y por permitirme culminar mis estudios profesionales, por medio de este trabajo monográfico.

Gracias a mis padres; que me regalaron la oportunidad de estudiar, por su fortaleza e inspiración para superarme, a mis hermanos les agradezco todo su apoyo.

Así también les doy las gracias a mis profesores, que durante la carrera me brindaron su dedicación, paciencia y generosidad al compartir sus conocimientos. Gracias a los maestros que me dieron las facilidades para lograr este trabajo de investigación, gracias profe Ing. Rubén González E. y a mi tutora; la maestra M. T. I. Melissa Blanqueto E. mi sincera gratitud por su tiempo y consejos.

Así mismo deseo agradecer de manera especial, a mis supervisores de monografía los profesores Dr. Jaime S. Ortegón Aguilar, Dr. Homero Toral Cruz y M. T. I. Vladimir V. Cabañas Victoria, y a los maestros que de manera indirecta aportaron sus enseñanzas a este trabajo, gracias por sus aportaciones profesor M. T. I. Javier Vázquez Castillo.

Le agradezco también a la Universidad de Quintana Roo, por ser la escuela que me permitió formarme como profesionista, principalmente a la División de Ciencias e Ingeniería; y al programa de Apoyo a la Titulación.

Gracias a mi patria y a todos los que formaron parte de mi preparación, a mis amigos y compañeros de la carrera, por que cada uno dejó una enseñanza en mí.

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia, a mi padre por apoyar mis decisiones; a mis hermanos por su cariño y apoyo en todo momento; y de manera especial a mi madre, por ser el pilar que siempre me impulsó a salir adelante profesionalmente, por su ánimo cuando todo parecía tan difícil y por creer en mí. Sin ustedes este sueño no sería posible.

## Resumen

Este trabajo presenta los datos más importantes del surgimiento de la tecnología Ultra WideBand, ya que ésta aún se encuentra en fase de desarrollo, únicamente se dispone de documentación de estándares internacionales que muestran los avances de grupos de trabajo y consideraciones hasta el momento de lo que se ha denominado Ultra WideBand.

Hace ya varios años que la tecnología Ultra WideBand se ha implementado pero en situaciones de riesgo para las personas y el ejército; como en el caso de Estados Unidos de América, sin embargo actualmente está en la mira de muchas empresas que pretenden llevar a dicha tecnología, a fines comerciales debido a sus particulares características respecto a otras tecnologías.

Así también existen algunos otros trabajos de investigación sobre Ultra WideBand, no obstante la mayor cantidad de información que se consulta en estándares se encuentran en el idioma inglés.

Esta monografía ofrece un recorrido de los pasos que va dando la tecnología Ultra WideBand,

El Capítulo I, presenta el planteamiento del objetivo general y objetivos particulares, así como la justificación de este trabajo.

En el Capítulo II se mencionan los antecedentes de la tecnología Ultra WideBand y de redes inalámbricas, cómo surge el concepto y la regulación de UWB. Del mismo modo, se aborda el estándar IEEE 802.15.3, IEEE 802.15.4 y el grupo de trabajo IEEE 802.15.4a.

El Capítulo III contiene información de la capa física de UWB, sus especificaciones y el modo de transmisión, así también las especificaciones de la capa MAC.

El Capítulo IV aborda la coexistencia entre UWB y los estándares de la IEEE.

## Contenido

Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos particulares .....	2
1.3 Justificación .....	2
Capítulo 2. Marco teórico .....	4
2.1 Antecedentes .....	4
2.2 Terminología Inalámbrica .....	4
2.3 Concepto de UWB .....	7
2.4 Regulación de UWB .....	8
2.5 Estándar IEEE 802.15.3 y sus grupos de trabajo .....	9
2.6 Estándar IEEE 802.15.4 .....	10
2.7 Grupo de tareas IEEE 802.15.4a .....	10
Capítulo 3. Modo de operación de Ultra WideBand .....	13
3.1 UWB PHY .....	14
3.1.1 Opciones de bajo costo para dispositivos UWB .....	16
3.1.2 Reglas de uso para UWB y opciones .....	17
3.1.3 Tipos de baja velocidad de datos opcional .....	18
3.2 Especificaciones para la capa física .....	18
3.2.1 Requerimientos generales y definiciones .....	18
3.2.2 Operación de rangos de frecuencia .....	19
3.2.3 Canal de asignacionesbrujabr .....	20
3.3 Especificaciones de la subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC) .....	21
3.3.1 Tramas de Control de Acceso al Medio (MAC) .....	22
3.4 Transmisión de UWB PHY .....	24
3.4.1 Canal usado en el ejemplo .....	24
3.4.2 Codificación de la progresión .....	24

3.4.2.1 Transmisión de la PSDU .....	24
3.4.2.2 Bits PSDU .....	25
3.4.3 Codificación de bits con Reed-Solomon.....	25
3.4.4 Codificador Convolutacional de bits de entrada .....	26
3.4.5 Codificación Convolutacional de bits de entrada.....	26
3.4.6 Scrambler (codificador) de bits de salida.....	27
3.4.7 Símbolos ternarios de salida .....	29
Capítulo 4. Coexistencia de UWB y otros estándares IEEE.....	33
4.1 Estándares propuestos para la coexistencia .....	34
4.2 Cuestiones generales de coexistencia .....	34
4.2.1 Modulación de Secuencia Directa de UWB.....	34
4.2.2 Ciclo de trabajo bajo (Lowduty cycle).....	35
4.2.3 Consideraciones del ciclo de trabajo bajo para la PHY de UWB.....	35
4.3 Baja potencia de transmisión .....	38
4.3.1 UWB PHY.....	38
4.4 Dinámica selección de canal .....	39
4.5 Rendimiento de coexistencia UWB .....	39
4.5.1 Requerimientos específicos que regulan la coexistencia de UWB.....	39
4.5.2 Atenuación de interferencia de dispositivos UWB utilizando ciclo de trabajo bajo del PAN .....	40
4.5.3 Garantía de coexistencia: metodología y supuestos .....	41
4.5.4 Coexistencia de la PHY UWB .....	41
4.5.4.1 Víctimas y agresores.....	41
4.5.4.2 Ancho de banda para sistemas UWB.....	42
4.5.5 Modelo de pérdida de trayectoria .....	42
4.5.6 BER en función de SIR.....	44
4.5.7 Modelo temporal.....	45
4.5.8 Análisis de coexistencia .....	46
4.5.8.1 Impacto de dispositivos IEEE 802.15.4a en redes IEEE 802.16 .....	46
4.5.8.1.1 Resultados del método de coexistencia .....	47
4.5.8.2 Impacto de un dispositivo IEEE 802.16 en redes IEEE 802.15.4a UWB...	49

4.5.8.3 Resultados de la metodología de coexistencia .....	50
4.5.8.4 Ciclo de trabajo bajo UWB agrediendo un enlace WiMAX .....	52
4.5.9 El estándar ECMA.....	54
4.5.9.1 Recomendaciones de los límites de emisión fuera de la banda.....	56
4.5.9.2 El impacto de dispositivos IEEE 802.15.4a en redes ECMA 368 .....	57
4.5.9.3 Resultados de coexistencia metodológica.....	58
4.5.10 Impacto de dispositivos IEEE 802.15.4a en redes IEEE P802.22 .....	60
4.5.10.1 Resultados de coexistencia metodológica.....	61
Conclusiones.....	62
Bibliografía .....	64
Glosario .....	66
Abreviaturas .....	67

## Índice de Figuras

Figura 3.1 Bandas de UWB.....	14
Figura 3.2 Modelo de la subcapa MAC .....	22
Figura 3.3 Codificación decimal .....	24
Figura 3.4 Codificación hexadecimal.....	24
Figura 3.5 Muestra PSDU .....	25
Figura 3.6 Codificación Reed-Solomon.....	25
Figura 3.7 Ejemplo del PHR.....	26
Figura 3.8 Ejemplo del PHR.....	26
Figura 3.9 Ejemplo de posición g0 .....	26
Figura 3.10 Ejemplo de posición g1 .....	26
Figura 3.11 Bits de salida.....	27
Figura 3.12 3280 bits de “scrambler”.....	28
Figura 4.1 Ancho de banda de tecnologías inalámbricas.....	33
Figura 4.2 Agregada interferencia normalizada.....	36
Figura 4.3 Periodos generalizados activo e inactivo .....	37
Figura 4.4 Función de pérdida de trayectoria.....	44
Figura 4.5 Efecto sobre IEEE 802.16 AWN como una función de la distancias de separación para dispositivos IEEE 802.15.4a UWB.....	49
Figura 4.6 Efecto sobre IEEE 802.15.4a UWB AWN como una función de la distancias de separación para dispositivos IEEE 802.16IWN .....	52
Figura 4.7 Arquitectura de modelo referencial.....	56
Figura 4.8 Cálculo de niveles aceptables de emisión de dispositivos IEEE 802.15.4a para un dispositivos operando ECMA 368 .....	60

## Índice de Tablas

Tabla 3.1 Bandas de frecuencia y velocidades de datos .....	19
Tabla 3.2 Bandas para UWB PHY .....	20
Tabla 3.3 Formato general de trama MAC .....	23
Tabla 3.4 Ejemplo de símbolos de salida ternarios 1 .....	30
Tabla 3.5 Ejemplo de símbolos de salida ternarios 2 .....	32
Tabla 4.1 Cálculo de niveles aceptables de emisiones de dispositivos IEEE 802.15.4a para una operación de nodo de cliente IEEE 802.16 .....	48
Tabla 4.2 Cálculo de niveles aceptables de emisiones de dispositivos IEEE 802.15.4a para una operación de nodo de cliente IEEE 802.16 .....	52
Tabla 4.3 El impacto de UWB en medición de sistemas FBWA en flujos de video	53
Tabla 4.4 Bajo RSSI para lograr una confiable rendimiento de 1Mb/s .....	54
Tabla 4.5 Límites de emisión fuera de banda .....	57
Tabla 4.6 Cálculo de niveles aceptables de emisión de dispositivos IEEE 802.15.4a para un dispositivos operando ECMA 368 .....	59

## Capítulo 1. Introducción

Sin duda reconocemos, que el hombre es un ser social por naturaleza y desde los inicios históricos necesitó convivir con seres de su especie, para lo que fue indispensable comunicarse; actualmente se encuentra inmerso en un mundo de posibilidades para tener en su vida cotidiana elementos que le permitan satisfacer estos propósitos.

El hombre ha sabido aprovechar diversos elementos para mejorar la realidad y crear condiciones más favorables, tanto para él, como para la comunidad. Con todo esto ha logrado dar solución a situaciones adversas, dando paso a la tecnología.

“Tecnología” como la define la Real Academia Española, es el “Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico”. Así bien, datos de Manuel Castells en su libro “La era de la información”, refleja que, desde las dos últimas décadas el siglo XX, la tecnología ha tenido un gran avance y desarrollo en los diferentes ámbitos de la sociedad, convirtiéndose así, en un gran protagonista en la vida de las personas, además de resultar imposible volver atrás(Castells, 2004).

Hoy en día, las tecnologías inalámbricas forman parte de nuestro uso cotidiano con servicios como: telefonía, televisión e Internet. Ellas son algo más que la eliminación de cables, nos ofrecen la opción de tener mayor movilidad, accesibilidad, permanecer comunicados e intercambiando información desde diversos sitios; propiciando así mayor productividad en el medio laboral.

Con respecto a la implementación, las tecnologías inalámbricas permiten la disminución de tiempo, reducción de costos y sencillez en ubicaciones donde la infraestructura es difícil de implementar.

Estas tecnologías han abierto su campo de estudio gracias a los nuevos estándares de uso y de la frecuencia en la cual operan. Este trabajo se enfoca en la tecnología Banda Ultra Ancha o Ultra WideBand con siglas como UWB, la cual está emergiendo dentro de las tecnologías de corto alcance con gran velocidad;

gracias a las características que ofrece, cómo trabajar a una muy baja potencia, con respecto a las tecnologías convencionales, su gran ancho de banda las pone en desventaja; brindando un atractivo tiempo de respuesta y también, carece de problemas de recepción.

### **1.1 Objetivo general**

Este trabajo tiene como principal objetivo explicar la tecnología Ultra WideBand, la viabilidad y su uso en la actualidad.

### **1.2 Objetivos particulares**

- Definir el concepto de Ultra WideBand.
- Investigar los antecedentes a cerca de la tecnología Ultra WideBand.
- Analizar las características de UWB.
- Comparar tecnologías inalámbricas de corto alcance WPAN (Wireless Personal Area Network) con respecto a UWB.
- Analizar las ventajas y desventajas del uso de Ultra WideBand.

### **1.3 Justificación**

En los últimos años las compañías particulares, centros de investigación y nuevos grupos de trabajo, han sido testigos de cómo la tecnología UWB se ha ido fortaleciendo y va dando pasos firmes en la implementación y desarrollo de nuevas redes, además de que ha ganado gran popularidad, por este motivo es preciso analizar dicha tecnología y plantear su inclusión en lo habitual.

UWB, es una buena alternativa para mejorar la calidad de vida cotidiana; una de sus aplicaciones es optimizar el intercambio de archivos de gran tamaño, disminuyendo tiempos y sin el uso de cables; es decir, Ultra WideBand eliminaría todo tipo de cables usados hasta ahora en distancias cortas. Las personas podrían realizar descargas desde un dispositivo como el teléfono celular, videocámara o reproductor a una PC (Personal Computer) de manera inmediata, de igual manera no se necesitaría de gran potencia de transmisión, teniendo así potencial de interferencia muy bajo.

Otra de las ventajas del uso de Ultra WideBand es el ahorro de energía eléctrica, esto es un gran avance puesto que la transmisión puede alcanzar altos niveles de consumo para el envío de datos. Dado este hecho, en un futuro UWB podrá implementarse en teléfonos celulares y PDAs (Personal Digital Assistant).

Este trabajo nos permitirá tener un acercamiento con la tecnología UWB, conocer un poco a cerca de ella, puesto que es una tecnología que promete mucho y todavía se encuentra en vías de desarrollo, así también, de que existe información de consulta que se renueva a cada instante en otros países y de distintos desarrolladores.

## **Capítulo 2. Marco teórico**

### **2.1 Antecedentes**

“A mediados del siglo XIX los telégrafos conformaban las primeras redes de comunicaciones de la era moderna, la codificación en Morse constituía un método simple y eficaz para la transmisión de información a largas distancias. Tal era la aceptación de la que gozaba la telegrafía que la invención del teléfono en 1876, fue considerada más una curiosidad tecnológica que un instrumento útil para las comunicaciones. Aunque el telégrafo se siguió utilizando durante mucho más tiempo, el teléfono acabó con imponerse junto con las redes analógicas que fueron mayoritarias durante casi un siglo” (Caballero, 1998, pág. 43).

Las comunicaciones comúnmente emplearon el uso de cables como medio de transmisión. Sin embargo, el auge de las tecnologías inalámbricas ha venido a revolucionar los servicios y cada vez están logrando un mayor posicionamiento en los ámbitos más estratégicos del mercado.

### **2.2 Terminología Inalámbrica**

Se denomina Inalámbrica o “sin cables” a las comunicaciones que no requieren ningún tipo de cable de interconexión entre el usuario emisor y receptor; en su defecto se emplea la modulación de las ondas electromagnéticas, proporcionando a nivel empresarial y de uso personal, opciones más cómodas. Como resultado, las tecnologías inalámbricas son un método más sencillo en cuanto a configuración e instalación.

Las personas, de hoy en día, buscan formas más prácticas y sencillas para el intercambio de información, quizá anteriormente no existía gran demanda de servicios de banda ancha; sin embargo, ahora se tiene en cuenta el envío y recepción masiva de voz, video y datos.

Para que los envíos masivos puedan satisfacer a los usuarios deben ser confiables y proporcionar calidad en cuanto a tiempos. Las tecnologías inalámbricas; requieren buenos niveles de energía para un rendimiento efectivo, pero incluso cubriendo esta característica las entregas de datos masivas pueden demorar mucho tiempo.

Dentro de las comunicaciones clasificadas por su alcance se pueden encontrar las siguientes (Carballar Falcón, 2005, pág. 4).

- Las redes inalámbricas de área personal o WPAN cubren distancias inferiores a los 10 metros. Estas soluciones están pensadas para interconectar los distintos dispositivos de un usuario. Éste es el caso de la tecnología Bluetooth o de IEEE (Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica) 802.15.
- Las redes inalámbricas de área local o WLAN (Wireless Local Area Network) cubren distancias de unos cientos de metros. Estas redes están pensadas para crear un entorno de red local entre terminales situados en un mismo edificio o grupo de edificios. Este es el caso de Wi-Fi o HomeRF.
- Las redes inalámbricas de área metropolitana o WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) pretenden cubrir el área de una ciudad o entorno metropolitano. Los protocolos LMDS (Local Multipoint Distribution Service) o WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) ofrecen soluciones de este tipo.
- Por último, tenemos las redes globales con posibilidad de cubrir toda una región (país o grupo de países). Estas redes se basan en la tecnología celular y han aparecido como evolución de las redes de comunicaciones de voz. Este es el caso de las redes de telefonía móvil conocidas como 2,5G o 3G. En comunicaciones móviles de voz se les llama 1G (Primera Generación) a los sistemas analógicos tipo NMT (Nordic Mobile Telephone) o AMPS (Advanced Mobile Phone System), 2G a los digitales tipo GSM (Global System For Mobile Communications) o CDMA (Code Division Multiple Access), 2,5G a los digitales con soporte para datos a alta velocidad tipo GPRS (General Packet Radio Service), IS95B (Interim Standard 95B) o EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution), y 3G o tercera generación a los nuevos sistemas de telefonía celular con capacidad de gran ancho de banda. Este último es el caso de UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service) o CDMA-2000. Así también, cabe mencionar a las tecnologías 4G o de cuarta generación, que sin duda son el sucesor de 2G y 3G con capacidades de acceso mayores a 100Mbps.

En relación a las tecnologías antes mencionadas, cabe resaltar las 4G, pues de acuerdo con la ITU, serán capaces de proveer velocidades de datos de bajada de 100Mbps y 1Gbps, para ambientes exteriores “móviles” e interiores “fijos”, respectivamente. Si comparamos los datos establecidos por la ITU (International Telecommunication Union), la velocidad máxima para 3G en ambiente de interiores es de 2Mbps y las velocidades para 4G superan notablemente las cifras. Además de brindar calidad de servicio y alta seguridad extremo a extremo, ofrece un servicio disponible en cualquier momento y lugar, interoperabilidad transparente y costo accesible.

Los puntos clave del documento 4G/IMT (International Mobile Telephony) de la ITU-R para la cuarta generación son los siguientes:

- Alto grado de coincidencia de la funcionalidad en todo el mundo, mantenimiento al mismo tiempo la flexibilidad necesaria para soportar una amplia gama de servicios y aplicaciones a un costo eficiente.
- Compatibilidad de servicios con las redes móviles y con las redes fijas.
- Capacidad de interconexión con otros sistemas de radio.
- Alta calidad en los servicios móviles.
- Aplicaciones, servicios y equipos amigables al usuario.
- Capacidad de conexión mundial (roaming).
- Altas velocidades de datos para soportar servicios y aplicaciones avanzadas.

Por último las tecnologías de radio de 4G deberán incluir:

- OFDMA (Orthogonal Frequency - Division Multiple Access), un esquema de modulación multiportadora altamente eficiente.
- MIMO (Multiple Input Multiple Output), un sistema de múltiples antenas que minimiza los errores de datos y la velocidad.

Tanto LTE (Long Term Evolution), como WiMAX, utilizan MIMO, es decir, la información es enviada en dos o más antenas por celda para mejorar la recepción. Ambos sistemas también utilizan OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), una tecnología que soporta transmisiones de video y multimedia. (Evelio, 2010)

Las redes LTE, junto con las WiMax, constituyen la cuarta generación de la telefonía móvil. Las LTE permiten velocidades de descarga de 200 megabits por segundo, a diferencia de las descargas de la tecnología GPRS, éstas podrían tardar 34 horas y sería posible reducirlas a 54 segundos.(Coca, 2009)

De acuerdo al objetivo de esta investigación prestaremos particular atención a las Redes Inalámbricas de Área Personal, ya que este tipo de redes operan a distancias cortas y están diseñadas para comunicar distintos dispositivos; como es el caso de computadoras, scanner, teclados, impresoras, auriculares, micrófonos, entre otros, haciendo a éstos, independientes de los cables.

### 2.3 Concepto de UWB

“El término *Banda Ultra Ancha* se originó en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1989”(Wang, 2008), aunque la investigación y el desarrollo de las correspondientes tecnologías de radio se habían venido produciendo durante décadas, su implementación en el campo comercial no había ocurrido.

Ultra WideBand es el sistema de señal que ocupa un ancho de banda superior a 500MHz o 25% de la frecuencia central según informe del Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica, y una velocidad de datos mayor a los 500Mbps(Wang, 2008).

Por medio de la Ecuación 2.1 se determina el factorial del ancho de banda:

$$\text{FACTORIAL DE ANCHO DE BANDA} = \frac{f_u - f_L}{F_c} \geq .25$$

(Ecuación 2.1)

Donde “ $f_u$ ” representa la alta frecuencia y a ésta le restamos “ $f_L$ ” la baja frecuencia de los 10 dB punto de emisión. Así como la “ $f_c$ ” es definida como la frecuencia central, representada en la Ecuación 2.2.

$$F_c = \frac{F_u - F_L}{2}$$

(Ecuación 2.2)

Ultra WideBand, se usó durante los últimos 20 años, en sensores y sistemas de radar con fines militares y gubernamentales; para así tener la posibilidad de distinguir a través de árboles y bajo tierra; a pesar de estos antecedentes, en la actualidad UWB se ha enfocado en el mundo de la electrónica y las comunicaciones (Wang, 2008).

De igual forma, los sistemas UWB trabajan a baja potencia, gran precisión, bajo costo, permiten transferencias de amplias tasas de datos y excelente velocidad, siendo estas dos últimas sus principales características, así también serán complejos de interceptar.

## **2.4 Regulación de UWB**

Existe desconfianza de parte de algunas compañías, puesto que, el ancho de banda de UWB resulta muy amplio, debido a esto, hay un gran temor de que ocurran interferencias. Del mismo modo, sabemos que la reglamentación del espectro es un punto fundamental en las tecnologías inalámbricas; ya que, de no existir una reglamentación del espectro radioeléctrico, no podrían operar servicios accediendo a la misma frecuencia de manera simultánea, por las dificultades de interferencia. En el caso de UWB no es la excepción.

En Estados Unidos hubo notables insistencias para que la FCC (Federal Communications Commission) permitiera el uso de productos UWB sin licencia, sin embargo los dispositivos UWB son radiadores intencionales para la regla FCC parte 15.

En febrero de 2002, FCC otorga el permiso para que UWB se utilice en las comunicaciones de datos, implementaciones de radar, así como seguridad. Con la banda para comunicaciones de 7,5 GHz, UWB tiene el más grande ancho de banda que se asigne a un sistema terrestre comercial; resaltando que la banda es de uso libre (Wang, 2008) .

UWB es una opción para aprovechar un excelente recurso, que aún no es sometido a ningún régimen, siempre que se cubran los requisitos necesarios, las técnicas de modulación serán para crear nuevas soluciones.

Por otro lado, la IEEE ha desarrollado nuevas normas con respecto a las WPANs, éstas han sido realizadas a través de consensos y aprobadas por ANSI (American National Standards Institute), que además reúne especialistas, investigadores y voluntarios en los nuevos términos.

## 2.5 Estándar IEEE 802.15.3 y sus grupos de trabajo

Las tecnologías Inalámbricas de Área Personal tienen en cuenta, la necesidad de incrementar su velocidad, reducir el consumo de energía y costo. Es por este motivo que surge como propuesta en la reunión plenaria de la IEEE de Kauai, Hawai en noviembre de 1999. Sin embargo, es hasta marzo de 2000 en Albuquerque, Nuevo México, cuando dan inicio los trabajos oficiales que contienen los criterios y métodos de evaluación.

En la sesión de Tampa, Florida, en noviembre de 2000, se realiza la elección de propuestas para capa MAC (Control de Acceso al Medio) y PHY (Capa Física), completada en noviembre del mismo año. Del mismo modo continúan las votaciones y es en junio de 2003 cuando se aprueba el estándar IEEE 802.15.3.

IEEE 802.15.3 se encarga de definir las especificaciones para la capa MAC y PHY, con velocidades de 20Mb/s o mayores, para transferir archivos de gran tamaño como los multimedia, en el área personal, comprendida en 10m en todas las direcciones tomando en cuenta si la persona u objeto está en posición estática o en movimiento.

En comparación con las tecnologías WLAN, las WPAN centran su objetivo en bajo costo, tamaño, disminuir la energía y la velocidad de datos. Así también, el estándar IEEE 802.15.3 busca la calidad en el servicio y compatibilidad con los demás sistemas inalámbricos.

IEEE asignó un grupo de trabajo IEEE 802.15.3a comisionado para crear una norma que permita aplicaciones como; video, enlaces multimedia y eliminar el uso de cables de corto alcance, así como crear el concepto de capa física para UWB. Se le asignó 110Mbps como mínimo para velocidad de datos, con una distancia de 10 m. Sin embargo, actualmente el proyecto IEEE 802.15.3a se ha detenido, a pesar de que se presentaron 2 propuestas de PHY, una para usar MB-OFDM (Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing) o DS-UWB (Direct Sequence Ultra WideBand), las razones que se explican en el sitio de la IEEE, mencionan que, UWB enfrenta problemas regulatorios y tal vez, aún no es el momento adecuado para escribir un estándar, se pretende esperar unos años para identificar la viabilidad de la tecnología comercialmente, de resultar así, se retomará el proyecto.

IEEE 802.15.3b, este grupo se creó para mejorar la aplicación e interoperabilidad de la capa MAC. Esto quiere decir, que se pueda tener compatibilidad con versiones anteriores, evitando errores o corregir los existentes. Actualmente se realizan reuniones para tomar acuerdos a cerca de las propuestas.

Según datos de la IEEE la norma IEEE 802.15.3c fue diseñado con el fin de crear el intercambio de información entre sistemas locales y redes metropolitanas, a través de ondas milimétricas operando en la capa física alternativa. Así también, trabaja entre los 57 y 64 GHz sin licencia, de igual modo se aclara que las ondas milimétricas soportan una velocidad de datos de por lo menos 1Gbps. Sin embargo, este grupo se encuentra detenido desde la sesión que se realizó en noviembre de 2009 en Atlanta.

## **2.6 Estándar IEEE 802.15.4**

Este grupo de trabajo se creó con el objetivo de dar solución al consumo de baterías y prolongar su duración, en aplicaciones como sensores, juguetes inteligentes, mandos a distancia y la domótica. Sin embargo, este grupo de trabajo está detenido, después de conformarse el grupo de trabajo TG4b.

## **2.7 Grupo de tareas IEEE 802.15.4a**

IEEE 802.15.4a tiene como meta especificar el concepto de capa física para UWB en aplicaciones de baja velocidad de datos, interfaz aire. Por ejemplo, en redes de área personal o redes de sensores.

En datos de IEEE, es en marzo de 2004, cuando 802.15.4a se asigna como grupo oficial de trabajo. Este grupo ha planteado la propuesta para la capa física PHY.

La norma 802.15.4a consta de dos capas físicas, la primera consiste en el UWB-IR (Ultra WideBand Impulso Radio), la segunda en el espectro a 2,4 GHz Chirp Spread Spectrum, las dos trabajan sin licencia.

Como es evidente, UWB ha permanecido en la mira tanto de compañías comerciales, como de grupos de investigación, como ejemplo está la conferencia mundial, "IEEE International Conference on Ultra-Wideband Technology" realizada en Nanjing, China, en septiembre de 2010, esta conferencia se ha realizado año con año a partir del 2002, la UWBST'02, realizada para reunir investigadores, científicos, ingenieros, estudiantes, directores técnicos, industria y gobierno para presentar y discutir documentos relacionados a los últimos desarrollos en teoría de

UWB y sus aplicaciones, de esta manera se da a conocer en su página oficial. Así también las conferencias han mantenido su nombre variando tan solo las fechas y las sedes a un ritmo de 3 años.

Las conferencias ICUWB intentan cubrir todos los aspectos de la tecnología UWB incluidos los límites de la información teórica, antenas y propagación, procesamiento de señales, circuitos y sistemas multi-acceso y codificación, al igual aplicaciones innovadoras y la convivencia.

Algunas aplicaciones que se presentan en las conferencias ICUWB mencionan:

- El Dr. ZhiNingChen, Jefe del Departamento de RF (Radio Frecuencia) y óptica, del Instituto de Investigación de Infocomm, Singapur, presenta los diseños de la Miniaturización de Antenas UWB para reducción de espacios, tomando en cuenta requisitos específicos (Ning Chen, 2008).
- En la conferencia presentada por Donna LeClair, Gerente de Tecnología de “BC hydro FOR GENERATIONS” presenta las oportunidades de UWB dentro de su industria; la ubicación de archivos, sensores de recopilación de datos, monitoreo de trabajadores en situaciones de riesgo y seguridad para el trabajador(LeClair, 2009).
- Dr. Salim Hanna, Gerente de Nuevos Servicios Inalámbricos, de la Industria de Canadá, habla a cerca de vehículos con radar, imágenes de radar y dispositivos de comunicación(Salim, 2009).

Por otro lado, UWB tiene el gran reto de mantener una buena interoperabilidad con equipos que ya estén en el mercado, es por esto que como medio de prevención es aprobado el uso sin licencia de dispositivos UWB en sistemas de banda estrecha. Para el uso de este espectro se han diseñado métodos como:

- MB-OFDM de UWB y asignada para dispositivos inalámbricos USB (Universal Serial Bus).
- UWB-IR y capa física alternativa de sensores inalámbricos en el estándar IEEE802.15.4a; ésta es por cierto, la es la más difícil de modelar para los simuladores.
- FM- UWB (Frequency Modulation UWB) este método es el candidato para el estándar IEEE802.15.6.

UWB causa mínima interferencia con los sistemas de banda estrecha, esto es porque sus señales trabajan a muy baja potencia, sin embargo la operación del radio dependerá de los órganos reguladores en cada nación.

IEEE 802.15.4b este grupo fue creado con la intención de agregar mejoras al estándar IEEE 802.15.4-2003, para disminuir la complejidad, aumentar la flexibilidad en el uso de la seguridad de cables y la frecuencia de las asignaciones disponibles recientemente. Actualmente la norma IEEE 802.15.4-2006 fue aprobada por el Consejo de Normas de la IEEE en junio de 2006.

IEEE 802.15.4c en el caso de este grupo, su propósito es la definición de la capa física, para que, cuando se tenga la información necesaria se agregue a la norma IEEE 802.15.4- 2006 Y 802.15.4a- 2007. En los acontecimientos actuales IEEE 802.15.4c ha presentado un proyecto inicial, así también se ha logrado un acuerdo con el Consejo de Normas de China en el que se considera la banda 779-787MHz en el estándar IEEE 802.15.4. IEEE 802.15.4d, este grupo de trabajo intenta corregir la norma 802.15.4-2006. Sin embargo su propuesta pretende definir una nueva capa física así como las modificaciones necesarias para la capa MAC en la frecuencia de 950MHZ-956MHZ en Japón.

## Capítulo 3. Modo de operación de Ultra WideBand

En el hogar utilizamos distintos puertos periféricos para intercambiar información, agregando además a las tecnologías inalámbricas que ya están trabajando para unificar estos aparatos electrónicos. Tomando en cuenta que, las necesidades que existen en el hogar son diferentes con respecto a las de la oficina, UWB puede aportar notable mejora en la transferencia de datos de forma inalámbrica.

Esta tecnología supera la velocidad de otras como las WLAN, puesto que se basa en pulsos de banda base ultra cortos con grandes anchos de banda, su transmisión es muy fiable y opera con densidades espectrales de potencias bajas, sin embargo, forma parte de las WPAN, para interiores y exteriores en el hogar, con un alcance similar al de Bluetooth.

En este capítulo se tratará con detenimiento la manera en la que trabaja UWB con respecto a su capa física.

En el grupo de trabajo IEEE 802.15.4a, se definen las siguientes alternativas para la capa física redes PAN (Personal Area Network):

- UWB PHY en esta se disponen 3 frecuencias que trabajan a menos de 1GHz, entre los 3 a 5GHz, y de 6 a 10GHz.
- CSS PHY (Chirp Spread Spectrum), que trabaja a 2450MHz.

UWB PHY, soporta 851 Kb/s de tasa obligatoria en transmisiones de datos, con velocidades de 110kb/s, 6.81Mb/s y 27.24Mb/s ha diferencia de la capa física para CSS tasas de datos de 1000kb/s y 250kb/s opcionalmente. Así bien, en información indicada en el estándar se hace mención a que el uso de la capa física dependerá de la regulación que exista en el lugar de implementación, así como la aplicación que se requiera y las preferencias del usuario.

A continuación se explica UWB PHY, ya que ésta es la correspondiente a Ultra WideBand.

### 3.1 UWB PHY

UWB PHY es la capa física, en redes inalámbricas que se define como la capa básica de la red, encargada de acceder a los medios físicos para el envío de datos por la misma. En esta capa se describirán las diferentes maneras, para que las conexiones se puedan iniciar, mantener y concluir en la red.

En cuanto a los canales de acceso se menciona el uso de CDMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) o ALOHA, este último para UWB. Así también, se usan 16 canales, que son distribuidos en 3 bandas (500MHz y 3.1GHz a 10.6GHz).

ALOHA es el mecanismo para UWB, los dispositivos transmiten cuando es necesario, es decir, no se toman en cuenta turnos. Esto es de gran utilidad en redes donde las colisiones no son problema.

LR-WPANS (Low Rate WPANS) trabajan con licencia libre, en bandas independientes. Para UWB tanto las bandas, como los dispositivos son independientes y cada una de las bandas cuenta con un canal único.

En la figura 3.1 se presentan las tres bandas:



Figura 3.1 Bandas de UWB

Existen ciertas normas que se deben seguir, para que los dispositivos LR-WPAN, que operan actualmente no tengan problemas con UWB, algunas de ellas mencionan:

- Respetar la forma de trabajo de LR-WPAN, de este modo se conservarán las comunicaciones ya existentes.
- Para las aplicaciones LR-WPAN que trabajan conjuntamente en la actualidad, se recomienda no incrementar la complejidad, a pesar de que en algunas cuestiones sería favorable mejorar el rendimiento.
- Se establece que a los dispositivos UWB LR-WPAN se les brinde la posibilidad para trabajar en amplias distancias de Radio Frecuencia.

La capa física de UWB, está diseñada para usar bandas anchas en el espectro y ofrecer robustez en aplicaciones LR-WPAN. De igual forma, al usar tecnología de menor costo y baja potencia de transmisión, e implementarla en dispositivos de LR-WPAN, se puede ofrecer mayor resistencia a la atenuación por múltiples trayectorias, dando como resultado un mejor rendimiento.

UWB PHY formuló ciertas reglas, ya que es importante la coexistencia con sistemas que usan el mismo espectro dentro de lo más relevante está el acuerdo entre PSD (Low Power Spectral Density) y UWB; en cuanto a las regulaciones que hay en el mundo. Las reglas sugieren que existan diversas bandas y frecuencias operando para asegurar su disponibilidad, modos opcionales que reduzcan la ocupación de canal, integrar comandos específicos que aporten entre las capas mayor compatibilidad y que no se omita un control en el espectro.

Así bien, UWB por sus características permite su uso en una gran variedad de aplicaciones, ya que pueden implementarse muchas alternativas de operación, teniendo así una ventaja significativa.

Algunas opciones que se presentan para la operación de UWB PHY son:

- Frecuencias centrales
- Formas de onda
- Velocidades de datos
- Frecuencias por repetición de pulso o PRFs
- CCA mode (on or off)

- Ancho de banda ocupado
- Códigos de preámbulo
- Símbolo de longitudes de preámbulo

Las opciones pueden ser muchas, sin embargo, se busca el bajo costo e interoperabilidad.

### **3.1.1 Opciones de bajo costo para dispositivos UWB**

Existe un bajo costo por el hecho de que únicamente un subconjunto de las combinaciones de capacidades se tiene que cumplir de modo obligatorio.

La UWB PHY se utiliza cuando se debe encender o apagar un bit en el PHR (PHY header), como respuesta a un atributo específico. El bit en el encabezado es usado en el rango “support” (soporte). Además de que posibilita tener la ubicación de un dispositivo simple, cuando se encuentra en el rango de la infraestructura de la capa física de UWB, que ciertamente tiene implementado soporte opcional y cuando se ejecuta una solicitud de soporte en un solo sentido.

UWB PHY que necesitan soporte:

- Una sola banda
- Una frecuencia central obligatoria
- Una velocidad de datos (data rate) obligatoria
- Un ancho de banda obligatorio
- Una forma de pulso obligatoria
- Velocidad de Chipping o chips

En la Capa Física compatible se emplea una sola longitud de preámbulo obligatorio, en el que se soportan dos códigos de preámbulo. Así también, no se requiere un soporte especial para la CCA (Clear Channel Assessment), ni para FEC (Forward Error Correction) cuando se está recibiendo.

Por lo que se refiere a la interoperabilidad, UWB PHY debe transmitirse a 16Mpulsos/s y 4Mpulsos/s PRF, tomando en cuenta que las transmisiones serán con diferente potencia. Los dispositivos de bajo costo son habilitados

adicionalmente en la modulación de la señal, esto ocurre cuando son dispositivos que no hacen muestreos coherentes. Si los dispositivos son compatibles usan soporte FEC en la transmisión de tramas, esta codificación FEC puede ser costosa y consumir energía, pero no tiene porque ser soportada en la recepción, ya que los códigos FEC son sistemáticos, por tal motivo los bits redundantes no son tomados en cuenta y no existe corrección de error.

### **3.1.2 Reglas de uso para UWB y opciones**

Es posible trabajar en las siguientes tres bandas:

- Banda de sub-gigahertz.
- Banda baja, entre los 2,45 GHz industriales, científicas y banda médica (ISM) y los 5 GHz en bandas sin licencia en infraestructuras nacionales de información (U-NII).
- Banda alta, se implementa arriba de la banda U-NII.

De acuerdo a las necesidades de la aplicación o implementación se podrá usar cualquiera de las bandas ya mencionadas. Hay cinco formas de onda UWB, que son transmitidas a través de un canal obligatorio dentro de cada banda y un PAN que usa una forma de onda opcional, únicamente si el coordinador determina que los demás dispositivos pueden soportarla. Además de que nuevos dispositivos pueden aprender sobre la transmisión realizada por el PAN, por medio de las tramas guía. Si un nuevo dispositivo es alojado en el PAN que es usado en forma de onda no obligatoria y el nuevo dispositivo no es capaz de soportar la forma de onda obligatoria, todo el PAN es devuelto por el controlado a la forma de onda obligatoria. Las capacidades de la PHY individual son determinadas por la lectura del PHY PIB (Information Base).

UWB CCA es un modo de señalización, que puede usarse de manera opcional, del mismo modo no se asocia con alguna forma de onda en particular. En cuanto a la interoperabilidad, CCA únicamente se puede comunicar con dispositivos que usen el modo CCA.

En la UWB PHY no son necesarias las velocidades de datos bajas, pero si existiera la situación, un segundo delimitador de detección podría informar al PHY lo que sucede.

### **3.1.3 Tipos de baja velocidad de datos opcional**

En enlaces extensos o procesamientos de alta ganancia para PHY, se permiten 110kb/s para baja velocidad de datos opcional. EL PHR se transmite a velocidades obligatorias. Las velocidades para el resto de las PPDU (PHY Protocol Data Unit), se definen en un subcampo de velocidades de datos del PHR. Esto no sucede cuando se trabaja con datos de baja velocidad, y con respecto a su trama, se anuncia al receptor por medio de un delimitador extendido. Las tramas y los PHR transmiten a velocidades bajas, así que el PHY puede demodular el subcampo de velocidad de datos del encabezado, de esta manera se verifica lo que ya se ha aprendido por medio de la detección de preámbulo extendido.

## **3.2 Especificaciones para la capa física**

### **3.2.1 Requerimientos generales y definiciones**

La PHY es la responsable de las siguientes funciones:

- Activación y desactivación del transmisor/receptor (transceiver) de señales de radio.
- ED (Energy Detection) en el canal actual.
- LQI (Link Quality Indication) para paquetes recibidos.
- CCA (Clear Channel Assessment) para CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance).
- Selección de canales de frecuencia.
- Transmisión y recepción de datos.
- Medición Precisa de Distancias (Precision ranging).

En el estándar IEEE 802.15.4, dos PHY de alta velocidad son añadidas, se trata de CSS con bandas de 2.4GHz y UWB con bandas de sub-gigahertz y 3-10GHz.

### 3.2.2 Operación de rangos de frecuencia

El estándar IEEE 802.15.4 ha sufrido modificaciones, actualmente IEEE 802.15.4a también cumple con la legislación regional de Europa, Japón, Canadá y Estados Unidos.

PHY (MHz)	Banda de frecuencia(MHz)	Parámetros de propagación		Parámetros de datos		
		Velocidad de Chip (kchip/s)	Modulación	Tasa de bits (kb/s)	Velocidad de símbolo (símbolos/s)	Símbolos
2450 DSSS	2400-2483-5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal
UWB sub-gigahertz (opcional) ver nota	250-750					
2450 CSS (opcional) ver nota	2400-2483-5			250	166.667	
				1000	166.667	
UWB Banda baja(opcional) ver nota	3244-4742					
UWB Banda alta(opcional) ver nota	5944-10 234					
NOTA.- UWB PHYs puede operar en uno o más de lastres distintas bandas: sub-gigahertz, banda baja y banda alta. Tipos de dispositivos IEEE 802.15.4a UWB y tipos de CSS PHY son opciones para IEEE Std. 802.15.4-2006						

**Tabla3.1 Bandas de frecuencia y velocidades de datos**

### 3.2.3 Canal de asignaciones

El canal se define como el medio por el cual la señal es transmitida con la información de intercambio. Así también en este subtema se hará referencia a las Bandas, las cuales representan el intervalo de magnitudes o valores.

Existe una capacidad para 32 canales en la definición original del estándar en 2003, con las nuevas especificaciones del estándar estos canales son superados, para que esto no ocurra, las asignaciones de canal llevan a cabo una combinación de números de canales y las páginas de canales con los primeros 5MSB (Most Significant Bit).

En la siguiente imagen se pueden observar las bandas que se implementan. El canal cero es obligatorio para la banda de los sub-gigahertz, el canal 3 es obligatorio para las bandas bajas y el 9 es requerido para bandas altas. Las demás bandas son opcionales.

Grupo de banda <sup>a</sup> (decimal)	Número de canal (decimal)	Frecuencia central fc (MHz)	Ancho de banda (MHz)	Obligatorio/Opcional
0	0	499.2	499.2	Por debajo de lo obligatorio 1GHz
1	1	3494.4	499.2	Opcional
	2	3993.6	499.2	Opcional
	3	4492.8	499.2	Obligatorio en la banda baja
	4	3993.6	1331.2	Opcional
2	5	6489.6	499.2	Opcional
	6	6988.8	499.2	Opcional
	7	6489.6	1081.6	Opcional
	8	7488.0	499.2	Opcional
	9	7987.2	499.2	Obligatorio en la banda alta
	10	84.86.4	499.2	Opcional
	11	7987.2	1331.2	Opcional
	12	8985.6	499.2	Opcional
	13	9484.8	499.2	Opcional
	14	9984.0	499.2	Opcional
15	9484.8	1354.97	Opcional	

\*Nota. Las bandas indican una secuencia de frecuencias adyacentes al centro de UWB: La banda 0 es el canal de sub-gigahertz, la banda 1 tiene el canal de banda baja UWB, y la banda 2 tiene el canal de banda alta.

**Tabla3.2 Bandas para UWB PHY**

Se utilizan 2 canales para cada una de las 16 bandas definidas conformando así los 32 canales asignados.

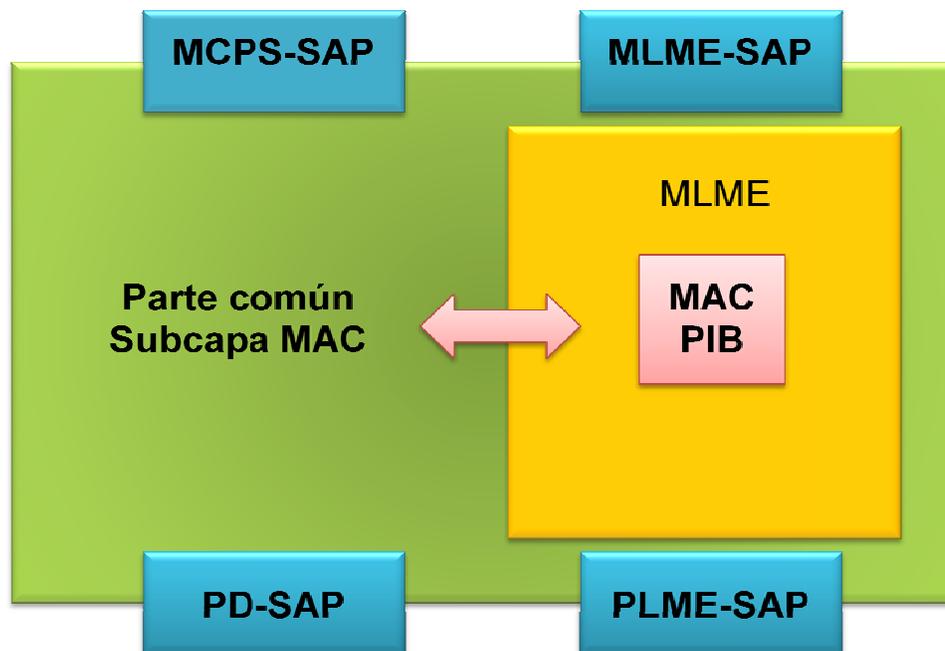
### **3.3 Especificaciones de la subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC)**

La subcapa de Control de Acceso al Medio tiene la encomienda de controlar el acceso al medio, como lo especifican sus siglas, en este caso particular, el canal físico del radio, además es la encargada de las tareas que a continuación se mencionan:

- Generar las guías de la red “beacons” si el dispositivo es un coordinador.
- Sincronización con las guías de la redes “beacons”.
- Soporte para unirse o separarse a una PAN.
- Soporte a la seguridad de los dispositivos.
- Usar el mecanismo de CSMA-CA de acceso al canal, excepto para UWB PHYs, donde es usado ALOHA.
- Manejo y mantenimiento del mecanismo GTS.
- Proporcionar un vínculo confiable entre dos entidades pares MAC.

Este estándar tiene una topología centralizada en una conexión orientada tipo ad-hoc. El dispositivo coordinador (PNC) mantiene la sincronía y el tiempo dentro de la red, controla el ingreso de nuevos dispositivos a la red y asigna los tiempos para conexiones entre los dispositivos.

En cuando a las especificaciones del servicio de la subcapa MAC, provee una interfaz entre el SSCS (Service Specific Convergence Sublayer) y la PHY, también contiene un MLME (MAC Sublayer Management Entity) ó administrador, que proporciona una interfaz de servicio a través de la cual se pueden solicitar las funciones de la capa de administración. Así mismo, MLME se encarga de mantener una base de datos de objetos administrados relacionados a la subcapa MAC. Ver Figura 3.2.



**Figura 3.2 Modelo de la subcapa MAC**

Dos de los servicios de la subcapa MAC para acceder a través de dos SAP (Service Access Point) son:

- El servicio de datos MAC, accede a través de la parte común de la subcapa MAC, también conocido como MCPS (MAC Common Part Sublayer).
- El servicio de administración, accede a través del MLME-SAP (MAC Common Part Sublayer Service Access Point).

Los dos servicios antes mencionados proveen la interface entre el SSCS y la capa física por el PD-SAP (PHY Data Service Access Point) e interfaces PLME-SAP (Physical Layer Management Entity Service Access Point). Además de estas interfaces externas, hay una interfaz implícita entre la MLME y MCPS (MAC Common Part Sublayer) que permite al MLME el servicio de datos MAC.

### **3.3.1 Tramas de Control de Acceso al Medio (MAC)**

En este apartado se especifica el formato de la trama MAC referenciado como MPDU (MAC protocol data unit). Las tramas MAC contienen los siguientes componentes:

- a) Un MHR (MAC Header), comprende el control de la trama, secuencia numérica, información de direcciones e información relacionada con la seguridad.
- b) Una carga MAC, de longitud variable, la cual contiene información específica del tipo de trama. El reconocimiento de las tramas no contiene carga útil.
- c) Un MFR (MAC Footer), que cuenta con un FCS (Frame Check Sequence).

Dichas tramas se describen como una secuencia de campos en un orden específico. Los formatos de trama antes mencionados se presentan en el orden que se transmiten a la PHY, de izquierda a derecha, dando inicio con el bit menos significativo ubicado más hacia la izquierda. Los campos que excedan los octetos se envían a la capa física en el orden del octeto que contiene el menor número de bits al octeto que contiene el mayor número de bits.

Para la trama MAC, los bits reservados se pondrán en cero durante la transmisión, sin embargo, serán tomados en cuenta en la recepción.

El formato de la trama MAC (ver Tabla 3.3) se conforma de un MHR, la carga útil MAC y un MFR. Los campos del MHR aparecen en orden fijo; del igual modo, los campos de direcciones no se incluyen en todas las tramas. El formato de trama de la MAC se presenta con la imagen siguiente:

Octeto: 1	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	0/5/6/10/ 14	Variable	2
Trama de control	Número de secuencia	Identificador de destino PAN	Dirección destino	Identificador de origen PAN	Dirección origen	Auxiliar de encabezado de seguridad	Trama de carga útil	FCS
		Campos de dirección						
MHR							Carga útil MAC	MFR

**Tabla3.3 Formato general de trama MAC**

### 3.4 Transmisión de UWB PHY

A continuación se presenta un ejemplo de transmisión de UWB PHY para la codificación de tramas de datos.

#### 3.4.1 Canal usado en el ejemplo

En este ejemplo la PHY codifica una pequeña muestra de PSDU (PHY Service Data Unit) recibida de la subcapa MAC. La PHY transmite a 850 Kb/s en el canal 3 usando el preámbulo de código 6. Así mismo, se muestra cómo los datos son cambiados por la codificación de la PHY haciendo que eventualmente se tengan ráfagas de pulsos de transmisión.

#### 3.4.2 Codificación de la progresión

##### 3.4.2.1 Transmisión de la PSDU

La subcapa MAC presenta una muestra de PSDU a la PHY, por medio de SAP. En el ejemplo siguiente se muestra la codificación de 17 octetos PSDU:

La siguiente serie es convertida en código de caracteres ASCII (American Standard Code for Information Interchange) a decimal y hexadecimal:

85	87	66	32	119	101	108	99	111	109	101	115	32	73	69	69	69
----	----	----	----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	----	----

Figura 3.3 Codificación decimal

55	57	42	20	77	65	6C	63	6F	6D	65	73	20	49	45	45	45
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Figura 3.4 Codificación hexadecimal

Cabe mencionar que la subcapa MAC regularmente no presenta un PSDU a la PHY, puesto que, no contiene ciclos de redundancia válidos CRC (Cyclic Redundancy Check). Simplemente el ejemplo demuestra la codificación de la capa PHY, no de la subcapa MAC.

### 3.4.2.2 Bits PSDU

Para indicar los valores de 0, 1 y -1 se contemplan ciertos símbolos (-, + y 0) que se interpretan como un 1 un símbolo +, un 0 se representa por un cero y finalmente -1 se representa por un -.

En la imagen de la PSDU los valores son convertidos a binario, primero el LSB (Least Significant Bit) y se inicia con el bit en el primer tiempo:

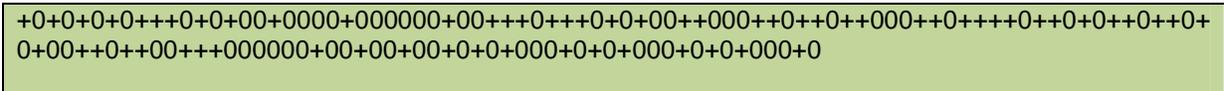


Figura 3.5 Muestra PSDU

### 3.4.3 Codificación de bits con Reed-Solomon

En la Ecuación 3.1, se muestra el tiempo de saltos con la codificación de la polaridad, esto aumenta la capacidad para evitar interferencias a la PHY de UWB.

$$x^{(k)}(t) = \left[1 - 2g_1^{(k)}\right] \sum_{n=1}^{N_{cpb}} \left[1 - 2s_n + kn_{cpb}\right] Xp(t - g_0^{(k)}T_{BTP} - h^{(k)}T_{burst} - nT_c)$$

(Ecuación3.1)

La codificación que se muestra es la que se describe como:

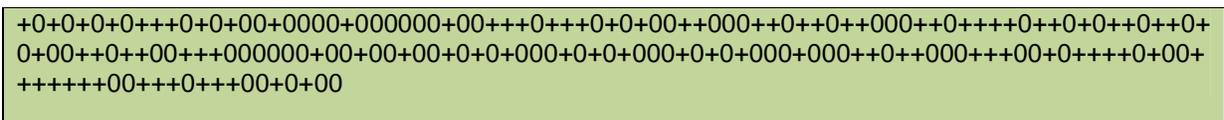


Figura 3.6 Codificación Reed-Solomon

### 3.4.4 Codificador Convolutacional de bits de entrada

Seguidamente se antepone el PHR a la codificación de datos Reed-Solomon para la salida del código (convolutacional). La imagen que se encuentra seguidamente se debe a la velocidad de datos y longitud del PSDU.

Rt 1	Rt 0	L 6	L 5	L 4	L 3	L 2	L 1	L 0	Rn g	Ex t	Pr 1	Pr 0	C 5	C 4	C 3	C 2	C 1	C 0
0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1

Figura 3.7 Ejemplo del PHR

Al anteponer el código anterior a la PSDU, se obtienen los siguientes bits:

```
0+00+000+000+++00+++0+0+0+0+++0+0+00+0000+000000+00+++0+++0+0+00++000+++0+++0+++000+
+0+++0+++0+0+++0+0+00+++0+++000000+00+00+00+0+0+000+0+0+000+0+0+000+000+++0++
000+++00+0+++0+00++++++00+++0+++00+0+00
```

Figura 3.8 Ejemplo del PHR

### 3.4.5 Codificación Convolutacional de bits de entrada

Dos bits son añadidos al final de la entrada de bits y son introducidas al codificador “convolutacional”. Éste produce dos tipos de bits de salida: posición de codificación de bits dada por g0 y los bits de paridad dados por g1.

```
00+00+000+000+++00+++0+0+0+0+++0+0+00+0000+000000+00+++0+++0+0+00++000++0+++0+++000
++0+++0+++0+0+++0+0+00+++0+++000000+00+00+00+0+0+000+0+0+000+0+0+000+000+++0+
+000+++00+0+++0+00++++++00+++0+++00+0+000
```

Figura 3.9 Ejemplo de posición g0

```
0+0++0+0+0+0++0+++0+0000000+0+0000++0+00+0+0000+0+++0+0+0+0000+++++0+++0++0+++0+
++0+00+0++000++0++0000+++++0+++++0++0000+0++0++0++00000+0+00000+0+00000+0+0+0+++0+
++0++0+++00+00+00+++00000+++++0+0+0+++000+00
```

Figura 3.10 Ejemplo de posición g1

### 3.4.6 Scrambler (codificador) de bits de salida

El scrambler se presenta para ayudar con los procesos de codificación. Para este canal complejo el inicializador del codificador, inicia en s-15 y continúa a s-1, como se muestra a continuación:



111000101101101

**Figura 3.11 Bits de salida**

Hay un total de 205 de cada tipo de bits “convolutional”, por lo que habrá 205 símbolos. Cada símbolo produce una ráfaga de longitud 16 de tal modo que el codificador proporciona 2380 bits:

```
00+00+++0++0+++0++0+00+++0++00+++0+++0+0++0+0++0+0++00++++0+++++0+0+000++00000+++++0
0+0+0000+0000+0++++000++000+++000+00+0+00+00+00+++0+++0+++0++0++0++000++0++0+++++0+0
0+0++0++000+++0+++0++0+00+00++00++0+++0++0+0+0++00++0+++++0+0+0++000000+++
+++0+00000+00000+++00000++0000+00+0000+0+000++0++000++++00+0++0+00+000+0+++0+++0
++00+++00++00++0+0+00+0+0+0+0+++++0+++++0000++0000000+000+0+0000000++00+++++0
00000+0+0+000+00000+++++00++0000+00000+0+0+000++0000+++++00+0+000+00000+0+++00+
+0000+++000+0+0+000+00+00+++++00++0++0+00000+0+0++0++0000+++++0++0+000+0000++0
+0++00++000+0+++0+0+0+00+++000+++++0+00+00+00000+++0++0++00000+00++0++0+0000+
+0+0++0+++000+0+++0+0+0+00+++000+++++0+0+0+00+00+0+++0+++0++0+++000++0++0+00+0
0+0+0+0++0+0+0+++++0+++++0+000000++000++0+00000+0+00+0+++0000+++++0+++00+000+00
0++00+0++00++00+0+0+++0+0+0+0+++++00+++++0000+0+0000000+000+++++000000++00+000+
00000+0+0++0++0000+++++0+0+0+000+0000+++++00++000+000000+0+0+00++0000+++++0+
0+0000+00000+++++000++0000+0000+00+0+000++000++0+++00+0+00+0++000+0+++0+++0+00+
++000++00+++0+00+00+0+00+++0++0+++++0+00++0++0000+++0+0++0+0000+00+++0+++0+000+
0++0+000++00+00+0+++00+0+0+0+++00+0+++++0+00+0+++0000++0+0+++00+000+0+++0+00+0+
+00+++000+00+++0+0+00+00+++0+++++0+++0+0+0000++0+++0+0000+0+++0+000+0+++0+000+0+
0+000+++++00+++++00+0000+0+000+0+++0000+++++00+++0+000+000+0+00++00++0+++0+00+0
+0+0+000+++0+++++00+00++000000+0+++0+000000+++0+++++00000+00++0000+0000++0+0+
+000++000+0+++++00+0+00+++0000+0+++++0+00+000++000+++0++00+00+00+00++0+0++0++0+
0+++++0++0++0+++000++0++0++000+00+0+0++0+0++0+0++0+++0+++0+++0+0++00++0++0+++0+0+
0++0+0+000+++++0+++++00+00000++0000+0+0000+0+000+++0+000+++++00+00+++00+000+0++0
+00+0++00+++0+++0+++0+0+00++00++0+++++0+0+0+0+0000+++++000+0000000000+00
++000000000++0+0+0000000+0+++++0000000+++0000+000000+00+000++00000++0++0+0+0000+
0++0+0+++++000+++0+++0+000+00+00++00++0++0+0+00++0+0++0+++0+0+++0++0000+++
000++0+000+000+00+0+++00++00++0+++00+0+0+0++00+0+++++0+0+++0000000+++++0+0
000000+000+0+000000++0+++0+00000+0+0+00++0000+++++0+00+000+00000++0++0+0000
+00++0+0+0+000++0+0+++++00+0+++000000+0+++000+00000++0+00++0000+00+0++0+0+00
0++0+++0+++++00+0+00++0000+0+++0+0+0+000+++00+++++00+00+0+000000+0++0+++00000
+++0++000+0000+00++0+00++000++0+0+++0+0+00+0+++++00+++++0+++000+0+0000++00+00+++0
00+0+0++0+000+00+++++0+++00++0+0000++00+0+0+++000+0+0+++++00+00+++++0000+0++0+000
0+000+++0+++000++00+00++00+00+0+0++0+0+0+0+++++0+++++0++0000++00000++0+000+0+00
00+0+++00+++000+++00+0+000+00+00+0+++00++0+0+0+++000+0+0++0++00+00+++++0++0+0++
0+0000++0+++0+++000+0++000+00+00+++0+00+0+0+0++0+0++0+0++0+0++0+00++0000++00++
+0+0+000+0+0+00+++++00+++++0+0000+0+0000+++000+++0000+00+00+000+000++0++0++00+
+00+0++0++0+0+0+0+++0++0+++++00++0++000000+0+0++0+000000+++++0+++00000+0000++
00+0000++000+0+0++000+0+00+++++0+00+++++0+0000+++0
```

Figura 3.12 3280 bits de “scrambler”

### 3.4.7 Símbolos ternarios de salida

Este codificador convolucional y las salidas “scrambler” son usadas para generar los pulsos ternarios. En el ejemplo que se muestra más adelante, cada símbolo consiste en 512 chips. Durante cada símbolo, los 512 chips están en silencio, excepto por el tren de 16 pulsos.

Las tablas 3.18 y 3.19 muestran la posición del chip del primer pulso y muestran los signos de las ráfagas de pulsos, empezando con el primer tiempo. La posición del chip en los ejemplos pueden tener un rango de 0, la primera posición del chip, a 511 la posición final. Cada símbolo es enumerado de 0 a 204.

Número de símbolo	Posición ráfaga de chip (Burst Chip Position)	Ráfaga (Burst)	Número de símbolo	Posición ráfaga de chip (Burst Chip Position)	Ráfaga (Burst)
0	64	++-++-+-+-----+	51	16	+---+---+---+---+---+
1	48	++-+---++-++-+-+--	52	288	-+-+---+---+---+---+
2	368	---+---+---+---+---+	53	368	---+---+---+---+---+
3	96	-++++-+++++---+---+	54	320	---+---+---+---+---+
4	0	---+---+---+---+---+	55	48	---+---+---+---+---+
5	288	+---+---+---+---+---+	56	336	+---+---+---+---+---+
6	112	+++---+---+---+---+	57	336	-+-+---+---+---+---+
7	32	+---+---+---+---+---+	58	368	+++++---+---+---+---
8	80	+---+---+---+---+---+	59	0	+++++---+---+---+---
9	272	-+++---+---+---+---+	60	320	++-----+---+---+---
10	64	---+---+---+---+---+	61	16	-+++++---+---+---+---
11	112	---+---+---+---+---+	62	256	+++++---+---+---+---
12	96	-++-+++-++-+---+---	63	64	---+---+---+---+---+
13	352	-++-+++-+++++---+---	64	80	+---+---+---+---+---+
14	288	+---+---+---+---+---+	65	304	++-+++-+---+---+---
15	368	+++++---+---+---+---	66	304	++-+++-+---+---+---
16	64	---+---+---+---+---+	67	80	+---+---+---+---+---+
17	16	+---+---+---+---+---+	68	48	---+---+---+---+---+
18	352	-++-+++-+++++---+---	69	112	+++-+---+---+---+---
19	288	+---+---+---+---+---+	70	352	-+++++---+---+---+---
20	336	+---+---+---+---+---+	71	256	---+---+---+---+---+
21	80	-+-+---+---+---+---+	72	32	+---+---+---+---+---+
22	368	---+---+---+---+---+	73	368	+++++---+---+---+---

23	64	++--+++++++----	74	320	--++-++++-+---
24	336	-+-+++++++--+-	75	80	-+-----++-+--+--
25	48	---++++++-+-----	76	272	+----+-----+----+
26	272	-+++++-----+-	77	320	--+++-----++-
27	0	++++-++++-+-+--	78	16	+--+-+-----+----+
28	320	---+------++++-	79	96	+-----++-+--+--
29	336	-+-+++-----+-	80	0	---+-++++-+-+--
30	304	++--+------+	81	352	-+-+-----+++++
31	80	-+-+-----+-	82	352	-+++-----++++
32	368	----+-+-----+	83	64	++-----++++-+
33	64	++-+-+-----+	84	272	+--+-+-----++++
34	368	----+-----+++	85	352	+-----+-----+
35	0	---+-+-----+	86	288	+--+-----+--+--
36	32	-+-++++-+-+--+	87	336	+--+-----+--+--
37	304	---+-+-----+	88	48	--++++-----+--+
38	16	+--+-----+--+--	89	272	+-----+-----+
39	96	+--+-----+--+--	90	320	--+++-----+--+
40	32	+--+-----+--+--	91	80	-+-----+--+--
41	16	+--+-----+--+--	92	336	-+-----+--+--
42	320	++-----+--+--	93	112	---+-----+--+--
43	16	+--+-----+--+--	94	352	-+-+-----+--+--
44	96	+--+-----+--+--	95	352	-++++-----+--+
45	96	+--+-----+--+--	96	0	+++-----+--+--
46	32	+--+-----+--+--	97	288	-+-----+--+--
47	48	---+-----+--+--	98	336	+--+-----+--+--
48	48	++-+-----+--+--	99	112	----+-----+--+
49	368	---+-----+--+--	100	320	++-+-----+--+--
50	32	-+-----+--+--	101	112	---+-----+--+--

Tabla3.4 Ejemplo de símbolos de salida ternarios 1

Número de símbolo	Posición ráfaga de chip (Burst Chip Position)	Ráfaga (Burst)	Número de símbolo	Posición ráfaga de chip (Burst Chip Position)	Ráfaga (Burst)
102	352	+---+++---+++---+	153	80	+---+-----+---+---+
103	32	-+---+---+---+---+---+	154	304	---+---+---+---+---+---+
104	80	+---+---+---+---+---+	155	16	+---+---+---+---+---+
105	272	+---+---+---+---+---+	156	64	+---+---+---+---+---+
106	256	---+---+---+---+---+	157	80	+---+---+---+---+---+
107	32	+---+---+---+---+---+	158	304	+---+---+---+---+---+
108	272	+---+---+---+---+---+	159	336	+---+---+---+---+---+
109	256	---+---+---+---+---+	160	16	-+---+---+---+---+---+
110	96	-+---+---+---+---+---+	161	352	-+---+---+---+---+---+
111	32	-+---+---+---+---+---+	162	352	-+---+---+---+---+---+
112	368	+++---+---+---+---+	163	0	---+---+---+---+---+
113	288	+---+---+---+---+---+	164	64	+---+---+---+---+---+
114	304	+---+---+---+---+---+	165	16	+---+---+---+---+---+
115	48	+---+---+---+---+---+	166	352	-+---+---+---+---+---+
116	16	-+---+---+---+---+---+	167	256	+++---+---+---+---+
117	64	+---+---+---+---+---+	168	352	-+---+---+---+---+---+
118	112	---+---+---+---+---+	169	32	-+---+---+---+---+---+
119	64	+---+---+---+---+---+	170	80	+---+---+---+---+---+
120	16	+---+---+---+---+---+	171	272	-+---+---+---+---+---+
121	288	+---+---+---+---+---+	172	96	+---+---+---+---+---+
122	48	+---+---+---+---+---+	173	352	-+---+---+---+---+---+
123	16	+---+---+---+---+---+	174	320	+---+---+---+---+---+
124	352	+---+---+---+---+---+	175	368	---+---+---+---+---+
125	64	-+---+---+---+---+---+	176	256	---+---+---+---+---+
126	80	+---+---+---+---+---+	177	96	+---+---+---+---+---+
127	336	-+---+---+---+---+---+	178	320	+---+---+---+---+---+
128	16	+---+---+---+---+---+	179	80	+---+---+---+---+---+
129	0	---+---+---+---+---+	180	112	+++---+---+---+---+
130	288	+---+---+---+---+---+	181	352	-+---+---+---+---+---+
131	80	-+---+---+---+---+---+	182	352	+---+---+---+---+---+
132	304	-+---+---+---+---+---+	183	320	+---+---+---+---+---+
133	48	---+---+---+---+---+	184	368	---+---+---+---+---+
134	336	-+---+---+---+---+---+	185	320	+---+---+---+---+---+
135	48	+---+---+---+---+---+	186	368	---+---+---+---+---+
136	16	-+---+---+---+---+---+	187	256	---+---+---+---+---+

137	32	-+-+-----+---	188	32	-+-+-----+---
138	368	----+++++-----	189	48	++-+---+---+---
139	32	+-----+-----	190	368	+++-----+---
140	272	-++++-+---+---	191	352	+-----+---+---
141	0	++++-+---+---	192	288	-+-----+-----
142	320	++---+-----+	193	16	-+-+-----+-----
143	16	+---+---+---+---	194	288	-+-----+-----
144	32	+---+---+---+---	195	272	-++++-+---+---
145	112	+++--+-----	196	256	----++-+---+---
146	352	+-----+---+---	197	32	-+---+---+---+---
147	0	+++--+-----	198	48	++-+-----+---
148	352	+---+---+---+---	199	304	---+-----+---
149	96	+---+---+-----	200	48	---+-----+---
150	288	+---+-----+---	201	368	----+++++-----
151	48	++---+-----	202	32	-+-----+---+---
152	80	-+---+-----	203	16	-++++-+---+---
			204	64	++-----+-----

**Tabla3.5 Ejemplo de símbolos de salida ternarios 2**

## Capítulo 4. Coexistencia de UWB y otros estándares IEEE

En la figura 4 se representa la comparación del ancho de banda de UWB con otras tecnologías. Sin embargo, en este capítulo prestaremos particular atención a la coexistencia de dispositivos IEEE 802.15.4a, esto incluye dispositivos inalámbricos capaces de operar en las mismas proximidades con respecto a UWB.

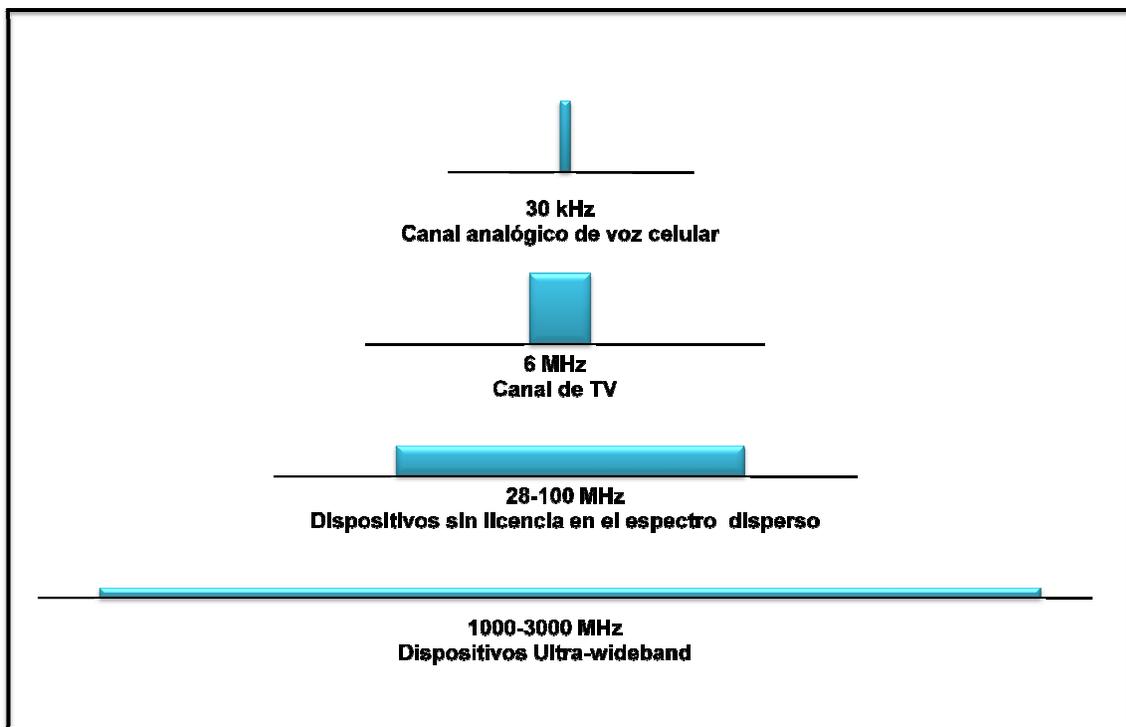


Figura 4.1 Ancho de banda de tecnologías inalámbricas(Wang, 2008)

## **4.1 Estándares propuestos para la coexistencia**

En el listado que aparece más adelante se mencionan los dispositivos compatibles IEEE para trabajar con dispositivos de la norma IEEE 802.15.4 o IEEE 802.15.4a.

La norma IEEE 802.15.4a UWB PHY para la banda con frecuencias de 250-750 MHz que pueden interactuar con otros estándares en desarrollo de la IEEE. UWB PHY para bandas de 3244-4742 MHz y 5944-10234 MHz que pueden interactuar con o sin tener compatibilidad con la IEEE.

Algunos estándares propuestos son:

- IEEE Std 802.16-2004
- IEEE P802.22
- ECMA 36820

## **4.2 Cuestiones generales de coexistencia**

Existen algunos mecanismos que mejoran la coexistencia entre dispositivos inalámbricos y la capa física de UWB que trabajan en el mismo espectro, estos mecanismos están planteados en el estándar IEEE 802.15.4a-2007 y son los que a continuación se definen:

- Modulación UWB con muy baja PSD.
- Ciclo de trabajo bajo y/o ciclo de servicio bajo.
- Baja potencia de transmisión.
- Selección dinámica de canal.
- Capacidades de trabajar como una red ad-hoc.

### **4.2.1 Modulación de Secuencia Directa de UWB**

La modulación que especifica el estándar 802.15.4a-2007 para la capa física de UWB es de Secuencia Directa. Este método de modulación es realmente eficiente en potencia, pues alcanza los requerimientos más bajos en la relación señal a

ruido conocida como SNR y en relación señal a interferencia o SIR, a través del uso de ancho de banda de la señal que es mayor que la velocidad simbólica.

Una característica que no se debe omitir en cuanto a la modulación de UWB, es la menor probabilidad a causar interferencias con otros dispositivos, debido a su reducido PSD. Incluso las regulaciones menos restrictivas para dispositivos UWB, necesitan la emisión PSD para estar igual o por debajo de los niveles permitidos para las emisiones involuntarias de otros dispositivos eléctricos o electrónicos.

En algunos casos los límites de PSD de UWB son de 35dB debajo de los límites de las emisiones involuntarias. Por la misma razón, los dispositivos UWB tienen algún grado de inmunidad de emisiones de interferencia, haciéndolas una buena opción para entornos donde la coexistencia puede ser un problema.

#### **4.2.2 Ciclo de trabajo bajo (Low duty cycle)**

Una importante contribución del estándar IEEE 802.15.4a-2007 es la definición de una nueva capa física para UWB con opciones de altas tasas de bits.

En las bandas de UWB, las tasas de datos han incrementado a una tasa obligatoria nominal de 850kb/s. Aunque no está diseñada para proveer un rendimiento continuo alto, la UWB PHY proporciona tasas de datos opcionales de hasta 27 Mb/s. Estas tasas no están diseñadas para soportar aplicaciones de altas tasas como el transporte de video, pero facilitan a los dispositivos en proximidades cerradas, reducir la transmisión de su ciclo de trabajo con un factor de hasta 32 respecto a la tasa obligatoria, y reducir más la probabilidad de que los dispositivos puedan interferir o estar sujetos a interferencias con otros dispositivos, cuando las condiciones lo permitan.

#### **4.2.3 Consideraciones del ciclo de trabajo bajo para la PHY de UWB**

Los escenarios del ciclo de trabajo bajo de una “piconet” son usados para modelar las siguientes situaciones:

- Los dispositivos IEEE 802.15.4a son implementados para tener cierta área de cobertura, por ejemplo, haciendo uso de hot spot.
- Algunos sistemas víctima cubren un área más grande que la cobertura de una típica piconet IEEE 802.15.4a, son localizadas encima de la agrupación local (por ejemplo, IEEE 802.16, servicio de radio de astronomía y el

servicio de satélite), o son localizados estrechamente con un coordinador piconet (por ejemplo, equipos localizados en los mismos escritorios o incluso en la misma computadora). Se define como víctima a la red inalámbrica afectada en la cual existe un transmisor y receptor.

En estos casos, las transmisiones de todos los dispositivos en la “piconet” pueden afectar el receptor víctima. Por razones de menor complejidad, menor consumo de energía, al igual que limitaciones físicas, es difícil para los dispositivos simples IEEE 802.15.4a detectar sistemas víctima fiables. La interferencia agregada de la creciente “piconet” con miembros de la piconet.

Dado que el 1% de ciclo trabajo del dispositivo y el protocolo ALOHA puro, la interferencia agregada es del 17.6% de una piconet con 18 miembros. Observar la figura 4.1. Además, los periodos de inactividad de canal son segmentados aleatoriamente en pequeñas piezas. Por lo tanto, es complicado el uso de la eficiencia de canal. Analizando la interferencia en el canal es similar al análisis de colisión del sistema ALOHA completo.

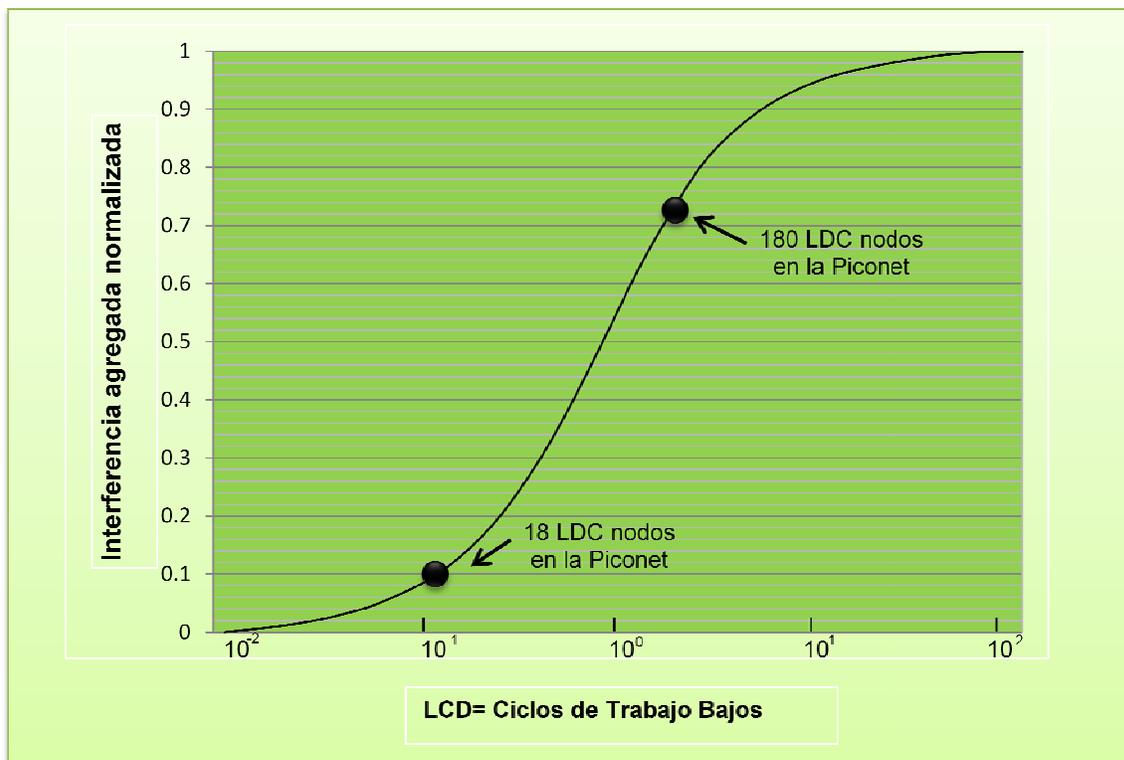
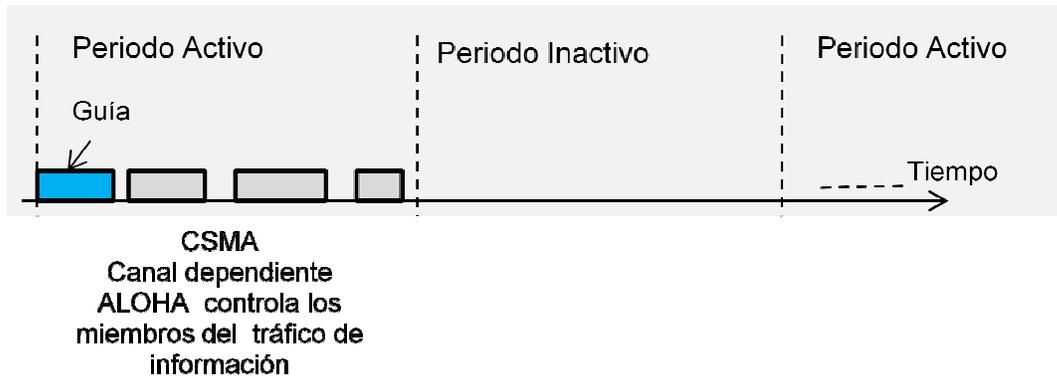


Figura 4.2 Agregada interferencia normalizada(IEEE, 2007)

El nivel de interferencia máximo para el tipo de sistema víctima puede ser limitado por el control de ciclo trabajo de la piconet a través de periodos generales activos

e inactivos (observar la figura 4.2). El tráfico puede ocurrir solo en el periodo activo. Los sistemas víctimas son libres de interferencia en el periodo de inactividad. La distribución de periodos activo e inactivo, es controlada por el coordinador de la piconet. Éste puede ser implementado por un reloj en la capa de aplicación. El coordinador de la piconet define el tiempo global de la misma y la duración del periodo activo. Cuando un dispositivo se une a una piconet, sincroniza su reloj con el del coordinador.



**Figura 4.3 Periodos generalizados activo e inactivo(IEEE, 2007)**

El nivel de interferencia es restringido por la proporción del periodo activo para el periodo total. La posible colisión de paquetes, en el periodo activo puede ser atenuada como sigue:

- Adoptar un mecanismo CSMA- CA
- Adoptar el canal dependiente ALOHA: Este canal es usado para establecer probables transmisiones relacionadas con la calidad del canal, las cuales se pueden obtener a través de escuchar al guía del coordinador por medio del LQI y el receptor ED. La función de calidad del mapa de canales de probabilidad de transmisión es definida en la capa de aplicación. Una manera simple de establecer un umbral y solo permiten transmisiones cuando la calidad del canal está por encima del canal.
- Limitar el número de miembros de piconet por asociación.
- Usar la configuración de tráfico, por ejemplo, la combinación de pequeños paquetes a grandes paquetes.

Considerando las aplicaciones para las cuales la UWB PHY está diseñada, en escenarios de aplicación donde un gran número de nodos son la expectativa, el ciclo de trabajo (total o individual) puede esperar que las magnitudes sean

menores al 1% utilizado anteriormente. Considerando como ejemplo, una aplicación de sensor, donde el bajo costo de los nodos de sensor, se utiliza en gran número (regularmente en interiores). Un nodo individual puede estar “alerta” solo milisegundos por hora. En tales escenarios, el ciclo de trabajo conjunto, está bajo el control de los protocolos de capas superiores y muy bajo comparado con el 1% usado en el análisis anterior. Esta observación tiene dos importantes implicaciones:

- ALOHA es adecuado para las aplicaciones donde la probabilidad de colisión es pequeña y controlada; por lo tanto, la ventaja de la complejidad es un buen intercambio (trade-off).
- No hay menor impacto en la coexistencia, gracias a un gran número de nodos IEEE 802.14a como el total ciclo de trabajo sigue siendo muy bajo.

### **4.3 Baja potencia de transmisión**

#### **4.3.1 UWB PHY**

La capa física definida por la IEEE 802.15.4a-2007 opera bajo estrictas regulaciones para dispositivos UWB sin licencia en todo el mundo. Las regulaciones menos restrictivas para UWB son válidas de acuerdo a las reglas de la FCC, US 47 CFR parte 15, fragmento F. Bajo estas reglas, el mayor de los límites para emisiones UWB, se basa en una emisión equivalente a Densidad Espectral de Potencia de  $-41.3$  dBm/MHz. Otras futuras regulaciones de UWB en otras regiones probablemente serán en este mismo nivel o posiblemente menores. Bajo estos límites, la potencia de transmisión permisible para un ancho de banda de 500MHz de dispositivos UWB sería menor a  $-14$ dBm, alrededor de  $37\mu$ W de potencia de transmisión. Este nivel de potencia de transmisión es igual o menor a los límites de emisiones no internacionales de otros dispositivos eléctricos o electrónicos, así como menor que los límites de la emisión fuera de banda para otros dispositivos sin licencia operando en bandas designadas como en 2.4GHz ISM o 5GHz bandas UNII. (IEEE, 2007)

Además, ya que esta potencia de transmisión es propagada por lo menos 500MHz de ancho de banda, la mayor potencia en el funcionamiento del ancho de banda de una banda estrecha típica 20MHz sistema víctima es menor que  $-28$ dBm, o cerca de  $1.5\mu$ W de potencia de transmisión por 20MHz. Estos niveles de energía realmente bajos emiten en la banda de operación de cualquier potencial sistema víctima se reduce la probabilidad de que estos dispositivos pudieran interferir con otros sistemas.

## **4.4 Dinámica selección de canal**

Cuando se realiza la selección dinámica de canal, sea en la inicialización de la red o en respuesta a un corte, un dispositivo UWB IEEE 802.15.4a analizará un conjunto de canales específicos por el parámetro Channel List. Para redes UWB IEEE 802.15.4a que se instalan en áreas que tienen restricciones de espectro, el parámetro Channel List se puede definir como el conjunto anterior con el fin de mejorar la coexistencia de las redes.

## **4.5 Rendimiento de coexistencia UWB**

### **4.5.1 Requerimientos específicos que regulan la coexistencia de UWB**

Sorprendentemente, a pesar del gran ancho de banda de UWB PHY, sólo hay una forma de onda en el estándar IEEE que puede ocupar la misma banda de frecuencia, es decir los sistemas IEEE 802.16 que están debajo de los 10GHz. Conscientes del potencial de las cuestiones de coexistencia, las regulaciones en parte del mundo donde los sistemas IEEE 802.16 (como WiMAX) pueden ser desplegados en las bandas superpuestas por el espectro UWB están creando los requerimientos reglamentarios para reducir la probabilidad de cualquier problema de coexistencia. Por lo que respecta, en Asia y la Unión Europea, las regulaciones son reglas creadas para la operación sin licencia de UWB que requiere mecanismos específicos de atenuación para garantizar la pacífica coexistencia con sistemas IEEE 802.16 u otros sistemas similares usados para el acceso inalámbrico fijo o móvil.

Además, una propuesta del estándar IEEE, P802.22, plantea ocupar parte del ancho de banda en la UWB PHY de la banda de 150-650 MHz. En los ámbitos reglamentarios donde es actualmente permitido (FCC), la máxima potencia de transmisión, se especifica un adicional (aproximadamente) debajo de 35 dB, comparado con los límites de la banda 3.1-10GHz. Algunos dominios reguladores (incluyendo la FCC) han sugerido que ciertas aplicaciones, específicamente aquellas que involucren lo relacionado con personal ubicado en situaciones de emergencia, se permita a niveles superiores PSD, bajo condiciones específicas, donde otros factores como la limitación de operación, que proporciona la protección necesaria de los servicios tradicionales. Claramente está más allá del alcance de esta norma para anticipar acciones específicas de regulación en el futuro. Sin embargo, teniendo en cuenta los escenarios de aplicación presentados en la convocatoria de aplicaciones y que responden a la orientación específica de reguladores en los Estados Unidos, puede observarse que la coexistencia con los

estándares IEEE P802.22 y otros sistemas conocidos se asegura a través de las condiciones de operación.

Como un factor de atenuación primario, es poco probable que tales sistemas operen en cercana proximidad física al mismo tiempo que los equipos de respuesta a emergencias. Tales condiciones son el ámbito de agencias regulatorias a definir, y es la responsabilidad de los encargados de la implementación de este estándar, para cumplir con normas y condiciones aplicables.

En consideración con otros escenarios de localización personal, los factores de atenuación descritos para otras aplicaciones UWB se aplican de igual forma a todas las bandas UWB.

#### **4.5.2 Atenuación de interferencia de dispositivos UWB utilizando ciclo de trabajo bajo del PAN**

Una propuesta creada al Grupo de Tareas 4a es para el uso de bajo ciclo de trabajo (duty) dentro de una piconet UWB para reducir los potenciales efectos de interferencia. Los escenarios de los ciclos de trabajo bajos de la piconet pueden ser usados en las siguientes situaciones:

- Dispositivos IEEE 802.15.4a son implementados en altas densidades en un área limitada, por ejemplo escenarios de implementación de Hot-spot.
- Sistemas UWB víctima cubriendo numerosas áreas grandes, que la cobertura de una típica PAN IEEE 802.15.4a.

En estos casos, las transmisiones de cada dispositivo en una PAN pueden afectar al receptor víctima. Por razones de menor complejidad, bajo consumo de energía, así como limitaciones físicas, es difícil para dispositivos simples IEEE 802.15.4a, detectar sistemas víctimas fiables. La interferencia agregada de los incrementos PAN con el incremento de número de miembros del PAN. La interferencia de sistemas víctima, puede ser limitada por controlados ciclos de trabajo del PAN a través de periodos activo/inactivo. El tráfico de UWB puede ocurrir solo en el periodo activo. Los sistemas víctima pueden ser libres de interferencia en los periodos inactivos. El nivel de interferencia puede ser controlado por la relación de periodo de actividad para el periodo total.

### **4.5.3 Garantía de coexistencia: metodología y supuestos**

Con el fin de cuantificar el rendimiento de coexistencia de la UWB PHY IEEE 802.15.4a, las técnicas descritas por Shelhammer (21) se han adaptado.

La metodología de la garantizada coexistencia predice el PER de una red inalámbrica afectada (AWN, o víctima) en la presencia de una interferencia de red inalámbrica (IWN, o agresor). En su forma simple, la metodología supone un AWN y un IWN, cada uno compuesto de un solo transmisor y un receptor. La metodología toma como inicio una pérdida de modelo de trayectoria, un modelo cuantitativo para el BER del AWN, y predichos modelos temporales para paquetes generados por el AWN y para “pulsos”, es decir, paquetes generados por el IWN. Basados en estas entradas, la metodología prevé el PER de la AWN en función de la distancia física entre el transmisor IWN y el receptor AWN.

El atractivo de la metodología de garantía de coexistencia es que los múltiples estándares de red pueden ser caracterizados y comparados con solo pocos parámetros, sobre todo:

- Ancho de banda de AWN y dispositivos IWN
- Ruta de modelo de pérdida de las redes
- BER en función de SIR de dispositivos AWN
- Modelo temporal para los paquetes AWN y “pulsos” IWN (interferencia de paquetes)

### **4.5.4 Coexistencia de la PHY UWB**

#### **4.5.4.1 Víctimas y agresores**

En la actualidad, el estándar IEEE 802.15.4a-2007 para sistemas UWB es el único estándar para redes inalámbricas en las bandas UWB cubierto por el estándar IEEE 802.15.4. Otro de los únicos estándares inalámbricos de formas de onda que superpone este mismo espectro son los sistemas de ocupación IEEE 802.16 con licencias en frecuencias de bandas 3400-3800 MHz en algunas regiones (partes de Europa y Asia). Además, los estándares propuestos IEEE P802.22 ocuparían parte de las bandas de 150MHz a 650MHz.

En adición a los estándares IEEE de sistemas inalámbricos, otro estándar UWB producido por ECMA es especificado en ECMA 368. Un análisis limitado de la coexistencia entre este sistema y las formas de onda IEEE 802.15.4a se da aquí.

En este análisis, se dispone como un hecho que las PHY sirvan para ambas víctimas (participantes en AWN) y agresores (participantes en IWN).

#### 4.5.4.2 Ancho de banda para sistemas UWB

La capa física del IEEE 802.15.4a UWB que opera en cualquiera de las tres bandas UWB tiene uno o más canales, aproximadamente un ancho de 500MHz o opcionalmente 1300MHz de ancho. El ECMA 368 PHY tiene un ancho de banda nominal de 1500MHz. En contraste a estos sistemas UWB, la banda estrecha de IEEE 802.16 PHY que opera en la banda 2-10GHz tiene múltiples canales definidos, cada 20MHz de ancho o menos. IEEE P802.22 puede tener múltiples canales definidos, cada uno de 6MHz a 8MHz de ancho. La metodología de coexistencia asume que cualquier dispositivo UWB en un AWN o IWN tendrá gran ancho de banda que un dispositivo de banda estrecha en el correspondiente AWN o IWN.

#### 4.5.5 Modelo de pérdida de trayectoria

La metodología de coexistencia utiliza una variante del modelo de pérdida de trayectoria descrita por Shellhammer, 22, que estipula una función de dos segmentos con un exponente de pérdida de trayectoria de 2.0 para los primeros 8 metros y con un modelo de pérdida de trayecto de 3.3 posteriormente. La fórmula propuesta por Shellhammer es la Ecuación 4.1.

$$pl(d) = \begin{cases} 40.2 + 20\text{Log}_{10}(d) & d \leq 8m \\ 58.5 + 33\text{Log}_{10}\left(\frac{d}{8}\right) & d > 8m \end{cases}$$

(Ecuación4.1)

Las constantes en esta fórmula se basan en una frecuencia central de 2.4GHz. Para adaptar el modelo a una frecuencia central típica en las bandas de frecuencia 3100-4800MHz, puede ser descrita en la Ecuación 4.2.

$$pl(d) = \begin{cases} pl(1) + 10_{y1} \text{Log}10^{(d)} & d \leq 8m \\ pl(8) + 10_{y8} \text{Log}_{10} \left( \frac{d}{8} \right) & d > 8m \end{cases}$$

(Ecuación4.2)

Donde pl(1) es la pérdida de trayectoria de 1m(en decibelios), 1 es el exponente en la pérdida de trayecto de 1m (2.0), y 8 es el exponente de pérdida de trayecto a 8m(3.3) . La condición inicial de pl(1) es calculada como sigue en la Ecuación 4.3.

$$pl(1) = 10_{y1} \text{Log}_{10} \left( \frac{4\pi f}{c} \right)$$

(Ecuación4.3)

Con 1=2.0, f=3400MHz, y C= velocidad de la luz = 299792458ms<sup>-1</sup>, a continuación pl(1)=43.08 y pl(8)=61.14. La función de pérdida de trayectoria modificada para 3400MHz es, por tanto apreciada en la Ecuación 4.4.

$$pl(d) = \begin{cases} 43.03 + 20 \text{Log}10^{(d)} & d \leq 8m \\ 61.09 + 33 \text{Log}_{10} \left( \frac{d}{8} \right) & d > 8m \end{cases}$$

(Ecuación4.4)

Con f=400MHz para la banda de sub-gigahertz de UWB, a continuación pl(1)=24.49 y pl(8)=78.75. La función de pérdida de trayecto para la frecuencia central de 400MHz es la misma que para 3400MHz con la sustitución de las siguientes constantes, es posible de apreciar en la Ecuación 4.5.

$$pl(d) = \begin{cases} 24.49 + 20 \text{Log}10^{(d)} & d \leq 8m \\ 78.75 + 33 \text{Log}_{10} \left( \frac{d}{8} \right) & d > 8m \end{cases}$$

(Ecuación4.5)

El diagrama de la pérdida de trayectoria en función de la distancia de separación de dispositivos se muestra en la siguiente imagen:

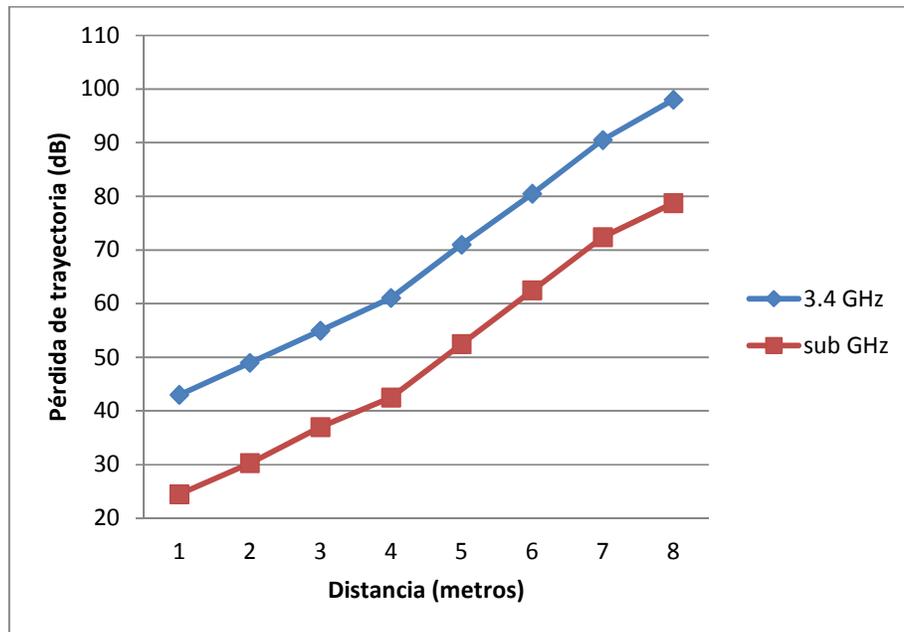


Figura 4.4 Función de pérdida de trayectoria (IEEE, 2007)

#### 4.5.6 BER en función de SIR

Para las especificaciones analizadas de la PHY en este estándar, no hay expresiones analizadas para el BER o SER (Symbol Error Rate) de la señal debido al uso del método FEC para mejorar la fiabilidad.

En este análisis, se emplea un método que equivale a utilizar interpolación de valores de la tabla, la interpolación se utiliza para encontrar los puntos desconocidos y aproximar mejor la gráfica, por medio de los puntos ya conocidos. A fin de simplificar los cálculos y aún proporcionando resultados significativos, la relación es aproximada entre los cambios en el BER (en una escala logarítmica) y variando SNR como lineal con una pendiente de 0.6dB por orden de magnitud (10x) cambiando en la BER por el rango de BER que es relevante para este análisis (alrededor de  $1e-8$  a  $1e-5$  BER). Esta aproximación es razonable de los métodos FEC usados en para IEEE Std 802.16-2004 (bloque de código Reed-Solomon), ECMA 368, IEEE P802.22, y IEEE Std 802.15.4a-2007 (codificación convolucional).

Para cada uno de los sistemas, el efecto del IWN en el AWN es caracterizado por el cálculo del aumento en la operación efectiva del ruido de la superficie de la AWN por la interferencia del IWN (modelado como ruido de banda ancha no correlacionados). El análisis asume una línea base de operación efectiva del ruido en la superficie (incluidos los efectos de superficie de ruido térmico, figura de ruido, y margen de operación para tener en cuenta otros efectos en el mundo real, tales como la programación de efectos multitrayecto y varios canales o interferencia de canal adyacente). Este enfoque permite la caracterización de los efectos para el IWN en el AWN como IWN se mueve desde el una gran distancia (cuando el AWN tiene una línea base nominal PER) a una distancia muy cercana donde los efectos de interferencia de las dominantes IWN el PER durante periodos de operación (sujeto a supuestos ciclos de trabajo- duty).

Aunque el enfoque de este análisis es tal vez no tan elegante como el de una expresión analítica (no es posible en estos casos), proporcionará una buena caracterización de la coexistencia de estos sistemas en las condiciones del mundo real y puede se puede utilizar para estimar un rango de efectos de un rango equivalente de supuestos a cerca de operación de márgenes.

#### **4.5.7 Modelo temporal**

En el estándar de la IEEE 802.15.4a-2007, los gastos generales del paquete se reducen al mínimo. El tamaño máximo del PSDU es de 128bytes, y un paquete típico puede ser de apenas 32bytes, incluidos el PSDU y los bytes de sincronización. Para la metodología de la coexistencia, todos los paquetes, pertenecientes al AWN o IWN, son de 32bytes.

A pesar de que no existe limitación en el ciclo de trabajo de las bandas autorizadas en este punto, muchas redes basadas en la norma IEEE 802.15.4a se espera operen debajo del 5% del ciclo de trabajo, particularmente en dispositivos que son trabajan con baterías.

Este nivel del ciclo de trabajo del 5% es utilizado por los reguladores como de alto valor para dispositivos de comunicación UWB operando en varios estudios de coexistencia. Además, el estándar IEEE 802.15.4a es basado en el uso de un mecanismo de acceso basado en contención ALOHA que tiene por objeto soportar solo aplicaciones de ciclos de trabajo bajo. De acuerdo a estos factores, es razonable esperar que las piconet de IEEE 802.15.4a, utilizadas para aplicaciones funcionaran con ciclos de trabajo de hasta el 10%. Para efectos de coexistencia de modelado, se asume que todos los dispositivos UWB operan en piconets que

tendrán un ciclo de trabajo compartido de 10% y que tales piconets operarán dentro de rangos de unas pocas decenas de metros. Basado en esto y una población típica de dispositivos activos de cinco dispositivos por piconet, un promedio operando con ciclo de trabajo de 2% es asumido para cualquier dispositivo particular dentro de una piconet.

Para los otros sistemas inalámbricos considerados en este análisis (IEEE 802.16, IEEE P802.22 y ECMA 368), aplicaciones anticipadas se centran en la conectividad de ancho de banda mayor, en las áreas para IEEE 802.16 y sistemas IEEE P802.22, y más cortos intervalos WPAN para sistemas ECMA 368. Debido a que estos sistemas no están desplegados en un gran número, no es posible operar con calidad típica en el ciclo de trabajo. Para este análisis, tanto la hipótesis inicial es una muy conservadora operación continua como un escenario de línea base de peor caso.

#### **4.5.8 Análisis de coexistencia**

Este apartado detalla las posibilidades del análisis de coexistencia y se presentan los resultados para cada caso analizado.

##### **4.5.8.1 Impacto de dispositivos IEEE 802.15.4a en redes IEEE 802.16**

Condicionales

- EL receptor IEEE 802.16 es la víctima AWN y es de interior fijo o nodo de cliente nómada de la red. El nodo de la estación base no es susceptible a interferencias con IEEE 802.15.4a UWB gracias a la posición del sitio. El AWN opera en las bandas con licencia 3.4-3.8 GHz (disponible en muchas partes del mundo, excepto en los Estados Unidos).
- El receptor IEEE 802.16 está operando en un entorno del mundo real en la presencia de degradación (desvanecimiento) multitrayecto e interferencia, y un margen de 3 a 10dB por encima de las funciones de sensibilidad también. La línea base del PER es  $1e-6$  a 3dB por encima de la sensibilidad e la ausencia de cualquier efecto de los dispositivos UWB, y el ruido en el ambiente (floor) del receptor es de 6dB.

- La interferencia en UWB es el ruido sin correlación en la banda ancha, ya que el ancho de banda es más amplio que el del receptor víctima. La diferencia en la antena es desde 10dB en el interior o antena exterior, va en la dirección del diseño de la estación base, si la señal de enlace descende. Los dispositivos UWB no están directamente bloqueados por el LOS.

#### 4.5.8.1.1 Resultados del método de coexistencia

La tabla que está a continuación muestra el cálculo de pérdida permisible que resulta en un nivel de emisión del IEEE 802.15.4a UWB al igual que AWN a la operación del efecto de ruido en el ambiente. Basado en esta pérdida de trayecto, el efecto en AWN PER es calculado en función de la distancia de separación.

Cantidad	Valor	Unidades	Notas
UWB transmite límite PSD (PLIM)	-41.3	dBm/MHz	Establecidos por la autoridad reguladora.
Margen medio para limitar (MBO)	1.7	dB	La potencia de transmisión "tras apagar" (0.5+dB) y margen de -1dB para la tolerancia de fabricación.
Promedio de ganancia de la antena UWB (GUWB)	-2	dBi	Promedio de ganancia de la antena pequeña, bajo costo de la antena UWB para el receptor víctima arbitraria a 360 °.
EL promedio de las emisiones de PSD (PLIM - MBO + GUWB) vista por el receptor del dispositivo IEEE 802.16	-45	dBm/MHz	PSD promedio visto en la dirección del receptor víctima arbitraria.
IEEE 802.16 ruido térmico (KTB)	-114	dBm/MHz	Ruido térmico (temperatura ambiente).
IEEE 802.16 NF	6	dB	Figura de ruido en terminales interiores IEEE 802.16.

Promedio de ganancia de la antena IEEE 802.16 en la dirección de interferencia UWB.	-4	dBi	Ganancia de antena IEEE 802.16 en la guía principal (a la que desea la estación base IEEE 802.16) es de 6-7 dBi y la interferencia cercana de UWB (no el bloqueo de la antena principal) -4dBi.
Margen de operación IEEE 802.16 (M16)	3-10	dB	El margen de operación para un rendimiento aceptable en presencia de "degradación de trayectoria múltiple" y la interferencia de celdas canal/adyacentes.
IEEE 802.16 efectiva operación del ruido en el suelo para la susceptibilidad de interferencia UWB: (KTB + NF 16 - G16 +RP)	-101 to -94	dBm/MHz	La efectiva operación del ruido sobre del nivel del suelo para el funcionamiento del receptor IEEE 802.16.
Nivel de interferencia de banda ancha UWB IEEE 802.15.4a que se traducen en un aumento de 3 dB en IEEE 802.16 para la efectiva operación del ruido en el suelo.	-101 to -94	dBm/MHz	Para el aumento de 3 dB, las emisiones de banda ancha UWB en la banda pueden estar en el mismo nivel que el suelo mientras efectiva el ruido de funcionamiento para el receptor del nodo interior IEEE 802.16.
Pérdidas por trayectoria (rango) de UWB para el receptor IEEE 802.16 (promedio de los casos) para el aumento de 3 dB en la efectiva operación del ruido en el suelo.	49 to 56 (2 to 4.5)	dB (m)	Para el aumento de 3 dB, las emisiones de banda ancha en la banda UWB pueden estar en el mismo nivel que la operación del ruido efectivo en el suelo para el receptor del nodo interior IEEE 802.16.
Pérdidas de trayectoria (rango) de UWB para receptor IEEE 802.16 (promedio de los casos) para el aumento de 1 dB en la operación efectiva del ruido en el suelo.	55 to 61 (4 to 8)	dB (m)	Para el aumento de 1 dB, las emisiones de banda ancha UWB en la banda debe ser de 6 dB por debajo de la operación efectiva del ruido en el suelo para el receptor del nodo interior IEEE 802.16.

**Tabla 4.1 Cálculo de niveles aceptables de emisiones de dispositivos IEEE 802.15.4a para una operación de nodo de cliente IEEE 802.16**

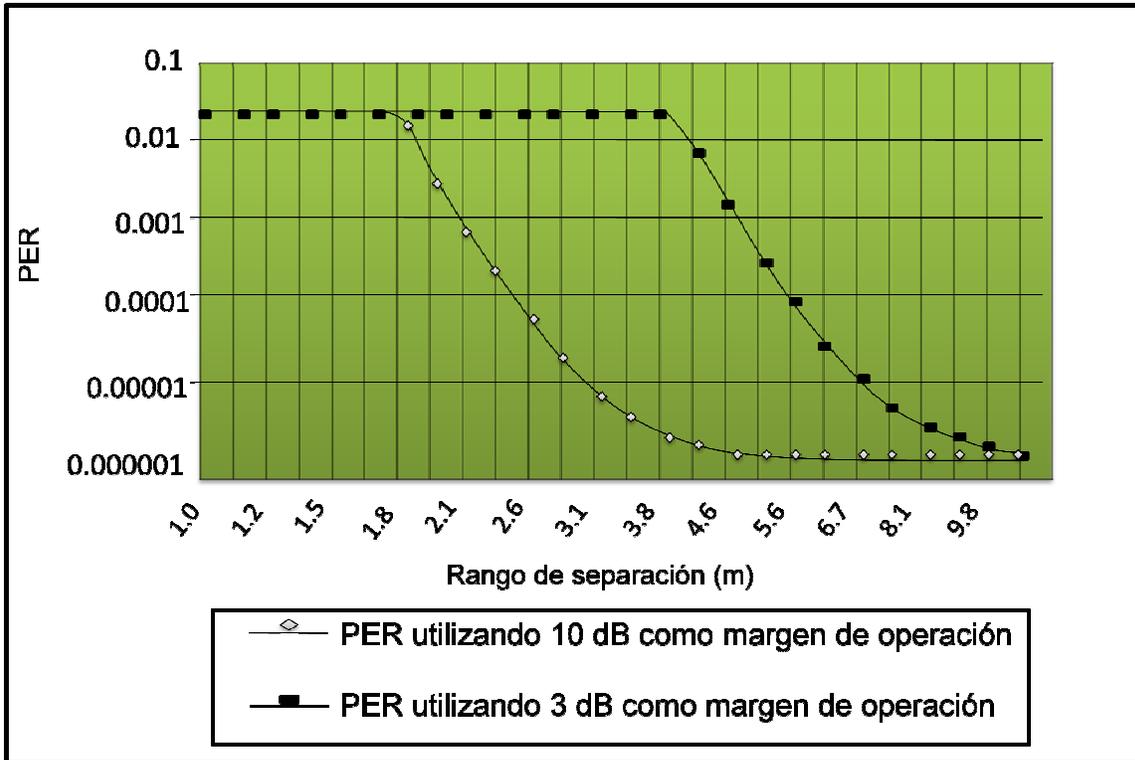


Figura 4.5 Efecto sobre IEEE 802.16 AWN como una función de la distancias de separación para dispositivos IEEE 802.15.4a UWB(IEEE, 2007)

#### 4.5.8.2 Impacto de un dispositivo IEEE 802.16 en redes IEEE 802.15.4a UWB

##### Condicionales

- Los dispositivos IEEE 802.15.4a UWB son afectados por los dispositivos (AWN). Los dispositivos IEEE 802.16 son interferidos (IWN) y son fijados en el interior o nodos de clientes nómadas de la red. El nodo de la estación base tiene menos efectos de interferencia en dispositivos IEEE 802.15.4a UWB debido a la implementación muy cerca del suscriptor o dispositivos móviles IEEE 802.16. Los operadores IWN en bandas con licencia 3.4-3.8 GHz (disponibles en la mayor parte del mundo excepto en Estados Unidos). Para este análisis, las operaciones IWB conservan el 50% del ciclo de trabajo. (IEEE 802.16 enlace ascendente del suscriptor).

- Los receptores IEEE 802.15.4a UWB operan en el ambiente del mundo real con la presencia de degradación (fading) multitrayecto e interferencias, y el margen encima de la sensibilidad durante la operación de 3dB. La línea base PER es  $1e-7$  por encima de la sensibilidad en ausencia de cualquiera efecto de dispositivos UWB, y el ruido del ambiente en el receptor de 10dB.
- La interferencia de UWB no es correlacional al ruido de la banda ancha, ya que el ancho de banda es muy amplio comparado con el receptor víctima. La diferencia en la ganancia de la antena es de 10dB puesto que el interior o exterior de la antena IEEE 802.16 va tener una ganancia en la dirección de la estación base deseada de la señal descendiente.

#### 4.5.8.3 Resultados de la metodología de coexistencia

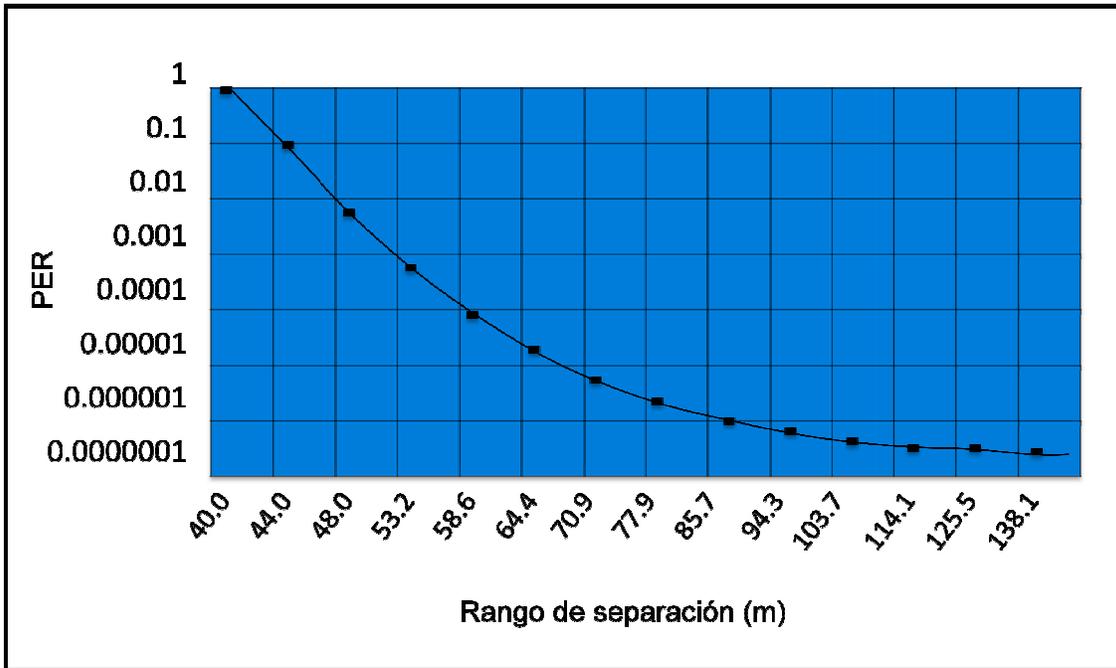
La siguiente tabla muestra el cálculo de la pérdida de trayecto permisible que se presenta en los niveles de emisión IEEE 802.15.4a al igual que AWN el ruido en el ambiente para una operación eficaz. La base de pérdida de trayecto, el efecto en el AWN PER es calculado en función de la distancia de separación, como se muestra ahora en la siguiente tabla.

Cantidad	Valor	Unidades	Notas
Potencia de transmisión del dispositivo cliente IEEE 802.16 (P16)	17	dBm	Se asume la estación del suscriptor en células pequeñas.
Ancho de banda del dispositivo cliente IEEE 802.16	5	MHz	
Ancho de banda del dispositivo IEEE 802.15.4a UWB	500	MHz	
Promedio de ganancia de la antena IEEE 802.16 (G16).	-2	dBi	Promedio de ganancia de la antena hasta el receptor víctima arbitrario de más de 360 ° (IWN por lo general no es la emisión principal).

Emisiones promedio PSD (P16 + G16 – 10 log (BUWB) visto por el dispositivo receptor IEEE 802.15.4a UWB).	-12	dBm/MHz	PSD promedio visto en la dirección del receptor víctima arbitrario (se supone que el receptor UWB puede propagar interferencia en el ancho de banda del receptor).
IEEE 802.15.4a UWB ruido térmico (KTB).	-114	dBm/MHz	Ruido térmico (temperatura ambiente).
IEEE 802.15.4a UWB NF	10	dB	Figura de ruido de bajo costo en dispositivos IEEE 802.15.4 a.
IEEE 802.15.4a UWB margen de operación (MUWB).	3	dB	El margen de operación para un rendimiento aceptable en presencia de degradación de trayectoria múltiple (no asume ninguna otra interferencia que IWN).
IEEE 802.15.4a UWB funcionamiento eficaz de ruido de suelo para interferencias susceptibles UWB: (+ + KTB NFUWBUBW).	-101	dBm/MHz	La operación efectiva del ruido a nivel del suelo para la operación del receptor IEEE 802.15.4a.
Nivel de densidad de potencia de interferencia para lograr un aumento de 3 dB en la efectiva operación del ruido IEEE 802.15.4a UWB.	-101	dBm/MHz	Para el aumento de 3 dB, Emisiones de potencia IEEE 802.16 en la banda puede estar en el mismo nivel del suelo para el efectivo funcionamiento del ruido para el receptor UWB.
Pérdida de trayecto (rango) de receptor IEEE 802.16 para UWB (promedio de los casos) para el aumento de 3 dB en el efectivo funcionamiento del ruido en el suelo.	89 (48)	dB (m)	Para el aumento de 3 dB, las emisiones de potencia en la banda IEEE 802.16 en la banda puede estar en el mismo nivel del suelo para el efectivo funcionamiento del receptor UWB.

Pérdida de trayecto (rango) de IEEE 802.16 para el receptor UWB (promedio de los casos) para el aumento de 1 dB en la efectiva operación del ruido en el suelo.	95 (75)	dB (m)	Para el aumento de 1 dB, las emisiones de banda ancha en la banda UWB debe ser de 6 dB por debajo del piso para la eficaz operación del ruido para el receptor del nodo interior IEEE 802.16.
---	---------	--------	---

**Tabla 4.2 Cálculo de niveles aceptables de emisiones de dispositivos IEEE 802.15.4a para una operación de nodo de cliente IEEE 802.16**



**Figura 4.6 Efecto sobre IEEE 802.15.4a UWB AWN como una función de las distancias de separación para dispositivos IEEE 802.16IWN(IEEE, 2007)**

#### **4.5.8.4 Ciclo de trabajo bajo UWB agrediendo un enlace WiMAX**

Estos resultados son un extracto de la contribución de Francia al comité de Comunicaciones Eléctricas.

Tercer Grupo de Tareas, sala de reuniones #15.

El impacto de UWB en el sistema FBWA (Fixed Broadband Wireless Access) es medido en el flujo (streaming) de video (observar la tabla 4.2), la cual es

considerada como servicio relevante en términos de vulnerabilidad, uso de banda ancha y restricción de tiempo.

La metodología usada es la siguiente:

- La fuerza de la señal recibida de WiMAX en equipos de bajo nivel de sensibilidad (-98dBm).
- Obtener la referencia de medida sin UWB (Dependiendo de cada caso).
- Medida de atenuación (degradation) con ciclo de trabajo bajo para emisiones UWB (para cualquier factor de actividad considerado (AF) y las distancias). Degradación en decibeles, el incremento de potencia de energía necesaria por el receptor WiMAX, para restablecer las referencias en enlaces de calidad.

Degradación (dB)		Distancia (m)			
		0.5	1	2	4
AF (Ton/Toff ms)					
2%	075/38	1	N/A	1	N/A
	5/245	0	N/A	0	N/A
	10/490	1	N/A	1	N/A
5%	2/38	2	1	0	N/A
	5/95	1	N/A	1	N/A
	10/190	0	N/A	1	N/A
10%	2/18	3	N/A	0	0
	5/45	3	2	0	0
	10/90	2	N/A	1	0.5

**Tabla 4.3 El impacto de UWB en medición de sistemas FBWA en flujos de video**

La tabla 4.4 muestra la evolución de la baja necesidad recibida del indicador de la fuerza de la señal o RSSI para lograr un confiable rendimiento de 1Mb/s con respecto a la actividad de UWB. El nivel de referencia es de -98dBm (es decir sin actividad UWB).

RSSI necesarios para alcanzar 1Mb/s de velocidad de datos (dBm)		Distancia (m)		
		0.5	2	4
AF (Ton/Toff ms)				
2%	075/38	-98 (-98)	-98 (-98)	N/A
	5/245	-98 (-98)	-98 (-98)	N/A
	10/490	-97 (-98)	-97 (-98)	N/A
5%	2/38	-98 (-98)	-98 (-98)	N/A
	5/95	-98 (-98)	-98 (-98)	N/A
	10/190	-97 (-98)	-98 (-98)	N/A
10%	2/18	-97 (-98)	-98 (-98)	N/A
	5/45	-98 (-98)	-98 (-98)	N/A
	10/90	-97 (-98)	-98 (-98)	N/A

**Tabla 4.4Bajo RSSI para lograr un confiable rendimiento de 1Mb/s**

#### 4.5.9 El estándar ECMA

En este estándar se especifican la capa física y de Control de Acceso al Medio para velocidades altas y redes inalámbricas de corto alcance, utilizando toda o parte del espectro entre 3100-10600MHz soportando velocidades a más de 480Mb/s. Así también el estándar divide el espectro en 14 bandas, cada banda de 528MHz. (Ecma, 2008).

El estándar ECMA especifica el esquema OFDM para transmitir información. Tiene un total de 110 subportadoras (sub-carries) se emplean 100 para llevar datos y 10 son resguardadas, se utilizan para las bandas de transmisión de información. Además 12 subportadoras permiten la detección coherente. La frecuencia del dominio es separada, el tiempo del dominio es separado, y el FEC (Forward Error Correction) codificado, se usan para varias las tasas de datos. EL FEC que se usa es un código convolucional con tasas de codificación de 1/3, 1/2, 5/8 y 3/4.

Los datos codificados se implementan para la propagación del TFC (Time Frequency Code). El estándar ECMA especifica tres tipos de TFC: uno donde la información codificada es intercalada en tres bandas, conocido como TFI (Time Frequency Interleaving); uno donde la información codificada es intercalada en dos bandas, referente a las dos bandas TFI o TFI2; y una donde la información codificada es transmitida en una sola banda, conocida como FFI (Fixed Frequency Interleaving). El soporte para TFI, TFI2 y FFI es obligatorio.

Dentro de los primeros cuatro y sexto grupo de bandas, cuatro TFC usan TFI y tres TFI usando cada TFI2 y FFI son definidos; por lo tanto, se provee soporte para un máximo de diez canales en cada grupo de banda. Para el quinto grupo de bandas, dos TFC usan FFI y uno se define usando TFI2. Para el grupo de la sexta banda, los canales FFI y uno de los canales TFI2 coinciden exactamente con los canales en el tercer y cuarto grupo de bandas.

Un mecanismo que facilita a cada subportadora OFDM para ser anulada. Esta, junto con la elección de las bandas de frecuencia y de TFI, TFI2 y FFI, TFC permite sustancial control sobre el uso del espectro para la transmisión de la señal, haciendo que la PHY pueda ser usada en un rango regulatorio y de coexistente radio.

Por lo que respecta a la arquitectura de la capa MAC, se muestra en la siguiente imagen 4.11, como la subcapa de la Data Link Layer en comparación con el modelo OSI. Y el servicio que se proporciona es por medio del Servicio de Punto de Acceso o MAC SAP, para un solo servicio de cliente MAC, usualmente un protocolo de capa superior o alguna capa de adaptación. Para esta norma, la subcapa MAC es representada por las direcciones de los dispositivos.

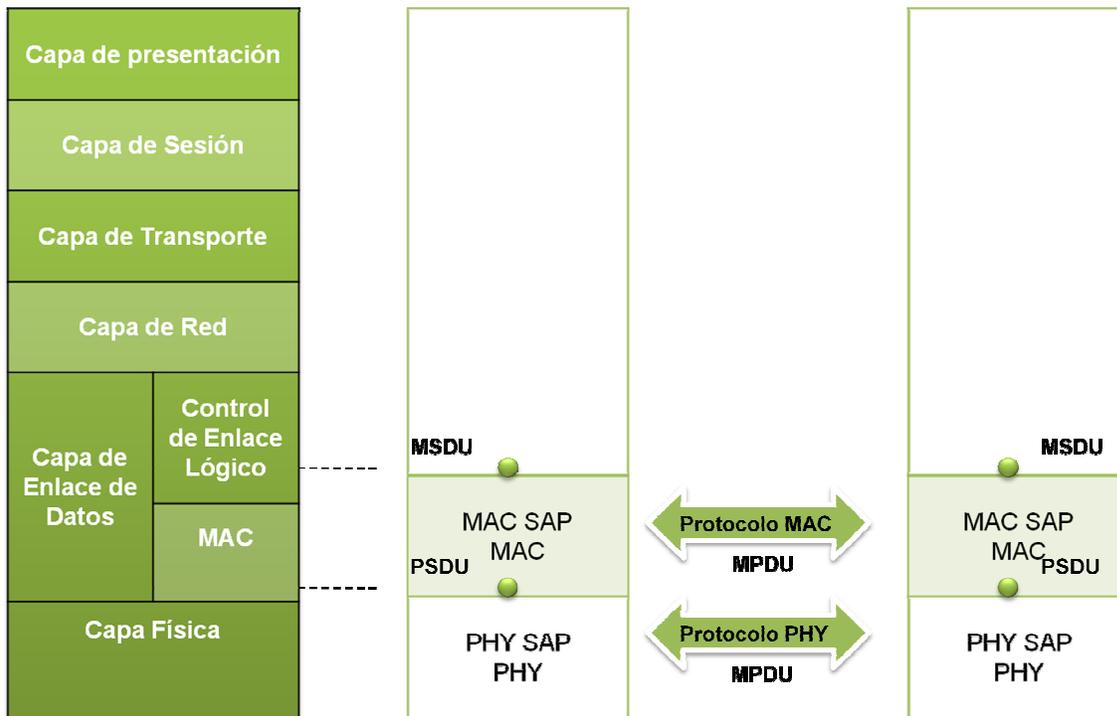


Figura 4.7 Arquitectura de modelo referencial(Ecma, 2008)

#### 4.5.9.1 Recomendaciones de los límites de emisión fuera de la banda

La Tabla 4.5 define los límites de emisión fuera de la banda cuando los límites están próximamente entre los dispositivos UWB y celulares, así como dispositivos que requieren GPS de bajo enlace. Los límites de las emisiones son especificados para potencia media y excluir posibles picos de banda estrecha en el espectro o (spurs). Los siguientes parámetros son asumidos en la derivación de los límites recomendados:

- 1.- Separación de dispositivos de 60cm.
- 2.- El ruido de 7dB para celular y 3.5dB para GPS, respectivamente.
- 3.- Se permite incrementar el ruido de 1dB para celular y 0.5dB para GPS, respectivamente.
- 4.- Antena víctima con ganancia de -3dBi.
- 5.- Libre espacio de ruta para modelo de pérdida (f equivale al límite inferior de la banda del receptor víctima).

Banda de frecuencia(MHz)	Límites de emisión recomendados (dBm/MHz)
869-894	-83,3
925-960	-82,5
1570-1581	-84,7
1805-1880	-76,8
1930-1990	-76,2
2110-2170	-75,4

**Tabla 4.5 Límites de emisión fuera de banda**

#### **4.5.9.2 El impacto de dispositivos IEEE 802.15.4a en redes ECMA 368**

##### Condicionales

- El receptor ECMA 368 es la víctima (AWN). Los operadores AWN usan frecuencia de saltos en bandas a través de bandas sin licencia UWB entre los 3.1-4.8GHz (disponible solamente en los Estados Unidos hasta este momento), pero los dispositivos IEEE 802.15.4a operan solo en la banda 3 (de manera obligatoria).
- El receptor ECMA opera en el ambiente del mundo real en la presencia de atenuación (fading) multitrayecto e interferencia, y en un margen de 5dB encima de las funciones de sensibilidad. La línea base PER tiene una sensibilidad de  $8e-2$  ( $8e-7$  a 3dB por encima de la sensibilidad) en la ausencia de cualquier efecto de dispositivo UWB, y en el (floor) ruido del receptor es de 6dB.

### 4.5.9.3 Resultados de coexistencia metodológica

La siguiente tabla 4.5 muestra el cálculo de la pérdida de trayecto admisible, que es el resultado de un nivel de emisión IEEE 802.15.4a UWB al igual que AWN la operación efectiva de ruido (floor). Basado en la pérdida de trayecto, el efecto en el AWN PER se calcula en función de la distancia de separación, como se muestra en la tabla 4.12.

Cantidad	Valor	Unidades	Notes
UWB transmisión Límite PSD (PLIM)	-41.3	dBm/MHz	Establecidos por la autoridad reguladora.
Margen medio para limitar (MBO)	1.7	dB	Debido a la onda del espectro (0,5 + dB) y ~ 1 dB de margen de tolerancia de fabricación, etc
Promedio de ganancia de la antena UWB (GUWB)	-2	dB	Promedio de ganancia de la antena pequeña, bajo costo de UWB para el receptor víctima arbitrario más de 360 °
Las emisiones medias de PSD (PLIM - MBO + GUWB)	-45	dBm/MHz	Promedio PSD visto en la dirección del receptor víctima arbitrario.
UWB víctima del ruido térmico en el suelo (KTB)	-114	dBm/MHz	Ruido térmico (temperatura ambiente)
UWB víctima NF	6	dB	Figura de ruido del receptor ECMA 368.
Diversidad de frecuencia víctima de UWB.	3	dB	EL sistema ECMA UWB utiliza la diversidad 2x en bandas de frecuencias para la codificación de cada bit como parte de su esquema de saltos de frecuencia.
Margen de operación víctima UWB (MECMA)	5	dB	El margen de operación para un rendimiento aceptable en presencia de degradación de trayectoria múltiple e interferencia RF.

IEEE 802.16 eficaz operación del ruido de suelo para susceptibilidad a las interferencias UWB: (KTB + + NFECMA368 DFD + RP)	-100	dBm/MHz	La eficaz intervención permitida en el nivel de potencia para el funcionamiento del receptor ECMA 368.
Nivel de emisiones de banda ancha UWB que se traducen en aumento de 3 dB en ECMA 368 para el efectivo funcionamiento del ruido en el suelo.	-100	dBm/MHz	Para el aumento de 3 dB, las emisiones IEEE 802.15.4a en la banda UWB pueden estar en el mismo nivel del suelo para el eficaz funcionamiento del ruido para el receptor del dispositivo AWN.
Pérdida de trayectoria (rango) de UWB para el receptor ECMA 368 (promedio de los casos) para el aumento de 3dB en el funcionamiento efectivo del ruido en el suelo.	55 (3)	dB (m)	Para el aumento de 3 dB, las emisiones de banda ancha UWB en la banda pueden estar en el mismo nivel que el piso para el efectivo funcionamiento del ruido para el receptor del dispositivo AWN.
Pérdidas de trayectoria (rango) de UWB para receptor ECMA 368 (promedio de los casos) para el aumento de 1 dB en el piso efectiva el funcionamiento del ruido.	61 (6)	dB (m)	Para el aumento de 1 dB, las emisiones de banda ancha UWB en la banda debe ser de 6 dB por debajo del piso para e eficaz funcionamiento del ruido para el receptor del nodo interior IEEE 802.16.

**Tabla 4.6 Cálculo de niveles aceptables de emisión de dispositivos IEEE 802.15.4a para un dispositivos operando ECMA 368**

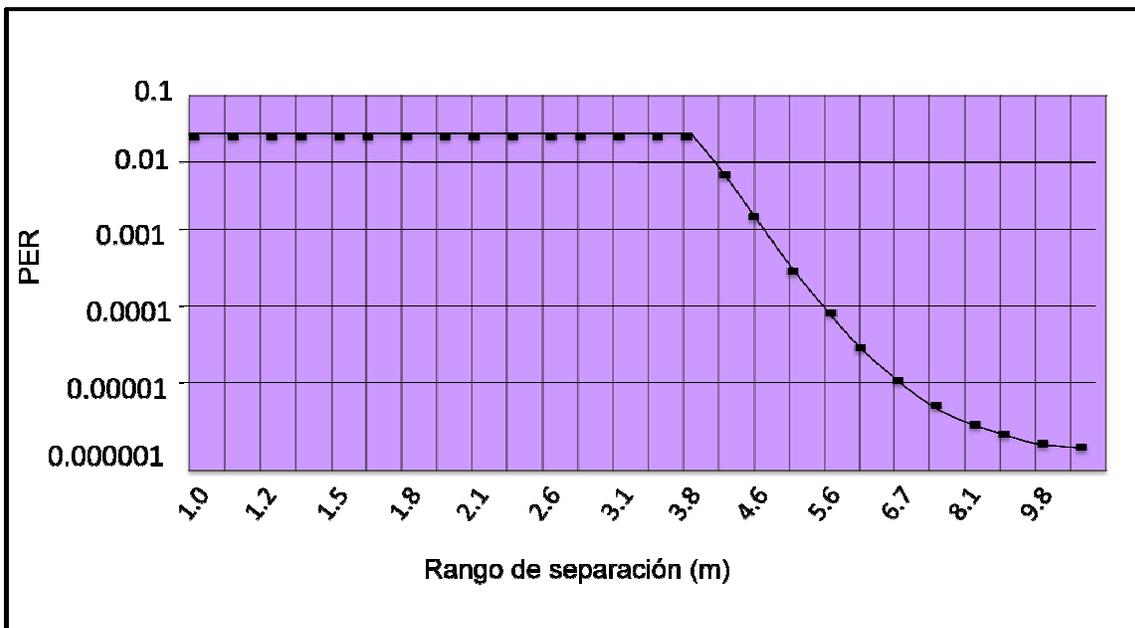


Figura 4.8 Cálculo de niveles aceptables de emisión de dispositivos IEEE 802.15.4a para un dispositivo operando ECMA 368(IEEE, 2007)

#### 4.5.10 Impacto de dispositivos IEEE 802.15.4a en redes IEEE P802.22

Basado en el proyecto válido disponible de IEEE P802.22, las condiciones de operación son generalmente similares al estándar IEEE 802.16-2004. Las consideraciones de operación primaria incluyen las siguientes especificaciones:

- Las redes IEEE P802.22 son de puntos fijos a redes multipuntos, que trabajan en banda estrecha (6-8MHz) en extenso espacio entre 54MHz y 862MHz; el nodo fijo no será susceptible a interferencias con IEEE 802.15.4a debido a la posición.
- El canal UWB PHY opera en 150MHz a 650MHz, en promedio, como mínimo a -75dBm (establecido en la regulación usando los límites actuales de la FCC), que es aproximadamente 34dB de baja potencia que la mayor banda UWB PHY (-41.3dBm).
- La interferencia de UWB es el ruido sin correlación de banda ancha desde la banda ancha es más amplio que el receptor víctima. Una interferencia de 10dB en la ganancia de la antena se supone es la anticipación que la antena IEEE P802.22 requerirá de ganancia en la dirección del nodo fijo deseado (estación base) de la señal de enlace descendiente (downlink), y suponiendo que el dispositivo UWB no bloquee directamente el LOS.

#### **4.5.10.1 Resultados de coexistencia metodológica**

En el momento de este análisis, las características de IEEE P802.22 WAN no se han definido completamente.

Asumiendo las características similares a un dispositivo IEEE 802.16 con la operación de frecuencias especificadas anteriormente, hay que tener en cuenta que la UWB PHY 150-650MHz tiene una curva de ruta similar a los 310-4800 MHz UWB PHY con la notable diferencia a lo largo de la curva de 6-8dB. Se debe tomar en cuenta que la máxima potencia radiada más baja es de 34 bB y la interferencia efectiva vista por el AWN será menor que la indicada en el caso del IEEE 802.16.

## Conclusiones

Este trabajo aborda el tema de la Tecnología Ultra WideBand, la cual se presenta como alternativa para las comunicaciones inalámbricas, ciertamente la tecnología aún se va dando a conocer en el ámbito comercial, sin embargo en años atrás, ya se aplicaba para situaciones de riesgo en los Estados Unidos donde dio origen.

A cerca de los antecedentes de la tecnología UWB, se consultaron documentos de la IEEE, así también, libros que detallan el surgimiento de Ultra WideBand, la mayoría de ellos nos proporcionó la idea de que en inicio la tecnología tuvo como principal objetivo proteger a las personas en zonas de riesgo, así como para brindar auxilio en situaciones de desastre.

Es importante señalar que se hace necesaria la consulta de las fuentes que ofrecen aportaciones de esta tecnología, puesto que se encuentra en desarrollo constante. Como es el caso del concepto de UWB, este objetivo se logró gracias ha que actualmente varias fuentes la definen dentro de las tecnologías de Banda Ultra Ancha.

Referente a explicar la tecnología Ultra WideBand, en este trabajo se mencionaron las características más relevantes de las dos capas más importantes de UWB, se abordó la capa física y la sub capa de Control de Acceso al Medio (MAC).

Por lo tanto, este trabajo de investigación ha permitido tener un panorama más claro a cerca de la tecnología UltraWideBand, de acuerdo a las nuevas aportaciones tanto de documentos de la IEEE, libros especializados y conferencias (como es el caso de la Conferencia Mundial de UWB que cada año ofrece novedades a cerca de la tecnología), para de este modo seguir de cerca los avances de UWB.

Respecto a la viabilidad de UWB, es una tecnología que va creciendo al día, y desde el punto de vista de los beneficios que puede ofrecer en el ámbito comercial es muy viable, sin olvidar que aún se realizan pruebas para buscar su posicionamiento en el mercado, así también todavía se encuentra en

regularización. Probablemente éste sea el principal indicio de que aún no haya salido al mercado comercial abiertamente.

Sin embargo, no se debe olvidar el importante hecho de que países como Canadá, con compañías como BC Hydro; una de las más grandes compañías eléctricas que brinda suministro, analicen las oportunidades de Ultra WideBand, en el ámbito del rescate, vigilancia de sus trabajadores en situaciones de riesgo y localización de servicios subterráneos. Particularmente este puede representar el principal éxito de UWB, puesto que además de su aplicación, para remplazar los cables empleados actualmente entre dispositivos y la disminución de tiempos de recepción, esta tecnología permitirá su uso en lugares inimaginables y con muy baja probabilidad de interferencia.

UWB despliega características muy propias, desde luego la principal es un ancho de banda con prominente tamaño, siendo así superior a tecnologías que actualmente podemos encontrar en el mercado.

## Bibliografía

Caballero, J. M. (1998). *Redes de banda ancha*. Barcelona, España: Marrcobo, S. A.

Carballar Falcón, J. A. (2005). *Wi-Fi: Cómo construir una red inalámbrica*. México, D. F.: Marrcobo, S. A.

Castells, M. (2004). *La era de la información*. México: Siglo Veintiuno Editores.

Coca, J. R. (21 de Abril de 2009). *www.tendencias21.net*. Recuperado el 24 de Julio de 2011, de [http://www.tendencias21.net/Llegan-las-redes-de-cuarta-generacion\\_a3190.html](http://www.tendencias21.net/Llegan-las-redes-de-cuarta-generacion_a3190.html)

Ecma, I. (Diciembre de 2008). *Ecma International*. Recuperado el 1 de Abril de 2011, de [www.ecma-international.org](http://www.ecma-international.org)

Evelio. (2010). *www.eveliux.com*. Recuperado el 20 de julio de 2011, de <http://www.eveliux.com/mx/a-la-espera-de-la-cuarta-generacion-4g-de-la-telefoniamovil.php>

Harold, D. (2004). *The Absolute Beginner's Guide to Wi-Fi Wireless Networking*. United States of America: Que.

IEEE. (2007). *Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*. New York, United States of American: LAN/MAN Standards Committee.

IEEE. (2003). *Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*. New York, United States of American: LAN/MAN Standards Committee.

LeClair, D. (2009). THE SIGNIFICANCE OF UWB TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL USERS. *IEEE International Conference on Ultra Wideband Technology* (p. 25). Vancouver, B. C.: BC hydro FOR GENERATIONS.

Ning Chen, Z. (2008). Miniaturization of Ultra-wideband Antennas. *IEEE International Conference on Ultra Wideband Technology* (p. 38). Singapur: Institute for Infocomm Research.

*Palo wireless*. (s.f.). Recuperado el 5 de Febrero de 2012, de <http://www.palowireless.com/homerf/about.asp>

Royer, L. (2012). *Wi-Fi Instlar una red inalámbrica en casa*. (A. Sanchez, Trad.) Barcelona: Eni.

Salim, H. (2009). Ultra Wideband Rules in Canada and Worldwide. *IEEE International Conference on Ultra Wideband Technology* (p. 53). Vancouver: Industry Canada.

Wang, J. (2008). *High Speed Wireless Communications*. United States of America: Cambridge University Press.

## Glosario

**ALOHA:** Canal de acceso para Ultra WideBand. En este canal los dispositivos transmiten cuando es necesario, es decir, no se toman en cuenta turnos.

**ECMA 368:** Estándar que especifica la capa física (PHY) y la subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC) para alta velocidad y corto alcance, de redes inalámbricas, utilizando toda o parte del espectro entre 3 100-10 600 MHz soportando velocidades de datos de 480Mb/s.

**Chirp:** Sonido agudo producido a través de vibraciones. El sonido es una señal en la que aumenta la frecuencia o disminuye con el tiempo.

**Home RF:** Grupo de Trabajo desarrollado en 1998, que incluía empresas como Philips, Motorola y Siemens, sin embargo en enero de 2003 se disolvió. Fue una Red Inalámbrica con especificaciones para dispositivos domésticos. (Palo wireless)

**Wi-Fi:** Wireless Fidelity, conexión inalámbrica a internet. Este término es utilizado para referenciar las comunicaciones inalámbricas entre computadoras y otros dispositivos. Wi-Fi Alliance es una organización sin fines de lucro que certifica la interoperabilidad de dispositivos inalámbricos del estándar 802.11. (Harold, 2004)

**Hot-spot:** Es un punto de acceso instalado en lugares públicos (hoteles, aeropuerto, cafés, etc). Ofrecen conexión inalámbrica de banda ancha a Internet, siempre que los usuarios dispongan de un equipo Wi-Fi y se encuentren dentro del radio de alcance del Hot Spot. (Royer, 2012)

**IS95B: Estándar de telefonía móvil basado en CDMA.** Define una opción de paquetes de alta velocidad de servicios de datos que utiliza la terminal móvil para solicitar un paquete de datos de alta velocidad de servicio de la estación base.

**Low duty cycle:** Ciclo de trabajo bajo.

**UWBST'02:** The 2002 IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies.

## Abreviaturas

AF	Activity Factor / Factor de Actividad.
AMPS	Advanced Mobile Phone System / Sistema Telefónico Móvil Avanzado.
ANSI	American National Standards Institute / Instituto Nacional de Normalización Estadounidense.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange / Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información.
AWN	Affected Wireless Network / Red Inalámbrica Afectada.
BER	Bit Error Rate / Tasa de Error de Bit (Binaria).
CCA	Clear Channel Assessment / Borrado de la Evaluación de Canal.
CDMA	Code Division Multiple Access / Acceso Múltiple por División de Código.
CDMA-CA	Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance / Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Prevención de Colisiones.
CRC	Cyclic Redundancy Check / Ciclos de Redundancia Válidos.
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance / Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Prevención de Colisiones.
CSS	Chirp Spread Spectrum / Chirrido de Espectro Ensanchado.
CSS-PHY	Chirp Spread Spectrum PHY / Chirrido de Espectro Ensanchado PHY.
DS	Direct Sequence / Secuencia Directa.
DS-UWB	Direct Sequence UWB / Secuencia Directa UWB.
ED	Energy Detection / Detección de Energía.
EDGE	Enhanced Data for GSM Evolution / Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM.

FBWA	Fixed Broadband Wireless Access / Acceso Fijo Inalámbrico de Banda Ancha.
FCC	Federal Communications Commission/ Comisión Federal de Comunicaciones.
FEC	Forward Error Correction / Corrección de Error Hacia Delante.
FFI	Fixed Frequency Interleaving / Intercalado de Frecuencia Fija.
FM-UWB	Frequency Modulation UWB / UWB Frecuencia Modulada.
GPS	Global Positioning System / Sistema de Posicionamiento Global.
GPRS	General Packet Radio Service / Servicio General de Paquetes Vía Radio.
GSM	Global System For Mobile Communications / Sistema Global para Comunicaciones Móviles.
GTS	Guaranteed Time Slot / Ranura de Tiempo Garantizado.
ICUWB	International Conference On Ultra-Wideband Technology / Conferencia Internacional en Tecnología UWB.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers / Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
IMT	International Mobile Telephony / Telefonía Móvil Internacional.
ISM	Industrial, Scientific and Medical / Industria Científica y Médica.
ITU	International Telecommunication Union / Unión Internacional de Telecomunicaciones.
IWN	Interfering Wireless Network / Interferencia en Redes Inalámbricas.
LMDS	Local Multipoint Distribution Service / Servicio Local de Distribución Multipunto.
LOS	Line Of Sight / Línea de Vista.
LQI	Link Quality Indication/ Indicador de Calidad de Enlace.
LR-WPANs	Low Rate Wireless Personal Area Network/ Baja Tasa de Redes de Área Personal.
LSB	Least Significant Bit / Bit Menos Significativo.
LTE	Long Term Evolution / Evolución a Largo Plazo.

MAC	Medium Access Control / Control de Acceso al Medio.
MB-OFDM	Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiplexación de División de Frecuencia Orthogonal de Varias Bandas.
MCPS	MAC Common Part Sublayer / Subcapa de Parte Común de Control de Acceso al Medio.
MFR	MAC Footer / Pie de Página de Control de Acceso al Medio.
MHR	MAC Header / Encabezado de Control de Acceso al Medio.
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output / Múltiple Entrada Múltiple Salida.
MLME	MAC Sublayer Management Entity / Subcapa de Entidad de Administración de Control de Acceso al Medio.
MPDU	MAC Protocol Data Unit / Protocolo de Datos Único MAC.
MSBs	Most Significant Bit / Bit Más Significativo.
NMT	Nordic Mobile Telephony / Telefonía Móvil Nórdica.
OFDMA	Orthogonal Frequency – Division Multiple Access / Multiplexación de División de Frecuencia Orthogonal de Acceso Múltiple.
PAN	Personal Area Network / Red de Área Personal.
PC	Personal Computer / Computadora Personal.
PDA	Personal Digital Assistant / Asistente Digital Personal.
PD-SAP	PHY Data Service Access Point / Punto de Acceso de Servicio de Datos.
PER	Packet Error Rate / Tasa de Error de Paquetes.
PHR	PHY Header / Encabezado de la Capa Física.
PHY	Physical Layer Protocol/ Capa Física.
PHY PIB	PHY PAN Information Base / Información Base de Redes de Área Personal PHY.
PIB	PAN Information Base / Información Base de Redes de Área Personal.
PLME-SAP	Physical Layer Management Entity Service Access Point /Entidad de Administración de Capa Física - Punto de Acceso de Servicio.
PPDU	PHY Protocol Data Unit / Protocolo de Datos Únicos de la Capa Física.
PRF	Pulse Repetition Frequency / Frecuencia de Repetición de Pulsos.

PSD	Power Spectral Density / Densidad Espectral de Potencia.
PSDU	PHY Service Data Unit / Servicio de Datos Único de Capa Física.
RF	Radio Frequency / Radio Frecuencia.
RSSI	Receive Signal Strength Indicator / Indicador de Fuerza de la Señal de Recepción.
SAP	Service Access Point / Servicio de Punto de Acceso.
SER	Symbol Error Rate / Símbolo de Tasa de Error.
SIR	Signal-To-Interference Ratio / Relación de Señal a Interferencia.
SNR	Signal-To-Noise Ratio / Relación Señal a Ruido.
SSCS	Service Specific Convergence Sublayer / Subcapa de Servicio Específico de Convergencia.
TFC	Time Frequency Code / Código de Frecuencia de Tiempo.
TFI	Time Frequency Interleaving / Intercalada Frecuencia de Tiempo.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Service / Servicio Universal de Telecomunicaciones Móviles.
U-NII	Unlicensed National Information Infrastructure / Bandas sin Licencia en Infraestructuras Nacionales de Información.
USB	Universal Serial Bus / Bus Universal en Serie.
UWB PHY	Ultra WideBand PHY / Capa Física UWB.
UWB	Ultra WideBand / Banda Ultra Ancha.
UWB-IR	Ultra-Wideband Impulse Radio / Ultra WideBand Impulso de Radio.
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access / Interoperabilidad Mundial para Accesos de Microondas.
WLAN	Wireless Local Area Network / Red Inalámbrica de Área Local.
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network / Red Inalámbrica de Área Metropolitana.
WPAN	Wireless Personal Area Network / Red Inalámbrica de Área Personal.