

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA**

**ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA UWB (ULTRA WIDE BAND) EN
REDES INALÁMBRICAS DE COMUNICACIONES**

JORGE EDUARDO VILLACRÉS ORTIZ

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2006

CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente certificamos que el señor **Jorge Eduardo Villacrés Ortiz**, ha realizado y concluido el proyecto de tesis titulado “**ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA UWB (ULTRA WIDE BAND) EN REDES INALÁMBRICAS DE COMUNICACIONES**” de acuerdo al plan de tesis previamente aprobado por el Consejo Directivo del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE.

Atentamente,

Ing. Carlos Usbeck
DIRECTOR

Ing. Rodrigo Silva
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

A Dios por sobre todas las cosas.

Mi agradecimiento a las personas que hicieron posible la realización del presente proyecto de grado, el Sr. Ing. Carlos Usbeck, por su acertada dirección, el Sr. Ing. Rodrigo Silva, por su invaluable colaboración, mi amigos, por su persistente motivación y mis padres por su incondicional apoyo.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado:

A mis padres,
que han sido en mi vida
ejemplo de entrega y honradez.

A mi hermana,
fiel albacea de mi vida.

A mis amigos, verdaderos hermanos,
que han sabido mantenerse a mi lado
en los momentos de flaqueza y grandeza.

A Dios,
ya que sin su bendición
no hubiese sido escrito una sola letra.

PRÓLOGO

La necesidad de mantener un acceso permanente a la información ha llevado a la industria a desarrollar soluciones inalámbricas que permitan al usuario mantener una vía de acceso a la información que sea versátil, rápida y segura, de donde se desarrolla la tecnología UWB para las Redes Inalámbricas de Área Local y Personal (WLAN y WPAN).

La “ Tecnología UWB (Ultra Wide Band) Ultra Banda Ancha ” que se va a estudiar es una nueva tecnología que podría revolucionar las redes inalámbricas dando como resultado mayores tasas de transmisión con ahorros significativos de potencia respecto de las opciones actuales y así obtener una reducción de costos.

El estudio de la "Tecnología Ultra Wide Band (UWB)", debido a que en el Ecuador se ha dado apertura al mercado libre de Telecomunicaciones, permitirá en nuestro país conocer tanto las fortalezas como las debilidades que presentan tecnologías recientes en mercados de Estados Unidos y Europa y establecer posibles aplicaciones considerando que en un futuro no muy lejano UWB podría ingresar de forma comercial al Ecuador, y así los usuarios tendrán mayores opciones para escoger una tecnología que satisfaga o vaya mas de acuerdo a sus necesidades de transmisión de información.

Actualmente los productos UWB en el mercado están normalizados por el estándar IEEE 802.15.3a, razón por la cual se desarrolla un estudio de las características generales del estándar, con el fin de comprender los lineamientos a seguir para la implementación del sistema.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. REDES INALÁMBRICAS	2
1.1.1. Conceptos básicos	2
1.1.2. Modos de comunicación en redes inalámbricas	4
a. Infrarrojos	4
b. Banda Angosta (Narrowband)	4
c. Espectro Extendido (Spread Spectrum)	5
c1. Espectro Extendido con salto en frecuencia (FHSS)	5
c2. Espectro Extendido en secuencia directa (DSSS)	5
c3. Espectro Extendido con salto en tiempo (THSS)	6
d. Láser	6
1.1.3. Tipos de redes inalámbricas	6
1.2. REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA LOCAL (WLAN)	6
1.2.1. Ventajas de WLAN's sobre las redes alámbricas	7
1.2.2. Los organismos de WLAN	8
a. Alianzas de Tecnología	8
b. Organizaciones de Estándares	9
c. Asociaciones de la Industria	9
1.2.3. Los Estándares de WLAN	10
a. Los Estándares IEEE 802.11x	11
b. El Estándar HiperLAN2	13
c. El Estándar 5-UP (5GHz UNIFIED PROTOCOL)	15
d. El Estándar HomeRF	15
1.2.4. La Tecnología Bluetooth en WLAN's	15
a. Orígenes	16
b. Bluetooth SIG	16

1.3.	TECNOLOGIA ULTRA WIDE BAND (UWB)	17
1.3.1.	Historia	19
1.3.2.	Estándar UWB	21
1.3.3.	Ventajas	22
1.3.4.	Aplicaciones	23
a.	Comunicaciones	23
b.	Radar	24
c.	Rastreo/Posicionamiento	24
1.4.	OTRAS TECNOLOGIAS UWB PARA REDES INALÁMBRICAS	24
1.4.1.	Estándar IEEE 802.16	25
1.4.2.	Estándar IEEE 802.20	26
1.4.3.	Tecnología WiBro	28

CAPÍTULO 2. ARQUITECTURA DE SISTEMAS UWB

2.1.	CARACTERÍSTICAS EN TIEMPO Y EN FRECUENCIA DE LAS SEÑALES UWB	30
2.1.1.	Espectro de Potencia de las Señales UWB	31
a.	Señales UWB con incertidumbre de tiempo-base fija	31
b.	Espectro de potencia para duraciones finitas y señales repetidas	37
2.1.2.	Estadística de la Señal de Banda Limitada para Sistemas con Incertidumbre de Tiempo-Base Fija	38
2.2.	SISTEMA DE RADIO UWB	42
2.2.1.	Definición Clásica	42
2.2.2.	Principales Características	43
2.2.3.	Radio UWB, Tranceptor Básico de Radio Impulsiva o Tranceptor UWB	44
2.2.4.	Monociclo Gaussiano	46
2.2.5.	Secuencia Monociclo	47
2.2.6.	Modulación	48
2.2.7.	Codificación para Canalización	49
2.2.8.	Recepción de las Transmisiones Monociclo	54
2.2.9.	Ganancia de Proceso y Resistencia a Interferencias	55
2.2.10.	Antenas	56
2.2.11.	Protocolo MAC (Media Access Control)	60

CAPÍTULO 3. NORMAS DE REGULACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS UWB

3.1.	ANTECEDENTES	62
3.2.	REVISIÓN DE LA “PART 15” DE LAS REGLAS DE LA FCC CON RESPECTO A LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ULTRA WIDE BAND	66
3.2.1.	Tratamiento regulatorio de UWB y Estándares Técnicos Apropriados	69
3.2.2.	Definiciones UWB	72
3.2.3.	Bandas de Frecuencia y Requerimientos Técnicos Operacionales para los Dispositivos UWB	73
a.	Requerimientos Técnicos para Sistemas de Proyección de Imagen que operan en Bajas Frecuencias	74
b.	Requerimientos Técnicos para Sistemas de Proyección de Imagen que operan en Frecuencias Medias	75
c.	Requerimientos Técnicos para Sistemas de Proyección de Imagen que operan en Altas Frecuencias	76
d.	Requerimientos Técnicos para Sistemas de Radar Vehicular	77
e.	Requerimientos Técnicos para Sistemas UWB de Interiores	78
f.	Requerimientos Técnicos para Sistemas UWB <i>Hand-Held</i>	79
3.3.	REGULACIONES Y ESTÁNDARES ACTUALES DE LA TECNOLOGÍA UWB EN LAS REDES INALÁMBRICAS DE COMUNICACIÓN	81
3.3.1.	Regulaciones UWB Actuales en Estados Unidos	81
3.3.2.	Regulaciones UWB Actuales en Europa	84
3.4.	PROPUESTA DE REGULACIÓN DE SISTEMAS UWB PARA REDES INALÁMBRICAS WLAN EN EL ECUADOR	86

CAPÍTULO 4. ESTUDIO COMPARATIVO CON ESTÁNDARES 802.11x, BLUETOOTH Y WiMAX

4.1.	ALTERNATIVAS INALÁMBRICAS	92
4.1.1.	Estándares 802.11x	93

4.1.2. Tecnología BLUETOOTH	96
a. Funcionamiento	96
b. Principales Características Técnicas	97
c. La Especificación Bluetooth	99
d. Topología de la Red	99
e. Enlaces de Banda Base	100
4.1.3. Tecnología WiMAX	101
4.2. COMPARACIÓN: IEEE 802.15.3a (UWB) FRENTE A IEEE 802.11x, BLUETOOTH Y WiMAX	102
4.2.1. Ventajas e Inconvenientes	107
4.2.2. Compatibilidad	112
4.2.3. Costo y Mercado	112
4.2.4. Seguridad	114
4.3. APLICACIONES Y REALIZACIONES	114

CAPÍTULO 5. DISEÑO DE UNA APLICACIÓN UWB

5.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO	118
5.1.1. Consideraciones de infraestructura	119
a. Reconocimiento del lugar	119
b. Obtención de los planos de instalaciones	119
c. Definición de las áreas de cobertura	120
5.1.2. Consideraciones a nivel de usuario por área de cobertura	120
5.2. DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA UWB <i>AD HOC</i>	123
5.2.1. Determinación del Número de Dispositivos Coordinadores	123
a. Número de usuarios por área de trabajo	124
b. Determinación del perfil del usuario en las diferentes áreas de cobertura	124
c. Número máximo de dispositivos coordinadores de una misma área de cobertura	124
d. Roaming	126
e. Escalabilidad	126
f. Atenuación por interferencia	126
5.2.2. Implementación del Sistema Inalámbrico	129

a. Etapa de Planificación	129
b. Etapa de selección del Estándar UWB	130
c. Bosquejo de la distribución de equipos UWB y cálculos considerados para el diseño de la red inalámbrica UWB	135
d. Cálculos de conectividad entre los diferentes pisos del edificio	147
e. Verificación de posibles interferencias y de cobertura	150
f. Instalación	150
g. Etapa de Entrega	151
5.3. ANÁLISIS DE COSTOS	152
5.3.1. Costos de los Elementos del Sistema 802.11b	152
5.3.2. Costos de los Elementos del Sistema 802.15.3a (UWB)	154
5.3.3. Costo Total Comparativo del Sistema	156
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	157
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161
ANEXOS	

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En los últimos años las redes inalámbricas WLAN, (Wireless Local Area Network) han ganado muchos adeptos y popularidad en mercados verticales tales como hospitales, fábricas, bodegas, tiendas de autoservicio, tiendas departamentales, pequeños negocios y áreas académicas. Las redes inalámbricas permiten a los usuarios acceder información y recursos en tiempo real sin necesidad de estar físicamente en un sólo lugar. Con WLANs la red por sí misma es móvil y elimina la necesidad de usar cables y establece nuevas aplicaciones añadiendo flexibilidad a la red y lo más importante incrementa la productividad y eficiencia en las actividades diarias de la empresa. Un usuario dentro de una red inalámbrica puede transmitir y recibir voz, datos y vídeo dentro de edificios, entre edificios o campus universitarios e inclusive sobre áreas metropolitanas a velocidades que dependen del estándar o la tecnología adoptada y de su frecuencia de operación.

Existen estándares o tecnologías para redes inalámbricas WLAN que son desarrollados por organismos reconocidos internacionalmente, tal es el caso de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Así mismo otras tecnologías para redes inalámbricas también han emergido paralelamente a las definidas por la IEEE 802.11x, tales como Bluetooth, HomeRF, la tecnología WiMAX definida por el estándar IEEE 802.16 y el estándar IEEE 802.20. También la entrada de nuevos protocolos, lenguajes y esquemas de seguridad ha sido de gran importancia en el avance de las redes inalámbricas tales como WAP (Wireless Application Protocol), WML (Wireless Markup Language), WEP (Wired Equivalent Privacy), entre otros.

El objetivo general de este proyecto de grado es realizar un estudio completo de una nueva tecnología que podría revolucionar o ha revolucionado las redes inalámbricas WLAN denominada Ultra Wide Band (UWB). Este estudio se basará en desarrollar un análisis completo de la arquitectura y funcionamiento de la tecnología UWB, de igual manera, se basa en un estudio comparativo de esta tecnología con otras tecnologías o estándares de redes inalámbricas WLAN principalmente con las IEEE 802.11x y Bluetooth que son las que se consideran sus principales rivales. En resumen, se presentará a la tecnología UWB como una nueva y buena opción para el diseño de redes inalámbricas de área local.

En el presente capítulo se hará una reseña del avance tecnológico de las redes inalámbricas WLAN, sus conceptos básicos y generalidades. Así mismo, como parte central de este capítulo, se dará una visión ampliada de las principales características de la tecnología Ultra Wide Band donde se señalará de manera general conceptos básicos, técnicas, aplicaciones y ventajas de esta tecnología; y también se realizará una revisión histórica correspondiente a los inicios de la tecnología UWB en el mundo. Finalmente, en este capítulo se hará una revisión de manera general de las características más importantes de las otras tecnologías para redes inalámbricas WLAN que fueron señaladas inicialmente.

1.1. REDES INALÁMBRICAS

1.1.1. Conceptos Básicos

En los comienzos de las redes informáticas, éstas eran fijas o estáticas. En 1969, cuando se creó la primera de esas redes de la historia (Arpanet), la red se basaba en un punto a punto fijo. Eran años en los que la venta de estaciones de trabajo PC llegó a ser la panacea de muchos vendedores de equipos que llegaron incluso a sacralizar el PC y denostar el concepto de red y su potencial. Pero hubo visionarios, como Scott McNealy, que ya hablaban a finales del siglo pasado de la importancia de la movilidad y el trabajo en red en el futuro.

La movilidad nos trae consigo el concepto de wireless, un concepto que ya IBM había experimentado hace años con su PCjr, aparato dotado de un teclado sin cable, como los que ahora están en boga, y un puerto de infrarrojos para comunicarse. Pero estaba claro que desde un nivel de conectividad a escasa distancia, la apuesta tenía que pasar a otros niveles superiores. Debía ser la superación del cable como vía de conexión para pasar a redes inalámbricas que dieran servicio a empresas, organizaciones y entornos que por su carácter de necesaria movilidad de sus agentes pudiesen ver colmadas sus expectativas de conectividad para sus redes internas y la utilización de Internet desde puntos móviles.

Expertos en el campo siguen haciendo énfasis en los problemas inherentes de las tecnologías inalámbricas, tales como las limitaciones de ancho de banda disponible, problemas con interferencia y seguridad de la información transmitida. Sin embargo, muchas de esas barreras que han inhibido el crecimiento de la tecnología inalámbrica están siendo resueltas. Se están superando las cuestiones que giraron alrededor de la estandarización y un número creciente de compañías están ofreciendo una variedad de soluciones de hardware y software.

En las redes inalámbricas hay varios conceptos que son básicos para que funcione la transmisión y la recepción de datos. En primer lugar está la frecuencia de radio, es decir, la transmisión electromagnética que se produce a una determinada frecuencia (frecuencia operativa), que en el caso de las redes Wireless-Fidelity (802.11b), por ejemplo, es de 2,4 GHz. Otro concepto básico es la modulación que no es más que el proceso por el cual la información transmitida se coloca en una onda portadora; en el caso de las redes Wireless-Fidelity, se trata de una modulación que es una variación de las utilizadas en la radio convencional AM y FM; se trata de un modo como el que se utiliza en los módems de alta velocidad y que se le ha dado el nombre de transmisión spread spectrum o espectro disperso, la frecuencia base o portadora de la transmisión salta entre un determinado número de frecuencias, al tiempo que se codifican los datos variando la amplitud y la fase de la señal (0). Otro concepto fundamental es el de la atenuación, por el cual se nos recuerda que hablando de frecuencias altas, los objetos (ladrillos, cemento, árboles...) dan un impedimento para la propagación de las ondas electromagnéticas; los dos puntos de conexión deben de estar a la vista, en línea recta. Por último, se debe mencionar las antenas y las interferencias. En cuanto a estas últimas, recordemos que los equipos de frecuencia de radio al estar en frecuencias muy cercanas son sensibles a las interferencias. Por ejemplo,

las señales de exploración espacial, pueden ser motivo de interferencia en la banda de 5 GHz. En cuanto a las antenas, estas pueden ser direccionales u omnidireccionales. Las primeras concentran la potencia en una sola dirección, horizontal o vertical. Las omnidireccionales transmiten por igual en todas las direcciones, es decir, en tres dimensiones.

1.1.2. Modos de Comunicación en Redes Inalámbricas

Dentro de las redes inalámbricas, se pueden constatar cuatro modos de comunicación:

- Infrarrojos
- Banda Angosta (Narrowband)
- Espectro Extendido (Spread Spectrum)
- Láser

a. Infrarrojos. Los sistemas de comunicación por infrarrojo utilizan muy altas frecuencias, justo abajo del espectro de la luz visible para transportar datos. Como la luz, el infrarrojo no puede penetrar objetos opacos, ya sea directamente (línea de vista) o indirectamente (tecnología difundida/reflectiva). El alto desempeño del infrarrojo directo es impráctico para usuarios móviles pero su uso es prácticamente para conectar dos redes fijas. La tecnología reflectiva no requiere línea de vista pero está limitada a cuartos individuales en zonas relativamente cercanas.

b. Banda Angosta (Narrowband). Un sistema de radio de banda angosta transmite y recibe información en una radio frecuencia específica. La banda amplia mantiene la frecuencia de la señal de radio tan angostamente posible para pasar la información. El cruzamiento no deseado entre canales es evitado al coordinar cuidadosamente diferentes usuarios en diferente canal de frecuencia. En un sistema de radio la privacidad y la no-interferencia se incrementan por el uso de frecuencias separadas de radio. El radio receptor filtra todas aquellas frecuencias que no son de su competencia. La desventaja de esta tecnología es el uso amplio de frecuencias, uno para cada usuario, lo cual es impráctico si se tienen muchos.

c. Espectro Extendido (Spread Spectrum). La gran mayoría de los sistemas inalámbricos emplean la tecnología de Espectro Extendido (Spread Spectrum), una tecnología de banda amplia desarrollada por los militares estadounidenses que provee comunicaciones seguras, confiables y de misión crítica. La tecnología de Espectro Extendido está diseñada para intercambiar eficiencia en ancho de banda por confiabilidad, integridad y seguridad. Es decir, más ancho de banda es consumida con respecto al caso de la transmisión en banda angosta, pero el ‘trueque’ [ancho de banda/potencia] produce una señal que es en efecto más fuerte y así más fácil de detectar por el receptor que conoce los parámetros de la señal de espectro extendido que está siendo difundida. Si el receptor no está sintonizado a la frecuencia correcta, una señal de espectro extendido se miraría como ruido en el fondo. Otra característica del espectro disperso es la *reducción de interferencia* entre la señal procesada y otras señales no esenciales o ajenas al sistema de comunicación.

Existen tres tipos de señales de Espectro Extendido: Salto en Frecuencia (Frequency Hopping, FH), Secuencia Directa (Direct Sequence, DS) y Salto en tiempo (Time Hopping, TH).

c.1. Espectro extendido con salto en frecuencia (FHSS). FHSS utiliza una portadora de banda angosta que cambia la frecuencia en un patrón conocido tanto por el transmisor como por el receptor. Tanto receptor como receptor están debidamente sincronizados comunicándose por un canal que está cambiado a cada momento en frecuencia. FHSS es utilizado para distancias cortas, en aplicaciones por lo general punto a multipunto, donde se tienen una cantidad de receptores diseminados en un área relativamente cercana al punto de acceso.

c.2. Espectro extendido en secuencia directa (DSSS). DSSS genera un patrón de bits redundante para cada bit que sea transmitido. Este patrón de bit es llamado código chip. Entre más grande sea este chip, es más grande la probabilidad de que los datos originales puedan ser recuperados (pero, por supuesto se requerirá más ancho de banda). Más sin embargo si uno o mas bits son dañados durante la transmisión, técnicas estadísticas embebidas dentro del radio transmisor podrán recuperar la señal original sin necesidad de retransmisión. DSSS se utilizará comúnmente en aplicaciones punto a punto.

c.3. Espectro extendido con salto en tiempo (THSS). En THSS la portadora es pulsada con un ciclo de trabajo pequeño y su período es controlado por una secuencia codificada. El código es generado por un generador pseudoaleatorio. El código dicta la posición relativa del pulso dentro del período.

d. Láser. Por último existe también el láser, que ofrece enlaces a alta velocidad (hasta 16 Mbps) pero que está poco implementada porque no soporta condiciones atmosféricas malas (rayos, nieblas, etc.), es caro y necesita también visión directa punto a punto.

1.1.3. Tipos de Redes Inalámbricas

Al igual que las redes tradicionales alámbricas vamos a clasificar a las redes inalámbricas en tres categorías:

- WAN/MAN (Wide Area Network/Metropolitan Area Network)
- LAN (Local Area Network)
- PAN (Personal Area Network)

En la primera categoría WAN/MAN, pondremos a las redes que cubren desde decenas hasta miles de kilómetros, por ejemplo, la telefonía celular analógica y digital, radio enlaces terrestres con microondas, comunicaciones por satélite, WLL (Wireless Local Loop), entre otras. En la segunda categoría LAN, pondremos las redes que comprenden de varios metros hasta decenas de metros (IEEE 802.11x, HiperLAN/2, entre otras). Y en la última y nueva categoría PAN, pondremos a las redes que comprenden desde metros hasta 30 metros (Bluetooth, IEEE 802.15, HomeRF), esta nueva categoría así como sus estándares y tecnologías se la considera como parte o dentro del análisis y estudio de las redes inalámbricas LAN.

1.2. REDES INALAMBRICAS DE AREA LOCAL (WLAN)

En sus inicios, las aplicaciones de las redes inalámbricas fueron confinadas a industrias y grandes almacenes. Hoy en día, las redes WLAN's son instaladas en universidades, oficinas, hogares y hasta en espacios públicos. Las WLAN's típicamente

consisten de computadoras portátiles [o de escritorio] que se conectan a dispositivos fijos llamados "puntos de acceso" (access points) vía señales de radio o infrarrojo. Las implementaciones de las WLANs abarcan todas las modalidades posibles desde las PANs (Personal Area Networks), MANs (Metropolitan Area Network)... hasta las WANs (Wide Area Networks). Las PAN's son redes inalámbricas de corto alcance, generalmente para uso en interiores a pocos metros. Mientras que las redes inalámbricas tipo WAN y MAN consisten de torres y antenas que transmiten ondas de radio o usan tecnología de microondas para conectar redes de área local, utilizando enlaces punto-punto y punto-multipunto.

1.2.1. Ventajas de WLAN's sobre las Redes Alámbricas

Muchos de los fabricantes de computadoras y equipos de comunicaciones como PDAs (Personal Digital Assistants), módems, microprocesadores inalámbricos, lectores de punto de venta y otros dispositivos están introduciendo aplicaciones en soporte a las comunicaciones inalámbricas. Las nuevas posibilidades que ofrecen las WLAN's son permitir una fácil incorporación de nuevos usuarios a la red, ofrecen una alternativa de bajo costo a los sistemas cableados, además de la posibilidad *ubicua* para acceder cualquier base de datos o cualquier aplicación localizada dentro de la red. A continuación se resumen algunas de estas ventajas de las WLAN's, concernientes a productividad, conveniencia y costo, en comparación con las redes alámbricas.

Movilidad: Las redes inalámbricas pueden proveer a los usuarios de una LAN acceso a la información en tiempo real en cualquier lugar dentro de la organización. Esta movilidad incluye oportunidades de productividad y servicio que no es posible con una red alámbrica.

Simplicidad y rapidez en la instalación: La instalación de una red inalámbrica puede ser tan rápida y fácil y además que puede eliminar la posibilidad de tirar cable a través de paredes y techos.

Flexibilidad en la instalación: La tecnología inalámbrica permite a la red ir donde la alámbrica no puede ir.

Costo de propiedad reducido: Mientras que la inversión inicial requerida para una red inalámbrica puede ser más alta que el costo en *hardware* de una LAN alámbrica, la inversión de toda la instalación y el costo del ciclo de vida puede ser significativamente inferior. Los beneficios y costos a largo plazo son superiores en ambientes dinámicos que requieran acciones y movimientos frecuentes.

Escalabilidad: Los sistemas de WLAN's pueden ser configurados en una variedad de topología para satisfacer las necesidades de las instalaciones y aplicaciones específicas. Las configuraciones son muy fáciles de cambiar y además es muy fácil la incorporación de nuevos usuarios a la red.

Otra atracción importante de los productos WLAN es la **interoperabilidad**. Gracias al desarrollo de estándares, pueden mezclarse dispositivos inalámbricos de diversos fabricantes haciendo un acceso más directo y transparente con la tecnología.

1.2.2. Los Organismos de WLAN

Debido al gran crecimiento de las redes inalámbricas han surgido nuevas organizaciones en esta industria tales como alianzas, consorcios y forums, las cuales se encargan de proponer estándares y definir nuevas tecnologías. Se pueden dividir estas organizaciones en tres categorías:

- Alianzas de tecnología
- Organizaciones de estándares; y,
- Asociaciones de la industria

a. Alianzas de Tecnología. Típicamente, una alianza de tecnología está formada para introducir al mercado una tecnología o protocolo específico y proveer interoperabilidad y certificación de productos de diferentes compañías que utilizan esa tecnología o protocolo. Ejemplos de este tipo de organizaciones están las siguientes:

- **Bluetooth SIG:** basado en la especificación *BluetoothTM* especificación que utiliza la tecnología de radio para proveer conectividad a Internet a bajo costo a computadoras portátiles, teléfonos móviles u otros dispositivos portátiles.

- **HiperLAN1, HiperLAN Alliance e HiperLAN2 Global Forum:** organizaciones europeas que utilizan enlaces de radio de alto desempeño a frecuencias en el rango de 5 GHz.
- **HomeRF:** Basada en una especificación para comunicaciones inalámbricas en hogares conocida por sus siglas en inglés SWAP (Shared Wireless Access Protocol). El HRFWG (HomeRF Working Group) fue fundado para proveer los cimientos para un amplio rango de dispositivos al establecer una especificación abierta a la industria para comunicaciones digitales inalámbricas entre PCs y dispositivos domésticos alrededor de los hogares.
- **OFDM:** Esta organización está basada básicamente en una tecnología patentada conocida como W-OFDM (Wide-band Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- **WLI forum:** WLIF (Wireless LAN Interoperability Forum) estableció un estándar interoperable en 1996 conocido como OpenAir, el estándar está disponible a cualquier compañía que se une al Forum. OpenAir es una tecnología de espectro extendido con salto en frecuencia a 2.4 GHz
- **WECA:** La misión de la WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) es certificar la interoperabilidad del estándar conocido como Wi-Fi™ que es una versión de alta velocidad del estándar 802.11b de la IEEE.

b. Organizaciones de Estándares. Este tipo de organizaciones crean, definen y proponen estándares internacionales oficiales abiertos a la industria a través de un proceso abierto a todas las compañías. Ejemplos de estas organizaciones:

- La IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers); y,
- La ETSI (European Telecommunications Standards Institute)

c. Asociaciones de la Industria

Estas organizaciones son creadas para promover el crecimiento de la industria a través de educación y promoción, proveyendo información objetiva sobre la industria en

general, tecnologías, tendencias, organizaciones, oportunidades independientemente de la tecnología. La organización más importante en esta categoría es la WLANA (Wireless LAN Association) cuya misión es ayudar y fomentar el crecimiento de la industria a través de la educación que puede ser caracterizada por asociaciones industriales y comerciales.

Organizaciones como éstas promueven la competencia y avances tecnológicos lo cual significa mejores soluciones para los usuarios de redes inalámbricas e incrementar el crecimiento de la industria. La fuerza del mercado decidirá el valor de cada organización.

1.2.3. Los Estándares de WLAN

Los estándares son desarrollados por organismos reconocidos internacionalmente, tal es el caso de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) y la ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Una vez desarrollados se convierten en la base de los fabricantes para desarrollar sus productos.

Entre los principales estándares se encuentran:

- **IEEE 802.11:** El estándar original de WLANs que soporta velocidades entre 1 y 2 Mbps.
- **IEEE 802.11a:** El estándar de alta velocidad que soporta velocidades de hasta 54Mbps en la banda de 5GHz.
- **IEEE 802.11b:** El estándar dominante de WLAN (conocido también como Wi-Fi) que soporta velocidades de hasta 11 Mbps en la banda de 2.4GHz.
- **IEEE 802.11g:** Este estándar está basado en el IEEE 802.11a por tanto soporta velocidades de hasta 54Mbps en la banda de 5GHz.
- **HiperLAN2:** Estándar que compite con IEEE 802.11a al soportar velocidades de hasta 54 Mbps en la banda de 5GHz.
- **HomeRF:** Estándar que compite con el IEEE 802.11b que soporta velocidades de hasta 10 Mbps en la banda de 2.4 GHz.

Estándar	Velocidad máxima	Interfaz de aire	Ancho de banda de canal	Frecuencia	Disponibilidad
802.11	2 Mbps	FHSS/DSSS	25 MHz	2.4 GHz	Ahora
802.11b	11 Mbps	DSSS	25 MHz	2.4 GHz	Ahora
802.11a	54 Mbps	OFDM	25 MHz	5.0 GHz	Ahora
802.11g	54 Mbps	OFDM/DSSS	25 MHz	5.0 GHz	Ahora
HomeRF	10 Mbps	FHSS	5 MHz	2.4 GHz	Ahora
HiperLAN2	54 Mbps	OFDM	25 MHz	5.0 GHz	Ahora
5-UP	108 Mbps	OFDM	50 MHz	5.0 GHz	Ahora

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum

5-UP: 5-GHz Unified Protocol (5-UP), Protocolo Unificado de 5 GHz propuesto por Atheros Communications

TABLA. 1.1. Principales estándares WLAN

a. Los Estándares IEEE 802.11x. Fue en febrero de 1980 cuando la IEEE inició un proyecto de estandarización para LANs o redes locales. Al proyecto se le puso un nombre numérico: 802. Como este estándar se desarrolló a la par del ISO, se pudo compartir información con lo que la complementariedad entre los dos modelos fue una realidad.

Como es lógico, las especificaciones 802 vienen a establecer el modo por el cual las tarjetas de red acceden y transmiten datos por el medio físico, es decir, cómo se conectan los equipos, el mantenimiento de la red y la desconexión de los dispositivos de red. Se trata pues, de los estándares de red que se debían utilizar para la implementación de los componentes físicos de las redes, para la tarjeta de red y para el cable, todo ello imprescindible en la conformación del nivel físico y de enlace del modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnections / Interconexión de Sistemas Abiertos) de la ISO. Recordemos que este último modelo OSI tiene el nombre técnico de ISO 7498 y fue definido en 1978.

Dentro del estándar de red 802 se definen 12 categorías que tienen también una ónoma numérica. Así, la primera es la 802.1, dedicada a Internetworking, mientras que la penúltima es la que corresponde a las redes sin hilos o redes inalámbricas. Es pues esa categoría la que se convirtió en el primer estándar LAN sin cable. La IEEE 802.11 utiliza

los mismos protocolos de conexión que Ethernet, pero dejando a un lado el cable. La 802.11 utiliza las ondas de radio ISM (Industrial, Scientific and Medical). Estas bandas ISM están sujetas a todo tipo de interferencia de aparatos.

En el año 1997, el IEEE publicó el estándar 802.11 para las redes de tamaño pequeño, también conocidas por Ethernet, pero en esta ocasión dando a conocer las normas para que las transmisiones de paquetes (tramas) que transportan otros protocolos de más alto nivel fuera realizada por un medio físico etéreo (ondas de radiofrecuencia) en vez de por cables.

El gran éxito de las WLANs es que utilizan frecuencias de uso libre, es decir, no es necesario pedir autorización o algún permiso para utilizarlas. Aunque hay que tener en mente, que la normatividad acerca de la administración del espectro varía de país a país. La desventaja de utilizar este tipo de bandas de frecuencias es que las comunicaciones son propensas a interferencias y errores de transmisión. Estos errores ocasionan que sean reenviados una y otra vez los paquetes de información. Una razón de error del 50% ocasiona que se reduzca el caudal eficaz real (throughput) dos terceras partes aproximadamente. Por eso la velocidad máxima especificada teóricamente no es tal en la realidad. Si la especificación IEEE 802.11b nos dice que la velocidad máxima es 11 Mbps, entonces el máximo caudal eficaz será aproximadamente 6 Mbps y menos.

Para reducir errores, el 802.11a y el 802.11b automáticamente reducen la velocidad de información de la capa física. Así por ejemplo, el 802.11b tiene tres velocidades de información (5.5, 2 y 1 Mbps) y el 802.11a tiene 7 (48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6 Mbps). La velocidad máxima permisible [ver tabla 1.1.] sólo es disponible en un ambiente libre de interferencia y a muy corta distancia. La transmisión a mayor velocidad del 802.11a no es la única ventaja con respecto al 802.11b. También utiliza un intervalo de frecuencia más alto de 5 GHz, esta banda es más ancha y menos atestada que la banda de 2.4 GHz que el 802.11b comparte con teléfonos inalámbricos, hornos de microondas, dispositivos Bluetooth, etc. Una banda más ancha significa que más canales de radio pueden coexistir sin interferencia.

Sin bien, la banda de 5 GHz tiene muchas ventajas, también tiene sus problemas; las diferentes frecuencias que utilizan ambos sistemas significa que los productos basados

en 802.11a son no interoperables con los 802.11b. Esto significa que aunque no se interfieran entre sí, por estar en diferentes bandas de frecuencias, los dispositivos no pueden comunicarse entre ellos. Para evitar esto, la IEEE desarrolló un nuevo estándar conocido como 802.11g, el cual extenderá la velocidad y el intervalo de frecuencias del 802.11b para así hacerlo totalmente compatible con los sistemas anteriores. Sin embargo, no será más rápido que el estándar 802.11a y según políticas de los fabricantes han retardado el estándar 802.11g y se espera que sea ratificado hasta finales del 2003. La demora en la ratificación del 802.11g ha obligado a muchos fabricantes irse directamente por el 802.11a donde existe una gran variedad de fabricantes de chips [circuitos integrados] tales como Atheros, National Semiconductor, Resonext, Envara, inclusive Cisco Systems quien adquirió a Radiata, la primer compañía en desarrollar un prototipo en 802.11a en el 2000.

La velocidad real en las WLAN's está muy abajo que la especificada por las normas, ya que esta depende de diversos factores tales como el ambiente de interferencia, la distancia o área de cobertura, la potencia de transmisión, el tipo de modulación empleada, etc. La mayoría de las redes 802.11b pueden alcanzar oficialmente distancias hasta 100 metros en interiores. Con una mayor potencia se puede extender esa longitud, aunque en interiores al limitarse la potencia de transmisión, paredes y otros objetos pueden interferir la señal. En la realidad una WLAN en ambientes exteriores en comunicación punto a punto pueden alcanzar varios kilómetros, mientras exista línea de vista y libre de interferencia. Bajo este esquema se utiliza el método conocido como DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) para transmitir datos entre los dos puntos. La comunicación se establece conectando en un lado un equipo conocido como Wireless Bridge [puente inalámbrico] y en el otro extremo un Access Point [punto de acceso], ambos equipos conectados directamente a una antena de espectro disperso. La salida de estos equipos hacia la red local viene en ETHERNET con interface RJ45 por lo que se puede conectar directamente un concentrador [hub] o un conmutador de paquetes [switch], en donde se conectarán las computadoras de nuestra red.

b. El Estándar HiperLAN2. Por otro lado el foro global HiperLAN2 definió una especificación que opera en la banda de 5 GHz y que permite la transferencia de datos de hasta 54 Mbps que utiliza una técnica de modulación conocida como OFDM (Orthogonal Digital Multiplexing) para transmitir señales analógicas. OFDM es muy eficiente en

ambientes dispersos en el tiempo, como oficinas, donde las señales de radio son reflejadas desde muchos puntos, donde la señal llega a diferentes tiempos de propagación antes de que llegue al receptor. Debido a que HiperLAN es orientado a conexión posee características de Calidad de Servicio (QoS). El soporte de QoS en combinación con las altas velocidades de HiperLAN facilita la transmisión de diferentes tipos de ráfagas de datos como vídeo, voz y datos.

Ambas especificaciones, la 802.11a (IEEE) y la HiperLAN2 (ETSI) son para WLANs de alta velocidad que operan en el intervalo de frecuencias de 5.15 a 5.35 GHz. Hasta el momento, no hay productos que se estén vendiendo bajo esas nuevas especificaciones. El radioespectro asignado para el 802.11a y el HiperLAN2 es dividido en 8 segmentos o canales de 20 MHz cada uno. Cada canal soporta un cierto número de dispositivos; dispositivos individuales pueden transitar a través de segmentos de red como si fueran teléfonos móviles de una estación a otra. Este espectro de 20 MHz para un segmento de red soporta 54 Mbps de caudal eficaz compartido entre los dispositivos en el segmento en un tiempo dado.

Característica	802.11	802.11b	802.11^a	HiperLAN2
Espectro	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	5 GHz
Máxima tasa de transmisión	2 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Conexión	No-orientado a conexión	No-orientado a conexión	No-orientado a conexión	Orientado a conexión
Encriptación	RC4 de 40 bits	RC4 de 40 bits	RC4 de 40 bits	DES, 3DES
Multicast	Si	Si	Si	Si
Soporte de redes fijas	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet, IP, ATM, UMTS, FireWire, PPP
Selección de frecuencias	FHSS o DSSS	DSSS	portadora única	portadora única con selección dinámica de frecuencias
<i>FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum</i> <i>DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum</i> <i>ATM: Asynchronous Transfer Mode</i> <i>IP: Internet Protocol</i> <i>DES: Data Encryption Standard</i> <i>UMTS: Universal Mobile Telephone Service</i> <i>PPP: Point-Point Protocol</i>				

TABLA. 1.2. Comparación entre los estándares IEEE 802.11x y el estándar HiperLAN2

c. El Estándar 5-UP (5GHz UNIFIED PROTOCOL). Como otro intento de permitir la interoperabilidad entre los dispositivos de bajas y altas velocidades, la compañía Atheros Communications, Inc. propuso unas mejoras a los estándares de WLANs de la IEEE y la ETSI. Este nuevo estándar conocido como 5-UP (5 GHz Unified Protocol) permitirá la comunicación entre dispositivos mediante un protocolo unificado a velocidades de hasta 108 Mbps. Las principales características de este estándar se puede observar en la tabla 1.1.

d. El Estándar HomeRF. HomeRF es otra organización que ha desarrollado sus propios estándares para entrar de lleno al mundo de las redes inalámbricas. HomeRF ha sido desarrollado por el grupo de trabajo Home Radio Frequency, el cual está conformado por más de 50 compañías líderes en el ámbito mundial en las áreas de redes, periféricos, comunicaciones, software, semiconductores, etc. Este grupo fue fundado en marzo de 1988 para promover de manera masiva dispositivos de voz, datos y vídeo alrededor de los hogares de manera inalámbrica. En el otoño del 2001, se anunció la formación un grupo de trabajo europeo de HomeRF enfocado hacia el mercado europeo. HomeRF es la tecnología que compite directamente con los productos de la IEEE 802.11b y Bluetooth en la banda de 2.4 GHz. La velocidad máxima de HomeRF es 10 Mbps, ideal para las aplicaciones caseras, aunque se manejan otras velocidades de 5, 1.6 y 0.8 Mbps. Según el grupo de trabajo, HomeRF es más ofrece más seguridad, los dispositivos consumen menos potencia que los productos de las tecnologías contrincantes, además de permitir aplicaciones para telefonía y vídeo.

1.2.4. La Tecnología Bluetooth en WLAN's

Bluetooth es una tecnología utilizada para conectividad inalámbrica de corto alcance entre dispositivos tales como PDAs (Personal Digital Assistance), teléfonos celulares, teclados, máquinas de fax, computadoras de escritorio y portátiles, módems, proyectores, impresoras, etc. El principal mercado es la transferencia de datos y voz entre dispositivos y computadoras personales. El enfoque de Bluetooth es similar a la tecnología de infrarrojo conocida como IrDA (Infrared Data Association). Sin embargo, Bluetooth, es una tecnología de radiofrecuencia (RF) que utiliza la banda de espectro disperso de 2.4 GHz. La banda de operación está dividida en canales de 1 MHz, a 1 megasímbolo por segundo puede obtenerse al ancho de banda máximo por canal. Con el esquema de

modulación empleado, GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying), esto equivale a 1 Mbps. Muchas veces también se le confunde con el estándar IEEE 802.11, otra tecnología de RF de corto alcance. IEEE 802.11 ofrece más caudal eficaz pero necesita más potencia de transmisión y ofrece menos opciones de conectividad que Bluetooth para el caso de aplicaciones de voz.

Bluetooth intenta proveer significantes ventajas sobre otras tecnologías inalámbricas similares tales como IrDA, IEEE 802.11 y HomeRF, claros competidores en conexiones PC a periféricos. IrDA es una tecnología muy popular para conectar periféricos, pero es limitada severamente a conexiones de cortas distancias en rangos de un metro por la línea de vista requerida para la comunicación. Debido a que Bluetooth funciona con RF no está sujeto a tales limitaciones. La distancia de conexión en Bluetooth puede ser de hasta 10 metros o más dependiendo del incremento de la potencia del transmisor, pero los dispositivos no necesitan estar en línea de vista ya que las señales de RF pueden atravesar paredes y otros objetos no metálicos sin ningún problema. Bluetooth puede ser usado para aplicaciones en redes residenciales o en pequeñas oficinas.

a. Orígenes. La versión 1.0 de la especificación Bluetooth fue liberada en 1999, pero el desarrollo de esta tecnología empezó realmente 5 años atrás, en 1994, cuando la compañía Ericsson empezó a estudiar alternativas para comunicar los teléfonos celulares con otros dispositivos. El estudio demostró que el uso de enlaces de radio sería el más adecuado, ya que no es directivo y no necesita línea de vista; eran tan obvias estas ventajas con respecto a los enlaces vía infrarrojo que son utilizados para conectar dispositivos y teléfonos celulares. Existían muchos requerimientos para el estudio, los cuales incluían la manipulación tanto de voz como de datos, de tal manera se podrían conectar teléfonos a dispositivos de cómputo. Así es como nace la especificación de la tecnología inalámbrica conocida como Bluetooth. El origen del nombre de esta tecnología proviene de un Vikingo de origen Danés Harald Blatand (Bluetooth) quien en el siglo décimo unificó Dinamarca y Noruega. El nombre fue adoptado por Ericsson, quien espera que Bluetooth unifique las telecomunicaciones y la industria del cómputo.

b. Bluetooth SIG. El Bluetooth SIG (Special Interest Group) es un grupo de compañías trabajando juntas para promover y definir la especificación Bluetooth. Bluetooth SIG fue fundado en Febrero de 1998 por las siguientes compañías: Ericsson, Intel, IBM, Toshiba y

Nokia. En Mayo de 1998, se anuncia públicamente el Bluetooth SIG y se invita a otras compañías para que se unan a éste. Fue en julio de 1999 cuando el SIG publica la versión 1.0 de la especificación de Bluetooth. En diciembre de 1999, se unen otras compañías tales como Microsoft, Lucent, 3com y Motorola.

Durante la última semana del mes de marzo del 2002 la IEEE aprobó finalmente el estándar IEEE 802.15.1 compatible totalmente con la tecnología Bluetooth v1.1. En este estándar se definen las especificaciones de la capa física y MAC (Medium Access Control) para las redes WLANs. El nuevo estándar permitirá una mayor validez y soporte en el mercado de las especificaciones de Bluetooth, además es un recurso adicional para aquellos que implementen dispositivos basados en esta tecnología. Anteriormente a la estandarización, dispositivos Bluetooth no podían coexistir con los dispositivos basados en IEEE 802.11b debido a que ambos se interferían entre sí. Otro esfuerzo importante para buscar la interoperabilidad entre los dos sistemas lo están haciendo la compañía Intersil Corp. fabricante de chips para el protocolo IEEE 802.11b (Wi-Fi) y la compañía Silicon Wave Inc. fabricante de sistemas de radio de Bluetooth. Este esfuerzo entre Wi-Fi y Bluetooth es conocido como Blue802 y permitirá la operación simultánea de estos dos protocolos inalámbricos. La tecnología Blue802 fue demostrada con éxito en el pasado evento Networld+Interop 2002 en las Vegas.

1.3. TECNOLOGIA ULTRA WIDE BAND (UWB)

La tecnología Ultra Wideband es una tecnología inalámbrica revolucionaria para transmitir datos digitales sobre un ancho espectro de frecuencias y con muy baja potencia, es decir, el concepto básico de ultra wideband es desarrollar, transmitir y recibir cortos y estrechos pulsos de energía de radio frecuencia (RF), utilizando una amplia extensión del espectro radioeléctrico.

UWB puede transmitir datos a tasas de transmisión muy altas y de manera segura, principalmente para aplicaciones en WLANs. Dentro del límite de poder permitido por las regulaciones actuales de la FCC (Federal Communication Commission), Ultra Wideband puede llevar no sólo cantidades grandes de datos sobre una distancia corta y con muy baja potencia, también tiene la habilidad de transportar señales a través de puertas, paredes y

otros obstáculos que tienden a reflejar señales con anchos de banda más limitados y que utilizan mayor potencia. A niveles de poder más altos, las señales UWB pueden viajar a rangos significativamente mayores.

Como se mencionó anteriormente, la tecnología UWB usa una faja amplia del espectro radioeléctrico, pero en miles o millones de pulsos de emisiones de bajo poder por segundo; en cambio, la mayoría de las otras tecnologías de radio operan dentro de frecuencias pequeñas que son asignadas a usuarios y propósitos específicos para reducir la interferencia.

Los actuales equipos inalámbricos usan las ondas de radio para enviar señales, las cuales son dificultadas por un ancho de banda limitado y por la interferencia de otras ondas en un espectro de radio crecientemente saturado. La tecnología UWB o el radio UWB, en lugar de trabajar con ondas senoidales tradicionales, opera enviando pulsos de datos en un formato binario (pulsos digitales) a través de un espectro de radio mucho más amplio, lo cual hace que estos pulsos no estén atados a una frecuencia específica y no pueden interferir con otros equipos inalámbricos tan fácilmente y por ende incrementan el ancho de banda disponible. Deben coordinarse transmisor y receptor al enviar y recibir pulsos con una exactitud en 10^{-12} de segundo.

La tecnología Ultra Wideband no ha dejado de despertar controversias pues se sostiene que las señales son tan poderosas que podrían interferir con otras operaciones inalámbricas como las GPS (Global Positioning System) que se utiliza en la mayoría de los sistemas de navegación y en aplicaciones de los militares. Desde 1998 se han establecido restricciones para la liberalización comercial de la tecnología UWB. La autorización de la FCC permite el uso de la tecnología UWB en la frecuencia sobre los 3.1GHz, uniéndose a las transmisiones de otros sistemas inalámbricos como el 802.11. La FCC impuso severas restricciones a los equipos UWB que operan en frecuencias inferiores a los 960 MHz, sólo los sistemas de radar que penetran el subsuelo utilizados en la minería, por entidades de seguridad pública o para investigación científica, pueden operar en estos segmentos de la frecuencia. Limitaciones diseñadas para reducir los riesgos de interferencia.

1.3.1. Historia

El origen de la tecnología Ultra Wideband proviene gracias al trabajo en lo que se refiere al electromagnetismo en el dominio del tiempo (tiempo - dominio) iniciado en 1962 para realizar una descripción completa del comportamiento transitorio de cierta clase de redes de microondas a través de su respuesta característica del impulso (Ross 1963, 1966). El concepto era de hecho bastante simple. En lugar de caracterizar un sistema lineal de tiempo - invariante (LTI) por los medios mas convencionales, esto es, por una respuesta a una frecuencia establecida (es decir, las medidas de amplitud y fase vs. frecuencia), un sistema LTI podría ser alternativamente caracterizado de una forma completa por su respuesta a una excitación impulsiva, esta respuesta del impulso es llamada $h(t)$. En detalle, la salida $y(t)$ de tal sistema a cualquier entrada arbitraria $x(t)$ podría ser únicamente determinada por la conocida convolución integral

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(u)x(t-u)du$$

Sin embargo, no fue hasta el apareamiento del osciloscopio de muestreo (Hewlett - Packard c. 1962) y del desarrollo de las técnicas para la generación del pulso subnanosegundo (banda base) para proporcionar aproximaciones convenientes a una excitación del impulso, que la respuesta del impulso de las redes de microondas pudo ser directamente observada y medida.

Una vez que las técnicas para la medida del impulso fueron aplicadas al diseño de la banda ancha y en el diseño de elementos de la antena de radiación (Ross 1968), prontamente llego a ser obvio que el radar de pulso corto y los sistemas de comunicaciones podría ser desarrollado con el mismo conjunto de herramientas. Entre tanto, en el Centro de Investigación de Sperry, en ese entonces parte del Sperry Rand Corporation, Ross aplicó estas técnicas a varias aplicaciones en lo que se refiere al radar y en comunicaciones.

La invención de un receptor de pulso corto sensible (Robbins 1972) para sustituir el incómodo osciloscopio de muestreo tiempo - dominio aceleró aun más el desarrollo del

sistema. En 1973, Sperry otorgó la primera patente de las comunicaciones UWB (Ross 1973).

Por los últimos años de 1980, esta tecnología fue alternativamente referida como *banda base, portadora - libre, o impulso*. El término "ultra wideband" no fue aplicado hasta 1989 aproximadamente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Por ese tiempo, la teoría UWB, las técnicas y muchos acercamientos de hardware habían experimentado casi 30 años de un desarrollo extenso. Antes de 1989, Sperry había otorgado más de 50 patentes sobre los métodos de la generación y recepción del pulso de UWB y aplicaciones tales como comunicaciones, radar, sistemas de posicionamiento, como las más importantes.

En 1984, reconociendo el valor de la tecnología UWB en el desarrollo de sistemas de comunicaciones con baja probabilidad de ser interceptados y detectados (LPI/D), el Dr. Ross y el Dr. Fontana diseñaron, desarrollaron e implementaron un sistema de comunicaciones LPI/D, financiado por los militares y el gobierno de los Estados Unidos en 1986 y puesto en funcionamiento en Septiembre de 1987. El Dr. Ross y el Dr. Fontana continuaron colaborando en el desarrollo de sistemas UWB para aplicaciones referentes a comunicaciones y al radar por aproximadamente 11 años.

En Estados Unidos, antes de 1994, se realizaron un sinnúmero de trabajos en el campo de la tecnología UWB particularmente en el área de las comunicaciones, estos trabajos fueron realizados bajo el control del Gobierno americano. A partir de 1994, se continuó con los trabajos pero sin restricción y control de los Estados Unidos por lo que la tecnología UWB se desarrolló aceleradamente.

En 1998, la FCC (Federal Communications Commission) reconoció la importancia de la tecnología UWB e inició con el proceso de la revisión para su regulación. En mayo de 2000, la FCC publicó una NPR (Notice of Proposed Rulemaking) aceptando los comentarios concernientes a una propuesta de regulación para la nueva tecnología. Durante los principios del año 2002, los comentarios y la revisión definitiva por parte de la FCC fue realizada. La FCC adoptó finalmente la reglamentación formal el 14 de Febrero de 2002 permitiendo a la tecnología UWB entrar en funcionamiento.

Actualmente, la tecnología Ultra Wideband esta llegando a ser comercialmente viable gracias a los costos reducidos, a los recientes adelantos respecto al desarrollo de chips, al crecimiento del mercado y al reconocimiento de la FCC.

1.3.2. Estándar UWB

El grupo de estándares 802.15 define WPAN o red personal inalámbrica de área local como aquella en la que los dispositivos considerados son los que los usuarios llevan consigo (hand-held).

Como se puede observar en la figura 1.1, para las redes basadas en la tecnología UWB se ha desarrollado el estándar 802.15.3a.

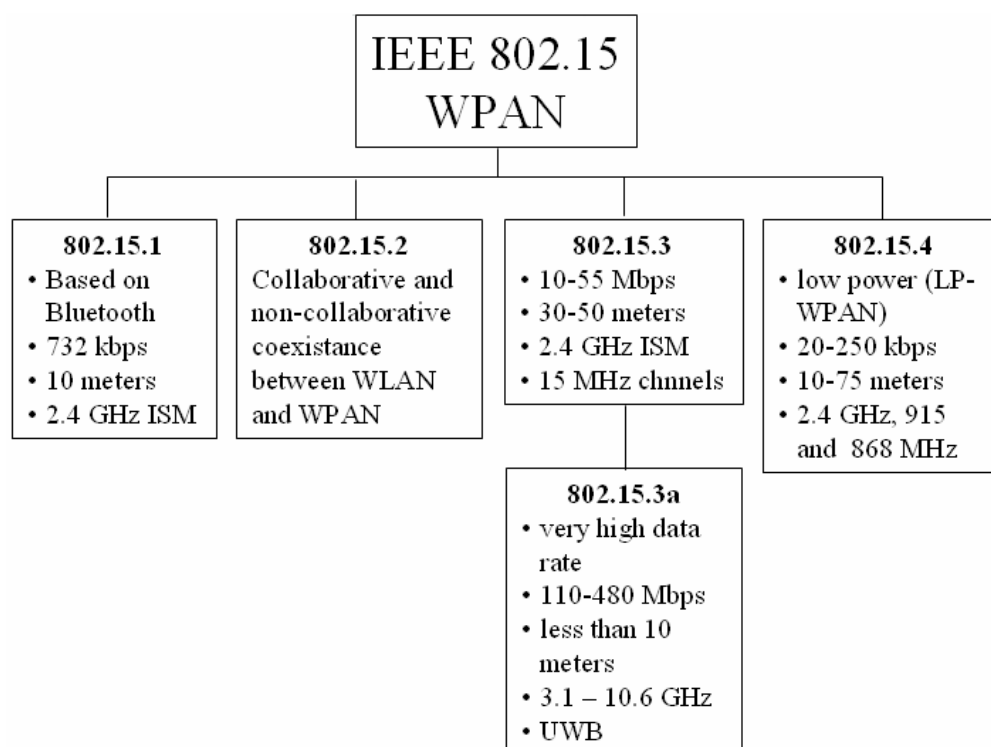


FIGURA 1.1. Grupo de estándares IEEE 802.15 para redes WPAN

Por otro lado, una serie de compañías (Discrete Time, Time Domain, General Atomics, etc.) están impulsando un estándar basado en tecnología multibanda a lo que se oponen otras compañías que han invertido tiempo y recursos en la tecnología de banda única. La tecnología multibanda está basada en que las regulaciones FCC permiten a los dispositivos UWB funcionar en una banda de 7,5GHz y ocupar 500MHz o más de espectro

radioeléctrico, lo que permite el uso de bandas de 500MHz de ancho para codificar la información en funcionamiento en paralelo.

La finalidad de la tecnología multibanda según sus promotores es la coexistencia con otros sistemas que funcionan en este rango de frecuencias y, especialmente con el estándar 802.11a, que funciona a 5GHz. Este tema será tratado en la reunión oficial del grupo de trabajo de 802.15.3a.

Un grupo de empresas, entre las que se encuentran General Atomics, XtremeSpectrum y Time Domain, están promocionando UWB y el estándar 802.15.3a en aplicaciones comerciales de sistemas multimedia y de imágenes digitales. Todas estas empresas apoyan los esfuerzos de la asociación de industrias interesadas en UWB para redes inalámbricas de área local WiMedia Alliance en crear criterios de certificación de productos para el mercado de WPAN multimedia.

1.3.3. Ventajas

Entre las ventajas mas importantes de la tecnología Ultra Wideband se pueden señalar siguientes:

- ***Sumamente difícil de interceptar y detectar (LPI/LPD).***- Debido a la simplicidad de la RF inherente en diseños de sistemas UWB, estos sistemas son altamente adaptables a frecuencias, es decir, les permiten que sean posicionados en cualquier parte dentro del espectro de RF. Esta cualidad evita que haya interferencia con servicios existentes, mientras se utiliza el espectro disponible totalmente, es decir, la tecnología UWB permite la reutilización del espectro. Así mismo, con un plan de ingeniería apropiado, el consumo total de potencia de los sistemas UWB es bastante bajo. Esta baja densidad de potencia permite tener baja probabilidad de detección de la información lo cual es de gran interés para aplicaciones militares y privadas.
- ***Inmunidad a los efectos de la interferencia Multitrayecto.***- Multitrayecto (o Multipath) es el fenómeno de propagación, por dos o más caminos, que resulta en señales que alcanzan la antena receptora, normalmente debido a las reflexiones de la señal transmitida. La habilidad de tiempo - entrada del receptor UWB, debido a los

pulsos ultracortos, le permite ignorar señales que llegan fuera de un intervalo de tiempo prescrito, como señales debido a las reflexiones Multitrayecto o Multipath.

- **Baja Potencia.**- el consumo Típico está en μW .
- **Penetrabilidad.**- Los sistemas UWB tienen la capacidad de transportar información a través de paredes, puertas u otros obstáculos debido a que poseen señales con un gran ancho de banda y utilizan baja potencia.
- **Bajo Costo.**- Los sistemas basados en la tecnología UWB son de baja complejidad, por tanto requieren componentes de tamaño y peso pequeños teniendo como resultado un bajo costo.
- **Antenas.**- puede ser muy pequeñas (2cm) puesto que son no resonantes.

1.3.4. Aplicaciones

UWB es una tecnología revolucionaria que tiene una forma completamente distinta de comunicarse con una inmensa gama de aplicaciones muy diversas. Una vez que fue adaptada por la NPRM (Notice of Proposed Rulemaking) y por la NOI (Notice of Inquiry) de la FCC (Federal Communications Commission), la tecnología Ultra Wideband puede ser usada para comunicaciones inalámbricas, particularmente para WLANs en donde la transmisión de datos es a gran velocidad lo cual es conveniente para el acceso de banda ancha al Internet. Los sistemas UWB también pueden ser usados para obtener en forma precisa la medida de distancias o para determinar ubicaciones con precisión y para obtener las imágenes de objetos enterradas bajo tierra o detrás de las superficies.

Básicamente las aplicaciones de esta tecnología se pueden dar en tres campos importantes: comunicaciones, radar y rastreo/posicionamiento

a. Comunicaciones. Los sistemas UWB pueden ser usados para una variedad de aplicaciones en comunicaciones las cuales involucran tasas de transmisión de datos muy

altas sobre distancias cortas sin sufrir los efectos de la interferencia multirayecto o multipath. La tecnología Ultra Wideband puede ser utilizada en aplicaciones de banda ancha en laptops, PDAs y teléfonos a lo largo de un edificio o casa, WLANs de altas velocidades, Redes Inalámbricas Móviles Ad-Hoc y comunicaciones clandestinas que atraen significativamente al sector militar.

b. Radar. La tecnología UWB ha sido usada durante algún tiempo en aplicaciones de GPR (Ground Penetrating Radar) que son radares que penetran la tierra lo cual permite descubrir e identificar blancos escondido en edificios o bajo tierra y actualmente UWB está siendo desarrollada para los nuevos tipos de sistemas de imagen que permitirían a los personales de rescate localizar a las personas que estén ocultas detrás de una pared o bajo las ruinas en crisis o en situaciones de rescate. Así mismo esta tecnología es usada en Radares para detección de intrusos y Radares para anulación de obstáculos

c. Rastreo/Posicionamiento. La tecnología UWB puede ser usada en Sistemas de Geolocalización de gran precisión para medir distancia y posición al mismo tiempo. Los sistemas de rastreo UWB podrían proporcionar imágenes en tiempo real al interior y al aire libre con una alta resolución (hasta menos de un centímetro) lo cual puede ser útil para muchas aplicaciones como por ejemplo servicios de emergencia y seguridad.

De las aplicaciones señaladas anteriormente, este proyecto de grado analizará y estudiará las que conciernen a las comunicaciones.

1.4. OTRAS TECNOLOGIAS UWB PARA REDES INALAMBRICAS

Como se mencionó al comienzo de este capítulo, otras tecnologías para redes inalámbricas también han emergido paralelamente a las definidas por la IEEE 802.11x, Bluetooth y HomeRF tales como las definidas por los estándares: IEEE 802.16 y IEEE 802.20 que corresponden a las redes WiMAX.

WiMAX (del inglés *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas) es un estándar de transmisión inalámbrica de datos diseñado para ser utilizado en el área metropolitana o MAN

proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70Mbps.

Integra la familia de estándares IEEE 802.16 y el estándar HyperMAN del organismo de estandarización europeo ETSI.

1.4.1. Estándar IEEE 802.16

El estándar inicial 802.16 se encontraba en la banda de frecuencias de 10-66GHz. La nueva versión 802.16a, ratificada en marzo de 2003, utiliza una banda del espectro más estrecha y baja, de 2-11GHz, facilitando su regulación. Además, como ventaja añadida, únicamente del despliegue de estaciones base (BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a unas 200 estaciones suscriptoras (SS) que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos. Su instalación es muy sencilla y rápida (culminando el proceso en dos horas) y su precio competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico como Wi-Fi: entre \$5.000 y \$25.000.

Esta tecnología de acceso transforma las señales de voz y datos en ondas de radio dentro de la citada banda de frecuencias. Está basada en OFDM, y con 256 subportadoras puede cubrir un área de 48 kilómetros permitiendo la conexión sin línea vista, es decir, con obstáculos interpuestos, con capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 75Mbps con un índice de modulación de 5.0bps/Hz y dará soporte para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1,5MHz a 20MHz. Este estándar soporta niveles de servicio (SLAs) y calidad de servicio (QoS).

WiMAX se sitúa en un rango intermedio de cobertura entre las demás tecnologías de acceso de corto alcance y ofrece velocidades de banda ancha para un área metropolitana.

El *WiMAX Forum* es un consorcio de empresas (inicialmente 67 y hoy en día más de 100) dedicadas a diseñar los parámetros y estándares de esta tecnología, y a estudiar, analizar y probar los desarrollos implementados. En principio se podría deducir que esta tecnología supone una grave amenaza para el negocio de tecnologías inalámbricas de acceso de corto alcance en que se basan muchas empresas, pero hay entidades muy

importantes detrás del proyecto. Las principales firmas de telefonía móvil también están desarrollando terminales capaces de conectarse a estas nuevas redes. Después de la fase de pruebas y estudios cuya duración prevista es de unos dos años, se espera comenzar a ofrecer servicios de conexión a Internet a 4Mbps a partir de 2007, incorporando WiMAX a los ordenadores portátiles y PDA.

El estándar IEEE 802.16 hace referencia a un sistema BWA (Broadband Wireless Access) de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance (hasta 50km), escalable, y que permite trabajar en bandas del espectro tanto "licenciado" como "no licenciado". El servicio, tanto móvil como fijo, se proporciona empleando antenas sectoriales tradicionales o bien antenas adaptativas con modulaciones flexibles que permiten intercambiar ancho de banda por alcance. En la tabla 1.3 se puede observar una tabla resumen de las características del estándar 802.16.

	802.16	802.16^a	802.16e
Espectro	10 - 66GHz	< 11GHz	< 6GHz
Funcionamiento	Solo con visión directa	Sin visión directa	Sin visión directa
Tasa de bit	32 – 134Mbit/s con canales de 28MHz	Hasta 75Mbit/s con canales de 20MHz	Hasta 15Mbit/s con canales de 5MHz
Modulación	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM con 256 subportadoras QPSK, 16QAM, 64QAM	Igual que 802.16a
Movilidad	Sistema fijo	Sistema fijo	Movilidad pedestre
Anchos de banda	20, 25 y 28MHz	Seleccionables entre 1,25 y 20MHz	Igual que 802.16a con los canales de subida para ahorrar potencia
Radio de celda típico	2 – 5km aprox.	5 - 10km aprox. (alcance máximo de unos 50km)	2 – 5km aprox.

TABLA 1.3. Tabla resumen de las características del estándar 802.16

1.4.2. Estándar IEEE 802.20

El 11 de diciembre de 2002, el IEEE Standard Board aprobó el establecimiento del grupo de trabajo IEEE 802.20 para el desarrollo de un sistema denominado genéricamente: Mobile Broadband Wireless Access (MBWA).

La misión de IEEE 802.20 es desarrollar la especificación de las capas PHY (“*physical*” o física) y MAC de un interfaz aire basado en conmutación de paquetes y optimizado para el transporte IP que:

- Opere en las bandas de trabajo licenciadas por debajo de 3,5GHz.
- Trabaje con velocidades de pico por encima de 1Mbps.
- Soporte movilidad por encima de los 250Km/h.
- Cubra tamaños de celda que permitan coberturas continuas de áreas metropolitanas.
- Obtenga eficiencias espectrales, velocidades de transmisión sostenidas y número de usuarios activos significativamente más altos que con los sistemas móviles existentes. La figura muestra la eficiencia espectral prevista y la mejora sustancial con respecto a tecnologías actuales.

La tabla 1.4 permite ubicar cada una de las tecnologías mencionadas anteriormente, indicando sus características más importantes.

	802.11	802.15	802.16	802.20
Espectro	Sin Licencia	Sin Licencia	Licencia Sin Licencia	Licencia
Banda de frecuencias	2,4GHz, 5GHz	Varias según aplicación	10-66GHz 2-11GHz	Por debajo 3,5GHz
Tipo de acceso	Área Local	Espacio personal	Accesos fijos PMP y mallados en MAN	Ubicuidad en áreas metropolitanas
Movilidad	Portabilidad	Espacio personal	Fijo	
Alimentación	Batería	Batería	Red	Batería
LOS/NLOS	NLOS	NLOS	LOS (10-66GHz) NLOS (2-11GHZ)	NLOS
Capas afectadas	PHY y MAC para LAN	PHY y MAC para PAN	PHY y MAC para acceso inalámbrico PMP	PHY y MAC para redes acceso móviles

TABLA 1.4. Resumen de tecnologías inalámbricas de acceso por área de cobertura

En la figura 1.2 se puede observar un esquema de las tecnologías señaladas anteriormente por área de cobertura y por velocidad de transmisión.

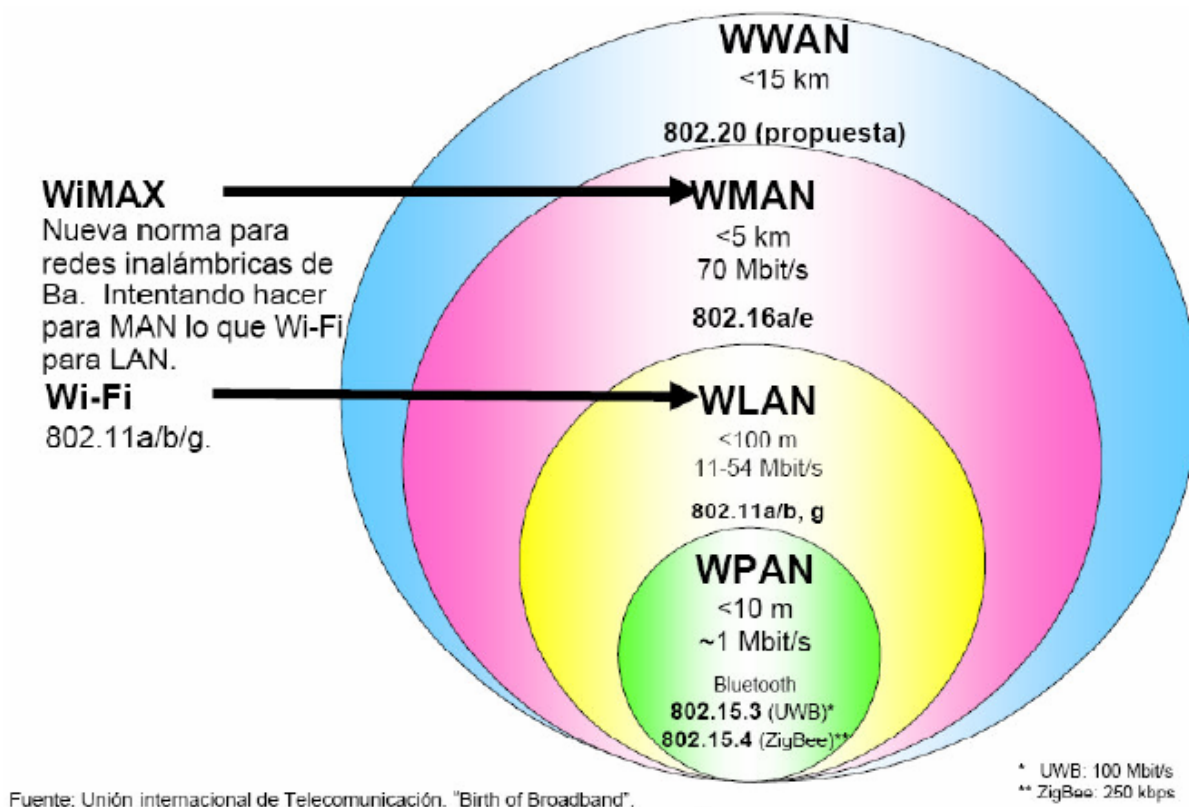


FIGURA 1.2. Tecnologías de redes inalámbricas

1.4.3. Tecnología WiBro

WiBro, acrónimo de Wireless Broadband, es la apuesta de Corea en cuanto a comunicación WiFi se refiere. Podríamos decir que es el equivalente asiático a la tecnología WiMax. WiBro implementa el estándar IEEE 802.16e, al igual que WiMax, pero con unos objetivos distintos: aquí no importa la velocidad y la cobertura tanto como la fiabilidad de la señal aunque estemos en movimiento. De hecho WiBro permitirá velocidades de hasta 1Mbps aunque nos estemos moviendo a 60km/h. Aunque para esto, la cobertura se verá reducida a menos de 1Km a la redonda.

Es necesario señalar que todas las tecnologías descritas en la figura 1.2 son UWB (Ultra Wide Band), pero el estudio realizado en este proyecto se enfoca específicamente al estándar o tecnología 802.15.3a, la cual es conocida comercialmente como UWB, es decir, en los siguientes capítulos al hablar de tecnología UWB se estará haciendo referencia al estándar 802.15.3a. Igualmente la aplicación realizada en el capítulo 5 está desarrollada en base al estándar mencionado.

CAPÍTULO 2

ARQUITECTURA DE SISTEMAS UWB

Básicamente, las transmisiones UWB están comprendidas por pulsos cuadrados individuales de ondas monociclo (pulsos banda base), los cuales son emitidos en intervalos aproximadamente de una billonésima de segundo. La aplicación de la Fórmula de Fourier sobre el tiempo de duración del ancho del pulso, nos permite demostrar que los pulsos UWB existen a través de una gama extremadamente amplia de frecuencias. Por ejemplo, un pulso individual puede ser transmitido con un vatio o con más de un vatio de potencia máxima instantánea. Cuando esa potencia se divide a través de la amplia gama de frecuencias que el pulso ocupa, se muestra que en cualquier frecuencia individual la potencia medida corresponde a niveles extremadamente bajos de potencia. Así, los pulsos individuales son generados a través de fajas anchas del espectro de frecuencias en lo que se conoce como el nivel del ruido. Por medio de un número limitado de técnicas, estos pulsos se pueden modular sobre la transmisión de tal manera que se transporte un valor digital 0 o 1 al receptor final, de este modo se logra la transmisión de los datos digitales cuando la modulación es decodificada (descifrada) en el receptor final.

La tecnología UWB no usa los portadores de radio frecuencia tradicionales empleados por los sistemas celulares, por los satélites, la televisión, el cable u otras tecnologías de comunicaciones. Estas tecnologías basadas en frecuencia deben funcionar en "rebanadas" específicas de un espectro de radio cada vez más apretado, si no interfirieran la una con la otra. Debido a que las señales UWB, por sus características antes mencionadas, no interfieren entre si ni con los portadores de RF convencionales, la

tecnología ha abierto posibilidades de comunicaciones nuevas y extensas creando un nuevo medio de comunicación que coexiste pacíficamente con tecnologías existentes.

La física fundamental de la Banda Ultra Ancha permite que la tecnología UWB presente características mejores de propagación a través de paredes y otros obstáculos. Pero no solamente supera a señales tradicionales de RF en ambientes con obstáculos, UWB también puede utilizar los efectos multipath (o multitrayecto) para corrección de errores. Aunque un rango de acción de varias millas es posible, las limitaciones de la FCC (Federal Communication Commission) en lo referente a la potencia de difusión restringen a UWB a aplicaciones de PAN y de LAN inalámbricas, generalmente menos de 100 metros.

UWB funciona en microvatios (μW) de potencia, menos de 1/1000 de la potencia requerida por los teléfonos portátiles convencionales. La naturaleza digital de la transmisión UWB le permite no tener los sistemas de alta complejidad, encontrados en los dispositivos inalámbricos basados en frecuencia de hoy en día, que deben modular y demodular una forma de onda análoga y compleja portadora de RF (el portador de la frecuencia).

En el presente capítulo primeramente se realizará una descripción analítica de las características en tiempo y de las características espectrales de las señales UWB para posteriormente analizar y estudiar los conceptos y principales características de UWB relacionadas con la interfaz de radio tales como señal banda base, modulación, control y corrección de errores, etc. También se analizará la configuración general del Sistema de Radio UWB así como cada uno de sus componentes, esto es, amplificadores, antenas, etc.

2.1. CARACTERÍSTICAS EN TIEMPO Y EN FRECUENCIA DE LAS SEÑALES UWB

Un análisis teórico de las señales UWB puede proporcionar una visión importante de cómo las emisiones UWB afectan o no varios tipos de dispositivos de comunicación RF. A más de tener en cuenta el cálculo directo de los efectos de interferencia, los resultados analíticos se pueden utilizar para ayudar a la planificación, diseño y validación

de medidas. En esta parte se detallan los resultados obtenidos de un análisis de los esquemas propuestos de la modulación por posición de pulso UWB.

2.1.1. Espectro de Potencia de las Señales UWB

La densidad espectral de potencia es la potencia media en la señal por unidad del ancho de banda y por tanto proporciona información importante respecto a la distribución de potencia sobre el espectro RF. La densidad espectral de potencia para un esquema de modulación por posición de pulso (PPM) UWB, utiliza pulsos de corta duración transmitidos a una cierta tasa de repetición de pulso nominal (PRR). La posición del pulso es aleatoria, se selecciona al azar respecto al período nominal del pulso. El esquema de randomización o aleatoriedad que se analizará a continuación se conoce como la incertidumbre de tiempo-base fija.

a. Señales UWB con incertidumbre de tiempo-base fija

En el esquema de la incertidumbre de tiempo-base fija, cada pulso ocurre en el período de pulso nominal, menos un incremento de tiempo distribuido aleatoriamente sobre una fracción del período nominal tal como se muestra en la ecuación 2.1. Esta expresión también incluye la modulación de pulso binaria según lo propuesto para las aplicaciones de comunicaciones.

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^1 \alpha_{kn} p_k(t - nT - \theta_n), \quad (2.1)$$

donde p_k representa la forma del pulso que corresponde a un bit de información (p_0 representa el valor 0, p_1 representa el valor 1). Los coeficientes α_{kn} son relacionados si el n -ésimo bit de información a_n tiene el valor 0 o 1 de la siguiente manera:

$$\alpha_{kn} = \begin{cases} 1 - a_n, & k = 0 \\ a_n, & k = 1 \end{cases}, \quad (2.2)$$

$$a_n = \begin{cases} 0 & \text{con prob } g_0 \\ 1 & \text{con prob } g_1 = 1 - g_0 \end{cases}$$

donde g_k son las probabilidades de bit de información (es decir, g_0 es la probabilidad de un bit de información de tener el valor 0, y $g_1 = 1 - g_0$ es la probabilidad de un bit de información de tener el valor 1). Finalmente las variables randómicas o aleatorias θ_n definen la randomización del pulso o incertidumbre son descritas por una función de densidad $q(\theta)$, donde

$$\Pr\{\theta \leq \Theta \leq \theta + d\theta\} = q(\theta)d(\theta). \quad (2.3)$$

Para la incertidumbre de tiempo-base fija, las variables randómicas θ_n y a_n son cada una asumida para ser independientemente e idénticamente distribuidas.

Se debe observar que la señal dada en la ecuación 2.1 es absolutamente general en los términos de la forma de pulso, del método de modulación binaria y de la estadística de randomización de pulso. Por lo tanto, los resultados presentados en esta parte se pueden utilizar para predecir la densidad espectral de potencia en varios puntos en el enlace de radio entre un transmisor UWB que está interfiriendo y un receptor que es afectado (por ejemplo, en la salida del transmisor UWB, la señal UWB radiada de una antena particular, o en la sección de un receptor RF de banda estrecha). Al tratarse de sistemas lineales, las varias formas de pulso son relacionadas simplemente por convoluciones con las funciones de transferencia apropiadas.

La densidad espectral de potencia es la transformada de Fourier de una función de autocorrelación. La función de autocorrelación es obtenida tomando el valor previsto de la señal en dos tiempos diferentes el cual es expresado matemáticamente como

$$r_{xx}(t, s) = \xi\{x(t)x(s)\} = E\left\{\sum_n \sum_m \sum_k \sum_l \alpha_{kn} \alpha_{lm} p_k(t - nT - \theta_n) p_l(s - mT - \theta_m)\right\} \quad (2.4)$$

Tomando la expectación en la ecuación 2.4 se tiene

$$r_{xx}(t, s) = \frac{1}{T^2} \left\{ \sum_n \left| \sum_{k=0}^1 g_k P\left(\frac{n}{T}\right) \right|^2 \left| Q\left(\frac{n}{T}\right) \right|^2 e^{i2\pi n\tau/T} + \sum_{n \neq -m} \left(\sum_{k=0}^1 g_k P\left(\frac{n}{T}\right) \right) \left(\sum_{k=0}^1 g_k P\left(\frac{m}{T}\right) \right) Q\left(\frac{n}{T}\right) Q\left(\frac{m}{T}\right) e^{i2\pi(n+m)s/T} \right\} +$$

$$+ \frac{1}{T} \sum_n \ell^{i2\pi ns/T} \left\{ \begin{aligned} & Q\left(\frac{n}{T}\right) \sum_{k=0}^1 g_k p_k(\tau) \otimes p_k(-\tau) e^{i2\pi n\tau/T} - \\ & \left(\sum_{k=0}^1 g_k p_k(\tau) \otimes \sum_{l=0}^1 g_l p_l(-\tau) e^{i2\pi n\tau/T} \right) \otimes (q(\tau) \otimes q(-\tau) e^{i2\pi n\tau/T}) \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

donde el símbolo \otimes es el operador de la convolución y $\tau = s - t$ es el retraso de tiempo. Las funciones dadas en letras mayúsculas (P, Q) son las transformadas de Fourier del pulso y de las funciones de incertidumbre.

Las estadísticas para este proceso son periódicas de período T como esta evidenciado por la ecuación 2.5. Tales procesos son comúnmente referidos como *cicloestacionarios*. Esencialmente esto significa que las estadísticas dependen sobretodo cuando el proceso es observado durante un período. El receptor afectado puede observar el proceso en un tiempo arbitrario durante el período y por lo tanto esto es útil (y de simplificación) para calcular el promedio de todos los tiempos de observación posibles dentro de un período. Tomando el promedio de tiempo sobre un período y la transformada de Fourier de la ecuación 2.5 se tiene que la densidad espectral de potencia media de las señales UWB con incertidumbre de tiempo-base fija

$$\begin{aligned} \bar{R}_{xx}(f) &= L + C \\ L &= \frac{1}{T^2} \left| \sum_{k=0}^1 g_k P_k(f) \right|^2 |Q(f)|^2 \sum_n \delta\left(f - \frac{n}{T}\right) \\ C &= \frac{1}{T} \left[\sum_{k=0}^1 g_k |P_k(f)|^2 - \left| \sum_{k=0}^1 g_k P_k(f) \right|^2 |Q(f)|^2 \right] \end{aligned} \quad (2.6)$$

La densidad espectral de potencia tiene componentes discretos L y componentes continuos C que dependen del espectro del pulso y de la transformada de Fourier de la función de densidad usada para randomizar la señal. Observe que cuando $Q(f)$ es pequeño a los múltiplos de la tasa de repetición de pulso nominal los componentes discretos son pequeños y el espectro es predominantemente continuo. Cuando $Q(f)$ se aproxima a 1 (incertidumbre insignificante) y los bits no cambian (por ejemplo, $g_0 = 1$), el espectro continuo desaparece y el espectro de línea domina. La cantidad $g_0 P_0(f) + g_1 P_1(f)$ es el valor esperado de los pulsos.

Si los valores de bit son equiprobables (es decir, $g_k = 1/2$) y el pulso que representa un 1 es una versión retardada de tiempo del pulso que representa un 0 (es decir, $p_1(t + \xi) = p_0(t) \equiv p(t)$), la ecuación 2.6 se reduce a

$$\begin{aligned} \bar{R}_{xx}(f) &= L + C \\ L &= \frac{1}{2T^2} |P(f)Q(f)|^2 [1 + \cos(2\pi\xi f)] \sum_n \delta\left(f - \frac{n}{T}\right) \\ C &= \frac{1}{T} |P(f)|^2 \left(1 - \frac{|Q(f)|^2 [1 + \cos(2\pi\xi f)]}{2} \right) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Cuando el retardo de tiempo del bit de información ξ es pequeño con respecto al retardo de incertidumbre (es decir, $\cos(2\pi\xi f) \approx 1$ sobre la gama de frecuencias para el cual $Q(f)$ es significativo), los efectos de la modulación por posición de pulso en el espectro de potencia es inconsecuente.

Los resultados de cálculos usando la ecuación 2.7 son mostrados en las figuras siguientes. En la figura 2.1 la señal consiste en un pulso de corta duración transmitida a 10MHz PRR (taza de repetición de pulso). La posición del pulso con incertidumbre es randómica y uniformemente distribuida sobre el 50% del período del pulso. En este cálculo, se asume que los efectos de la modulación del bit de información son insignificantes sobre el rango de frecuencias de interés. La densidad espectral de potencia sobre un rango de frecuencias de 1-5000MHz se muestra en la figura 2.2. La magnitud del espectro es normalizado al punto máximo de la distribución continua (cerca de 250MHz). La transformada de Fourier de la función de densidad para este caso es $Q(f) = \text{sinc}(\pi f T / 2)$. Esta función tiene nulos en las frecuencias iguales a $2k/T$ ($k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$), por tanto el intervalo entre las líneas espectrales discretas es de 20MHz como se muestra en las figuras.

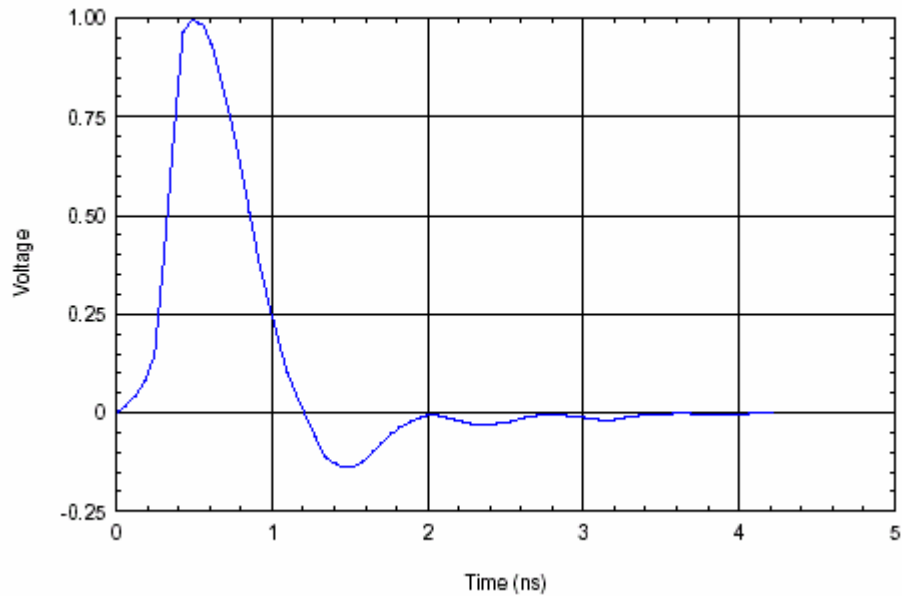


FIGURA. 2.1. Forma del pulso en el dominio del tiempo

Para frecuencias sobre los 20MHz, el espectro continuo es aproximadamente el mismo que el espectro del pulso (es decir, $P(f)$). La figura 2.3 muestra el espectro discreto sobre un rango de frecuencias más limitado (800-1600MHz) para resaltar las líneas espectrales individuales.

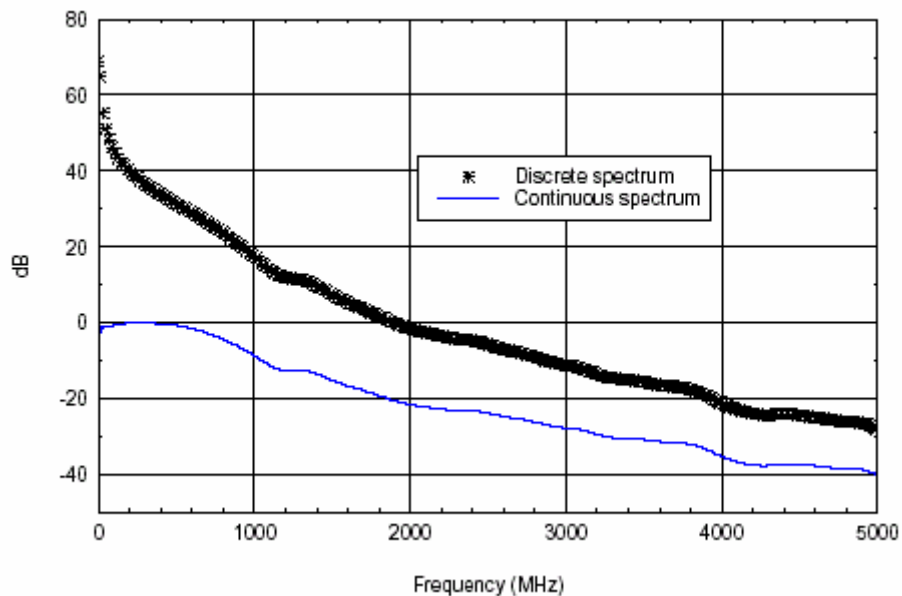


FIGURA. 2.2. Densidad espectral de potencia para una señal UWB de 10MHz con incertidumbre de tiempo_base fija. Las posiciones del pulso son uniformemente distribuidas sobre el 50% del período de repetición del pulso

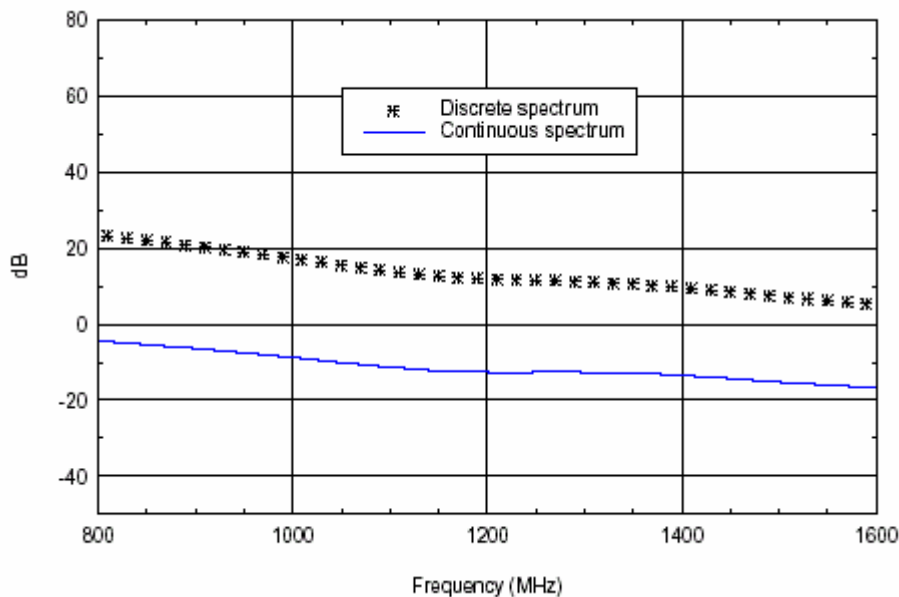


FIGURA. 2.3. Densidad espectral de potencia mostrando el espectro discreto y continuo de 800 a 1600MHz

La potencia media en el ancho de banda de un receptor RF afectado de banda estrecha como una función de frecuencia se puede calcular fácilmente a partir de estos resultados. Por ejemplo, la figura 2.4 muestra la potencia disponible para un receptor con un ancho de banda nominal de 10 KHz. Según lo mostrado en la figura, el espectro discreto no es un factor para las frecuencias RF sobre unos cuantos cientos de MHz. Para los receptores afectados de banda estrecha donde las ganancias debido al filtro/antena del transmisor UWB, al canal de propagación y al receptor son totalmente constantes sobre el ancho de banda del receptor, la potencia de interferencia recibida puede ser calculada fácilmente aplicando los factores de ganancia apropiados a la potencia en el ancho de banda del receptor.

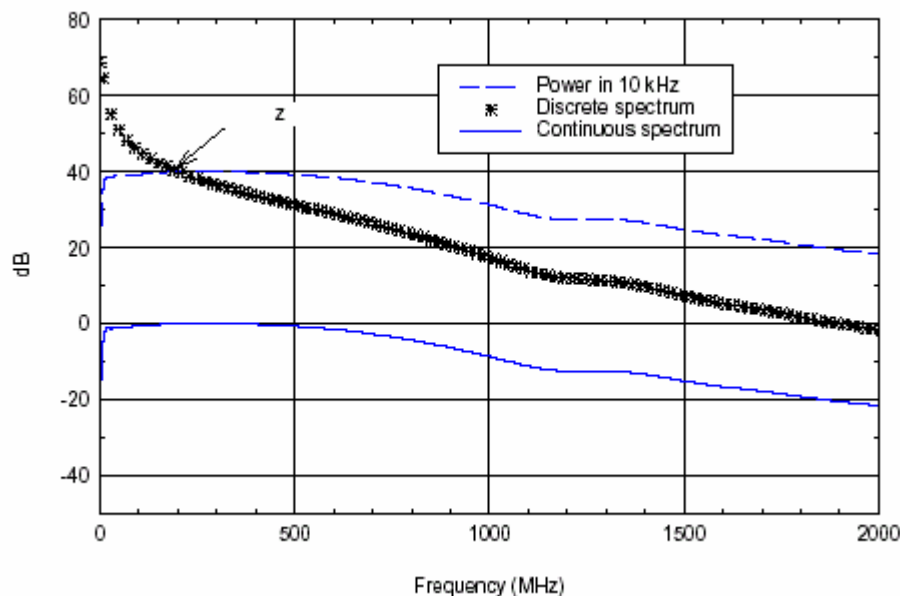


FIGURA. 2.4. Densidad espectral de potencia mostrando el espectro continuo en un ancho de banda de 10KHz comparado con el espectro discreto

b. Espectro de potencia para duraciones finitas y señales repetidas

Los resultados basados en la ecuación 2.1 asumen que la señal esta presente continuamente. Obviamente las señales reales son de duración finita. También, para algunos sistemas propuestos, la señal es transmitida por una longitud de tiempo T' , y luego se repite. En esta parte, se ampliará los resultados presentados anteriormente para duraciones finitas y señales repetidas.

Para obtener el espectro de potencia para una señal de duración finita, la función "ventana" siguiente

$$w(t) = \begin{cases} 1 & -T' \leq t \leq T' \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2.8)$$

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

es multiplicada por $x(t)$ (ecuación 2.1). El resultado de esa multiplicación esta dado en la ecuación 2.7 convolucionada con el espectro de la función $w(t)$, es decir, $|W(f)|^2 \otimes \bar{R}_{xx}(f)$ como se puede esperar. Mientras la duración de la ventana aumenta, la forma del espectro se acerca a $\bar{R}_{xx}(f)$.

Cuando la serie $x(t)$ es "ventaneada" y repetida, la función de autocorrelación se obtiene tomando la expectativa de la extensión periódica de una porción "ventaneada" de la serie o

$$E \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} w(t-nT')x(t-nT') \sum_{m=-\infty}^{\infty} w(s-mT')x(s-nT') \right\} \quad (2.9)$$

El espectro resultante es

$$\frac{1}{T'^2} \sum_k \bar{R}_{xx} \left(\frac{k}{T'} \right) \otimes \left| W \left(\frac{k}{T'} \right) \right|^2 e^{i2\pi k\tau/T'} \quad (2.10)$$

la cual es ahora discreta con líneas espectrales a intervalos de frecuencia de $1/T'$.

2.1.2. Estadística de la Señal de Banda Limitada para Sistemas con Incertidumbre de Tiempo-Base Fija

Del punto de vista de un receptor afectado, una señal UWB con incertidumbre de tiempo-base fija es un proceso randómico. Un conocimiento de la estadística de tal proceso es importante en predecir como la interferencia afecta el funcionamiento de un receptor "víctima". Cuando la tasa de repetición de pulso UWB es mayor que el ancho de banda del receptor, se espera que la señal recibida sea indistinguible del ruido Gaussiano. Puesto que el funcionamiento del receptor en un ambiente de ruido Gaussiano es bien entendido, la cuantificación condicional la razón por la cual la interferencia UWB recibida que se asemeja al ruido Gaussiano es importante en predecir el funcionamiento del receptor y en desarrollar requisitos de las emisiones. También, cuando la señal recibida es Gaussiana, solamente un parámetro (potencia media) es requerido para caracterizar el proceso. En esta parte se presentará los resultados de un análisis del esquema de la incertidumbre de tiempo-base fija que puede ser utilizada para predecir cuando la señal UWB recibida es aproximadamente Gaussiana.

Para este análisis, se intenta determinar la función densidad de probabilidad que describe la estadística de la señal UWB tal como es visto por el receptor afectado. La relación siguiente entre la función de densidad $a(y)$, su función característica $\phi(u)$, y la

función densidad de randomización del pulso $q(\theta)$ es usada para obtener una expresión aproximada para la estadística de la señal recibida

$$\phi(u) = \int e^{iuy} a(y) dy = E\{e^{iux}\} = \int e^{iux(\theta)} q(\theta) d\theta \quad (2.11)$$

Formalmente, la función de densidad deseada es obtenida para insertar la señal UWB $x(t)$ (ecuación 2.1) dentro de la ecuación 2.11 y tomar la transformada de Fourier inversa de la función característica.

La función característica es periódica puesto que el proceso es cicloestacionario según lo discutido en la sección 2.1.1.1. Para los propósitos de este análisis, la estadística promediada de tiempo es obtenida haciendo un promedio sobre un período así como con la función densidad espectral de potencia

$$\bar{\phi}(u) = \int_0^T \prod_n \int e^{iup(t-nT-\theta)} q(\theta) d\theta \frac{dt}{T} \quad (2.12)$$

Después de algunas manipulaciones la función de densidad puede ser expandida a la bien conocida serie de Edgeworth. Los primeros 4 términos de la serie son

$$f(x) = \varphi^{(0)}(x) - \frac{\gamma_1}{3!} \varphi^{(3)}(x) + \frac{\gamma_2}{4!} \varphi^{(4)}(x) - \frac{10\gamma_1^2}{6!} \varphi^{(6)}(x) \quad (2.13)$$

donde

$$\varphi^{(n)}(x) = \frac{dn}{dx^n} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2.14)$$

La función de densidad deseada $a(y)$ es relacionada con $f(x)$ usando la transformación $x = (y - m) / \sigma$ donde m es la desviación media y σ es la desviación estándar, por lo tanto $a(y) = f((y - m) / \sigma) / \sigma$. El primer término en la serie es la distribución normal estándar. Los términos siguientes son escalados por los coeficientes conocidos como la oblicuidad γ_1 y el exceso γ_2 .

En general, la oblicuidad y el exceso son funcionales algo complicadas de la forma del pulso p y de la estadística de randomización del pulso q . En el caso de un receptor de banda estrecha con una frecuencia central más grande que dos veces la tasa de repetición

de pulso (PRR), las expresiones se simplifican considerablemente. Los resultados siguientes asumen que la potencia en las líneas espectrales (si esta presente) es mucho mas pequeña que esa debido a la potencia del ancho de banda del receptor debido al espectro continuo. Además, si el espectro $P(f)$ del pulso UWB es aproximadamente constante sobre el ancho de banda del receptor, la varianza σ^2 , la oblicuidad y el exceso pueden ser expresados en términos de la respuesta al impulso banda-base del filtro receptor, $h(t)$, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 m &\approx 0 \\
 \sigma^2 &\approx \frac{1}{2T} \int_{-\infty}^{\infty} h^2(t) dt = \frac{1}{2T} \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df \\
 \gamma_1 &\approx 0 \\
 \gamma_2 &\approx \frac{3}{4\sigma^2 T} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{h^4(t)}{2} - (h^2 \otimes q(t))^2 \right] dt
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

Estos resultados muestran que la varianza es proporcional al ancho de banda del receptor como se esperaba. La media y la oblicuidad son despreciables debido a que las características oscilatorias de la señal filtrada pasabanda. El comportamiento del exceso como una función del ancho de banda del receptor fue calculado para un receptor con una característica pasabajo de coseno levantado y una señal UWB con una PRR de 10MHz. La señal esta uniformemente con incertidumbre sobre el 50% del periodo de repetición del pulso.

La figura 2.5 muestra el exceso como una función del ancho de banda del receptor. Se observa que la distribución es aproximadamente Gaussiana hasta alrededor a 1MHz de ancho de banda. El exceso luego decrece hasta el mínimo en casi 20MHz, después de lo cual este aumenta. La distribución normalizada para anchos de banda menores a 1MHz y anchos de banda de 10 y 20MHz son presentados en la figura 2.6.

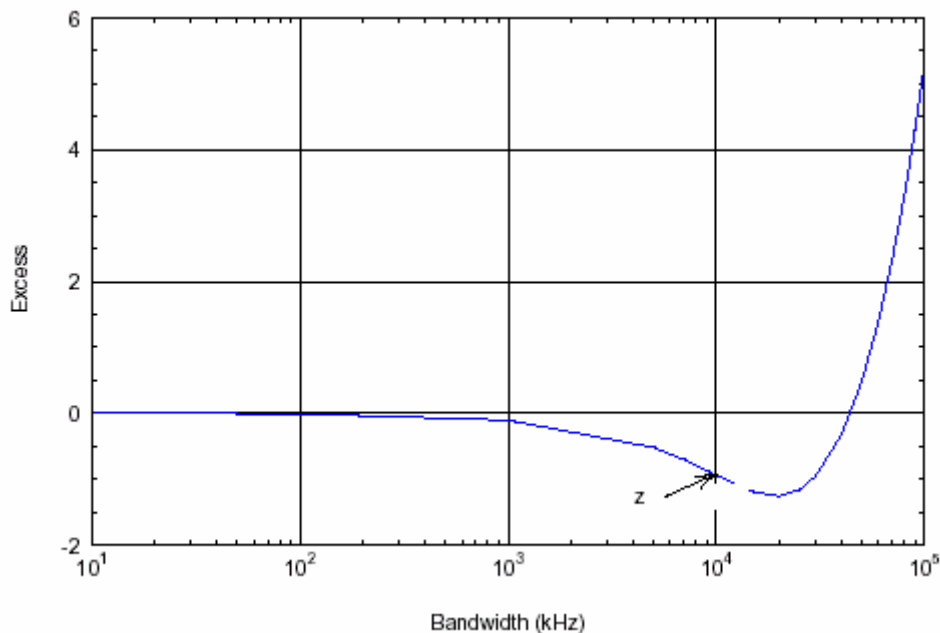


FIGURA. 2.5. El exceso como una función del ancho de banda del receptor

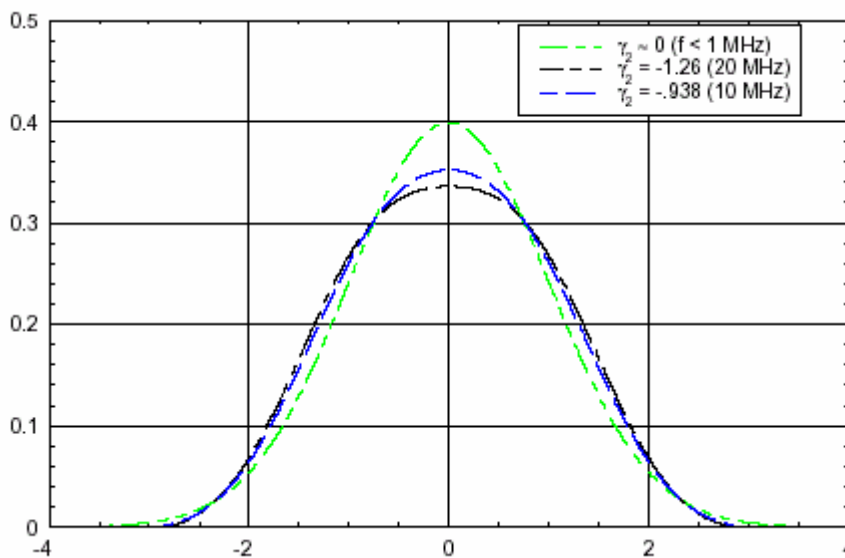


FIGURA. 2.6. La distribución para varios anchos de banda del receptor, de menos de 1MHz y anchos de banda de 10 y 20MHz

Los resultados presentados en esta parte pueden ser utilizados para predecir cuando la interferencia de una señal UWB con incertidumbre de tiempo-base fija es aproximadamente Gaussiana en naturaleza, y por lo tanto, es útil para dar parámetros de dirección a diseñadores y reguladores del sistema. Además, según lo mostrado en el ejemplo anterior, estos resultados pueden ser utilizados para estimar la estadística para

anchos de banda que son comparables y que exceden a la tasa de repetición de pulso UWB. En casos donde el ancho de banda es mucho más grande que la tasa de repetición de pulso, de modo que el receptor realmente resuelva los pulsos individuales, los resultados presentados son no muy válidos. En tales casos, la estadística de amplitud puede ser estimada fácilmente para calcular la fracción de tiempo que una amplitud de pulso particular (tal como es visto por el receptor) está excedida durante el período de repetición de pulso.

2.2. SISTEMA DE RADIO UWB

La insuficiencia del ancho de banda ha sido siempre un obstáculo para el desarrollo de los sistemas de comunicación inalámbricos pues el espectro es un recurso limitado y está llegando a ser cada vez más valioso. Las nuevas tecnologías que apuntaban permitir que los nuevos servicios utilicen partes del espectro ya asignados para establecer los servicios sin causar una interferencia significativa conducen al concepto de los sistemas Ultra Wide Band (UWB). UWB utiliza técnicas de radio de baja potencia permitiendo previamente a bandas RF designadas ser reutilizadas sin interferir con los canales normales que tienen bajos anchos de banda. Debido a que la densidad espectral de potencia de los sistemas UWB es muy baja, es intrínsecamente difícil detectar y aparece como un ruido para otro sistema. Por lo tanto estas bandas RF asignadas son reutilizadas con eficacia ocultando señales debajo del nivel del ruido.

2.2.1. Definición Clásica

Radio UWB es el término genérico que describe a los sistemas de radio que tienen un ancho de banda muy grande.

Existen 2 definiciones bajo consideración de la FCC: "Cuando el ancho de banda de 3dB de una señal de radio llega a ser el 25% o más de la frecuencia central de la señal", o si "El ancho de banda RF de la señal es mayor que 1.5GHz".

$$AB = 2 \left(\frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \right) \geq 0.25$$

f_H es la frecuencia de corte superior y f_L es la frecuencia de corte inferior correspondiente a los 3dB del espectro de la señal.

2.2.2. Principales Características

La "banda estrecha" convencional y los sistemas "banda ancha" utilizan portadoras de Radio Frecuencia (RF) para transportar la señal en el dominio de la frecuencia de bandabase a la frecuencia portadora real donde el sistema es permitido para operar. Por el contrario, las implementaciones UWB, pueden modular directamente un impulso corto de energía RF que tienen un tiempo de subida y caída muy agudos, así dando como resultado una forma de onda que ocupa varios GHz de ancho de banda.

UWB también se llama tecnología de "libre portadora", tecnología "bandabase" o tecnología "impulsiva". El concepto básico en "La Tecnología de Radio Impulsiva" es desarrollar, transmitir y recibir pulsos RF de duración extremadamente corta llamados "ondas monociclo" con anchos de duración correspondientes a un rango desde decenas de picosegundos a algunos nanosegundos con un ciclo de trabajo muy bajo (menos del 1%).

Las formas de pulso son escogidas para tener poco o nada de contenido de energía mientras la frecuencia se aproxima a 0, ya que la capacidad de la antena de irradiar eficientemente decrece mientras la frecuencia se acerca a 0. Así, los pulsos tienden a tener excursiones positivas y negativas balanceadas, por ejemplo, un período de una senoide o la derivada de un pulso Gaussiano.

La técnica más importante o la técnica adoptada para la canalización en sistemas de Radio UWB es la TH-SS (Time Hopping Spread Spectrum). En TH-SS, una secuencia PN es utilizada para cambiar "pseudo-randómicamente" la posición de un tren de pulsos periódico con respecto a su posición nominal. Los bits de información son codificados en los cambios de tiempo de este tren de pulsos mediante una modulación M-aria PPM (Pulse Position Modulation). TH y PPM producen "incertidumbre" en el tren de pulsos periódico en el dominio del tiempo y "alisan o allanan" el espectro de la señal en el dominio de la frecuencia. Esto combinado con un ciclo de trabajo pequeño de los trenes de pulsos reduce la interferencia causada a otros sistemas de banda estrecha que funcionan u operan en la misma banda.

Esparciendo el espectro de la señal UWB usando los códigos TH-SS se oculta la señal en el nivel del ruido, dando una baja probabilidad de detección y una comunicación segura. TH-SS permite también la comunicación multiusuarios (aproximadamente 1000 usuarios).

Los Radios UWB presentan una nueva tecnología de antenas de banda muy ancha (espirales, fractales, etc.). Así mismo, los Radios UWB presentan sincronizadores complejos pero conversores A/D simples (1 bit).

2.2.3. Radio UWB, Trceptor Básico de Radio Impulsiva o Trceptor UWB

El trceptor básico de radio impulsiva, Radio UWB o trceptor UWB se muestra en la figura 2.7, este radio o trceptor exige una sincronización temporal muy precisa y no utiliza portadora. Además, transmite directamente los pulsos bandabase y los frontales de los trceptores son extraordinariamente simples.

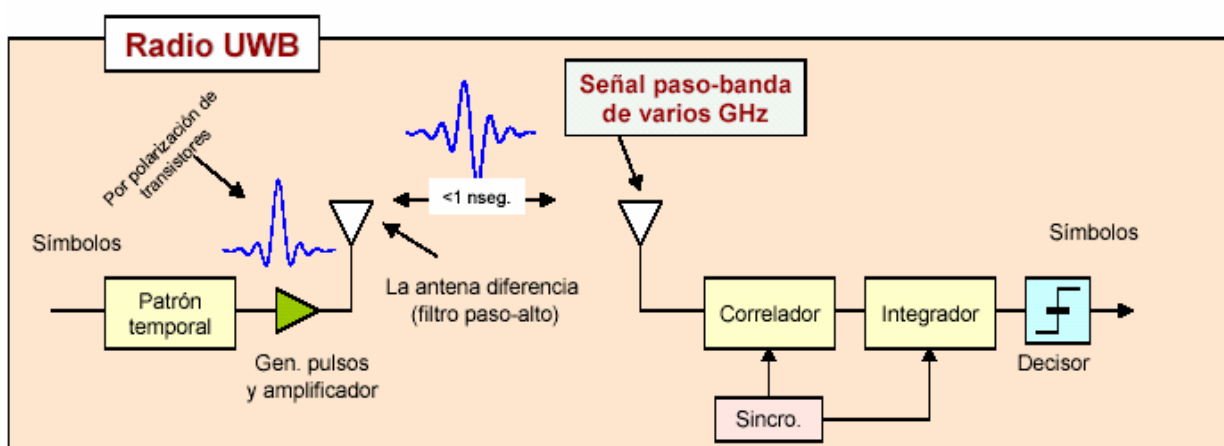


FIGURA 2.7. Radio UWB o Trceptor Básico de Radio Impulsiva

A su vez la figura 2.8 representa un *diagrama de bloques* de alto nivel trceptor UWB (transmisor-receptor). Según lo mostrado, el transmisor no contiene un amplificador de potencia; por tanto, el pulso transmitido es generado por un generador de pulsos a la potencia requerida. Una parte crítica del circuito del generador de pulsos es la antena, la cual actúa como un filtro. El receptor se asemeja al transmisor, excepto que el generador de pulsos alimenta al multiplicador dentro del correlador. Así mismo, el procesamiento de la señal bandabase debe extraer la modulación y, el seguimiento y la adquisición de la señal de control.

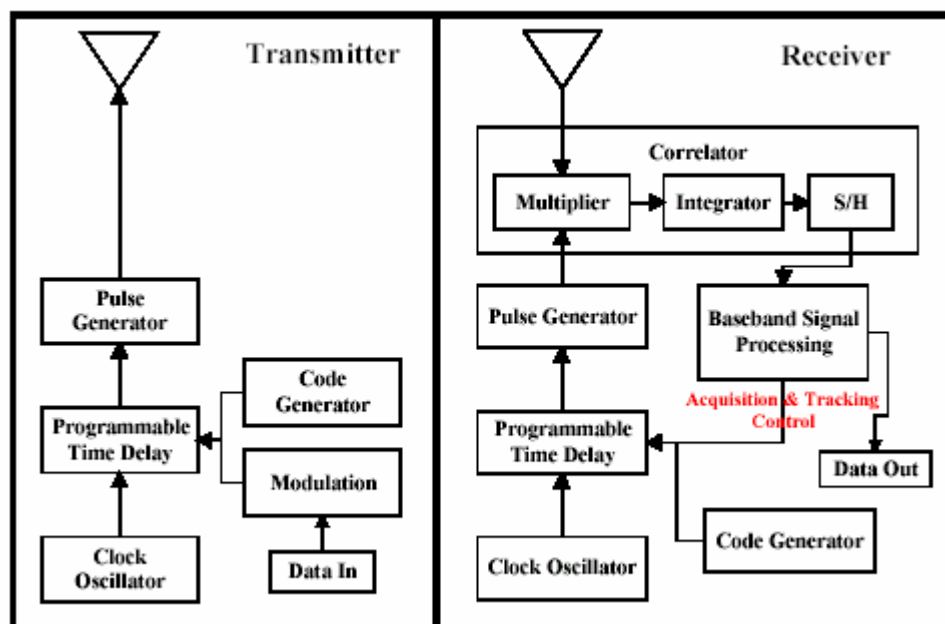


FIGURA 2.8. Diagrama de bloques del tranceceptor UWB

Los transmisores UWB emiten monociclos "Gaussianos" ultra cortos con intervalos pulso a pulso controlados estrechamente. En el dominio del tiempo, los anchos de estos pulsos monociclo están entre 0.20 y 1.50ns y con intervalos pulso a pulso entre 25 y 1000ns. Estos monociclos cortos son esencialmente la banda ultra ancha.

Los sistemas UWB típicamente utilizan la modulación por posición de pulso para la transmisión de datos. El intervalo pulso a pulso es variado sobre un principio fundamental pulso por pulso que va de acuerdo con 2 componentes: una señal de información y un código de canal.

Un solo bit de información es generalmente esparcido sobre monociclos múltiples. El receptor suma coherentemente el número apropiado de pulsos para recuperar la información transmitida.

2.2.4. Monociclo Gaussiano

El elemento básico en la tecnología de un Sistema Radio UWB es la utilización de un Monociclo Gaussiano como se muestra en la figura 2.9 el cual está en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia. El monociclo con un ancho de pulso estrecho produce una señal con un ancho de banda "ancho". El ancho del monociclo determina la frecuencia central y el ancho de banda.

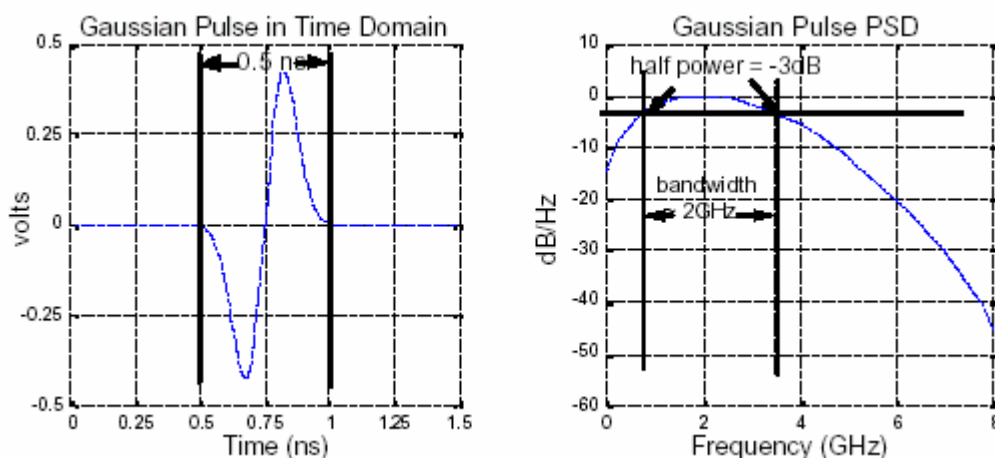


FIGURA 2.9. Monociclo Gaussiano de frecuencia central 2GHz en los dominios de tiempo y frecuencia

En el dominio del tiempo, el Monociclo Gaussiano es matemáticamente similar a la primera derivada de la función Gaussiana. Esta tiene la forma:

$$v(t) = \frac{t}{\tau} e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2} \quad (2.16)$$

donde τ es una constante de decaimiento de tiempo que determina la duración del monociclo y t es tiempo. Para el Monociclo Gaussiano mostrado en la figura 2.9, la duración del pulso es 0.5ns y la frecuencia central es 2GHz con el ancho de banda de potencia media (3dB) de aproximadamente 2GHz. Por lo tanto, la frecuencia central es inversamente proporcional a la duración del monociclo y el ancho de banda es el 116% de la frecuencia central del monociclo. Un pulso UWB típico oscila entre 0.2 y 0.5ns.

Aplicando la Transformada de Fourier, el espectro de la magnitud de un Monociclo Gaussiano en el dominio de la frecuencia esta dado por:

$$\left| F \left\{ \frac{t}{\tau} e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2} \right\} \right| = \pi f \tau^2 \sqrt{\pi} e^{-\left(\pi f \tau\right)^2} \quad (2.17)$$

2.2.5. Secuencia Monociclo

El monociclo por sí mismo no contiene ningún dato, por lo tanto una secuencia larga de monociclos llamada "tren de pulsos" con modulación de datos se utiliza para la comunicación en los sistemas UWB. La modulación y canalización de datos se logra variando los intervalos de tiempo pulso a pulso. Al transmitir tales secuencias, se debe tener cuidado en asegurar que la integridad de la calidad espectral permanezca intacta.

La figura 2.10 contiene una ilustración de la secuencia monociclo Gaussiana o tren de pulsos. En el dominio de la frecuencia, este tren de pulsos monociclo altamente regular produce picos de energía ("líneas encrespadas") en intervalos regulares; por lo tanto, la baja potencia se esparce entre las líneas encrespadas. Este tren de pulsos monociclos no lleva ninguna información y, debido a la regularidad de los picos de energía, puede interferir con sistemas de radio convencionales en rangos muy cortos; esto sería indeseable. Estas líneas encrespadas pueden ser eliminadas variando los intervalos de tiempo pulso a pulso y, como se mostrará mas adelante, haciendo esto, se logra también la modulación y canalización de datos.

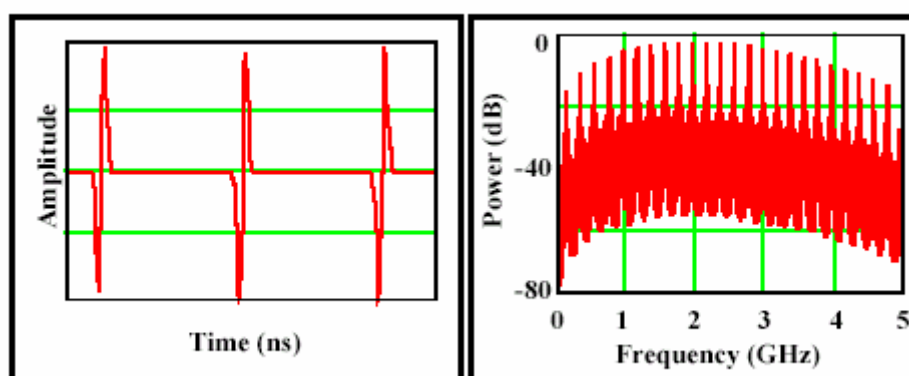


FIGURA 2.10. Un tren de pulsos monociclos en el dominio del tiempo y la frecuencia

Un tren de pulsos monociclo Gaussiano de salto en el tiempo es mostrado en la figura 2.11. El eje del tiempo se divide en tramas o bloques y cada trama se subdivide en 8

slots o ranuras. Durante cada trama de tiempo, solamente a una ranura de tiempo se le permite contener un monociclo Gaussiano.

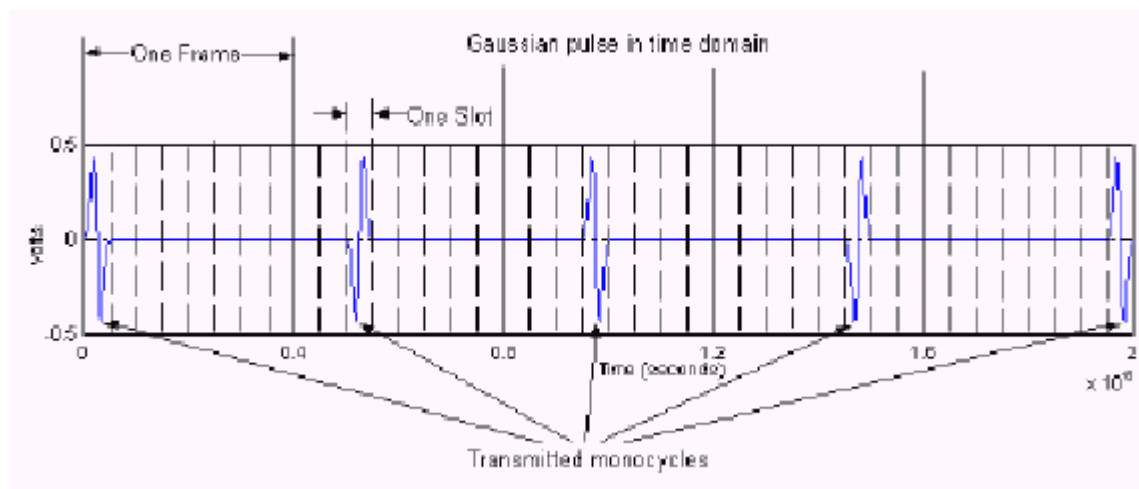


FIGURA 2.11. Un tren de pulsos monociclo Gaussiano de salto en el tiempo (time-hopping)

Cambiando la posición de cada monociclo a un intervalo de tiempo pseudo-aleatorio, los pulsos aparecen como ruido blanco sin influencia para usuarios con un código PN diferente. La codificación PN se puede utilizar para eliminar los picos de energía que interferirían con sistemas RF convencionales en un corto rango si los pulsos estuvieran ubicados uniformemente en el dominio del tiempo. Este código de canal también permite que los datos sean detectados por el receptor previsto, por lo tanto la transmisión de datos es más segura en ambientes hostiles y con menor interferencia con múltiples usuarios. El uso de la secuencia PN en TH (time hopping) puede teóricamente implicar que el sistema tendría un número infinito de usuarios únicos, todos sobre diferentes canales PN.

2.2.6. Modulación

Para transmitir la información, como proceso adicional, es necesario modular el tren de pulsos monociclo. Los sistemas UWB utilizan diferentes tipos de modulación, pero la más conocida y la más utilizada es la llamada Modulación por Posición de Pulso (PPM/Time Hopping) debido a que esta modulación permite la utilización de una técnica de filtro casado de recepción óptima. Los receptores utilizan un correlator cruzado, el cual da la capacidad al receptor de encontrar la señal en el nivel más bajo del ruido ambiente.

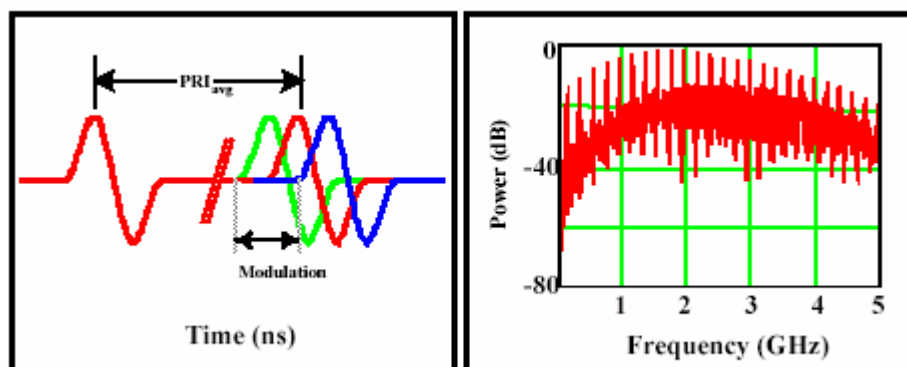


FIGURA 2.12. Modulación por Posición de Pulso

Como se muestra en la figura 2.12, la modulación por posición de pulso varía la sincronización exacta de transmisión de un monociclo alrededor de su posición nominal. Por ejemplo, en un sistema de 10 millones de pulsos por segundo (10Mpps), los monociclos deben ser transmitidos nominalmente cada 100ns (representado en la figura 2.12 como el período de tiempo PRI_{avg}). En tal sistema, un bit digital "0" podría ser representado transmitiendo el pulso 100ps antes y un bit digital "1" transmitiendo el pulso 100ps después.

Como se muestra en el gráfico de la derecha en la figura 2.12, la modulación por posición de pulso distribuye la energía RF más uniformemente a través de la banda. La modulación "alisa o allana" el espectro de la señal, y de esta manera se logra que el sistema tenga menos probabilidad de interferir con los sistemas de radio convencionales. Sin embargo, debido a que la modulación de la información mueve los pulsos solamente una parte fraccional del ancho del pulso, este impacto de alisamiento espectral es pequeño.

2.2.7. Codificación para Canalización

En este punto, cualquier tren de pulsos modulado aparece como otro tren de pulsos; pero no está canalizado. Sin embargo, cambiando la posición en el tiempo de la transmisión real de cada monociclo sobre un bloque de tiempo largo de acuerdo con un código, un tren de pulsos puede ser canalizado. Como se muestra en la figura 2.13, en el dominio del tiempo se aplica relativamente una compensación de tiempo (muchos nanosegundos) a cada impulso. En el dominio del tiempo se utilizan los códigos pseudo-aleatorios del ruido (Códigos PN) para este propósito. En un sistema de acceso múltiple,

cada usuario tiene una secuencia de código PN única. Solamente un receptor que opere con la misma secuencia de código PN puede decodificar la transmisión.

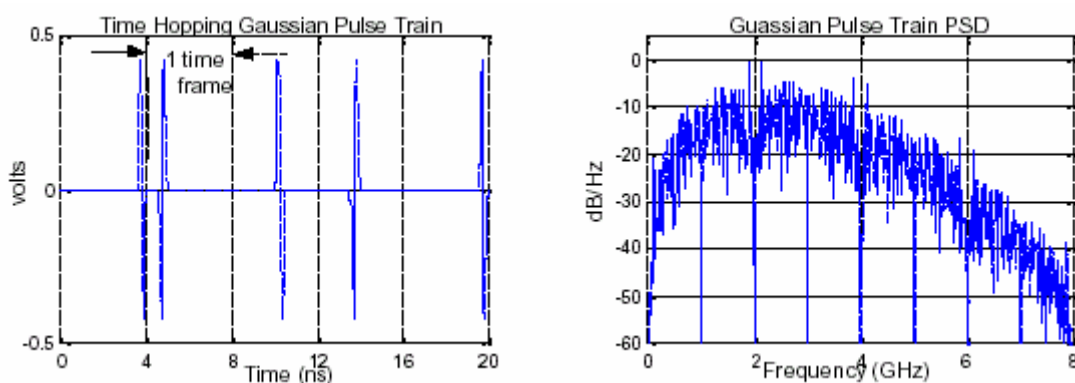


FIGURA 2.13. El impacto de la modulación de tiempo PN sobre la distribución de energía en el dominio de frecuencia

En el dominio de la frecuencia, esta modulación en el tiempo pseudo-randómica hace que una señal UWB aparezca indistinguible del ruido blanco.

En el dominio del tiempo, cada usuario puede tener un código pseudo-randómico de salto en el tiempo (time-hopping) único y el sistema puede entonces tener un número extenso de códigos de canal.

Sin el conocimiento del código time-hopping específico, la señal es virtualmente indetectable, aun en una proximidad muy cercana al transmisor. Esto hace a la señal intrínsecamente difícil de detectar o interceptar con excepción del receptor casado de correlación.

Como un punto de referencia, los sistemas UWB tienen ciclos de trabajo muy bajos con frecuencias de repetición entre 1 y 40Mpps. En la figura 2.13, se exagera el ciclo de trabajo típico encontrado en radios comunes en el dominio del tiempo. En implementaciones típicas, el ciclo de trabajo real es menos del 1%.

a. Técnica TH-SS (Time Hopping - Spread Spectrum)

En la técnica TH-SS, la portadora es pulsada con un ciclo de trabajo pequeño y su período es controlado por una secuencia codificada. El código es generado por un

generador pseudoaleatorio y este código dicta la posición relativa del pulso dentro del período. En la figura 2.14. se puede observar el formato básico de la técnica TH.

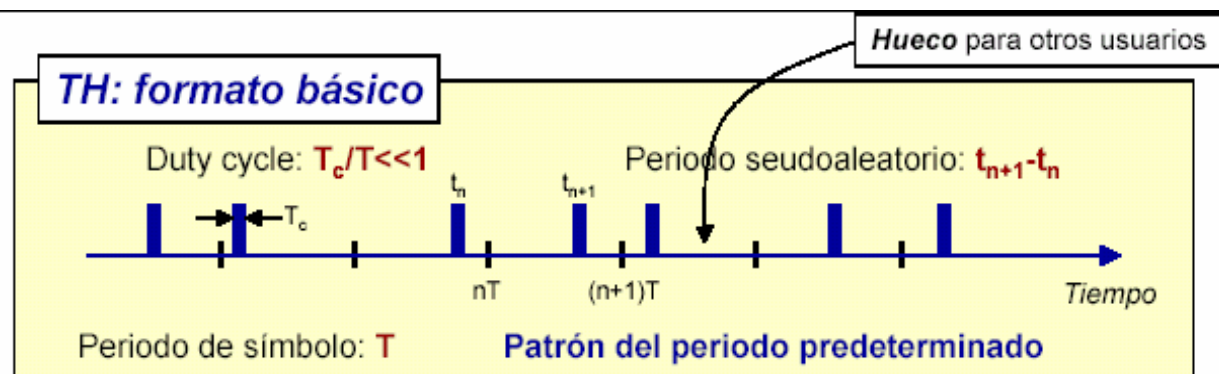


FIGURA 2.14. Formato Básico TH

La información en esta secuencia de pulsos se envía alterando la posición del patrón del período como se muestra en la figura 2.15

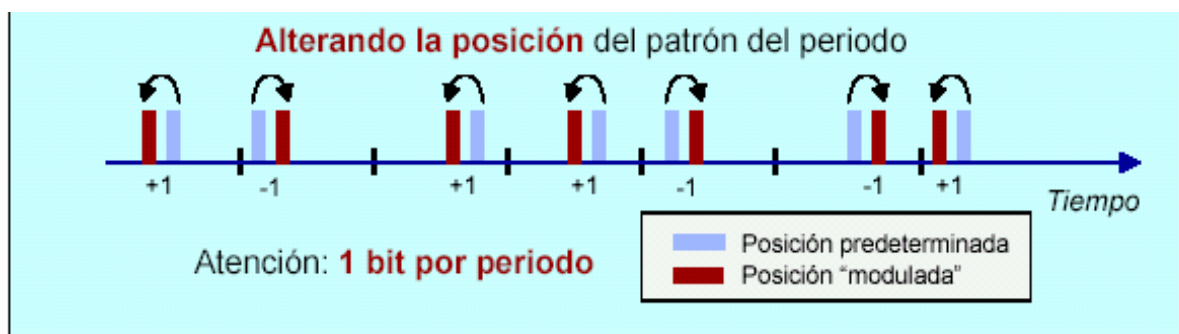


FIGURA 2.15. Forma de enviar la información en una secuencia de pulsos

Pero en el esquema anterior no hay redundancia (1 pulso/símbolo) y por tanto no hay ganancia de proceso. En la figura 2.16, se puede observar un formato TH con ganancia de proceso.

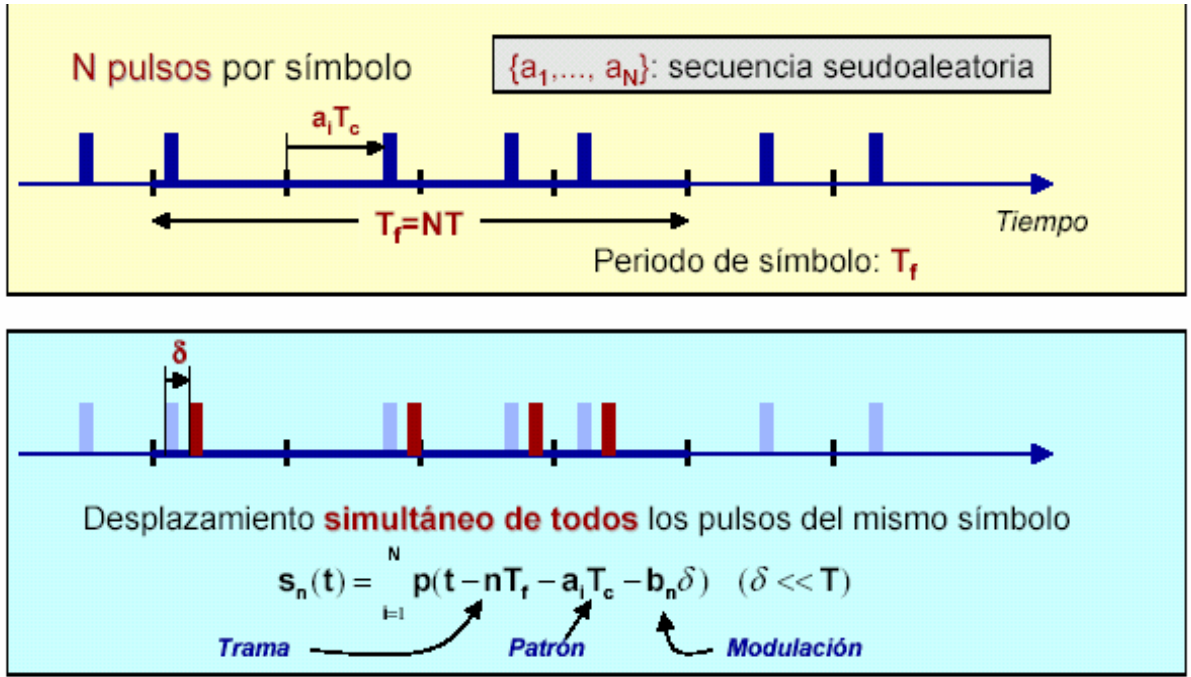


FIGURA 2.16. Formato TH con ganancia de proceso

La señal UWB TH-SS del usuario k esta dada por

$$s^k(t^k) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} p \left(t^k - jT_f - c_j^k T_c - \delta d_{\left[\frac{j}{N_s} \right]}^k \right) \quad (2.18)$$

donde:

- T_f es tiempo de trama (tiempo de repetición del pulso)
- $\{c_j^k\}$ es la secuencia de salto en el tiempo seudorandómica con período N_p y cada elemento una integración en el rango $0 \leq c_j^k \leq N_h$
- $\{d_j^k\}_{j=-\infty}^{\infty}$ es el cambio de tiempo por la secuencia de datos, es decir, para una modulación M-aria PPM $0 \leq d_j^k \leq (M - 1)$
- δ es el retardo fijo de tiempo tal que $N_h T_c + \delta(M - 1) < T_f$
- $\left[\frac{j}{N_s} \right]$ es la parte integral de su argumento, es decir, N_s pulsos son transmitidos por cada símbolo de dato.

En el tren de pulsos monociclo Gaussiano "time-hopping" mostrado en la figura 2.11, la ranura de tiempo particular escogida para una trama dada depende del esquema time-hopping empleado. Finalmente se muestra en la figura 2.17 los resultados del funcionamiento de un Sistema UWB empleando dos diferentes esquemas TH-SS que son: *random hopping* y *PN code hopping*.

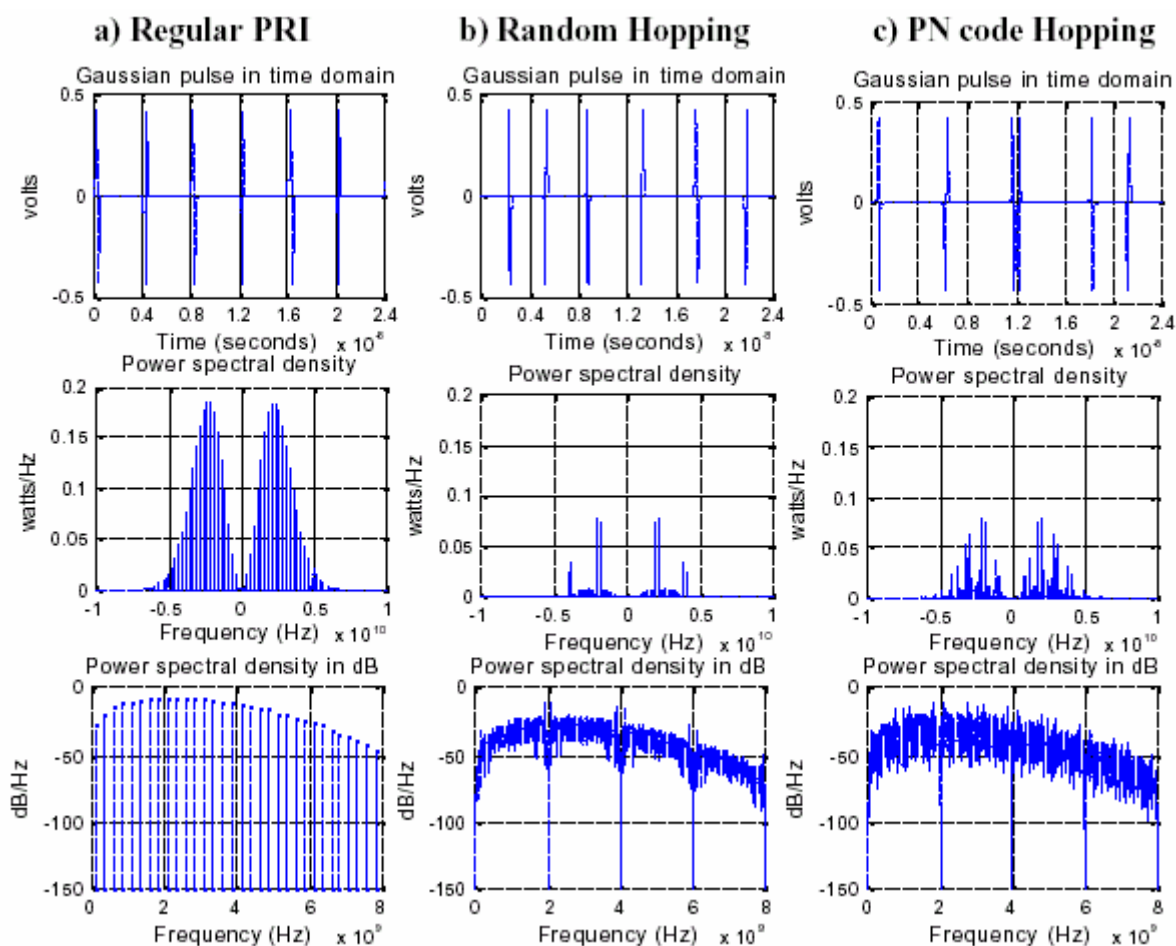


FIGURA 2.17. Funcionamiento de un Sistema UWB empleando diferentes esquemas TH-SS

Puede ser visto que el uso de largas secuencias randómicas, tanto en *random hopping* como en *PN code hopping* produce el alisamiento de la densidad espectral de potencia (PSD) y produce una señal parecida al ruido, pero la decisión de si utilizar una secuencia *random hopping* o una secuencia *PN code hopping* va a depender de la aplicación. En el caso de las redes inalámbricas de comunicación, donde la capacidad de acceso múltiple es requerida, una secuencia *PN code hopping* proporcionará la canalización a medida que un código hopping diferente puede ser entregado a cada usuario.

2.2.8. Recepción de las Transmisiones Monociclo

Teniendo generada una señal características espectrales mínimas, es también necesario tener un sistema de recepción óptimo. La técnica de recepción óptima, y la técnica usada en sistemas UWB, es un receptor de correlación ("*correlator*"). Un correlator multiplica la señal RF recibida con una forma de onda "*modelo*" y después integra la salida de ese proceso para producir un solo voltaje DC. Este proceso de multiplicar e integrar ocurre sobre la duración del pulso y se realiza en menos de 1ns

Con una forma de onda *modelo* apropiada, la salida del correlator es una medida de las posiciones relativas de tiempo del monociclo recibido y del *modelo*. La figura 2.18 muestra la salida del correlator que corresponde a diferentes compensaciones de tiempo entre la forma de onda *modelo* y la forma de onda recibida. Según lo mostrado el correlator es un detector óptimo *early/late*. Cuando el pulso recibido es 1/4 de un pulso *early*, la salida del correlator es un +1; cuando el pulso recibido es 1/4 de un pulso *late*, la salida es -1; y cuando el pulso recibido llega centrado en la ventana de correlación, la salida es 0. El bit de dato es decodificado basado en una observación de N_s muestras sobre un intervalo de tiempo de $N_s T_f$.

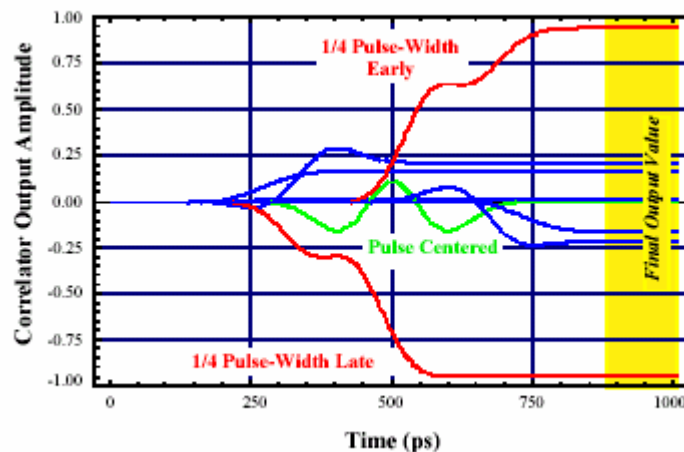


FIGURA 2.18. Salida del Correlator

Es crítico observar que el valor medio del correlator es 0. Por lo tanto, para señales de ruido en banda recibidas por un Radio UWB, el valor de la salida del correlator tiene un valor medio de 0. Por otra parte, la desviación estándar (RMS) de la salida del correlator se relaciona con la potencia de esas señales de ruido en banda.

El ancho de banda de un sistema UWB se lo puede establecer simplemente con la relación $1/\tau_m$ donde τ_m es el ancho del pulso o el tiempo de duración del pulso. Para determinar la tasa de transmisión de datos del mismo sistema se utiliza la expresión $1/T_f N_s$ donde como ya se había señalado anteriormente T_f es el tiempo de trama o el tiempo de repetición de pulso, y N_s es el número de pulsos transmitidos por cada símbolo.

Cuando un monociclo se oculta en el ruido de otras sales, es imposible detectar la recepción de un solo pulso UWB. Sin embargo, agregando muestras numerosas del correlator de manera conjunta, llega a ser posible recibir señales transmitidas, este proceso se llama "integración de pulso". A través de los receptores UWB basados en la integración de pulso se puede adquirir, seguir, controlar y demodular las transmisiones UWB que están significativamente debajo del nivel del ruido. La medida de un funcionamiento de un receptor UWB con señales de ruido en banda es el proceso de ganancia.

2.2.9. Ganancia de Proceso y Resistencia a Interferencias

La combinación de la codificación seudorandómica, la modulación randómica del tiempo y un receptor de correlación hace que los radios modulados en el tiempo sean altamente resistentes a interferencias. Esto es crítico a medida que todas las otras señales dentro de la banda ocupada por la señal modulada en el tiempo actúan como obstáculos al radio modulado en el tiempo. Puesto que no hay bandas de múltiples GHz no asignadas disponibles para sistemas modulados en el tiempo, los radios modulados en el tiempo tendrán otras señales dentro de su banda de operación.

La Ganancia de Proceso es una medida de una resistencia de radio al jamming (bloqueo). La ganancia de proceso se define como el cociente entre el ancho de banda RF de la señal y el ancho de banda de información de la señal. Los Radios modulados en el tiempo tienen una ganancia de proceso enorme. Por ejemplo, un sistema spread spectrum CDMA con un ancho de banda de información de 8KHz y un ancho de banda del canal de 1.25MHz tiene una ganancia de proceso de 156 (22dB). Un sistema UWB transmitiendo el mismo ancho de banda de información de 8KHz con un ancho de canal, por ejemplo, de 2GHz tiene una ganancia de proceso 250000 o 54dB. Alternativamente, la ganancia de proceso para una señal UWB se puede calcular de la siguiente manera:

- El ciclo de trabajo de la transmisión, por ejemplo, un ciclo de trabajo del 1% produce una ganancia de proceso de 20dB.
- El efecto de la integración de pulso, por ejemplo, la energía de integración sobre 100 pulsos para determinar un bit digital produce una ganancia de proceso de 20dB.
- La ganancia de proceso total es entonces la suma de estos dos componentes, es decir, 40dB.

Por ejemplo, un enlace 2GHz/10Mpps transmitiendo a 8Kbps tendría una ganancia de proceso de 54dB, porque se tiene un ancho de pulso de 0.5ns con un intervalo de repetición de pulso de 100ns y por tanto el ciclo de trabajo es del 0.5% (23dB), y 10Mpps/8Kbps es igual a 1250 pulsos por bit (otros 31dB).

Los pulsos de duración corta usados en la tecnología UWB tiene una excelente inmunidad al multi-trayecto o multipath y por lo tanto no sufre el pronunciado desmejoramiento o decaimiento de los sistema de banda estrecha convencionales. Para la determinación del BER (Bit Error Rate) en un sistema UWB generalmente se utiliza la *corrección de error hacia delante (FEC)*.

2.2.10. Antenas

Las antenas son un aspecto particularmente desafiante de la tecnología UWB. Las antenas convencionales se diseñan para irradiar solamente sobre un rango relativamente estrecho de frecuencias usado en sistemas de banda estrecha convencionales, sistemas con un ancho de banda fraccional de no más del 25%. Si un impulso se alimenta a tal antena, esta tiende a resonar, distorsionando severamente el pulso y expandiéndolo fuera en tiempo.

Existe una gran variedad de excelentes antenas UWB, incluyendo logarítmicas periódicas y espirales. Algunas antenas tienden a ser dispersivas e inadecuadas para aplicaciones de pulsos cortos, irradian componentes de frecuencia diferentes de partes distintas de la antena. Esto distorsiona la forma de onda irradiada. Otras antenas alcanzan un buen comportamiento impulsivo pero pagan el precio de tener reflexiones grandes. Para combatir estas dificultades, otras antenas utilizan cargas resistivas, las cuales producen cortas reflexiones y un ancho de banda de alta impedancia pero con la limitación de tener

una pobre eficiencia de radiación. Algunas antenas UWB de gran calidad no dispersivas que están comercialmente disponibles, funcionan sobre anchos de banda de 10dB y tal funcionamiento es magnífico, pero el precio a pagar es que son de gran tamaño.

Una antena UWB debe realizar la diferenciación de la corriente eléctrica:

- Campo eléctrico $E(t) = dA / dt$ donde A es el potencial magnético que es proporcional a la corriente I .
- Así, $E(t)$ es proporcional a di / dt .

Por tanto, una antena UWB no solamente irradia con cierta ganancia sino que también actúa como un filtro. En la figura 2.19 se puede observar gráficamente la función de la antena UWB.

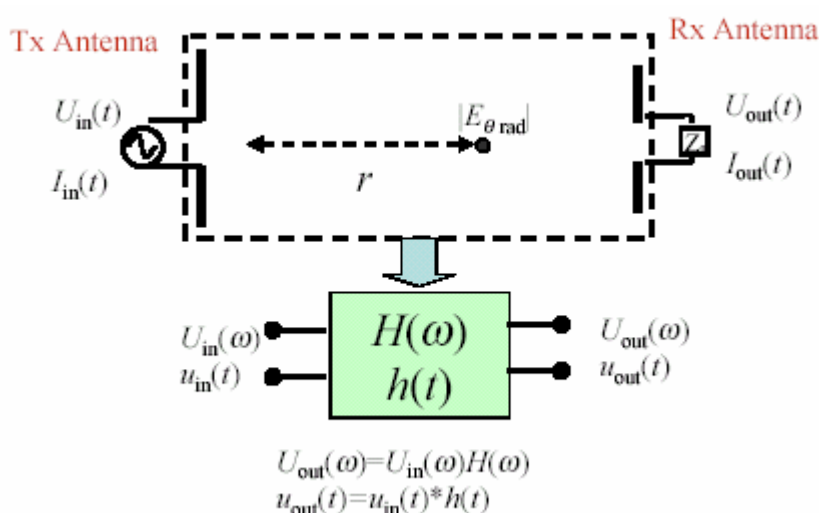


FIGURA 2.19. Función de la Antena UWB

Existe una gran necesidad de antenas UWB de bajo costo, fácil de manipular, que sean omni-direccionales, que tengan una eficiente radiación y que tenga una respuesta estable a la banda ultra ancha; por tal razón, actualmente en el modelamiento, tanto el análisis como el diseño se basan en las propiedades electromagnéticas en el dominio del tiempo, lo que ha logrado desarrollar una nueva antena circuito plana, llamada Antena BroadSpec.

a. Antena BroadSpec

La antena BroadSpec es aproximadamente del mismo tamaño que una tarjeta de negocios estándar y que puede operar desde los 5.5GHz a 1GHz con una ganancia de +1dBi. La respuesta de fase es muy lineal, haciéndola conveniente para transmisiones de alta fidelidad y recepción de formas de onda de impulsos UWB. La ganancia y la respuesta de fase son mostradas en la figura 2.20.

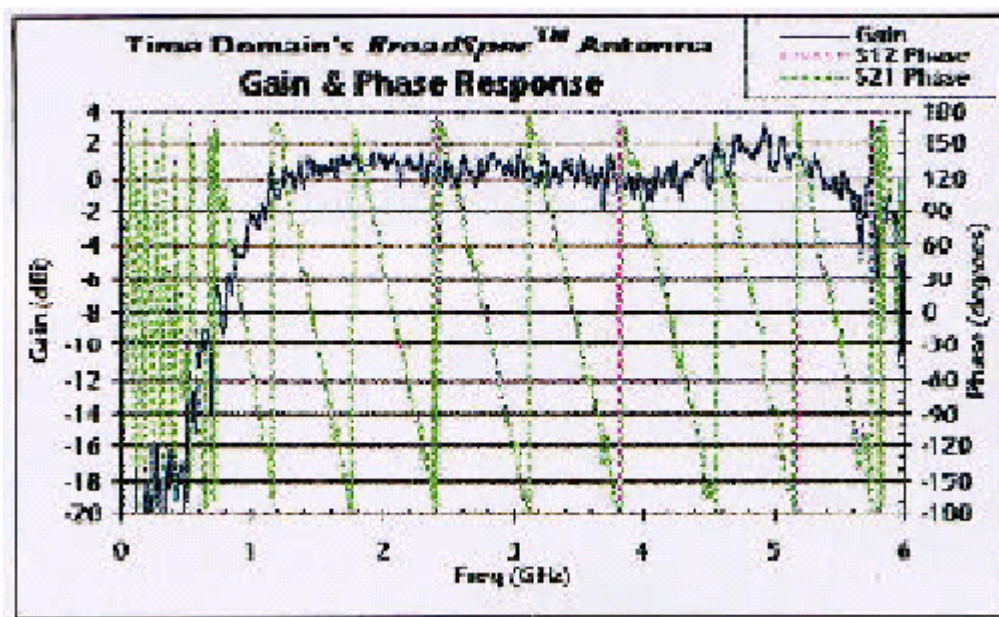


FIGURA 2.20. Antena BroadSpec: Ganancia y Respuesta de Fase

Cerca de los 1.5GHz, las pérdidas de retorno típicas están debajo de los -15dB correspondiendo a un VSWR < 1.5:1. Esto se obtiene sin usar cargas resistivas. Las antenas prototipo fueron construidas en un sustrato dieléctrico de bajas pérdidas. Se estima que la Antena BroadSpec tiene un 95% de eficiencia de radiación a través de la gran banda. La reflexión y las pérdidas de retorno se puede observar en la figura 2.21.

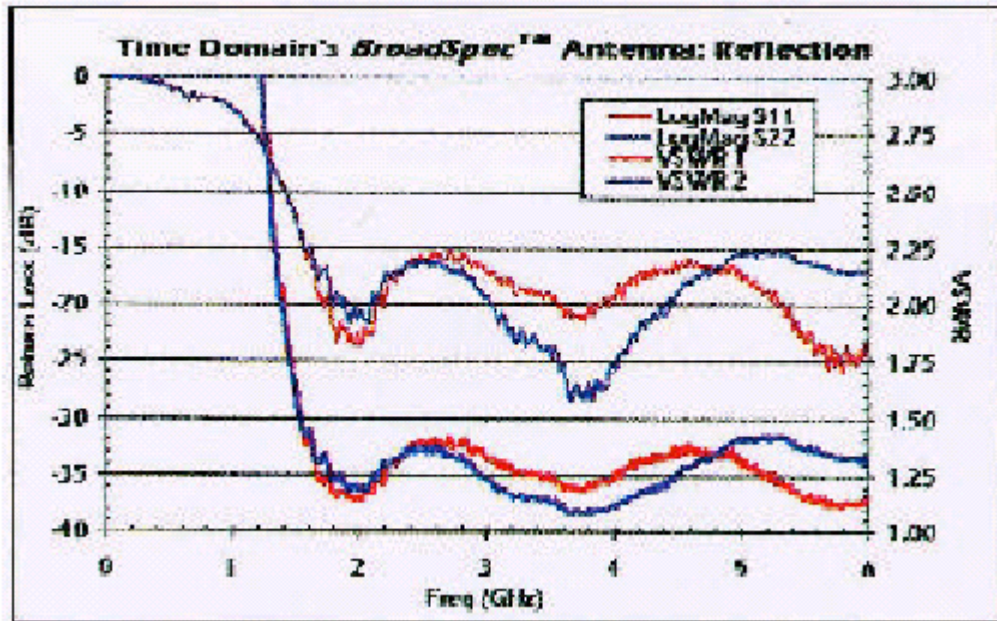


FIGURA 2.21. Antena BroadSpec: Reflexión y VSWR

Los resultados de la impedancia pueden ser difíciles de interpretar, porque las pérdidas del dieléctrico y las pérdidas de conducción pueden hacer que incluso una antena de radiación muy mala aparezca o funcione como un excelente filtro. En la figura 2.22 se muestra la eficiencia de radiación de la Antena BroadSpec.

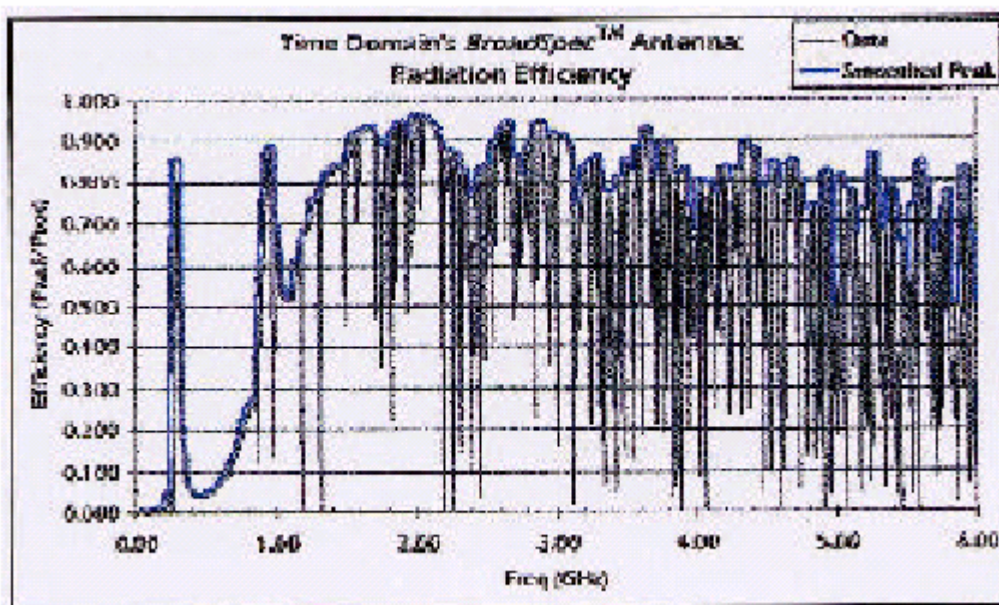


FIGURA 2.22. Antena BroadSpec: Eficiencia de Radiación

2.2.11. Protocolo MAC (Media Access Control)

A medida que la evolución de las redes inalámbricas continua ofreciendo tasas de transmisión de datos cada vez más altas, una evolución natural y similar esta ocurriendo en la clase de aplicaciones que se esta previendo para estas redes. Los sistemas UWB, con su potencial que es generar tazas de datos extremadamente grandes sobre cortas distancias, van a ser utilizados para el establecimiento de redes junto con sistemas de diferente clase. Por lo tanto, sería natural mirar los accesos al diseño MAC emprendido en estos otros estándares cuando se considera el diseño de la capa MAC para los sistemas UWB.

Las funciones más importantes de la capa MAC para una red inalámbrica incluye el acceso al canal de control, el mantenimiento de la calidad de servicio (QoS) y el proporcionar seguridad. Los sistemas UWB podrían utilizar las mismas técnicas de acceso que los radios 802.11 (basado en Carrier Sense Multiple Access/ Contention Avoidance), pero esta técnica es ineficiente y no apropiada para la distribución de medios *streaming*. Un mejor camino es utilizar un mecanismo ranurado tal como el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) según lo definido por el estándar IEEE802.15.3 o el HiperLAN2.

La combinación de una técnica de acceso eficiente tal como TDMA y una capa física con un gran ancho de banda tal como la tecnología UWB, permite que las redes WLAN y WPAN ofrezcan una gran flexibilidad y una alta calidad de servicio. En tales redes, los transceptores UWB se pueden utilizar para interconectar dispositivos de varias maneras, los dispositivos se pueden conectar a entradas (gateways) externas, se pueden conectar el uno con el otro o dispositivos portátiles pueden conectarse según la necesidad.

Actualmente, el sistema UWB completo se lo puede implementar y poner en ejecución mediante un circuito integrado conocidos como *chip*.

CAPÍTULO 3

NORMAS DE REGULACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS UWB

La tecnología UWB, como se había analizado en el capítulo 1, ha estado rondando el mercado desde hace 13 años, y recién el 14 de Febrero de 2002 la industria de las redes inalámbricas recibió el visto bueno de la Comisión de Comunicaciones Federal (FCC) para el desarrollo de la tecnología en aplicaciones principalmente comerciales. De esta forma, ahora la tecnología Ultra Wideband se posiciona como un potencial agitador de las redes inalámbricas, junto con otras tecnologías que van a la par como la IEEE 802.11x y Bluetooth.

UWB fue primeramente desarrollada y utilizada por los militares de los Estados Unidos en sistemas de radar para penetración de suelo con el fin de detectar minas y otros objetos enterrados en el subsuelo, también fue utilizada en sistemas de imágenes para monitorear movimientos detrás de puertas y vallas. No obstante, la tecnología Ultra Wide Band es mucho más completa, y también más controvertida, ya que las señales UWB pueden atravesar partes del espectro de radio que ya poseen licencia para otros usos, incluidos el espectro PCS utilizado por proveedores móviles como Sprint y el GPS utilizado militarmente para posicionamientos globales.

Aunque las compañías que desarrollan la tecnología de red UWB mantienen que las emisiones de banda ultra ancha tienen poca capacidad de interferir con otras señales de radio, le ha llevado tres años a la Comisión de Comunicaciones Federal (FCC) aprobar el uso de la tecnología para aplicaciones de redes inalámbricas comerciales. Cuando la FCC

finalmente dio luz verde a esta tecnología, tuvo cuidado de restringir el espectro utilizado por UWB y limitar sus niveles de emisión con el fin de minimizar los riesgos de posibles interferencias.

En el presente capítulo se hará precisamente un estudio de la restricción del espectro utilizado por UWB así como también de los límites en los niveles de emisión establecidos por la FCC, como medida de prevención a las interferencias que podría causar Ultra Wideband. Este estudio se realizará basado en la propiedad de licencias tanto en Estados Unidos como en Europa. Finalmente es este capítulo se dará sugerencias y medidas con el propósito de establecer normas regulativas para UWB en nuestro país, para lo cual se analizará el espectro de frecuencias en el Ecuador.

3.1. ANTECEDENTES

La Comisión de Comunicaciones Federal (FCC) es la encargada de intervenir en el proceso de determinar la legalidad de las transmisiones Ultra Wideband (UWB). Debido a la naturaleza de banda ancha que tienen las emisiones UWB, si UWB no está regulada, podría potencialmente interferir con otras bandas que ya poseen licencia en el dominio de la frecuencia.

En 1998 la FCC (Federal Communications Commission) reconoció la importancia de la tecnología UWB y comenzó un proceso de estudio con vistas a la concesión de permisos a la industria para realizar desarrollos de tipo comercial. Es así que la FCC primero inició un aviso de investigación (NOI) en septiembre del mismo año, que solicitó la reactivación de la industria con respecto a la posibilidad de permitir emisiones UWB sobre una base sin licencia siguiendo una restricción de potencias descritas en las reglas de la "Part 15" de la FCC. Las reglas de la "Part 15" de la FCC ponen límites de emisión en los radios dentro de las bandas sin licencia. Estos límites de la emisión se definen en términos de microvoltios por el metro (uV/m), que representa la fuerza del campo eléctrico del radio de un sistema. Para expresar esto en los términos de la potencia irradiada (términos que son entendidos mejor por los ingenieros de las comunicaciones), la fórmula siguiente puede ser utilizada. La potencia emitida por un radio es dada por

$$P = E_0^2 4\pi R^2 / \eta$$

donde E_0 representa la fuerza del campo eléctrico en términos de V/m, R es el radio de la esfera en la cual se mide la fuerza del campo, y η es la impedancia característica en el vacío donde $\eta = 377\Omega$. Por ejemplo, las reglas de la "Part 15.209" de la FCC limitan las emisiones para radios hasta los 500uV/m medidos a una distancia de 3 metros en un ancho de banda de 1MHz para las frecuencias mayores a 960MHz. Esto corresponde a una densidad espectral de potencia emitida de -41.3dBm/MHz.

En mayo de 2000, la FCC publicó un aviso de propuesta de regulación (NPRM), la cual solicitaba la reactivación de la industria sobre cambios específicos de la regla, tales cambios podrían permitir emisores UWB bajo las reglas de la "Part 15". Más de 500 comentarios se han archivado desde el primer NOI, lo cual demuestra el interés significativo de la industria en este proceso regulatorio. La figura 3.1 muestra cómo las reglas de la NPRM de mayo de 2000 limitarían la densidad espectral de potencia UWB transmitida para las frecuencias mayores a 2GHz.

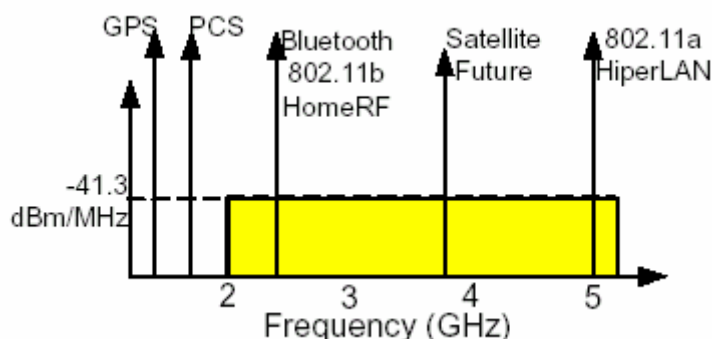


FIGURA 3.1. Límites de la Densidad Espectral de Potencia correspondientes a la NPRM del año 2000

Posteriormente la FCC consideró una densidad espectral mucho menor limitada en su parte inferior desde los 2GHz con el fin de proteger el Sistema de Posicionamiento Global crítico (GPS) aún más, pero no se había definido ningún límite superior. Los resultados de la NTIA (National Telecommunications and Information Administration) que analizaba el impacto de las emisiones UWB sobre GPS que opera en 1,2 y 1.5GHz, fueron publicados y sugerían una mayor atenuación adicional de 20 a 35dB; más allá de los límites de potencia descritos en la "Part 15.209" de la FCC, fue necesaria proteger la banda de GPS. Sin embargo, la determinación de los límites de emisión apropiados de la densidad

espectral en las bandas que puedan necesitar una protección adicional permitían todavía que los sistemas de UWB sean desplegados de una manera competitiva y útil mientras no causen una cantidad inaceptable de interferencia en otros servicios útiles que comparten el mismo espacio de la frecuencia. Este informe, y otros, fueron considerados cuidadosamente por la FCC antes de la regulación final.

La preocupación principal con respecto a las emisiones UWB fue la interferencia potencial que podrían causar a los sistemas "con autorización" en el dominio de la frecuencia así como a sistemas inalámbricos críticos específicos que proporcionan un servicio público importante (por ejemplo, GPS). Existen muchos factores los cuales tienen que ver con el impacto de UWB en otros sistemas de "banda estrecha", incluyendo la separación entre los dispositivos, las pérdidas de propagación de canal, la técnica de modulación, la frecuencia de repetición de pulso (PRF) empleada por el sistema UWB, y la ganancia de la antena del receptor de "banda estrecha" en la dirección del transmisor UWB. Por ejemplo, un sistema UWB que envía impulsos a una tasa constante (el PRF) sin modulación causa "picos o crestas" en el dominio de la frecuencia que son separados por el PRF. Además, entre la modulación por posición de pulso o la incertidumbre en el tiempo (es decir, los impulsos son transmitidos, levemente cambiando el tiempo) resulta la expansión del espectro en la emisión UWB y de esta manera parece más plana. Como resultado, la interferencia causada por un transmisor UWB se puede ver como una interferencia de banda ancha, y tiene el efecto o la capacidad de estar al nivel del ruido del receptor de "banda estrecha".

Existieron tres puntos principales a considerar en este tipo de interferencia. Primero, si UWB seguía los requerimientos de densidad espectral de potencia de la "Part 15", sus emisiones no eran peores que otros dispositivos regulados por este mismo estándar, que incluyen las computadoras y otros dispositivos electrónicos. Segundo, los estudios de interferencia necesitaron considerar "los argumentos de uso típicos" para la interacción entre UWB y otros dispositivos. Usando "el peor caso" el análisis podía dar lugar a una restricción demasiado grande de UWB y podía evitar que una nueva tecnología prometedora llegue a ser viable. Tercero, las restricciones de la FCC eran solamente las primeras. Además, la coordinación a través de la participación de los estándares fue necesaria para dar a conocer los métodos de coexistencia para los argumentos operacionales que eran importantes para la industria. Por ejemplo, si UWB es usado como

una tecnología de Red de Área Personal (PAN) cuya proximidad es cercana a una Red del Área Local (LAN) 802.11a, entonces el sistema UWB debe diseñarse de tal manera que coexista pacíficamente con el LAN. Esto pudo lograrse a través del compromiso de la industria y de la participación de los estándares, así como también de los correctos diseños.

La figura 3.1 ilustra otras dos consideraciones importantes para los sistemas UWB. Primero, las emisiones UWB son permitidas solamente a una densidad espectral de potencia muy baja comparada a otros servicios de “banda estrecha”. Esta potencia muy baja se puede considerar al mismo tiempo como una limitación y una ventaja. Esto es, restringe las emisiones UWB a distancias relativamente cortas, pero da lugar a una implementación con una muy eficiente potencia y a muy bajo costo, que preserva la vida de las baterías. Segundo, la figura 3.1 también muestra que los sistemas UWB muy probablemente pueden sufrir interferencia de otros usuarios de “banda estrecha”. La solución más flexible fue que éstas interferencias se debían suprimir a través de una cierta clase de técnica de supresión de interferencia aplicable, que fue el tema de investigación hace más 2 años dentro de los Laboratorios de Arquitectura Intel (IAL) y dentro de otras importantes industrias.

Personas familiarizadas con el proceso de la FCC sugerían que las reglas que gobernarían las emisiones de UWB se podrían concluir tan pronto como junio o julio de 2001 o tan tarde como diciembre de 2001. Pero conforme se recibieron los muchos comentarios por parte de la industria, debido al enorme potencial que prometía esta tecnología, que fueron estudiados por la FCC, NTIA (National Telecommunications and Information Agency) y el DoD (Departamento de Defensa), se dio lugar a una modificación de la regulación que fue adoptada recién el 14 de febrero de 2002, la cual establece diferentes estándares técnicos y limitaciones operativas para tres tipos de dispositivos UWB en función de su capacidad de producir interferencias:

- Sistemas radar de penetración en el suelo y en paredes, de imágenes para medicina y sistemas de vigilancia.
- Radares móviles.
- Sistemas de comunicaciones y de medida.

La modificación de la regulación supuso la revisión de la “Part 15” de la FCC publicada el 22 de abril de 2002 relativa a la comercialización y operación de equipos y

sistemas que utilizan la tecnología UWB. Esta decisión se tomó teniendo en consideración que las nuevas aplicaciones, surgidas por la utilización de esta nueva tecnología, producirán grandes beneficios a los potenciales usuarios. La finalidad fundamental de los estándares publicados es la protección de los servicios de radio actuales y futuros, tanto los comerciales como los relacionados con la seguridad.

El 13 de febrero de 2003 la FCC emitió un documento en el que confirma la reglamentación publicada hasta ese momento para UWB. Aunque reconocía en su documento del 14 de febrero de 2002 que las regulaciones serían conservadas se reservaba el derecho de modificarlas en el futuro en función de la experiencia de los resultados.

Es un camino difícil por el cual la FCC debió y debe aun seguir transitando para satisfacer la necesidad de métodos más eficientes para utilizar el espectro disponible, con el propósito de que los sistemas UWB y otros nuevos sistemas que pueden aparecer más adelante no causen interferencia a esos sistemas que ocupan actualmente el espectro, según lo exigido por los usuarios de esos sistemas que poseen licencias a ciertas bandas de frecuencia. En general, la FCC está interesada en fomentar la competición entre diversas tecnologías.

3.2. REVISIÓN DE LA "PART 15" DE LAS REGLAS DE LA FCC CON RESPECTO A LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ULTRA WIDEBAND

En este subcapítulo se estudiará y se analizará los aspectos más importantes de la "Part 15" de la FCC, la cual se refiere a la revisión de las reglas establecidas por la Comisión para los sistemas de transmisión Ultra Wideband. Este análisis y estudio será enfocado principalmente a las bandas de operación y los requerimientos operacionales de los dispositivos UWB.

Como se señaló en el subcapítulo anterior, la modificación de la regulación fue adoptada por la FCC el 14 de febrero de 2002 y finalmente la revisión de la "Part 15" de la FCC fue publicada el 22 de abril de 2002 en la ciudad de Washington D.C.; relativa a la comercialización y operación de equipos y sistemas que utilizan la tecnología UWB.

La "Part 15" de las reglas de la FCC permite la operación de dispositivos RF autorizados de baja potencia sin una licencia de la Comisión o sin necesidad de una coordinación de frecuencias. Los estándares técnicos contenidos en la "Part 15" fueron diseñados para asegurar de que haya una baja probabilidad de que estos dispositivos ilícitos causarán interferencia a otros usuarios del espectro de radio. Los radiotransmisores de la "Part 15" son permitidos funcionar bajo un conjunto de límites de emisión general o bajo provisiones que permitan niveles más altos de emisión en ciertas bandas de frecuencia. Los radiotransmisores de la "Part 15" generalmente no son permitidos funcionar en ciertas bandas de frecuencias sensibles (bandas utilizadas por servicios de radio que emplean niveles de señal de recepción extremadamente bajas) o ciertas bandas de frecuencia relativas a la seguridad que son señaladas como bandas restringidas, o en las bandas de frecuencia asignadas para transmisión de la televisión ("TV"). Solamente emisiones fuera de banda de transmisores de la "Part 15" se permiten en estas bandas restringidas.

Los sistemas de radio UWB emplean típicamente la modulación por posición de pulso donde impulsos de energía RF extremadamente estrechos o cortos se modulan y se emiten para transportar la información. Debido a la duración muy corta de estos pulsos, los anchos de banda de emisión de estos sistemas son grandes y exceden generalmente a un GHz. En algunos casos, los transmisores "impulso" son empleados donde los pulsos no modulan una portadora. En lugar de eso, las emisiones de radiofrecuencia generadas por los pulsos se aplican a una antena, y la frecuencia resonante de la antena determina la frecuencia central de la emisión radiada. Las características de respuesta de frecuencia de la antena proporcionan la filtración pasa-banda, afectando además la forma de la señal radiada. Los dispositivos UWB se pueden utilizar para la medida exacta de distancias o de ubicaciones y para obtener imágenes de objetos enterrados bajo tierra o detrás de superficies. Los dispositivos UWB se pueden también utilizar para las comunicaciones inalámbricas, particularmente para transmisiones de datos a alta velocidad de corto alcance, convenientes para el acceso de banda ancha en las redes.

El Gobierno Federal de los Estados Unidos opera con sistemas de seguridad de vida y con otros sistemas críticos en varias bandas de frecuencia restringidas y tiene serias preocupaciones sobre el potencial de los dispositivos UWB para interferir con estas operaciones. La NTIA en el Ministerio de Comercio de los Estados Unidos es responsable

de manejar el uso del espectro de radiofrecuencia por parte del Gobierno Federal. En esta capacidad, la NTIA dirige medidas y análisis de interferencia potencial a una variedad de sistemas federales incluyendo, por ejemplo, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), el Sistema de Satélites para búsqueda y rescate, el Sistema de Control de Tráfico Aéreo, y el Sistema de Radar Meteorológico. La NTIA y la FCC han trabajado juntas para desarrollar un paradigma regulador que permita el despliegue de la prometedora y nueva tecnología UWB mientras salvaguarda adecuadamente las operaciones de los sistemas del Gobierno y las operaciones de sistemas que no tienen que ver con el Gobierno.

Una de las acciones más importantes de la FCC es la corrección continua de las reglas de la "Part 15" para permitir la comercialización y la operación de ciertos tipos de productos nuevos que incorpora la tecnología Ultra Wideband ("UWB"). La tecnología UWB mantiene la gran promesa para una inmensa variedad de aplicaciones innovadoras, que cree la FCC, proporcionarán ventajas significativas para la seguridad pública, negocios y consumidores. Con estándares técnicos apropiados, los dispositivos UWB pueden funcionar dentro del espectro ocupado por servicios de radio existentes sin causar interferencia, de tal modo que sea posible que los recursos escasos del espectro sean utilizados más eficientemente. Este primer registro regulatorio de la FCC incluye los estándares diseñados para asegurar de que los servicios de radio existentes, particularmente los servicios de seguridad sean protegidos adecuadamente.

La FCC está procediendo cautelosamente en autorizar la tecnología UWB, basada en las estrictas restricciones sobre estándares que la NTIA (National Telecommunications and Information Administration) considera que es necesario, para proteger contra interferencias a las operaciones de los sistemas del Gobierno Federal de los Estados Unidos. Estos estándares UWB se aplicarán a los dispositivos UWB que funcionan en bandas de frecuencia compartidas o en bandas de frecuencia no autorizadas, incluyendo los dispositivos de UWB operados por Agencias del gobierno de los Estados Unidos en tales bandas. Sin embargo, la FCC está intranquila en que los estándares que está adoptando pueden ser sobreprotectores y podrían obligar innecesariamente el desarrollo de la tecnología de UWB. Por consiguiente, dentro de los próximos seis a doce meses la Comisión se propone revisar los estándares para los dispositivos UWB y publicar otra regla que explore estándares técnicos más flexibles y dirija el funcionamiento de tipos adicionales de operaciones y tecnología UWB.

La FCC cree que los estándares contenidos en la "Part 15" son extremadamente conservadores, pero estos estándares pueden cambiar en el futuro a medida que la Comisión continúe recogiendo datos con respecto a operaciones UWB.

3.2.1. Tratamiento Regulatorio de UWB y Estándares Técnicos Apropriados

Sobre la consideración del documento regulatorio, la FCC continua creyendo que la tecnología UWB ofrece ventajas significativas para el gobierno, la seguridad pública, los negocios y los consumidores. Sin embargo, la Comisión reconoce que estas ventajas sustanciales podrían pesar más que si los dispositivos UWB causan interferencia a los servicios con licencia y a otras operaciones de radio importantes. El análisis de registro y varios estudios técnicos indican que los dispositivos UWB pueden permitir operar en base ilícita sin causar interferencia proporcionando estándares técnicos apropiados y las restricciones operacionales están aplicadas a su uso.

Para asegurarse de que los dispositivos UWB no causen interferencia, la "Part 15" establece diversos estándares técnicos y restricciones de funcionamiento para tres tipos de dispositivos UWB basados en su potencial para causar interferencia. Estos tres tipos de dispositivos UWB son:

- 1) Sistemas de proyección de imagen de pared, a través de paredes incluyendo los GPRs (Ground Penetrating Radars), sistemas de vigilancia, dispositivos médicos de proyección de imagen,
- 2) Sistemas de Radar Vehicular , y;
- 3) Sistemas de Comunicaciones y Sistemas de Medida.

Generalmente, la FCC está adoptando los límites no deseados de emisión para los dispositivos UWB que están considerablemente más rigurosos que los límites impuestos sobre otros dispositivos de la "Part 15"; limitando el uso de exteriores (al aire libre) de los dispositivos UWB a los sistemas de la proyección de imagen, a los sistemas de radar vehicular y a los dispositivos *hand-held* (dispositivo portable, tal como una computadora laptop o un PDA, el cual es sostenido con la mano mientras está funcionando y no emplea una infraestructura fija); y, limitando la banda de frecuencia dentro de la cual ciertos productos UWB serán permitidos para funcionar. La banda de frecuencia de

funcionamiento se basa sobre el ancho de banda de -10dB de la emisión UWB. Esta combinación de estándares técnicos y de restricciones operacionales asegurará que los dispositivos UWB coexistan con los servicios de radio autorizados sin el riesgo de interferencia mientras se gana experiencia con esta nueva tecnología. Mientras tanto, la FCC planea acelerar la acción de ejecución de ley para cualquier producto UWB que se encuentre violando las reglas que la Comisión y actuará rápidamente para eliminar cualquier interferencia reportada de los dispositivos UWB.

Específicamente, la "Part 15" de las reglas de la FCC toma las acciones siguientes:

- ***Sistemas de Proyección de Imagen:*** Proporciona para el funcionamiento y operación de los GPRs y otros dispositivos de proyección de imagen bajo la "Part 15" de las reglas de la Comisión sujeta a ciertas limitaciones de frecuencia y de potencia. Todos los Sistemas de Proyección de Imagen están sujetos a coordinación con la NTIA a través de la FCC. La NTIA ha indicado que la coordinación será tan expeditiva como sea posible, requiriendo no más de 15 días laborales, y se puede acelerar en situaciones de emergencia. Los operadores de los dispositivos de proyección de imagen deben ser preferiblemente bajo licencia de la "Part 90" de las reglas de la FCC, a menos que esos dispositivos médicos de proyección de imagen puedan ser operados bajo una cuidadosa licencia de salud. Los Sistemas de Proyección de Imagen incluyen:
- ***Sistemas GPR (Ground Penetrating Radar):*** El Sistema GPR debe funcionar con su ancho de banda de -10db debajo de 960MHz o en la banda de frecuencia 3.1-10.6GHz. El GPR funciona solamente cuando está en contacto con, o dentro de una proximidad cercana, de la tierra con el fin de detectar o de obtener las imágenes de objetos enterrados. La energía del GPR se dirige intencionalmente bajo la tierra para este propósito. El funcionamiento se restringe a la aplicación de ley, a las organizaciones de rescate, a las instituciones de investigación científicas, a las compañías de explotación minera comerciales, y a las empresas de la construcción.
- ***Sistemas de Proyección de Imagen de Pared:*** Los Sistemas de Proyección de Imagen de Pared deben funcionar con su ancho de banda de -10db debajo de 960MHz o en la banda de frecuencia 3.1-10.6GHz. Los Sistemas de Proyección de Imagen de Pared se diseñan para detectar la ubicación de objetos contenidos dentro de una pared, por

ejemplo una estructura de concreto, el lado de un puente, o la pared de una mina. El funcionamiento se restringe a la aplicación de ley, a las organizaciones de rescate, a las instituciones de investigación científicas, a las compañías de explotación minera comerciales, y a las empresas de la construcción.

- ***Sistemas de Proyección de Imagen a través de Paredes:*** Estos sistemas deben funcionar con su ancho de banda de -10db debajo de 960MHz o en la banda de frecuencia 1,99-10,6GHz. Los Sistemas de la Proyección de Imagen a través de paredes detectan la ubicación o el movimiento de las personas o de los objetos que están situados en el otro lado de una estructura tal como una pared. El funcionamiento se limita a la aplicación de ley y a las organizaciones del rescate.
- ***Sistemas de Vigilancia:*** Aunque técnicamente estos dispositivos no son Sistemas de Proyección de Imagen, para propósitos reguladores serán tratados de la misma manera que los Sistemas de Proyección de Imagen a través de paredes, usados por la policía, organizaciones de rescate y serán permitidos para operar con su ancho de banda de -10db en la banda de frecuencia 1.99-10.6GHz. Los Sistemas de Vigilancia operan como “seguridad cercana” estableciendo un campo de perímetro RF estacionario y detectando la intrusión de personas o de objetos en ese campo. El funcionamiento se limita a la aplicación de ley, a las organizaciones de rescate, a las utilidades públicas y a las entidades industriales.
- ***Sistemas Médicos:*** Estos dispositivos deben funcionar con su ancho de banda de -10db en la banda de frecuencia 3.1-10.6GHz. Un Sistema Médico de Proyección de Imagen se puede utilizar para una variedad de usos de salud dentro del cuerpo de una persona o de un animal. El funcionamiento debe estar bajo la dirección, o bajo supervisión de una cuidadosa licencia de salud.
- ***Sistemas de Radar Vehicular:*** Proporciona el funcionamiento de un sistema de radar vehicular usando antenas direccionales sobre vehículos de transportación terrestres donde la frecuencia central de emisión y la frecuencia, en la cual ocurre la más alta emisión radiada, es mayor de 24.075GHz. El ancho de banda de -10db debe estar en la banda de 22-29GHz. Estos dispositivos pueden detectar la ubicación y el movimiento

de objetos cerca de un vehículo, permitiendo características tales como el evitar colisiones cercanas, la activación mejorada de la bolsa de aire y los sistemas de suspensión que mejor respondan a las condiciones de camino.

- **Sistemas de Comunicaciones y Sistemas de Medida:** Proporciona para uso de una variedad amplia de otros dispositivos UWB, tales como dispositivos de red de alta velocidad para negocios y para el hogar así como dispositivos de medida en tanques de almacenaje bajo la "Part 15" de las reglas de la FCC sujeta a ciertas limitaciones de frecuencia y de potencia. Los dispositivos deben funcionar con su ancho de banda de -10dB en la banda de frecuencia 3.1-10.6GHz. El equipo se debe diseñar para asegurar de que el funcionamiento puede ocurrir solamente en interiores o en el caso de que se trate de un dispositivo *hand-held* empleado para tales actividades. Los límites de emisión no deseada son más estrictos para dispositivos *hand-held* que para sistemas solamente de interiores.

3.2.2. Definiciones UWB

A continuación se detallan algunas definiciones importantes descritas en la "Part 15" de las reglas de la FCC correspondientes al registro regulatorio de los sistemas de transmisión UWB:

- **Ancho de banda UWB:** el ancho de banda UWB es la banda de frecuencia limitada por los puntos que están 10dB debajo de la emisión radiada más alta, según lo basado en el sistema completo de transmisión incluyendo la antena. El límite superior se designa f_H y el límite más bajo se designa f_L . La frecuencia en la cual ocurre la emisión radiada más alta se designa f_M .
- **Frecuencia Central:** La frecuencia central, f_C , es igual a $(f_H + f_L)/2$.
- **Ancho de banda fraccional:** El ancho de banda fraccional es igual a $2(f_H - f_L)/(f_H + f_L)$.
- **Transmisor Ultra Wideband (UWB):** Un radiotransmisor que, en cualquier punto del tiempo, tiene un ancho de banda fraccional igual o mayor a 0,20 o tiene un ancho de banda UWB igual o mayor a 500MHz, sin importar el ancho de banda fraccional.

- **EIRP:** Potencia radiada isotrópicamente equivalente, es decir, el producto de la potencia suministrada a la antena y la ganancia de la antena en una dirección dada relativa a una antena isotrópica. La EIRP, en términos de dBm, puede ser convertida a una fuerza de campo, en dBuV/m en 3 metros, agregando 95,2. Según lo utilizado en la "Part 15", la EIRP se refiere a la más alta fuerza de la señal medida en cualquier dirección y en cualquier frecuencia del dispositivo UWB.

3.2.3. Bandas de Frecuencia y Requerimientos Técnicos Operacionales para los Dispositivos UWB

La FCC considera varios de factores que permiten determinar bandas de frecuencia en las cuales los dispositivos UWB puedan funcionar. Primero es la necesidad de proteger de interferencias a los sistemas de seguridad que operan en la banda de frecuencia restringida, incluyendo las operaciones GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Segundo, existe una amplia variedad de aplicaciones importante de la tecnología UWB y cada una de las cuales tiene atributos y requerimientos de espectro únicos. Tercero, varias regiones del espectro tienen características de propagación diferentes. Para comprender todos los beneficios de esta tecnología, la FCC debe establecer tan pocas restricciones como posibles frecuencias de operación UWB, excepto si hay la necesidad de proteger servicios existentes contra la interferencia.

La FCC notó que existían varios inconvenientes principalmente sobre permitir la operación de los dispositivos UWB en la región del espectro ubicada debajo de los 2GHz. Esta región, según la FCC, es quizás la región más ocupada del espectro y es utilizada para la seguridad pública, la navegación aeronáutica y marítima, las comunicaciones, las transmisiones AM, FM y de TV, las comunicaciones móviles privadas y comerciales, las comunicaciones de aficionados y las operaciones GPS. Además la Comisión es consciente de que 41 de las 64 bandas de frecuencia restringidas se encuentran debajo de los 2GHz, no contando las bandas de transmisión de TV. Pero la particular preocupación que tiene la FCC es el impacto de cualquier interferencia potencial a la banda GPS correspondiente a 1559 - 1610MHz y a cualquier frecuencia adicional asignada a GPS, por ejemplo, la frecuencia L5 en la banda de 960 - 1215MHz. GPS se utilizará cada vez más para la seguridad y la navegación aérea, y es una herramienta importante para mejorar la eficiencia

del sistema de tráfico aéreo. Es más, los negocios y consumidores están actualmente utilizando GPS para una variedad de aplicaciones, por ejemplo, para inspeccionar la navegación en automóviles o en cualquier otro tipo de vehículo, para inspeccionar la caminata de personas, entre otras. Por consiguiente, cualquier interferencia a GPS podría tener un serio impacto perjudicial sobre la seguridad pública y los negocios. Además, las pérdidas de propagación no son mayores debajo de los 2GHZ, y los servicios en esta región del espectro tienden a emplear antenas omnidireccionales que no pueden discriminar señales no deseadas.

Estos factores tienden a incrementar los riesgos de interferencia debajo de los 2GHz, y como se dijo anteriormente, la Comisión esta preocupada por la operación de los dispositivos UWB, excepto de los GPRs y posiblemente de los dispositivos de proyección de imagen a través de paredes, en esta región del espectro.

Finalmente, la FCC estableció a través de la "Part 15" las siguientes reglas correspondientes a las bandas de frecuencia y a los requerimientos técnicos operacionales para cada uno de los dispositivos UWB.

a. Requerimientos Técnicos para Sistemas de Proyección de Imagen que Operan en Bajas Frecuencias.-

La primera clase de sistemas de proyección de imagen incluye todos los sistemas de proyección de imagen que operan con un ancho de banda de -10db que está totalmente contenido bajo 960MHz.

Este sistema de proyección de imagen contendrá un interruptor (switch) operado manualmente que cause al transmisor cesar la operación en un rango de 10 segundos después de que el operador haya presionado en switch. Además, es permitido operar un sistema de proyección de imagen por medio de control remoto con tal que el sistema cese la transmisión en un rango de 10 segundos después de que el operador haya presionado el switch remoto.

Los límites de emisión sobre los 960MHz de los dispositivos correspondientes a sistemas de proyección de imagen que operan en bajas frecuencias se encuentran en la tabla 3.1.

Frecuencia en MHz	EIRP en dBm
960 - 1610	-65.3
1610 - 1990	-53.3
Sobre 1990	-51.3

TABLA 3.1. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a sistemas de proyección de imagen que operan en bajas frecuencias

b. Requerimientos Técnicos para Sistemas de Proyección de Imagen que Operan en Frecuencias Medias.-

Esta clase de sistemas de proyección de imagen consiste solamente de los Sistemas de Proyección de Imagen a través de Paredes y Sistemas de Vigilancia. Estos dispositivos operan con un ancho de banda de -10dB entre 1990MHz y 10600MHz.

Un sistema de proyección de imagen a través de paredes contendrá un interruptor (switch) operado manualmente que cause al transmisor cesar la operación en un rango de 10 segundos después de que el operador haya presionado en switch. Además, es permitido operar un sistema de proyección de imagen a través de paredes por medio de control remoto con tal que el sistema cese la transmisión en un rango de 10 segundos después de que el operador haya presionado el switch remoto.

Los límites de emisión sobre los 960MHz de los dispositivos correspondientes a sistemas de proyección de imagen que operan en frecuencias medias se encuentran en la tabla 3.2.

Frecuencia en MHz	EIRP en dBm
960 – 1610	-53.3
1610 - 1990	-51.3
1990 - 10600	-41.3
Sobre 10600	-51.3

TABLA 3.2. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a sistemas de proyección de imagen que operan en frecuencias medias

c. Requerimientos Técnicos para Sistemas de Proyección de Imagen que Operan en Altas Frecuencias.-

Esta tercera clase de sistemas de proyección de imagen son aquellos que operan con un ancho de banda de -10dB entre 3.10GHz y 10.6GHz. Los sistemas de proyección de imagen que operan en altas frecuencias incluyen los GPRs, los dispositivos de Proyección de Imagen de Pared y los dispositivos de Proyección de Imagen Médicos.

Estos sistemas de proyección de imagen contendrán un interruptor (switch) operado manualmente que cause al transmisor cesar la operación en un rango de 10 segundos después de que el operador haya presionado en switch. Además, es permitido operar estos sistemas de proyección de imagen por medio de control remoto con tal que el sistema cese la transmisión en un rango de 10 segundos después de que el operador haya presionado el switch remoto.

Los límites de emisión sobre los 960MHz de los dispositivos correspondientes a sistemas de proyección de imagen que operan en altas frecuencias se encuentran en la tabla 3.3.

Frecuencia en MHz	EIRP en dBm
960 - 1610	-65.3
1610 - 1990	-53.3
1990 - 3100	-51.3
3100 - 10600	-41.3
Sobre 10600	-51.3

TABLA 3.3. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a sistemas de proyección de imagen que operan en altas frecuencias

d. Requerimientos Técnicos para Sistemas de Radar Vehicular

La operación de los Sistemas de Radar Vehicular se limita a los sensores de disturbio de campo UWB montados en vehículos de transporte terrestre. Estos dispositivos funcionarán solamente cuando el vehículo está encendido, es decir, cuando el motor está funcionando. La operación ocurrirá solamente sobre una activación específica, por ejemplo al encender el vehículo, al manipular la caja de cambios o al indicar una señal de giro.

Un Sistema de Radar Vehicular opera con un ancho de banda de -10dB entre 22GHz y 29GHz. Además, la frecuencia central, f_C , y la frecuencia a la cual el más alto nivel de emisión ocurre, f_M , deben ser mayores a 24.075GHz.

Los límites de emisión sobre los 960MHz de los dispositivos correspondientes a Sistemas de Radar Vehicular se encuentran en la tabla 3.4.

Frecuencia en MHz	EIRP en dBm
960 - 1610	-75.3
1610 - 22000	-61.3
22000 - 29000	-41.3
29000 - 31000	-51.3
Sobre 31000	-61.3

TABLA 3.4. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a Sistemas de Radar Vehicular

Después de la instalación apropiada, los sistemas radar vehicular atenuarán cualquier emisión dentro de la banda de 23,6-24,0GHz que aparezca 38 grados o más sobre el plano horizontal a 25dB debajo del límite de emisión especificado en la tabla 3.4. Para el equipo autorizado, fabricado o importado en o después del 1 de enero de 2005, este nivel de atenuación será 25dB para cualquier emisión dentro de la banda de 23,6-24,0GHz que aparezca 30 grados o más sobre el plano horizontal. Para el equipo autorizado, fabricado o importado en o después del 1 de enero de 2010, este nivel de atenuación será 30db para cualquier emisión dentro de la banda de 23,6-24,0GHz que aparezca 30 grados o más sobre el plano horizontal. Para el equipo autorizado, fabricado o importado en o después del 1 de enero de 2014, este nivel de atenuación será 35dB para cualquier emisión dentro de la banda de 23,6-24,0GHz que aparezca 30 grados o más sobre el plano horizontal. Este nivel de atenuación se puede alcanzar a través de la directividad de la antena, con una reducción en la potencia de salida o cualquier otro medio.

e. Requerimientos Técnicos para Sistemas UWB de Interiores

La operación de esta clase de sistemas se limita a los transmisores UWB empleados solamente para operación en interiores.

Los dispositivos UWB de interiores, por la naturaleza de su diseño, deben ser capaces de la operación solamente al interior de una casa, edificio, etc. La necesidad de funcionar con una infraestructura interior fija, por ejemplo, un transmisor que debe ser conectado con las líneas de corriente AC, se puede considerar suficiente para demostrar esta necesidad.

Las emisiones de equipos operados bajo estas condiciones no serán dirigidas intencionalmente fuera del edificio en el cual el equipo está situado, por ejemplo, a través de una ventana o de un umbral, para realizar una función exterior, tal como la detección de personas alrededor de un edificio.

El uso de las antenas montadas al aire libre, por ejemplo, antenas montadas en el exterior de un edificio o en un poste de teléfono, o cualquier otra infraestructura al aire libre, se prohíbe.

Un sistema de comunicaciones transmitirá solamente cuando el transmisor está enviando la información a un receptor asociado.

Los sistemas UWB de interiores operan con un ancho de banda de -10dB contenido entre 3100MHz y 10600MHz.

Los límites de emisión sobre los 960MHz de los dispositivos correspondientes a Sistemas UWB de interiores se encuentran en la tabla 3.5.

Frecuencia en MHz	EIRP en dBm
960 - 1610	-75.3
1610 - 1990	-53.3
1990 - 3100	-51.3
3100 - 10600	-41.3
Sobre 10600	-51.3

TABLA 3.5. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a Sistemas UWB de interiores

f. Requerimientos Técnicos para Sistemas UWB *Hand-Held*.

Los dispositivos UWB correspondientes a sistemas *Hand-Held* son dispositivos portables relativamente pequeños, el cual es sostenido con la mano mientras está funcionando y no emplea una infraestructura fija.

Un dispositivo UWB *Hand-Held* transmitirá solamente cuando está enviando la información a un receptor asociado. El transmisor UWB cesará la transmisión en el plazo de 10 segundos a menos que reciba un reconocimiento del receptor asociado que está recibiendo su transmisión. Un reconocimiento de la recepción debe ser recibido por el transmisor UWB en forma continua por lo menos cada 10 segundos o el dispositivo UWB debe dejar de transmitir.

El uso de antenas montadas en las estructuras al aire libre, por ejemplo, las antenas montadas en el exterior de un edificio o en un poste de teléfono, o cualquier otra

infraestructura al aire libre, se prohíbe. Las antenas se pueden montar solamente en el dispositivo UWB *Hand-Held*.

Los dispositivos UWB *Hand-Held* pueden funcionar en interiores o al aire libre y operan con un ancho de banda de -10dB contenido entre 3100MHz y 10600MHz.

Los límites de emisión sobre los 960MHz de los dispositivos correspondientes a Sistemas UWB *Hand-Held* se encuentran en la tabla 3.6.

Frecuencia en MHz	EIRP en dBm
960 - 1610	-75.3
1610 - 1900	-63.3
1900 - 3100	-61.3
3100 - 10600	-41.3
Sobre 10600	-61.3

TABLA 3.6. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a Sistemas UWB *Hand-Held*

Finalmente existen otro tipo de requerimientos técnicos aplicables para todo los dispositivos UWB, como por ejemplo, que los dispositivos no pueden ser empleados para la operación de juguetes; así como también, la operación a bordo de un avión, de una nave o de un satélite es prohibida. Otra consideración importante para todos los dispositivos UWB es que la frecuencia a la cual el más alto nivel de radiación ocurre, f_M , debe estar dentro del ancho de banda UWB.

Como se explico anteriormente, lo que se ha hecho es un análisis y estudio de los puntos más importantes de la "Part 15" de las reglas de la FCC con respecto a los sistemas de transmisión UWB y ha sido enfocado principalmente a las bandas de operación y los requerimientos operacionales de los dispositivos UWB.

3.3. REGULACIONES Y ESTÁNDARES ACTUALES DE LA TECNOLOGÍA UWB EN LAS REDES INALÁMBRICAS DE COMUNICACIÓN

En el subcapítulo anterior se presentaron los requerimientos técnicos y las limitaciones operativas de acuerdo a la "Part 15" de las reglas de la FCC a la cual deben operar todas las clases de dispositivos UWB, pero el objetivo principal de este proyecto es el estudio de la Tecnología UWB en las redes inalámbricas de comunicación WLAN, por tal razón, en este subcapítulo se hará un estudio de las regulaciones y estándares UWB actuales en lo que respecta a las redes inalámbricas de área local.

Este estudio será enfocado principalmente a lo establecido en Estados Unidos y en Europa, ya que son las 2 regiones más poderosas del mundo en lo que a avances tecnológicos se refiere.

3.3.1. Regulaciones UWB Actuales en Estados Unidos

Las regulaciones UWB actuales en lo que respecta a las redes inalámbricas de comunicación en Estados Unidos como es lógico de suponer se basa en las reglas de la "Part 15" de la FCC publicadas el 22 de abril de 2002 en la ciudad de Washington D.C.; relativa a la comercialización y operación de equipos y sistemas que utilizan la tecnología UWB. Específicamente, al tratarse de redes inalámbricas de comunicación WLAN, los requerimientos técnicos, las limitaciones operativas y la bandas de frecuencia a la cual deben operar los dispositivos UWB en WLAN corresponden a:

- Los dispositivos de Sistemas UWB para uso en interiores; y,
- Los dispositivos de Sistemas UWB *Hand-Held*

Bajo esta consideración los requerimientos técnicos, las limitaciones operativas y las bandas de frecuencia a la cual deben operar las redes inalámbricas de área local basadas en la tecnología UWB se pueden establecer en los siguientes puntos:

1. Los dispositivos UWB que se utilicen en las redes inalámbricas de área local serán dispositivos de Sistemas UWB para uso solamente en interiores y dispositivos UWB hand-held que pueden funcionar tanto en interiores como al aire libre.

2. Los dispositivos UWB en WLAN's transmitirán solamente cuando está enviando la información a un receptor asociado. El transmisor UWB cesará la transmisión en el plazo de 10 segundos a menos que reciba un reconocimiento del receptor asociado que está recibiendo su transmisión. Un reconocimiento de la recepción debe ser recibido por el transmisor UWB en forma continua por lo menos cada 10 segundos o el dispositivo UWB debe dejar de transmitir.
3. El uso de antenas montadas en las estructuras al aire libre, por ejemplo, las antenas montadas en el exterior de un edificio o en un poste de teléfono, o cualquier otra infraestructura al aire libre, se prohíbe. Si se tratase de un dispositivo UWB hand-held al aire libre, las antenas se pueden montar solamente en el dispositivo.
4. Los dispositivos UWB en las redes inalámbricas WLAN deben operar con un ancho de banda de -10dB contenido entre 3.1GHz y 10.6GHz.
5. Los límites de emisión sobre los 960MHz de los dispositivos UWB correspondientes a redes inalámbricas de área local se encuentran en la tabla 3.7.

Frecuencia en MHz	EIRP en dBm	Dispositivo
960 – 1610	-75.3	Solo para Interiores y Hand-Held
1610 – 1900	-53.3	Solo para Interiores
	-63.3	Hand-Held
1900 – 3100	-51.3	Solo para Interiores
	-61.3	Hand-Held
3100 – 10600	-41.3	Solo para Interiores y Hand-Held
Sobre 10600	-51.3	Solo para Interiores
	-61.3	Hand-Held

TABLA 3.7. Límites de emisión de dispositivos UWB correspondientes a redes inalámbricas WLAN en Estados Unidos

Como se puede observar en la tabla 3.7 en la banda de frecuencia de 3.1GHz a 10.6GHz tanto los dispositivos UWB solo para interiores como los Hand-Held tienen la misma EIRP o PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) cuyo valor es de -41.3 dBm/1MHz, lo cual facilita y permite la utilización de ambos tipos de dispositivos simultáneamente en la banda de frecuencia a la cual deben operar como se señaló en el punto anterior.

En la figura 3.2 se puede observar gráficamente los límites de emisión sobre los 960MHz de los dispositivos UWB en las redes inalámbricas de área local. En esta figura también se muestra la zona regulada del espectro de frecuencias, la cual causó gran preocupación en la FCC al momento de establecer las normas de regulación para la tecnología UWB.

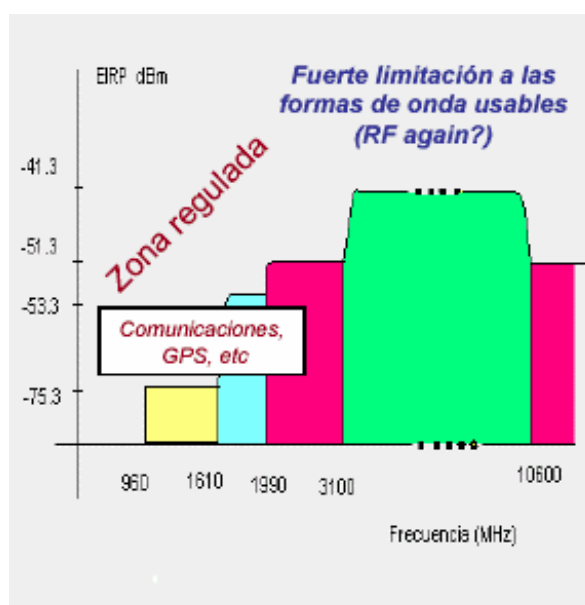


FIGURA 3.2. Regulación actual en Estados Unidos para dispositivos UWB en redes inalámbricas WLAN

6. La operación de dispositivos UWB para WLAN's a bordo de un avión, de una nave o de un satélite es prohibida.
7. La frecuencia de los dispositivos UWB a la cual el más alto nivel de radiación ocurre, f_M , debe estar dentro del ancho de banda UWB de operación; es decir, dentro de la banda entre 3.1GHz y 10.6GHz.

3.3.2. Regulaciones UWB Actuales en Europa

En lo que se refiere a Europa el panorama actual sobre las regulaciones UWB se puede describir de la siguiente manera:

El organismo europeo encargado de redactar los estándares UWB es el ETSI (European Telecommunications Standard Institute). Los estándares incluyen la definición de los parámetros, los métodos de medida y los límites y restricciones que se aplicarán.

Por otro lado, la ECC/CEPT (Electronic Communications Committee /European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) define las regulaciones que sirven de base al ETSI para la redacción de los estándares. La finalidad fundamental de las regulaciones es la de asegurar la compatibilidad entre los servicios de radio.

Con relación a los estándares UWB, el ETSI creó dos grupos de trabajo para la redacción de estos estándares:

- ERM/TG31A para los estándares UWB de tipo general.
- ERM/TG31B para los estándares UWB de sistemas móviles (radares a bordo, etc.).

Para alcanzar resultados operativos de UWB se han creado líneas de colaboración entre:

- ETSI como desarrollador de los estándares.
- ECC/CEPT como definidor de las regulaciones.
- Compañías que están desarrollando productos UWB.

La necesidad de esta colaboración surge por la necesidad de:

- Coordinar los trabajos entre las diferentes organizaciones para asegurar la compatibilidad de las regulaciones de ECC/CEPT con los estándares de ETSI.
- Definir un proceso de certificación de productos UWB que sea sencillo y facilite la introducción de los productos UWB en el mercado.

En lo que respecta al calendario de actuaciones se empezó con los desarrollos tanto de los estándares como de las regulaciones a principios de 2003.

La ECC/CEPT, con respecto a los dispositivos UWB en las redes inalámbricas de área local, estableció las normas regulativas basándose en gran proporción a las reglas de la "Part 15" de la FCC y a la regulación existente en Norteamérica, pero considerando ciertos cambios que obedecen principalmente a como está establecido el espectro de frecuencias en el continente Europeo. Esta regulación es presentada en los siguientes puntos:

1. Los dispositivos UWB que se utilicen en las redes inalámbricas de área local serán dispositivos de Sistemas UWB para uso solamente en interiores y dispositivos UWB hand-held que pueden funcionar tanto en interiores como al aire libre.
2. Los dispositivos UWB en WLAN's transmitirán solamente cuando está enviando la información a un receptor asociado. El transmisor UWB cesará la transmisión en el plazo de 10 segundos a menos que reciba un reconocimiento del receptor asociado que está recibiendo su transmisión. Un reconocimiento de la recepción debe ser recibido por el transmisor UWB en forma continua por lo menos cada 10 segundos o el dispositivo UWB debe dejar de transmitir.
3. El uso de antenas montadas en las estructuras al aire libre, por ejemplo, las antenas montadas en el exterior de un edificio o en un poste de teléfono, o cualquier otra infraestructura al aire libre, se prohíbe. Si se tratase de un dispositivo UWB hand-held al aire libre, las antenas se pueden montar solamente en el dispositivo.
4. Los dispositivos UWB en las redes inalámbricas WLAN deben operar con un ancho de banda de -10dB contenido entre 3.1GHz y 10.6GHz.
5. La operación de dispositivos UWB para WLAN's a bordo de un avión, de una nave o de un satélite es prohibida.
6. La frecuencia de los dispositivos UWB a la cual el más alto nivel de radiación ocurre, f_M , debe estar dentro del ancho de banda UWB de operación; es decir, dentro de la banda entre 3.1GHz y 10.6GHz.

7. Los límites de emisión para los dispositivos UWB en las redes inalámbricas de comunicación de área local se muestran en la tabla 3.9.

Frecuencia	EIRP en dBm/MHz	Dispositivo
$f < 3.1GHz$	$-51.3 + 87 \log(f / 3.1)$	Solo para Interiores y Hand-Held
$3.1GHz < f < 10.6GHz$	-41.3	Solo para Interiores y Hand-Held
$f > 10.6GHz$	$-51.3 + 87 \log(10.6 / f)$	Solo para Interiores y Hand-Held

TABLA 3.8. Límites de emisión para dispositivos UWB en redes inalámbricas WLAN en Europa

8. Un informe del CEPT SE24 (SE Spectrum Engineering) manifiesta que es necesaria una protección adicional de $-30dBm$ para las comunicaciones punto a punto en edificios de oficinas con sistemas UWB basados en PC's totalmente operativos.

En caso de que este último punto se llevara a cabo se crearían serias incompatibilidades entre los sistemas europeos y norteamericanos. Por esto los grupos de trabajo han mostrado su preocupación por el tema, insistiendo en que no se adopte una postura tan radical.

3.4. PROPUESTA DE REGULACIÓN DE SISTEMAS UWB PARA REDES INALÁMBRICAS WLAN EN EL ECUADOR

Como parte del estudio de la "Tecnología Ultra Wideband (UWB)" y debido a que en el Ecuador se ha dado apertura al mercado libre de Telecomunicaciones, es necesario establecer normas de regulación para los sistemas UWB considerando que en un futuro no muy lejano la tecnología UWB podría ingresar de forma comercial al Ecuador como base de las redes inalámbricas de comunicación de área local (WLAN).

Para la propuesta de normas regulativas en el Ecuador de los Sistemas UWB se tomarán en cuenta o constituirán como base 2 aspectos importantes:

- La "Part 15" de las reglas de la FCC con respecto a las limitaciones de frecuencia y potencia en los dispositivos UWB para uso solamente en interiores y en los dispositivos UWB Hand-Held, puesto que estas dos clases de dispositivos o sistemas constituyen los elementos de las redes inalámbricas de comunicación WLAN.
- El estudio y análisis del espectro de frecuencias en el Ecuador; es decir, la distribución de servicios a lo largo del espectro y de esta manera tener conocimiento de zonas restringidas en las cuales los sistemas UWB podrían causar una interferencia perjudicial. También es importante tener en cuenta que varias regiones del espectro tienen características de propagación diferentes.

Una vez que se ha analizado todos los aspectos anteriores se puede considerar, efectivamente, como base fundamental para la propuesta de regulación la "Part 15" de las reglas de la FCC ya que en todos los países que ha ingresado la tecnología UWB este documento ha establecido los límites de frecuencia y de potencia; y además, el espectro de frecuencias en nuestro país en comparación al de Estados Unidos tiene características muy similares en la región en la que operan los dispositivos UWB, principalmente en lo que se refiere a la distribución de servicios y a las características de propagación.

Consecuentemente, la propuesta de regulación de los dispositivos o sistemas UWB para redes inalámbricas WLAN en el Ecuador esta basada en la regulación existente en los Estados Unidos y es la siguiente:

Específicamente, al tratarse de redes inalámbricas de comunicación WLAN, los requerimientos técnicos, las limitaciones operativas y la bandas de frecuencia a la cual deben operar los dispositivos UWB en WLAN corresponden a:

- Los dispositivos de Sistemas UWB para uso en interiores; y,
- Los dispositivos de Sistemas UWB *Hand-Held*

Bajo esta consideración los requerimientos técnicos, las limitaciones operativas y las bandas de frecuencia a la cual deben operar las redes inalámbricas de área local basadas en la tecnología UWB se pueden establecer en los siguientes puntos:

1. Los dispositivos UWB que se utilicen en las redes inalámbricas de área local serán dispositivos de Sistemas UWB para uso solamente en interiores y dispositivos UWB hand-held que pueden funcionar tanto en interiores como al aire libre.
2. Los dispositivos UWB en WLAN's transmitirán solamente cuando está enviando la información a un receptor asociado. El transmisor UWB cesará la transmisión en el plazo de 10 segundos a menos que reciba un reconocimiento del receptor asociado que está recibiendo su transmisión. Un reconocimiento de la recepción debe ser recibido por el transmisor UWB en forma continua por lo menos cada 10 segundos o el dispositivo UWB debe dejar de transmitir.
3. El uso de antenas montadas en las estructuras al aire libre, por ejemplo, las antenas montadas en el exterior de un edificio o en un poste de teléfono, o cualquier otra infraestructura al aire libre, se prohíbe. Si se tratase de un dispositivo UWB hand-held al aire libre, las antenas se pueden montar solamente en el dispositivo.
4. Los dispositivos UWB en las redes inalámbricas WLAN deben operar con un ancho de banda de -10dB contenido entre 3.1GHz y 10.6GHz.
5. Los límites de emisión sobre los 960MHz de los dispositivos UWB correspondientes a redes inalámbricas de área local se encuentran en la tabla 3.10.

Frecuencia en MHz	EIRP en dBm	Dispositivo
960 - 1610	-75.3	Solo para Interiores y Hand-Held
1610 - 1900	-53.3	Solo para Interiores
	-63.3	Hand-Held
1900 - 3100	-51.3	Solo para Interiores
	-61.3	Hand-Held

3100 - 10600	-41.3	Solo para Interiores y Hand-Held
Sobre 10600	-51.3	Solo para Interiores
	-61.3	Hand-Held

TABLA 3.9. Propuesta de los límites de emisión de dispositivos UWB correspondientes a redes inalámbricas WLAN en el Ecuador

Como se puede observar en la tabla 3.7 en la banda de frecuencia de 3.1GHZ a 10.6GHZ tanto los dispositivos UWB solo para interiores como los Hand-Held tienen la misma EIRP o PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) cuyo valor es de -41.3 dBm/1MHz, lo cual facilita y permite la utilización de ambos tipos de dispositivos simultáneamente en la banda de frecuencia a la cual deben operar como se señaló en el punto anterior.

En la figura 3.3 se puede observar gráficamente la propuesta de los límites de emisión de los dispositivos UWB en sistemas de interiores (*indoor*) para redes inalámbricas de área local en el Ecuador.

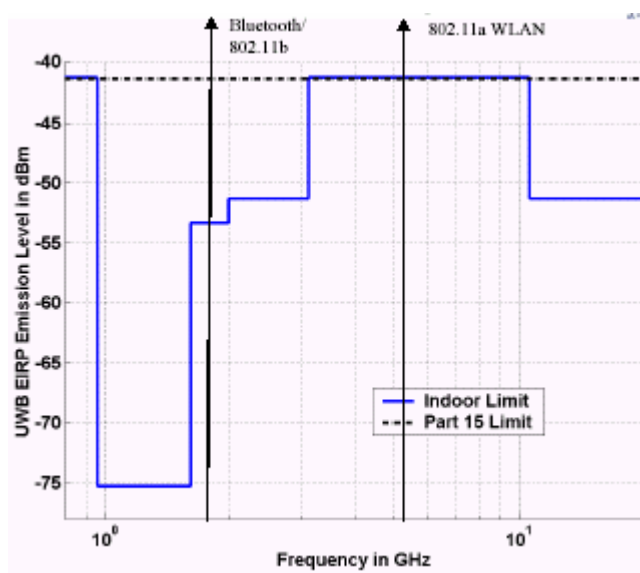


FIGURA 3.3. Propuesta de los límites de Emisión para dispositivos UWB *indoor* en redes inalámbricas de área local en el Ecuador

En la figura 3.4 se puede observar gráficamente la propuesta de los límites de emisión de los dispositivos UWB *hand-held* para redes inalámbricas de área local en el Ecuador.

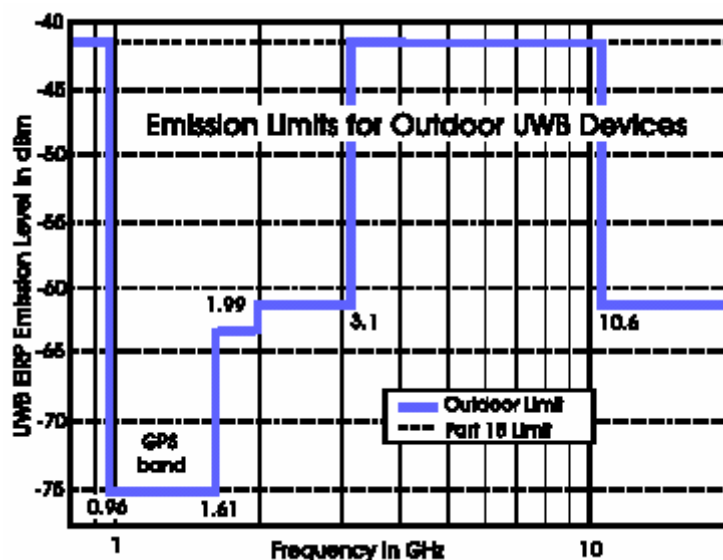


FIGURA 3.4. Propuesta de los límites de Emisión para dispositivos UWB *hand-held* en redes inalámbricas de área local en el Ecuador

6. La operación de dispositivos UWB para WLAN's a bordo de un avión, de una nave o de un satélite es prohibida.
7. La frecuencia de los dispositivos UWB a la cual el más alto nivel de radiación ocurre, f_M , debe estar dentro del ancho de banda UWB de operación; es decir, dentro de la banda entre 3.1GHz y 10.6GHz.

Con respecto a estándares UWB para redes inalámbricas en nuestro país, de acuerdo al estudio realizado, lo más recomendable es adoptar el grupo de estándares IEEE 802.15.3a, ya que como la regulación propuesta está basada en la regulación existente en los Estados Unidos, este grupo de estándares al ser desarrollado en Norteamérica es el que mejor se adaptaría a las normas regulativas propuestas en este proyecto para las redes WLAN en el Ecuador. Los requisitos técnicos del estándar IEEE 802.15.3a, así como otras características, se encuentran en el capítulo 5 de este proyecto, específicamente en la tabla 5.9.

CAPÍTULO 4

ESTUDIO COMPARATIVO CON ESTÁNDARES IEEE 802.11x BLUETOOTH Y WiMAX

En el primer capítulo de este proyecto de grado se describieron las tecnologías de radio actualmente en el mercado que utilizan las bandas de frecuencias no asignadas, con aplicación a las redes inalámbricas de área local. Entre estas tecnologías se encuentran Bluetooth y las definidas por el grupo de estándares 802.11, conocidas como Wi-Fi y Wi-Fi5. Su finalidad principal es la de eliminar el cableado entre los ordenadores y sus periféricos, entre los ordenadores entre sí y con las redes externas de comunicaciones.

Estas tecnologías inalámbricas son convencionales en el sentido de que utilizan procedimientos de radio tradicionales con portadora, usando frecuencias del espectro no asignadas.

Del mismo modo se señaló que últimamente, desde hace un año y medio aproximadamente, se permite la comercialización de otra tecnología radio de origen militar conocida como Ultra Wide Band (UWB) y que tiene como característica fundamental no utilizar portadora y que es el objetivo principal de este estudio.

El objetivo principal de este capítulo es el de explicar las ventajas y aplicabilidad de la tecnología Ultra Wide Band con respecto a las tecnologías de redes inalámbricas ya existentes como son Bluetooth y las definidas por el grupo de estándares 802.11 para lo cual se hará un estudio y análisis general de estas tecnologías y así poder establecer las

grandes mejoras, que gracias a la tecnología UWB, se tiene en las características más importantes de las redes inalámbricas de área local como son velocidad de transmisión, seguridad, costo, entre otras.

4.1. ALTERNATIVAS INALÁMBRICAS

A fin de entender la forma en que la tecnología UWB se ajusta dentro de las tendencias actuales en las comunicaciones inalámbricas, necesitamos considerar el problema general que los sistemas de comunicaciones intentan resolver. Específicamente, si la red inalámbrica fuera un medio ideal, podríamos utilizarlo para enviar:

- Gran cantidad de datos,
- A través de distancias considerables,
- Con una alta velocidad,
- A muchos usuarios,
- Todos a la vez.

Desafortunadamente, es imposible alcanzar las cinco cualidades simultáneamente tanto para sistemas de soporte como para sistemas privados y sistemas bidireccionales de comunicación; a uno o más de estos 5 atributos se tiene que renunciar si los otros son bien logrados. Los sistemas inalámbricos originalmente fueron construidos para tender un puente sobre distancias grandes con el propósito de enlazar dos partes juntas. Sin embargo, la historia reciente de los sistemas de radio demuestra una tendencia clara hacia mejorar en las otras cuatro cualidades a expensas de la distancia. La telefonía celular es el ejemplo más obvio, cubriendo distancias de 30 kilómetros y hasta pequeñas distancias como 300 metros. Distancias más cortas permiten la reutilización del espectro, de tal modo que es posible dar servicio a más usuarios, y los sistemas son prácticos porque son apoyados por una infraestructura de red telefónica alámbrica fundamental en el caso del sistema celular. En los últimos años, incluso sistemas de más corto rango, a partir de 10 a 100 metros, han comenzado a emerger, conducidos principalmente para la aplicación sobre datos. Aquí, el Internet es la infraestructura alámbrica fundamental, antes que la red telefónica. Muchos esperan que la combinación del Internet inalámbrico y alámbrico de corto alcance se convierta en un complemento de rápido crecimiento a los sistemas celulares de próxima

generación tanto para datos y voz, así como para audio y vídeo. Cuatro tendencias están conduciendo los sistemas inalámbricos de corto alcance en general y de banda ultra ancha en particular:

1. La demanda creciente para la capacidad inalámbrica de datos en dispositivos portátiles en un ancho de banda mucho mayor pero baja en consumo de potencia y en costos.
2. La apretada o poca disponibilidad de espacio en el espectro que es dividido en segmentos y que es licenciado por las autoridades reguladoras de manera tradicional.
3. El crecimiento del acceso alámbrico de alta velocidad al Internet en empresas, hogares, y espacios públicos.
4. La disminución de costo y de potencia consumida del semiconductor para el procesamiento de señal.

Las tendencias 1 y 2 hacen un favor a sistemas que ofrecen no sólo tasas de bit con altos picos, sino que también a sistemas con una alta capacidad espacial, donde la capacidad espacial es definida como bits/s/m^2 . Al momento que la red telefónica permitió la telefonía celular, la tendencia 3 hace posible un gran ancho de banda, dando servicios en interiores a dispositivos portátiles de baja potencia usando estándares inalámbricos de corto rango como Bluetooth y IEEE 802.11. Finalmente, la tendencia 4 hace posible la utilización de técnicas de procesamiento de señal que habrían sido no prácticas solamente hace algunos pocos años. Es esta última tendencia la que hace que la tecnología Ultra Wide Band (UWB) sea práctica.

A continuación se realizará un estudio de los estándares IEEE 802.11x y de la tecnología Bluetooth, para poder establecer posteriormente las comparaciones con la tecnología UWB.

4.1.1. Estándares IEEE 802.11x

Entre los principales estándares se encuentran:

- **IEEE 802.11:** El estándar original de las redes inalámbricas de área local WLANs que soporta velocidades entre 1 y 2Mbps.
- **IEEE 802.11a:** El estándar de alta velocidad que soporta velocidades de hasta 54Mbps en la banda de 5GHz.

- **IEEE 802.11b:** El estándar dominante de WLAN (conocido también como Wi-Fi) que soporta velocidades de hasta 11Mbps en la banda de 2.4GHz.

Las especificaciones 802 vienen a establecer el modo por el cual las tarjetas de red acceden y transmiten datos por el medio físico, es decir, cómo se conectan los equipos, el mantenimiento de la red y la desconexión de los dispositivos de red. Se trata pues, de los estándares de red que se debían utilizar para la implementación de los componentes físicos de las redes, para la tarjeta de red y para el cable, todo ello imprescindible en la conformación del nivel físico y de enlace del modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnections / Interconexión de Sistemas Abiertos) de la ISO. Recordemos que este último modelo OSI tiene el nombre técnico de ISO 7498 y fue definido en 1978.

Dentro del estándar de red 802 se definen 12 categorías que tienen también una ónoma numérica. Así, la primera es la 802.1, dedicada a Internetworking, mientras que la penúltima es la que corresponde a las redes sin hilos o redes inalámbricas. Es pues esa categoría la que se convirtió en el primer estándar LAN sin cable. La IEEE 802.11 utiliza los mismos protocolos de conexión que Ethernet, pero dejando a un lado el cable. La 802.11 utiliza las ondas de radio ISM (Industrial, Scientific and Medical). Estas bandas ISM están sujetas a todo tipo de interferencia de aparatos.

En el año 1997, el IEEE publicó el estándar 802.11 para las redes de tamaño pequeño, también conocidas por Ethernet, pero en esta ocasión dando a conocer las normas para que las transmisiones de paquetes (tramas) que transportan otros protocolos de más alto nivel fuera realizada por un medio físico etéreo (ondas de radiofrecuencia) en vez de por cables.

El gran éxito de las WLAN's es que utilizan frecuencias de uso libre, es decir, no es necesario pedir autorización o algún permiso para utilizarlas. Aunque hay que tener en mente, que la normatividad acerca de la administración del espectro varía de país a país. La desventaja de utilizar este tipo de bandas de frecuencias es que las comunicaciones son propensas a interferencias y errores de transmisión. Estos errores ocasionan que sean reenviados una y otra vez los paquetes de información. Una razón de error del 50% ocasiona que se reduzca el caudal eficaz real (throughput) dos terceras partes aproximadamente. Por eso la velocidad máxima especificada teóricamente no es tal en la

realidad. Si la especificación IEEE 802.11b nos dice que la velocidad máxima es 11Mbps, entonces el máximo caudal eficaz será aproximadamente 6Mbps y menos.

Para reducir errores, el 802.11a y el 802.11b automáticamente reducen la velocidad de información de la capa física. Así por ejemplo, el 802.11b tiene tres velocidades de información (5.5, 2 y 1Mbps) y el 802.11a tiene 7 (48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6Mbps). La velocidad máxima permisible sólo es disponible en un ambiente libre de interferencia y a muy corta distancia.

La transmisión a mayor velocidad del 802.11a no es la única ventaja con respecto al 802.11b. También utiliza un intervalo de frecuencia más alto de 5GHz, esta banda es más ancha y menos atestada que la banda de 2.4GHz que el 802.11b comparte con teléfonos inalámbricos, hornos de microondas, dispositivos Bluetooth, etc. Una banda más ancha significa que más canales de radio pueden coexistir sin interferencia.

Sin bien, la banda de 5GHz tiene muchas ventajas, también tiene sus problemas; las diferentes frecuencias que utilizan ambos sistemas significa que los productos basados en 802.11a son no interoperables con los 802.11b. Esto significa que aunque no se interfieran entre sí, por estar en diferentes bandas de frecuencias, los dispositivos no pueden comunicarse entre ellos. Para evitar esto, la IEEE desarrolló un nuevo estándar:

- **IEEE 802.11g**, el cual extenderá la velocidad y el intervalo de frecuencias del 802.11b para así hacerlo totalmente compatible con los sistemas anteriores. Sin embargo, no será más rápido que el estándar 802.11a y según políticas de los fabricantes han retardado el estándar 802.11g y se esperó que sea ratificado hasta finales del 2003. La demora en la ratificación del 802.11g ha obligado a muchos fabricantes irse directamente por el 802.11a donde existe una gran variedad de fabricantes de chips [circuitos integrados] tales como Atheros, National Semiconductor, Resonext, Envara, inclusive Cisco Systems quien adquirió a Radiata, la primer compañía en desarrollar un prototipo en 802.11a en el 2000.
- **IEEE 802.11i**: Como principal característica de este nuevo estándar, se puede destacar el uso de AES (Advanced Encryption Standard) como base para la seguridad en las WLAN, un algoritmo de cifrado que soporta claves de 128, 192 y 256 bits. Aunque el empleo de este cifrado, requerirá mayor potencia en los procesadores que incorporan las tarjetas y puntos de acceso.

- **IEEE 802.11w:** El grupo de trabajo IEEE 802.11w intenta extender la protección o seguridad inalámbrica que aporta el estándar 802.11i más allá de los datos hasta las tramas de gestión, responsables de las principales operaciones de una red. Tradicionalmente, como las tramas de gestión no contenían información sensible no necesitaban protección. Pero, en la actualidad, por las redes inalámbricas discurren datos altamente confidenciales relativos a cuestiones como itinerancia, recursos de radio, descubrimiento de dispositivos y gestión wireless que necesitan ser protegidos. Por ello, el IEEE comenzó a trabajar a inicios del 2005 en la especificación 802.11w, que propone extender a todas estas nuevas funciones los esquemas de seguridad de 802.11i sin necesidad de realizar cambios en el hardware. Solo será necesario modificar el firmware de los puntos de acceso y los dispositivos cliente.

4.1.2. Tecnología BLUETOOTH

Bluetooth es una tecnología utilizada para conectividad inalámbrica de corto alcance entre dispositivos tales como PDAs (Personal Digital Assistance), teléfonos celulares, teclados, máquinas de fax, computadoras de escritorio y portátiles, módems, proyectores, impresoras, etc. El principal mercado es la transferencia de datos y voz entre dispositivos y computadoras personales.

a. Funcionamiento

Bluetooth opera en la banda 2.4GHz bajo la tecnología de radio conocida como espectro disperso. La banda de operación está dividida en canales de 1MHz, a 1 megasímbolo por segundo puede obtenerse al ancho de banda máximo por canal. Con el esquema de modulación empleado, GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying), esto equivale a 1Mbps. Utilizando GFSK, un 1 binario representa una desviación positiva de la portadora nominal de la frecuencia, mientras que un 0 representa una desviación negativa. Después de cada paquete, ambos dispositivos re-sintonizan su radio transmisor a una frecuencia diferente, saltando de un canal a otro canal de radio; esta técnica se le conoce como espectro disperso con salto en frecuencia (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum). De esta manera, los dispositivos Bluetooth utilizan toda la banda de 2.4GHz y si una transmisión se interfiere sobre un canal, una retransmisión siempre ocurrirá sobre un canal diferente con la esperanza de que este canal esté libre. Cada ranura de tiempo tiene una duración de 625 μ s y generalmente los dispositivos saltan una vez por paquete, o sea,

saltan cada ranura, cada 3 ranuras o cada 5 ranuras. Como Bluetooth fue diseñado para aplicaciones móviles de poca potencia, la potencia del radio transmisor debe ser minimizada. Tres diferentes clases de niveles de potencias están definidas, las cuales proveen rangos de operación de aproximadamente 10, 20 y 100 metros: El más bajo nivel de potencia cubre 10 metros, el más alto nivel logra cubrir distancias de hasta 100 metros.

Aunado a las distancias cortas de conexión de Bluetooth en materia de ancho de banda soporta hasta 780Kbps, los cuales pueden ser utilizados para transferir unidireccionalmente 721Kbps y 57.6Kbps en la dirección de retorno o hasta 432.6Kbps de manera simétrica en ambas direcciones. Aunque estas velocidades están limitadas para cierto tipo de aplicaciones como vídeo, aplicaciones como transferencia de archivos e impresión caen perfectas en tal ancho de banda.

b. Principales Características Técnicas

Algunas de las principales características técnicas de Bluetooth son las siguientes:

- Los dispositivos en una picocelda comparten un canal de comunicación de datos común. El canal tiene una capacidad total de 1Mbps. Los encabezados y el control de llamada consumen cerca del 20% de esta capacidad; motivo por el cual el máximo caudal eficaz es de 780Kbps.
- En los Estados Unidos y Europa, el intervalo de frecuencia de operación es de 2,400 a 2,483.5MHz, con 79 canales de RF de 1MHz. En la práctica, el intervalo de frecuencias es de 2,402 a 2,480MHz. En México el intervalo de frecuencias va de 2,450MHz a 2,485.5MHz. En Japón, el intervalo de frecuencia es de 2,472 a 2,497MHz con 23 canales de RF de 1MHz.
- Un canal de datos salta aleatoriamente 1,600 veces por segundo los 79 (o 23) canales de RF.
- Cada canal está dividido en ranuras de tiempo de 625 microsegundos cada una.

- Una picocelda tiene un dispositivo maestro y hasta siete dispositivos esclavos. Un dispositivo maestro transmite en ranuras de tiempo pares, los esclavos en ranuras de tiempo impares.
- Los paquetes pueden tener una magnitud de hasta 5 ranuras de tiempo.
- Los datos en un paquete pueden ser de hasta 2,745 bits de longitud.
- Existen actualmente dos tipos de transferencia de datos entre dispositivos: Los orientados a conexión de tipo síncrono (SCO, Synchronous Connection Oriented) y los orientados a no-conexión de tipo asíncrono (ACL, Asynchronous Connectionless).
- En una picocelda, puede hacer hasta tres enlaces SCO de 64,000 bits cada uno. Para evitar problemas de sincronización y colisión, los enlaces SCO utilizan ranuras de tiempo reservadas asignadas por la estación maestra.
- Un dispositivo maestro puede soportar hasta tres enlaces SCO con uno, dos o tres dispositivos esclavos.
- Las ranuras no reservadas para los enlaces SCO pueden ser usadas para enlaces ACL.
- Un maestro y un esclavo pueden compartir un enlace ACL
- Un enlace ACL puede ser punto-punto (maestro a un esclavo) o multipunto (maestro a todos los esclavos).
- Un ACL esclavo puede sólo transmitir cuando se lo solicite un maestro.

Bluetooth permite manipular simultáneamente transmisiones de voz y datos. Es capaz de soportar un canal de datos asíncrono y hasta tres canales de voz asíncronos o un canal que soporte ambos, voz y datos. La capacidad combinada con los dispositivos del tipo "ad hoc" permite soluciones superiores para dispositivos móviles y aplicaciones de Internet. Esta combinación permite soluciones innovativas como un dispositivo de manos

libres para llamadas de voz, impresión a máquinas de fax y sincronización automática a PDA's, laptops y aplicaciones de libreta de direcciones de teléfonos celulares.

c. La Especificación Bluetooth

La especificación de Bluetooth cubre desde el transceptor de radio hasta varias interfaces de protocolos basados tanto en hardware como en software. Algunos elementos clave y protocolos de la arquitectura de Bluetooth son descritos a continuación. Control de enlace: el hardware del control de enlace controla la transmisión y recepción de radio así como el procesamiento de la señal digital requerida para el protocolo de bandabase. Sus funciones incluyen establecimientos de conexiones, soporte para enlaces asíncronos (datos) y síncronos (voz), corrección de error y autenticación. El microcódigo del administrador de enlaces desempeña funciones a bajo nivel para el establecimiento de enlaces, autenticación y configuración de los enlaces.

d. Topología de la Red

Los dispositivos Bluetooth son generalmente organizados en grupos de 2 a 8 llamados picoceldas o picoredes, consistente de un dispositivo maestro y uno o más dispositivos esclavos. Un dispositivo puede pertenecer a más de una picocelda y comportarse como un esclavo en ambas o un maestro en una picocelda y como esclavo en otra.

Como Bluetooth opera en una banda de uso libre conocida como ISM (Industrial, Scientific, and Medical) donde otros dispositivos de uso común la utilizan como es el caso de puertas de cocheras, teléfonos inalámbricos, hornos de microondas, sólo por nombrar algunos. Para que los dispositivos Bluetooth puedan coexistir y operar confiablemente con los otros dispositivos, cada picocelda es sincronizada a una frecuencia específica del patrón de salto por frecuencia. Este patrón, que salta a 1,600 frecuencias diferentes por segundo, es único para una picocelda en particular. Cada "salto" de frecuencia es una ranura de tiempo durante la cual los paquetes de datos son transferidos. Un paquete puede abarcar hasta 5 ranuras de tiempo, en la cual la frecuencia permanece constante durante la duración de esa transferencia.

Si los dispositivos van a saltar a las nuevas frecuencias después de cada paquete, ellos deben ponerse de acuerdo en la secuencia de las frecuencias que utilizarán. Como los

dispositivos Bluetooth operan en 2 modos: como maestro y como esclavo. Si el maestro asigna la secuencia de salto de frecuencia. Los esclavos sincronizan al dispositivo maestro en tiempo y frecuencia seguido de la secuencia de salto del dispositivo maestro.

e. Enlaces de Banda Base

La bandabase de Bluetooth provee canales de transmisión para voz y datos y es capaz de soportar un enlace asíncrono de datos y hasta tres enlaces de voz asíncronos (o un enlace soportando ambos). Los enlaces orientados a conexión síncronos (SCO) son típicamente empleados para transmisiones de voz. Esos enlaces son conexiones simétricas punto a punto que reservan ranuras de tiempo para garantizar la transmisión a tiempo. Al dispositivo esclavo siempre se le permitirá responder durante la ranura de tiempo inmediatamente seguido de una transmisión tipo SCO del maestro. Un dispositivo maestro puede soportar hasta tres enlaces SCO a uno o varios esclavos, pero un solo esclavo puede soportar sólo enlaces SCO para diferentes dispositivos maestros. Los paquetes SCO nunca son retransmitidos.

Los enlaces orientados a no-conexión (ACL, Asynchronous Connection Less) son típicamente empleados para transmisión de datos. Las transmisiones sobre estos enlaces son establecidas en base por ranura (en ranuras no reservadas para enlaces SCO). Los enlaces ACL soportan transferencias punto-multipunto de datos asíncronos como síncronos. Después de una transmisión ACL del maestro, sólo el dispositivo esclavo direccionado puede responder durante la siguiente ranura de tiempo o si el dispositivo no está direccionado, los paquetes son considerados como mensajes difundidos (broadcast). La mayoría de los enlaces ACL incluyen retransmisión de paquetes. Administrador de enlaces: La máquina de estado de bandabase es controlada por el administrador de enlaces. Este microcódigo provee el control del enlace basado en hardware para configuración, seguridad y control de enlaces. Sus capacidades incluyen autenticación y servicios de seguridad, monitoreo de calidad de servicio y control del estado de bandabase. El administrador de enlaces se comunica con los demás utilizando el protocolo LMP (Link Management Protocol), el cual utiliza los servicios básicos de bandabase. Los paquetes LMP, los cuales son enviados sobre los enlaces ACL, son diferenciados de los paquetes L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) por un bit en el encabezado del ACL. Ellos son siempre enviados como paquetes de una ranura y una prioridad alta que los

paquetes L2CAP. Esto ayuda el aseguramiento de la integridad del enlace bajo una alta demanda de tráfico.

4.1.3. Tecnología WiMAX

Las redes Wi-Fi permiten la construcción de microceldas, áreas de cobertura de un radio inferior a pocas centenas de metros. Pero, ¿cómo asociar microceldas próximas para constituir redes inalámbricas de mayor cobertura? El procedimiento empleado es la interconexión de cada una a las redes públicas cableadas de operadores. Este modelo, habitual en las grandes ciudades, es de difícil implantación en zonas rurales y dispersas, así como liga el despliegue de una red de cobertura amplia (WAN) inalámbrica a las habitualmente caras redes fijas.

Considerando esta limitación, el IEEE ha establecido un grupo de trabajo, el IEEE 802.16, para proponer una tecnología inalámbrica de largo alcance para redes WAN inalámbricas. El resultado ha sido el desarrollo de un nuevo estándar, cuyas características más destacables son una importante compatibilidad técnica con la serie 802.11 (lo que facilitará la inmediata salida de productos al mercado), y el permitir flujos binarios de hasta 70Mbps con rangos de cobertura cercanos a los 50Km. Se orienta hacia un uso eficiente de 45 frecuencias en las bandas licenciadas entre 10 y 66GHz (también está trabajando en las no licenciadas entre 2 y 11GHz) y define una capa de control de acceso al medio (MAC) que soporta especificaciones de múltiples capas físicas según la frecuencia de uso.

Emulando el éxito que el consorcio Wi-Fi Alliance tiene en la homologación de equipos sobre el 802.11, ha nacido WiMAX, con el objetivo de promover el uso e interoperabilidad de equipos 802.16a.

Finalmente, una vez que se ha hecho un estudio general de las características más importantes de los estándares IEEE 802.11x, la tecnología Bluetooth y la tecnología WiMAX, se realizará el estudio comparativo con la tecnología UWB en el cual se explicarán las ventajas y la aplicabilidad, como objetivo principal de este capítulo.

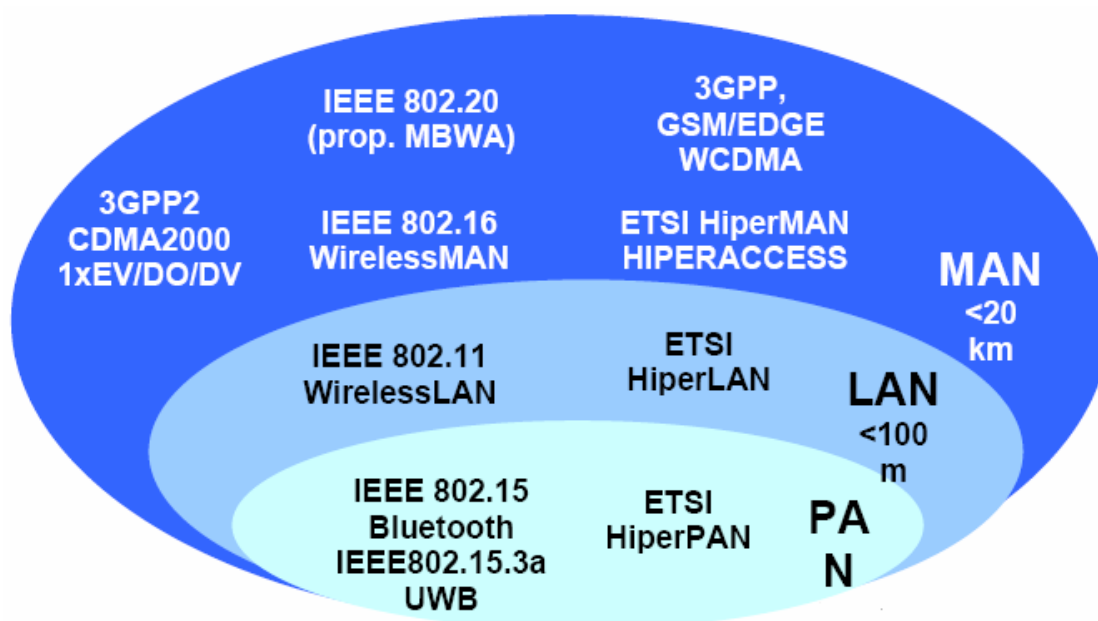


FIGURA 4.1. Evolución de las tecnologías inalámbricas

4.2. COMPARACION: IEEE 802.15.3a (UWB) FRENTE A IEEE 802.11x, BLUETOOTH y WiMAX

Si se toman en consideración de forma conjunta los estándares IEEE 802.11x y la tecnología Bluetooth, el panorama necesita cierta explicación.

Los estándares 802.11x nacieron para conectar los PC's a la estación base y Bluetooth, a su vez, nació para conectar los periféricos (ratones, teclados, impresoras, etc.) a los PC's y si con los estándares 802.11x se alcanzan velocidades de hasta 54Mbps, con Bluetooth no se suele superar de 1Mbps, por lo que las dos tecnologías se complementan.

La introducción de UWB cambia el panorama de forma radical y la única característica que puede ser motivo de discusión es el alcance. La velocidad de transmisión no es problema en UWB porque puede variar de extremadamente baja a varios Gbps. El alcance, debido a las limitaciones de potencia emitida no sobrepasa los 30m, lo que la coloca en seria desventaja frente a los estándares 802.11x, que puede llegar a tener un alcance de 100m.

Hay que tener también en cuenta que UWB permite el funcionamiento simultáneo de multitud de pares emisor-receptor sin que se genere ningún tipo de problemas, lo que unido a la amplia gama de velocidades lo convierte en un serio competidor de Bluetooth, estando limitado en el futuro su uso como sustituto de Bluetooth solamente por el precio de los pares emisor-receptor. Este precio disminuirá a niveles muy bajos debido a que los circuitos integrados, que incluyen antenas transmisoras y receptoras, son dispositivos muy sencillos, pequeños, de muy bajo consumo y fáciles de fabricar y en un futuro cercano se fabricarán en grandes series.

Ante tal panorama parece sensato pensar en que Bluetooth desaparecerá en cuanto UWB sea una tecnología de utilización corriente, porque los periféricos llevarán incorporado el correspondiente circuito integrado UWB.

En lo que se refiere a los estándares 802.11x el panorama de la situación es diferente, porque en este tema sí influye el alcance, pero ya se está pensando en el diseño de redes en malla (mesh networks) en las que los terminales o PC's se conectan con sus estaciones base a través de saltos mediante la utilización de otros terminales como pares emisor-receptor. Esto puede generar problemas debido a la movilidad innata de las redes inalámbricas de área local basadas en UWB, ya que el canal de comunicación puede ser interrumpido en cualquier momento sin previo aviso por desplazamiento de terminales, pero el escenario es lo suficientemente atractivo como para que se desarrollen redes de este tipo.

A continuación, en la tabla 4.1 se muestra un cuadro comparativo con las características más importantes de los estándares IEEE 802.11x, la tecnología Bluetooth y la tecnología WiMAX frente a la tecnología UWB (IEEE 802.15.3a).

	IEEE 802.11	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11g	Bluetooth IEEE 802.15.1	UWB IEEE 802.15.3a	IEEE 802.16	IEEE 802.20
Frecuencia (GHz)	2.4	2.4	5	5	2.4	3.1 – 10.6	10 – 66	< 3.5
Velocidad máxima de transmisión actual (Mbps)	2	11	54	54	1	100	32	>1
Velocidad máxima de transmisión futura (Mbps)	----	----	54	54	2 – 10	480	134	----
Interfaz de aire	FHSS/DSSS	DSSS	OFDM	DSSS/OFDM	FHSS	THSS	OFDM	OFDM
Alcance	10 – 100m	10 – 100m	10 – 100m	10 – 100m	10 – 30m	10 – 30m	2 – 5Km	2 – 15Km
DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum THSS: Time Hopping Spread Spectrum								

TABLA 4.1. Cuadro Comparativo de los Estándares IEEE 802.11x, Bluetooth y WiMAX frente a la Tecnología UWB (IEEE 802.15.3a)

La velocidad real en las WLAN's está muy abajo que la especificada por las normas, ya que esta depende de diversos factores tales como el ambiente de interferencia, la distancia o área de cobertura, la potencia de transmisión, el tipo de modulación empleada, etc. Por ejemplo, la mayoría de las redes 802.11b pueden alcanzar oficialmente distancias hasta 100 metros en interiores. Con una mayor potencia se puede extender esa longitud, aunque en interiores al limitarse la potencia de transmisión, paredes y otros objetos pueden interferir la señal. En la realidad una WLAN en ambientes exteriores en comunicación punto a punto pueden alcanzar varios kilómetros, mientras exista línea de vista y libre de interferencia. La comunicación se establece conectando en un lado un equipo conocido como Wireless Bridge [puente inalámbrico] y en el otro extremo un Access Point [punto de acceso], ambos equipos conectados directamente a una antena de espectro disperso. La salida de estos equipos hacia la red local viene en ETHERNET con interface RJ45 por lo que se puede conectar directamente un concentrador [hub] o un conmutador de paquetes [switch], en donde se conectarán las computadoras de nuestra red.

Una vez que en la tabla 4.1 se han señalado y se han comparado las características más importantes de las tecnologías inalámbricas, éstas varían extensamente en sus capacidades espaciales implícitas. Por ejemplo:

- El estándar IEEE 802.11b tiene un rango establecido de operación de 100 metros. En la banda ISM de 2.4GHz, hay aproximadamente 80MHz de espectro utilizable. Por lo

tanto, en un círculo con un radio de 100 metros, tres sistemas IEEE 802.11b de 22MHz pueden operar sobre una base de no interferencia, cada uno ofrece una velocidad máxima de 11Mbps. La velocidad agregada total de 33Mbps, dividida por el área del círculo, rinde una capacidad espacial de aproximadamente 1.000 bits/s/m^2 .

- Bluetooth, en su modo de baja potencia, tiene un rango establecido de 10 metros y una velocidad máxima de 1Mbps. Estudios han demostrado que aproximadamente 10 sistemas Bluetooth puede operar simultáneamente en el mismo círculo de 10 metros con una degradación mínima de rendimiento a una velocidad agregada de 10Mbps. Dividiendo esta velocidad por el área del círculo produce una capacidad espacial de aproximadamente $30.000 \text{ bits/s/m}^2$.
- El estándar IEEE 802.11a es proyectado para tener un rango de operación promedio de 50 metros y a una velocidad máxima de 54Mbps. Dado los 200MHz del espectro disponible dentro de la parte más inferior de la banda de 5GHz U-NII, 12 sistemas IEEE 802.11a pueden operar simultáneamente dentro de un círculo de 50 metros con una degradación mínima de rendimiento, para una velocidad agregada de 648Mbps. La capacidad espacial proyectada de este sistema es por lo tanto de aproximadamente $83.000 \text{ bits/s/m}^2$.
- Los sistemas UWB varían extensamente en sus capacidades proyectadas, pero un desarrollador de la tecnología UWB ha medido velocidades máximas sobre los 50Mbps en un radio de acción de 10 metros y proyecta que seis sistemas UWB podrían funcionar dentro del mismo círculo del radio de 10 metros con solamente una degradación mínima de rendimiento. Después del mismo procedimiento, la capacidad espacial proyectada para este sistema estaría sobre los $1.000.000 \text{ bits/s/m}^2$.

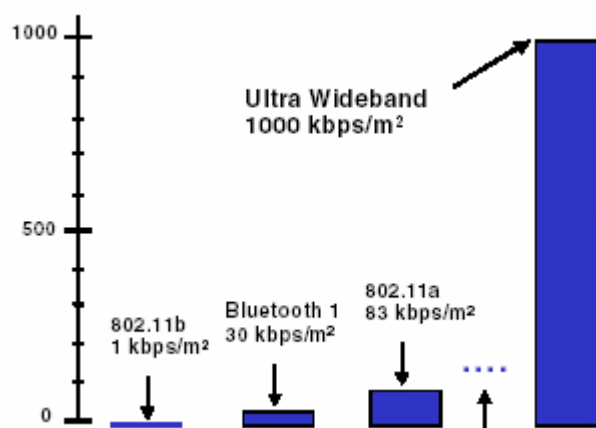


FIGURA 4.2. Comparación de la capacidad espacial entre IEEE 802.11x, Bluetooth y UWB

Según lo mostrado en la figura 4.2, otros estándares bajo el desarrollo del Grupo de Trabajo Bluetooth y los Grupos de Trabajo IEEE 802, alcanzarían las velocidades máximas y las capacidades espaciales de sus sistemas respectivos aún más, pero ninguno parece capaz de alcanzar las de UWB. Una razón contundente es que todos los sistemas son limitados por el teorema de la capacidad de canal, según lo mostrado en la ecuación 4.1. Debido a que el límite superior en la capacidad de un canal crece en forma lineal con un ancho de banda total disponible, los sistemas UWB, ocupando 2GHz o más, tienen mayor sitio para la expansión que los sistemas que son más restringidos en ancho de banda. En la ecuación 4.1 se puede observar, como se dijo anteriormente, el teorema de la capacidad de canal agregado ruido blanco Gaussiano.

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (4.1)$$

donde:

C = Capacidad de canal máxima (bits/s)

B = Ancho de banda del canal (Hz)

S = Potencia de la señal (W)

N = Potencia del ruido (W)

En la ecuación anterior, se observa que la capacidad de canal máxima crece linealmente con respecto a B pero crece en forma logarítmica solo con respecto a la relación señal a ruido.

Así, los sistemas UWB parecen tener un gran potencial para el soporte de los sistemas inalámbricos futuros de alta capacidad.

4.2.1. Ventajas e Inconvenientes

En principio las velocidades a las que pueden funcionar en la actualidad los sistemas UWB son de 40Mbps. Intel presentó en el primer trimestre de 2003 durante la celebración del Intel Developer Forum en San Francisco su primer prototipo de enlace inalámbrico UWB funcionando a 100Mbps, manifestando su intención de alcanzar velocidades de 500Mbps. Los expertos opinan que será de aplicación la ley de Moore, ya que se espera duplicar la velocidad de funcionamiento cada 2 ó 3 años, mediante la obtención de circuitos CMOS más rápidos con impulsos más cortos.

Otra ventaja de UWB es que debido a la pequeña potencia utilizada los circuitos integrados son baratos, pequeños y fáciles de construir, consumiendo una potencia muy pequeña, del orden fracciones de mW, lo que los hace idóneos para todo tipo de aparatos portátiles que demanden alta velocidad y bajo consumo.

La energía de un impulso de UWB se distribuye a lo largo de todo el espectro desde las frecuencias más bajas hasta los 10 ó 15GHz con lo que la energía absorbida por los obstáculos en su propagación en interiores en diferentes frecuencias tiene poco efecto porque los receptores de UWB detectan la energía del impulso en el tiempo y no en frecuencia, es decir, las pérdidas de propagación no afectan sensiblemente a la calidad del impulso desde el punto de vista de la detección.

UWB no tiene en principio problemas de operación simultánea de pares emisor-receptor, ya que la casi totalidad del tiempo los emisores están inactivos, por ser el ancho de los impulsos muy pequeños en relación con el periodo de repetición del mismo. Además, debido a su simplicidad, los costes de fabricación son bajos en relación con los estándares 802.11x y se espera que se reduzcan en gran manera una vez se acometa la fabricación en serie.

UWB es un sistema idóneo para aplicaciones multimedia por no ser un sistema basado en paquetes como 802.11x.

Finalmente, según lo comparado con arquitecturas de radios trancceptores (transmisor-receptor) tradicionales, la simplicidad relativa de los trancceptores UWB podría producir ventajas importantes. Para explorar estas ventajas, se considerará la siguiente arquitectura de radio tradicional, la cual será puesta en comparación con una arquitectura UWB. Este ejemplo contemporáneo de una arquitectura inalámbrica de corto rango y de bajo costo es el radio Bluetooth, un ejemplo de este radio se muestra en la figura 4.3.

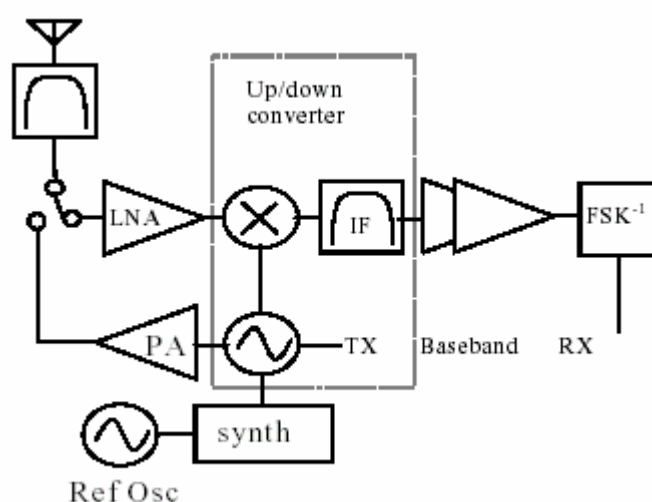


FIGURA 4.3. Ejemplo del trancceptor Bluetooth

Bluetooth, como se indicó anteriormente en este mismo capítulo, utiliza una forma de modulación digital por desplazamiento de frecuencia (FSK) donde la información es enviada desplazando o cambiando la posición de la frecuencia portadora alta o baja. En la figura 4.3, esto es llevado a cabo aplicando los bits de información (identificados como TX en la figura 4.3) a un Oscilador de Voltaje-Controlado (VCO). Un sintetizador PLL (Phase-Lock Loop) (Phase-Lock Loop) con un oscilador cristalino de referencia se requiere para almacenar esta frecuencia promedio del oscilador dentro de la especificación. Esta señal de 1MHz de ancho se expande entonces a 79MHz por una técnica de salto de frecuencia donde el sintetizador es ajustado a canales pseudorandómicos espaciados en 1MHz. La señal emitida resultante es centrada en 2.45GHz con un ancho de banda de 79MHz.

De tal modo, la señal extremadamente débil de la antena es primero amplificada y luego convertida mediante un *down converter* a una frecuencia intermedia (IF). En este ejemplo, $IF = 120\text{MHz}$. El *down converter* utiliza una técnica *heterodyne* (Esta técnica es considerada como efectiva para el procesamiento de señales RF de banda estrecha ya que

acelera el proceso de dividir el espectro de radio de forma consecutiva en bandas estrechas. En 1918, Howard Armstrong inventó el circuito *super-heterodyne*, el cual, hasta estos días, es la arquitectura de radio dominante) donde un "mezclador" o "combinador" no lineal es alimentada por una señal deseada a $\sim 2.45\text{GHz}$ y un oscilador local sintetizado que opera a una frecuencia de 120MHz sobre o debajo de la señal deseada. El "mezclador" produce un exceso de imágenes de la señal deseada donde cada imagen se centra en los términos de suma y de diferencia de la señal deseada y del oscilador local (y armónicos de ambos). La imagen que está debajo de la frecuencia IF deseada, luego pasa a través del filtro IF, mientras que las otras imágenes son rechazadas. A esta baja frecuencia, es relativamente fácil proporcionar los circuitos estables de alta ganancia ($\sim 90\text{dB}$) necesarios para demodular la señal y para recuperar la información original.

La mayoría de los diseños de Bluetooth se basan en variantes de esta arquitectura *super-heterodyne* con un énfasis en integrar tantas funciones como sea posible sobre un solo chip. En algunos diseños, esto incluye los filtros IF los cuales compensan los requerimientos de selectividad del canal de Bluetooth muy difíciles de realizar sobre una temperatura de funcionamiento excesiva.

Se puede ahora mostrar en la figura 4.4 un prototipo del transmisor-receptor UWB. Este transmisor-receptor se puede utilizar para las mismas aplicaciones que posee Bluetooth, pero a tasas de transmisión de datos más altas y con una potencia emitida de Radio Frecuencia (RF) más baja. La información puede ser modulada usando varias técnicas diferentes: la amplitud de pulso se podría modular con ± 1 variaciones (señalización bipolar) o $\pm M$ variaciones (Modulación por Amplitud de Pulso M-aria) o la más importante y estudiada en el capítulo 2 que es dando una incertidumbre (randomización) a la posición del pulso (conocida como la Modulación por Posición de Pulso o PPM). El pulso tiene una duración en el orden de 200ps y, en este ejemplo, su forma es diseñada para concentrar la energía sobre el amplio rango de $2\text{-}6\text{GHz}$. Un amplificador de potencia puede no ser requerido en este caso porque el generador de pulso necesita solamente producir una oscilación de voltaje en el orden de 100mV . Como con el radio *super-heterodyne*, un filtro pasabanda es usado antes que la antena restrinja las emisiones dentro de la banda de frecuencias deseada, en este caso, el filtro tendría un ancho de banda en el orden de 4GHz .

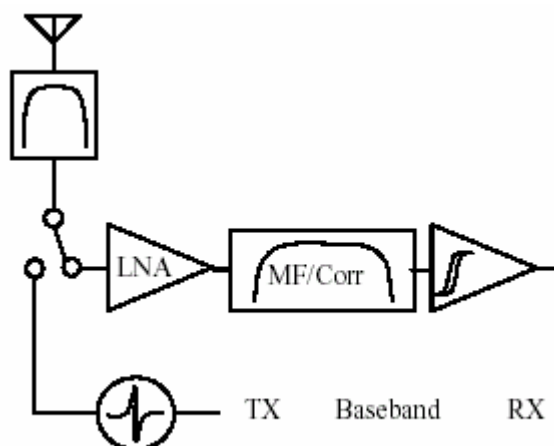


FIGURA 4.4. Ejemplo de la arquitectura del transmisor-receptor UWB

Durante la transmisión continua, el transmisor Bluetooth tiene una tasa de transmisión sobre 1Mbps en un promedio de 1mW de potencia RF a la antena, y proporciona un rango de operación de cerca de 10 metros. Un transmisor UWB de 2.5GHz operando a $<10\mu\text{W}$ de potencia promedio puede proporcionar el mismo rendimiento de transmisión y el mismo rango estimado de cobertura. Esto se podría traducir en una extensión significativa de la vida de la batería para los dispositivos portátiles. Alternativamente, más potencia en la señal UWB se podría utilizar para aumentar el rango de operación o la tasa de transmisión de datos.

De este modo, la energía recogida por la antena se amplifica y pasa a través de un filtro casado o de un receptor de correlación. Un filtro casado tiene una respuesta al impulso emparejada a la forma de pulso recibido y producirá un impulso en su salida cuando presentado con la energía RF tiene la forma de pulso correcto. La información original entonces se recupera con un circuito de umbral ajustable de alta ganancia.

Nótese la simplicidad relativa de esta implementación comparada con la arquitectura super-heterodyne. Este transmisor-receptor no tiene oscilador de referencia, sintetizador PLL (Phase-Lock Loop), VCO (Voltage-Controlled Oscillator), mezclador o amplificador de energía. Esta simplicidad se traduce en costos de materiales y costos de ensamblaje más bajos. Por ejemplo, los osciladores de bajo costo de referencia usados en un típico radio Bluetooth requieren un ajuste de la frecuencia central alargando el tiempo de prueba y por lo tanto, aumentando el costo de ensamblaje.

El hardware del procesamiento digital de la señal (DSP) de bajo costo se utiliza a menudo en radios modernos digitales para generar varios métodos de modulación. Estos sistemas pueden reducir la densidad de información en su señal para servir a usuarios a mayores distancias (rango). Una ventaja de UWB es que incluso las simples implementaciones pueden proporcionar esta adaptación. Por ejemplo, como el rango aumenta, un radio UWB puede utilizar varios pulsos para enviar un bit de información de tal modo que aumenta la relación Señal a Ruido (SNR) en el receptor. Puesto que el consumo de potencia promedio de un transmisor UWB crece linealmente con la frecuencia de repetición de pulso (PRF), es fácil prever una radio UWB relativamente simple, que bajo el control de software, puede negociar dinámicamente tasa de transmisión de datos, el consumo de energía y el rango. Este tipo de flexibilidad es lo que se necesita para permitir aplicaciones con potencia restringida en computadoras portátiles del futuro.

Sin embargo, todavía hay algunos desafíos de diseño para los sistemas UWB. Existe la preocupación que un receptor de banda ancha puede ser susceptible a bloquearse involuntariamente por los transmisores de banda estrecha tradicionales que funcionan dentro del pasabanda del receptor UWB. De la misma forma, los problemas tales como exactitud del filtro casado y los requisitos extremos del ancho de banda de la antena, pueden a menudo ser difíciles de alcanzar. Para un receptor de correlación, la sincronización necesita ser muy exacta para detectar correctamente el pulso recibido debido a las cortas duraciones del pulso.

El principal inconveniente de la tecnología UWB es la limitación en potencia radiada impuesta por los organismos reguladores, con la cual solamente se puede obtener un alcance de 10 a 30m. Como ya se ha indicado, esto se debe a la gran preocupación mostrada por las posibles interferencias con los sistemas de radio de los ejércitos, aviación comercial, bomberos, policía y servicios de protección civil. Después de dos años de estudio la FCC estimó que con las limitaciones impuestas las interferencias, en caso de manifestarse, carecerían de importancia. En el mismo sentido se mostró satisfecho el DoD con esas condiciones. En Europa el problema puede ser incluso menor si se imponen las condiciones más restrictivas que las de la FCC que se están estudiando por parte de la CEPT.

Otro problema puede ser la antena utilizada. La mayoría de las antenas están sintonizadas a frecuencias específicas, pero en este caso la situación es la opuesta: la antena ha de radiar en una banda de frecuencias muy amplia y este tipo de antena está aún por diseñar.

Otra desventaja que se puede mencionar es que UWB, como tecnología de radio, tiene sus mismos problemas, que pueden ser resueltos mediante el uso de fibra óptica dando una seguridad de funcionamiento superior a UWB ya que, en la práctica, se eliminan todas las interferencias.

4.2.2. Compatibilidad

No parece haber ningún tipo de incompatibilidad entre UWB y las otras tecnologías utilizadas en las redes inalámbricas de área local, como 802.11x y Bluetooth y en ese sentido se han desarrollado las pruebas que se han llevado a efecto hasta el momento. XtremeSpectrum, fabricante del circuito integrado Trinity, llevó a cabo un experimento realizando seis transmisiones simultáneas de vídeo utilizando un único dispositivo UWB en un espacio cerrado con varios sistemas funcionando con las tecnologías de los estándares 802.11x sin observar ningún problema de interferencias.

Un caso de posible incompatibilidad podría surgir entre los productos norteamericanos y los europeos si se lleva a efecto la recomendación del CEPT SE24 de añadir una protección adicional de -30dBm a las transmisiones UWB en edificios de oficinas, como ya alertó hace algún tiempo la industria.

Como se ha mencionado anteriormente hay un grupo de compañías que desea que el estándar 802.15.3a soporte la tecnología multibanda para compatibilizarlo con el grupo de estándares 802.11x.

4.2.3. Costo y Mercado

Los primeros productos UWB (IEEE 802.15.3a) se comercializaron en Norteamérica a finales de 2003, comenzando sus ventas en volúmenes apreciables en 2004. La participación de la tecnología UWB en el mercado de las redes inalámbricas de área

local será del 6% en 2006, ya que durante bastante tiempo la tecnología dominante empleará los estándares 802.11x, es decir, 802.11b y 802.11a.

UWB tardará cinco años en tener una posición importante en el mercado de las redes inalámbricas de área local, convirtiéndose en el futuro en la tecnología con mayor presencia por sus características de consumo, seguridad, costo e inmunidad a las interferencias.

El primer circuito integrado puesto en el mercado ha sido el Trinity de XtremeSpectrum a un precio de aproximadamente 20 dólares en cantidades de 100.000.

Hay una gran actividad en las compañías interesadas en UWB por lo que se espera que se progrese rápidamente en el desarrollo de circuitos integrados de alta velocidad para las redes inalámbricas de área local.

Por otro lado, todo parece indicar que se elegirá UWB como tecnología del estándar de alta velocidad 802.15.3a, lo que impulsará definitivamente la utilización de UWB en las redes locales, tanto profesionales como domésticas, siendo éste el sentir de las compañías involucradas.

Intel espera comercializar los productos UWB basados en estándares oficiales durante 2005 y 2006.

En estos momentos las ventas previstas de los productos UWB para los próximos años no están claras, ya que las empresas sólo mencionan volúmenes totales incluyendo las de UWB con las de las tecnologías 802.11g, 802.11b, 802.11a y Bluetooth.

Motorola ha anunciado que ha firmado un acuerdo con XtremeSpectrum para utilizar la tecnología UWB de esta última empresa en sus productos.

En el mismo sentido General Atomics y Royal Philips Electronics han firmado otro acuerdo para desarrollar circuitos integrados de muy alta velocidad, de hasta 480Mbps, para su utilización en sistemas de comunicación y participar de forma conjunta en el proceso de estandarización que se está llevando a cabo en estos momentos.

4.2.4. Seguridad

Es otra gran ventaja de UWB frente a los estándares IEEE 802.11x y Bluetooth. UWB es una tecnología mucho más segura que 802.11g, 802.11b y 802.11a por varias razones. En primer lugar la señal transmitida está inmersa en el ruido de fondo y para escucharla es necesario detectarla entre ese ruido sin tener indicación previa de su existencia. Una vez detectada la transmisión es necesario disponer exactamente del mismo esquema de señalización, es decir, se ha de poder sincronizar la señal transmitida, discriminando los pulsos que forman parte de la misma de los demás. Además se puede cifrar la transmisión mediante cualquier tipo de algoritmo y esta transmisión puede ser de datos, de audio, de vídeo, a ráfagas, etc. En otras palabras, para poder realizar una escucha con éxito es imprescindible que el receptor conozca con precisión los parámetros utilizados por el emisor.

4.3. APLICACIONES Y REALIZACIONES

Las aplicaciones de UWB se extienden mucho más allá de las relacionadas con las comunicaciones como se había explicado en el capítulo 3.

En lo referente a las aplicaciones multimedia, la tecnología IEEE 802.15.3a parece ser adecuada para aplicaciones comerciales, como videoconferencia (camcorders), PC's portátiles (laptops), DVD's, cámaras digitales, sistemas de vídeo, etc. para comunicarse entre sí en un entorno sin cables ya que el desarrollo de la casa interconectada sin hilos es aún una asignatura pendiente.

El ancho de banda para transmisiones de vídeo utilizando MPEG-2 es de 12Mbps y para vídeo de alta definición de 20Mbps. En el futuro cercano el vídeo se transmitirá en MPEG-2HD con múltiples canales, lo que exigirá una tecnología como UWB.

La UWB o IEEE 802.15.3a desplazará sin ninguna duda los equipos basados en el estándar 802.11a, dada la capacidad innata de UWB para la transmisión de información de vídeo, ya que aunque con 802.11a se pueden obtener 54Mbps, la característica de

funcionamiento de transmisión de paquetes no la hace adecuada para aplicaciones multimedia.

En los Estados Unidos la TV comercial se debe convertir en TV de alta definición en el año 2006. UWB puede resolver este problema a la industria de distribución por cable, porque los impulsos de UWB son tan débiles desde el punto de vista de la energía que parecen ruido de fondo y no interfieren con los de la CATV. Usando la tecnología UWB se pueden introducir en los cables 2Gbps extra de ancho de banda a través de los sistemas CATV. En estos momentos hay que utilizar elementos de 5.000 y 10.000 dólares en el cable y un microchip de unos 30 dólares en el domicilio del usuario. Con este procedimiento se pueden transmitir 100 canales de HDTV, VOD (Video on Demand - Video bajo Demanda), 50 canales de HDTV con conexión simultánea de alta velocidad a Internet u otra combinación de comunicaciones.

En lo relativo a seguridad ciudadana las aplicaciones de UWB son de importancia capital, ya que el radar basado en esta tecnología (GPR – Radar de Penetración en Suelos) permite localizar objetos enterrados o situados detrás de paredes, lo que proporcionará al personal de búsqueda de supervivientes en catástrofes una herramienta fundamental. Este tipo de radar ha sido utilizado durante décadas por arqueólogos, mineros y astronautas de la misión Apolo para su utilización en el subsuelo, así como en la reparación de cables de fibra óptica, que no son localizables por los detectores de metales.

UWB tiene la capacidad de situar objetos con una aproximación de centímetros, como consecuencia de la transmisión y recepción de datos entre muchos dispositivos dentro de una red inalámbrica de área local, por lo que también se puede utilizar en dispositivos de medida y localización, ya que da tanta precisión o más que GPS y además puede ser utilizado en interiores, es decir, UWB puede triangular la situación de mercancías etiquetadas con un conjunto de transmisores, facilitando con ello su localización. La Marina de los Estados Unidos tiene previsto colocar un localizador UWB en la práctica totalidad de los elementos “móviles” y mercancías a bordo de sus barcos para mejorar su control. Otra aplicación importante es la transmisión de imágenes para uso en telemedicina.

En estos momentos se están realizando investigaciones para eliminar la batería de los futuros aparatos portátiles debido a la poca energía que necesitan, ya que en pleno funcionamiento un dispositivo UWB está la mayor parte del tiempo inactivo, porque la duración de los impulsos es mucho menor que el tiempo transcurrido entre los mismos, lo que unido a las restricciones debidas al cumplimiento de la normativa relativa a UWB, produce unos requisitos de energía extraordinariamente pequeños. La energía para su funcionamiento se espera obtener del entorno, tal como los relojes de pulsera, ya sea por movimiento de dispositivo portátil, variaciones de temperatura o de presión atmosférica del entorno, etc.

Por último, cabe mencionar la capacidad de UWB de utilizar frecuencias ultra bajas por lo que se puede utilizar para transmisiones con submarinos sumergidos, a través de paredes y edificios e incluso con sistemas situados bajo el suelo.

CAPÍTULO 5

DISEÑO DE UNA APLICACIÓN UWB

El objetivo principal de este capítulo es realizar el diseño de una red inalámbrica de corto alcance en base a la tecnología UWB; y, en donde además se presentarán datos técnicos y de costos estimados relativos a la aplicación.

En la fase inicial del diseño para una red inalámbrica UWB, al igual que en una red basada en otra tecnología, se debe realizar un estudio del lugar de implementación, definir el tipo de infraestructura, bien sea edificaciones nuevas o antiguas, bodegas, centros de estudio o centros de salud; características arquitectónicas del mismo: espacio disponible, número de pisos en caso de tenerlos, disponibilidad de techos falsos; determinación de la ubicación del cuarto de equipos.

El sistema debe estar diseñado no únicamente para satisfacer las necesidades actuales, sino también preparado para prever un crecimiento a futuro, por lo cual el diseñador debe disponer de la información necesaria por parte del cliente para poder recomendar una tasa de crecimiento acorde con las necesidades de los usuarios.

La flexibilidad de instalación en este tipo de redes es sumamente amplia, sin embargo se debe tomar en cuenta que en el caso que se trate de una red de infraestructura es necesario un cableado de backbone para la interconexión entre los puntos de acceso y la sala de equipos, por lo cual, se debe definir en el estudio de planos, las rutas que el cableado debe seguir en su implementación. Pero en el presente trabajo se va a realizar el

diseño de una red *Ad hoc punto a punto*, donde se conforma una red sin necesidad de puntos de acceso y por tal razón no será indispensable el cableado.

Una topología ad-hoc es una en la cual se crea una red LAN únicamente por los dispositivos inalámbricos mismos, sin controlador central o punto de acceso. Cada dispositivo se comunica directamente con los demás dispositivos en la red, en lugar de que sea a través de un controlador central. Esto es útil en lugares en donde pequeños grupos de computadoras pueden congregarse y no se necesita acceso a otra red. Por ejemplo, un hogar sin una red cableada o un cuarto de conferencia en donde se reúnen regularmente equipos para intercambiar ideas, son ejemplos en los que puede ser útil una red inalámbrica ad-hoc.

Por ejemplo, cuando se combinan la nueva generación de software y las soluciones inteligentes de punto a punto, estas redes inalámbricas ad-hoc pueden permitir a los usuarios que viajan colaborar, disfrutar de juegos con varios participantes, transferir archivos o comunicarse de alguna otra forma entre sí, utilizando sus PCs o dispositivos inteligentes de manera inalámbrica.

Pero primeramente es necesaria la definición de todos los parámetros requeridos para la implementación del sistema, por lo cual se debe realizar una recopilación de toda la información a utilizarse en el desarrollo del diseño.

5.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO

Para la realización del diseño del sistema UWB *Ad hoc*, es necesario que la persona encargada del mismo disponga de toda la información requerida para su desarrollo. Aspectos arquitectónicos, estructurales, en el ámbito de usuarios y características de los equipos son necesarios para el diseño, con el fin de determinar una distribución que evite una interferencia entre puntos adyacentes, aunque como se explicó en capítulos anteriores los dispositivos UWB son inmunes a la interferencia por multitrayecto.

En caso de que el diseñador no disponga de todos los datos requeridos, éste puede acudir al cliente para indagar sobre la necesidad del sistema sobre el cual no tiene

información, y establecer un criterio de aproximación; esta aproximación será tomada a criterio del diseñador, y buscando satisfacer las necesidades del cliente.

5.1.1. Consideraciones de infraestructura

Para empezar con el diseño, es necesario hacer un reconocimiento del lugar y la obtención de los planos para la consecuente definición de las áreas de cobertura.

De manera general, se debe hacer una revisión del lugar que ayude a la identificación de las instalaciones, con ello el diseñador puede tomar ciertas consideraciones que no se pueden identificar en los planos.

a. Reconocimiento del lugar

Se debe identificar para este caso un edificio el cual dispone de 4 plantas, divididas de la siguiente manera: Subsuelo, Planta Baja, Primer Piso y Segundo Piso. En este edificio se encuentran: las oficinas administrativas y oficinas de uso múltiple.

Se debe observar que las instalaciones del edificio se encuentren en buen estado; cabe indicar que en el caso que no disponga de muchas facilidades para cableado, esto la vuelve óptima para este tipo de soluciones inalámbricas.

Se debe identificar que ninguna fuente externa a las instalaciones pueda interferir con los dispositivos UWB y los equipos inalámbricos; aunque como se mencionó en el capítulo 4 los dispositivos UWB debido a la baja potencia utilizada en el orden fracciones de mW, los hace idóneos para todo tipo de aparatos portátiles que demanden alta velocidad y bajo consumo. Además, no existe ningún tipo de incompatibilidad entre UWB y las otras tecnologías utilizadas en las redes inalámbricas de área local, como 802.11x y Bluetooth.

b. Obtención de los planos de las instalaciones

La obtención de los planos de las instalaciones es muy importante para la implementación del sistema, en la actualidad se dispone de facilidades en el diseño arquitectónico brindada por poderosas herramientas computacionales tales como Autocad, las mismas que facilitan su manejo; sin embargo no siempre esta información se halla disponible, y en este caso se deberá realizar una esquematización del mismo con

dimensiones reales, tratando de obtener un dibujo muy próximo a la realidad. Para el caso del edificio considerado, se dispone de copias de planos esquemáticos con acotaciones generales.

c. Definición de las áreas de cobertura

Las áreas de cobertura van definidas por el cliente, el mismo que indica los lugares de mayor y menor concentración de usuarios. Para el sistema actual se pretende lograr una cobertura en todas las plantas del edificio; una esquematización inicial sobre las áreas de cobertura ayuda a determinar en una primera instancia la ubicación potencial de los puntos de acceso.

5.1.2. Consideraciones a nivel de usuario por área de cobertura

Para continuar con la determinación de los parámetros de diseño, es necesario definir el número de usuarios que se van a manejar por área de cobertura, tanto a nivel de usuarios fijos como es el caso de las oficinas administrativas, como a nivel de usuarios móviles, en el caso de empleados o autoridades en reuniones.

La determinación del número total de usuarios por área de cobertura se relaciona tanto con la ubicación de las oficinas, así como por la capacidad física que disponen estos lugares; es decir, que van a existir áreas en donde se concentrará la mayor cantidad de usuarios, a diferencia de otras donde el número de usuarios es bajo.

Esto conlleva a manejar un número máximo de usuarios por cada área de cobertura, cuyo valor máximo está limitado por la capacidad física de las instalaciones.

A continuación se hace referencia a la distribución de los espacios por plantas en el edificio:

- ❖ En el subsuelo se puede encontrar: 1 bodega pequeña, 1 auditorio, 1 cámara de transformación y 1 parqueadero.
- ❖ En la planta baja se encuentran: 1 recepción, 2 oficinas de seguros y 2 salas de capacitación.

- ❖ En el primer piso se encuentran: 3 oficinas administrativas, 1 oficina de planificación y desarrollo, 1 oficina de recursos humanos y 2 oficinas del departamento de informática y sistemas.
- ❖ En el segundo piso se encuentran: 1 oficina de auditoría, 1 oficina de proyectos, 1 oficina de operaciones, 2 oficinas del área de ingeniería, 1 sala de reuniones, 1 secretaría y gerencia.

La capacidad máxima de cada uno de estos espacios viene definida por el número de personas que trabajan en las horas de trabajo, momentos en los cuales las oficinas o salas de reuniones se hallan en su máxima capacidad.

Estos datos se aproximan con la capacidad física que tiene cada una de las áreas, y con el grado de penetración del producto en el medio. Para el edificio considerado la distribución de los espacios físicos se resume en las tablas 5.1.

La cantidad de usuarios a manejarse por área de cobertura dependerá del grado de introducción del producto en el medio, y del número de personas que se encuentran en las áreas de cobertura.

	Oficinas	Salas	Recepciones o Secretarias	Otros
Subsuelo	0	1	0	3
Planta baja	2	2	1	0
Primer piso	7	0	0	0
Segundo piso	6	1	1	0

TABLA 5.1. Resumen de distribución de las áreas del edificio

En las tablas 5.2 a la 5.5 se resume el número máximo de personas por cada instalación en las horas pico de trabajo.

Subsuelo	Cantidad	Capacidad de Personas	TOTAL
Auditoria	1	50	50
Bodega	1	3	3
Cámara de Transformación	1	2	2
Parqueadero	1	30	30
TOTAL			85

TABLA 5.2. Número de personas por área de trabajo en el Subsuelo

Planta Baja	Cantidad	Capacidad de Personas	TOTAL
Recepción	1	2	2
Oficinas de Seguros	2	3	6
Salas de Capacitación	2	20	40
TOTAL			48

TABLA 5.3. Número de personas por área de trabajo en la Planta Baja

Primer Piso	Cantidad	Capacidad de Personas	TOTAL
Oficinas Administrativas	3	5	15
Oficina de Planificación y Desarrollo	1	4	4
Oficinas de Informática y Sistemas	2	4	8
Oficina de Recursos Humanos	1	6	6
TOTAL			33

TABLA 5.4. Número de personas por área de trabajo en el Primer Piso

Segundo Piso	Cantidad	Capacidad de Personas	TOTAL
Oficina de Auditoría	1	4	4
Oficina de Proyectos	1	5	5
Oficina de Operaciones	1	10	10
Oficinas de Ingeniería	2	4	8
Gerencia	1	1	1
Secretaría	1	1	1
Sala de Reuniones	1	30	30
TOTAL			59

TABLA 5.5. Número de personas por área de trabajo en el Segundo Piso

De acuerdo a los requerimientos del cliente y en base a un estudio y análisis de los lugares más estratégicos del edificio y considerando las oficinas que disponen conexiones a la red se establecerá el número de usuarios por piso en el edificio. Esta consideración se encuentra en la tabla 5.6.

	Numero de Personas	Numero de usuarios esperados
Subsuelo	85	25
Planta Baja	48	24
Primer Piso	33	15
Segundo Piso	59	30
TOTAL		94

TABLA 5.6. Número de usuarios estimados en el edificio

5.2 DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA UWB *AD HOC*

Al momento de llegar a la parte del proceso correspondiente al diseño, se cuenta con información relacionada con las áreas de cobertura en cada una de las plantas del edificio y los lugares donde se van a tener una alta y baja concentración de usuarios.

La modalidad ad-hoc como se explicó anteriormente no tiene un punto de acceso. En esta red sólo están presentes los dispositivos inalámbricos. Muchas de las responsabilidades previamente manejadas por el punto de acceso, como los cuadros y la sincronización, las maneja una estación que en este caso se la denominará *dispositivo coordinador*. Por tal razón para nuestro diseño no es necesario determinar un número de puntos de acceso, pero si la determinación de un número de dispositivos coordinadores necesarios para cumplir ciertas funciones de los puntos de acceso.

5.2.1. Determinación del Número de Dispositivos Coordinadores

La determinación del número de dispositivos coordinadores viene definido por el número de usuarios que se tiene por área de trabajo y la capacidad de los equipos en el re-utilización del espectro.

Para tal efecto se vuelve necesaria la estimación de ciertos parámetros característicos; éstos son:

a. Número de usuarios por área de trabajo.- Conjuntamente con el cliente, se define el número máximo de usuarios esperados por área de trabajo; es el cliente quien debe facilitar esta información. El cliente definirá si las áreas son oficinas de trabajo, salas de reuniones, salas de conferencias.

Así para el edificio considerado se dispone de zonas con alta concentración de usuarios tales como sala de reuniones, salas de capacitación y la auditoría, y zonas con baja concentración de usuarios tales como las oficinas.

b. Determinación del perfil del usuario en las diferentes áreas de cobertura.- El perfil de usuario, a este nivel, se define con las características de los dispositivos que se esperan instalar a la red, es decir, se determina si son terminales activos encargados de proporcionar servicios tales como servidores, o terminales pasivos que demandan los servicios de la red, es decir los clientes.

Las aplicaciones son: de uso frecuente de la red, como son la ejecución de procesadores de palabra, bases de dato u hojas de cálculo bajo servidor; de uso no tan frecuente, tales como ejecución de recursos lógicos; y de uso esporádico, tal como la compartición de recursos físicos.

El perfil de usuario para las oficinas será de un usuario que accede a recursos compartidos tales como impresoras, scanner, archivos de apuntes de datos, consultas a bases de datos servicios de mail e Internet.

c. Número máximo de dispositivos coordinadores de una misma área de cobertura.- La definición del número de dispositivos coordinadores necesarias se asemeja a la construcción de una autopista de autos, donde según una reglamentación de construcciones, las autopistas no pueden exceder de cierta capacidad.

Para la cantidad de tráfico de una ciudad, será suficiente la capacidad determinada por la reglamentación, pero en el caso de otras ciudades con mayor tráfico, se deberá

construir más de una carretera para poder satisfacer toda la demanda. Analógicamente, en las redes inalámbricas de poca demanda, no hará falta más que una estación central la cual deberá cumplir ciertas funciones correspondientes a los puntos de acceso, y de esta manera satisfacer la demanda de un área de cobertura, pero en otras áreas de alto tráfico, implicará la implementación de más de un dispositivo coordinador.

Sin embargo las redes inalámbricas *ad hoc* basadas en la tecnología UWB tienen una clara ventaja, debido a que el dispositivo inalámbrico configurado como dispositivo coordinador dispone de varios canales para el re-uso del espectro, esto implica que para una misma área de cobertura se pueda disponer de varios dispositivos coordinadores simultáneamente, con la posibilidad de usar más dispositivos en zonas adyacentes ya que esto no provocaría interferencia entre ellos ya que como se explicó en capítulos anteriores la tecnología UWB presenta relativa inmunidad al multitrayecto indoor. Esta ventaja no limita la versatilidad para lugares donde se tiene alta concentración de usuarios.

La red que se implementa debe ser independiente del tipo de aplicación que se ejecute sobre ella, sin embargo para el caso de la red inalámbrica, se deja establecido las características de ésta; esto debido a que se trata de establecer los criterios y consideraciones que deberá tomar en cuenta el administrador de la red en el momento de decidir los tipos de aplicaciones a ejecutarse en la red, para obtener un óptimo funcionamiento del sistema. Para un estudio a profundidad sobre la optimización del funcionamiento de las redes, se sugiere hacer referencia a textos de tráfico de redes.

Para el diseño de la red inalámbrica en consideración, al ser una red de mediano tráfico se ha establecido en la tabla 5.7 el número de dispositivos coordinadores.

	Número de personas	Número de dispositivos coordinadores
Subsuelo	85	3
Planta Baja	48	3
Primer Piso	33	3
Segundo Piso	59	3
TOTAL		12

TABLA 5.7. Número de Dispositivos coordinadores por planta del edificio

d. Roaming.- Es una característica típica de los sistemas celulares y que es aplicado de igual manera a las redes LAN inalámbricas por tener el mismo principio de operación. En este caso el Roaming consiste en mantener la comunicación de un cliente intacta en el momento que cruza del área de cobertura de una estación central a otra en medio de una transmisión de información.

Minimizar los Roaming y garantizar que los que se den sean exitosos es una tarea muy importante para los diseñadores de las redes inalámbricas, ya que esto mantiene altos niveles de rendimiento del sistema.

e. Escalabilidad.- Las redes inalámbricas se pueden configurar en una gran cantidad de topologías para satisfacer todas las necesidades de las instalaciones y aplicaciones específicas, estas configuraciones son fáciles de cambiar y además la incorporación de nuevos usuarios al sistema es sencilla.

Una de las características que presentan los equipos al utilizar la tecnología de espectro esparcido *time hopping*, es la habilidad de configurar varios dispositivos coordinadores con funciones de puntos de acceso en la misma área para realizar un incremento en la capacidad de usuarios dentro del área de cobertura.

f. Atenuación por interferencia.- La propagación de las ondas electromagnéticas en entornos de interiores complica de sobremanera la utilización de modelos de simulación, un simple cambio en el mobiliario puede dar origen a zonas de sombra nuevas en las que el servicio se degrada, los simples obstáculos que encuentran las ondas electromagnéticas a su paso crean atenuaciones y/o reflexiones dificultando su planificación de la red en este tipo de entornos.

Incluso algunos de los fabricantes recomiendan no dar apreciaciones de cobertura mientras no se hagan pruebas de los dispositivos en los lugares de instalación con las herramientas adecuadas, para luego de ello realizar un esquema de cobertura y grados de atenuación.

Un estudio empírico, de Miquel Oliver y Ana Escudero de la Universidad Politécnica de Cataluña, sobre las diferentes atenuaciones introducidas por obstáculos de

distinto grosor y material, fue realizado con el fin de facilitar la estimación del alcance aproximado de la red. En el estudio se indica que el cálculo será para realizar estimaciones en una primera aproximación, dado que este tipo de redes obliga a la realización de medidas adicionales en última instancia para comprobar que la predicción realizada es correcta.

En la tabla 5.8 se resume los diferentes tipos de atenuación empírica a los que se llegó como resultado del estudio. La clasificación diferencia 6 tipos de materiales.

TIPO DE OBSTACULO	ATENUACION MEDIA (dB)
TIPO 1	8.10
TIPO 2	13.00
TIPO 3	20.90
TIPO 4	32.80
VIDRIOS	19.20
METALES	32.25
TIPO 1:	Materiales sintéticos o de madera, con un grosor entre 2 y 3cm.
TIPO 2:	Materiales sintéticos, madera o yeso, con un grosor entre 4 y 5cm.
TIPO 3:	Materiales de construcción de yeso, ladrillo y baldosas, de grosor entre 10 y 15cm.
TIPO 4:	Materiales de construcción de ladrillo, cemento y yeso, de grosor entre 30 y 60cm.
VIDRIOS:	Incluyen ventanas y puertas de vidrio.
METALES:	El ascensor y algunas puertas y estanterías metálicas.

TABLA 5.8. Tabla de Atenuaciones Empíricas

- **Tipo 1.** Particiones dentro de oficinas o salas de tipo biombo o formando una pared completa. Este tipo de particiones se construye, habitualmente con materiales sintéticos o de madera y con un grosor de unos 2 o 3cm.
- **Tipo 2.** Paredes de separación entre distintas oficinas adyacentes. El grosor de estos obstáculos es de unos 4 o 5cm y suelen construirse con materiales sintéticos, madera o yeso.

- **Tipo 3.** Paredes que separan oficinas de pasillos y que delimitan zonas concretas de servicio. Los materiales de construcción son más obstructores que los anteriores, habitualmente yeso, ladrillo y baldosas. Su grosor oscila entre 10 y 15cm.
- **Tipo 4.** Este tipo de obstáculos lo forman las paredes maestras que se encuentran en el módulo. Suelen estar hechas de ladrillo, cemento y yeso y su grosor está comprendido entre los 30 y 60cm.
- **Vidrios.** En este conjunto de obstáculos se incluyen las ventanas y las puertas de vidrio que se pueden encontrar dentro del módulo.
- **Metales.** Estos obstáculos son los que presentan una mayor obstrucción a las señales radioeléctricas. El ascensor y algunas puertas y estanterías metálicas son algunos de los obstáculos de este tipo que se encuentran en el módulo.

En el caso del edificio considerado para nuestro diseño, se encuentran paredes de concreto, cemento y ladrillo con ventanas en la parte superior de ciertas oficinas o salas.

Afortunadamente, como se había explicado en el capítulo 1, los dispositivos inalámbricos basados en la tecnología UWB, pueden llevar no sólo cantidades grandes de datos sobre una distancia corta y con muy baja potencia, también tiene la habilidad de transportar señales a través de puertas, paredes y otros obstáculos que tienden a reflejar señales con anchos de banda más limitados y que utilizan mayor potencia.

Con estas premisas, la ubicación de los equipos inalámbricos y los configurados como dispositivos coordinadores si bien deben considerar un lugar con máxima cobertura, relativamente son inmunes a la interferencia y a los obstáculos, sean estos de cualquier tipo.

Para el montaje se dispone de un manual que se incluye en el equipo, allí existen ciertas recomendaciones y consideraciones que se deben tomar en cuenta en el manejo e instalación. Entre las principales recomendaciones se resaltan la verificación de los elementos del producto en su caja, el número serial del producto y su consecuente identificación, el proceso de configuración de los distintos elementos que cumplen la

función punto de acceso y el montaje del mismo. La implementación se debe realizar siguiendo estas recomendaciones para garantizar el correcto funcionamiento.

5.2.2. Implementación del Sistema Inalámbrico

Para la implementación del sistema, se debe previamente haber cumplido con la revisión y aprobación del diseño por parte del cliente, una vez cumplido este punto, se procede a su implementación. Para este procedimiento, se debe cumplir con las etapas de planificación, selección de estándar UWB, instalación, revisión y entrega del sistema.

a. Etapa de Planificación

Previo a la selección del estándar UWB y a la instalación, debe existir un proceso de logística para optimizar el trabajo; se considerará aspectos como:

- ❖ Coordinación de fechas de inicio y finalización del trabajo entre el contratista y el cliente, además del establecimiento del horario de trabajo normal o nocturno, para evitar interrupciones en el caso de que las instalaciones se encuentren ocupadas.
- ❖ Solicitud al cliente de las respectivas autorizaciones de acceso del personal y de los equipos a las instalaciones.
- ❖ Coordinación con el equipo de instalación para la revisión de las herramientas y material necesario para toda la instalación. En caso de necesitar alguna herramienta o material especial, proceder a su adquisición.
- ❖ Realización de un cronograma de trabajo, para identificar los elementos necesarios a llevar en el momento requerido, material, herramientas y personal; éste debe encontrarse acorde con los horarios de trabajo establecidos por el cliente.
- ❖ Entrega del cronograma de trabajo al cliente, para alertarlo sobre posibles interrupciones en los servicios en la red, en caso de ser necesario.

- ❖ Realización de una lista de materiales y herramientas, incluyendo descripción, cantidad de cada uno de ellos, fechas de utilización y fechas de entrega; este documento sirve para administrar los recursos.
- ❖ Establecimiento de grupos de trabajo, delegando responsabilidades y determinándoles los tiempos de trabajo necesarios. Estos forman parte del cronograma de trabajo.

b. Etapa de selección del Estándar UWB

Con respecto a los estándares UWB se había mencionado en el capítulo 3 que existen una gran cantidad de grupos y fabricantes dedicados al estudio y desarrollo de dispositivos UWB para aplicaciones en redes inalámbricas LAN y PAN.

En esta etapa se debe seleccionar el estándar UWB más apropiado de acuerdo a todo el estudio y análisis realizados en la sección 5.2.1, por tanto, el estándar que se va a seleccionar corresponde al Grupo IEEE y es el IEEE 802.15.3a. Cabe señalar que éste estándar se encuentra regido a las regulaciones establecidas por la FCC las cuales están descritas en la sección 3.3.1.

El estándar IEEE 802.15.3a surgió de la necesidad de formar WPAN's y WLAN's que fueran capaces de transmitir datos de manera rápida, y eficiente. Muchos GHz de ancho de banda han sido autorizados para ser trabajados sin licencia para redes inalámbricas de área personal (WPAN's) en lo que se conoce como UWB (Ultra Wide Band) o banda ultra ancha. Esta tecnología tiene el potencial de proporcionar altas velocidades de conexión como nunca antes en productos tales como video conferencias, sistemas inalámbricos de distribución de audio y video.

El estándar IEEE 802.15.3a es un estándar barato en su implementación y en sus costos de operación, por lo que este estándar es poco complejo. Otra razón para que sea sencillo es que mientras más simple sean los protocolos, el formato de las tramas, la modulación, etc., de un estándar la transmisión de datos es más eficiente y por lo tanto más rápido. La red formada con este estándar tiene características que la hacen segura ya que cuenta con encriptación compartida de información basada en el estándar Advanced Encryption Standard (AES 128). Es fácil de utilizarse e implementarse. Tiene un

coordinador dinámico de selección y de handover. No depende de una red con backbone. Además está diseñado para trabajar en un ambiente multirutas.

El IEEE 802.15.3a tiene muchas aplicaciones potenciales. Este estándar se puede implementar prácticamente en “cualquier dispositivo que sea digno de utilizar un microprocesador”. Por medio de una modesta cuota, alguna de las aplicaciones más interesantes dentro del edificio es la distribución de video. Con este estándar se puede implementar fácilmente una transferencia de alta velocidad de video digital de una cámara aun dispositivo de televisión, conexiones de una PC a un proyector. De igual forma se pueden hacer transferencias de datos de alta velocidad, conectar impresoras, escáners, productos personales y cámaras digitales a una computadora.

MAC del 802.15.3a.- Este estándar tiene una topología centralizada en una conexión orientada tipo *ad hoc* y esta es la razón fundamental por la que se decidió seleccionar este estándar para el diseño de la red. El dispositivo coordinador (PNC) mantiene la sincronía y el tiempo dentro de la red, controla el ingreso de nuevos dispositivos a la red, asigna los tiempos para conexiones entre los dispositivos 802.15.3a, etc.

El tipo de comunicación entre dispositivos es *peer to peer* y soporta QoS multimedia; con una arquitectura TDMA de super-tramas con GTS (Guaranteed Time Slots), además tiene técnicas de autenticación y encriptación. Una parte importante de este estándar es que cuenta con varios modos de ahorro de energía (asíncronos y sincronizados). De igual forma para el ahorro de energía se busca la simplicidad; todas las negociaciones de QoS y de control de flujo se hacen en la capa 3; el PNC solo maneja solicitudes de tiempo en el canal. El estándar se caracteriza por ser robusto. La selección de canales es dinámica y existe un control de energía de transmisión por link. Otra característica que le da fuerza al estándar es el protocolo de handover.

Capacidades de seguridad.- Una característica importante en este estándar es que los niveles de seguridad pueden variar, de acuerdo a las necesidades del usuario.

- El modo 0 significa que no existe seguridad.
- El modo 1 permite al usuario restringir el acceso a la picored. El usuario puede especificar, de forma externa, que dispositivos pueden formar parte de la conexión asíncrona.

- El modo 2 proporciona autenticación por criptografía, protección de la información del usuario e integración de comandos.
- El modo 3 ofrece protección de la información del usuario, integridad de los datos y los comandos así como autenticación por criptografía.

Estructura de *Super-frame*.- Las estructuras de *super-frame* consisten en 3 secciones de tiempo (ver figura 5.1).

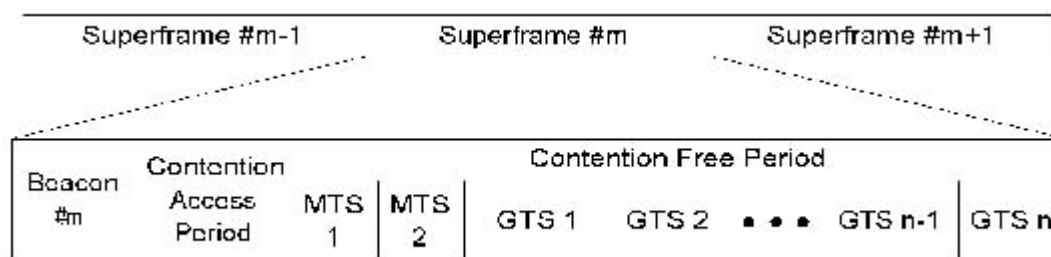


FIGURA 5.1. Estructura en el tiempo de las *Super-frames*.

1. Beacon; transmite información de control a toda la picored, localización de recursos (GTS) por trama y proporciona sincronización en tiempo.
2. Periodo opcional de acceso a contención (CAP) (CSMA/CA); utilizado en la autenticación, solicitud y respuesta de asociación, parámetros de flujo, negociación y demás comandos del frame.
3. Periodo libre de contención (CFP); formado por ranuras de tiempo unidireccionales (GTS) que son asignadas por el dispositivo maestro, para transmisión datos de forma asíncrona o sincronizada; de manera opcional se encuentra el Management Time Slots (MTS) en lugar del CAP para frames de comandos.

Calidad de servicios (QoS).- “QoS es típicamente definido como el estado latente requerido para saltar la inestabilidad de una corriente continua de datos a una tasa deseada”. El estado latente puede ser utilizado para almacenar una trama de datos para que los efectos no determinados de la transmisión se puedan reducir. Pequeñas cantidades de inestabilidad se pueden manejar sin consecuencias por el dispositivo receptor. Es necesario sincronizar los requerimientos adicionales puestos en sistemas en donde hay tramas de datos múltiples.

Requerimientos técnicos del estándar IEEE 802.15.3a.- Los requerimientos técnicos y los criterios de selección de una capa física para una WPAN se pueden observar en la tabla 5.9. El estándar IEEE 802.15.3a permite y posibilita bajo consumo de energía y bajos costos para asegurar que el estándar para una WPAN se lograra implementar con tecnología CMOS. “Dichos requerimientos se asegurarán que la capa física para altos rangos de transmisión propuestos por el IEEE 80 2.15.3a se puedan integrar fácilmente en dispositivos WPAN que ya tengan capas MAC y de red implementadas con tecnología CMOS”.

Parámetro	Valor
Tasa de transmisión de datos	100Mbps, 110Mbps, 220Mbps, 480Mbps
Rango	30m, 10m, 4m, 2m
Consumo de energía	100mW y 250mW
Modos de manejo de energía	Ahorro de energía, modo dormido, etc.
Picoredes Colaterales	4
Susceptibilidad a interferencias	Sistemas robustos de la IEEE, PER < 8% para un paquete de 1024Bytes.
Capacidades de co-existencia	Interferencia reducida de los sistemas IEEE, Potencia de interferencia promedio de por lo menos de 6dBm por de bajo del nivel mínimo de sensibilidad.
Costo	Inferior a IEEE 802.11x y Bluetooth
Actualizaciones	Compatible con versiones anteriores del IEEE 802.15, adaptable a varias regiones (US, Europa, Japón)
Adquisición de señales	< 20us para la adquisición desde el inicio del preámbulo al inicio del encabezado.
Antena	El tamaño y la forma son consistentes con el Dispositivo original.

TABLA 5.9. Requerimientos técnicos de una capa física para una WPAN con UWB.

Este flexible estándar seleccionado permitirá rangos de datos de 100- 480Mbps (rangos de datos necesarios para USB inalámbricas), arquitecturas WPAN con costos efectivos, y operará sobre la capa MAC descrita anteriormente la cual esta bien definida. El estándar IEEE 802.15.3a permitirá un amplio rango de transmisión, incluyendo los requerimientos multimedia sobre los 100Mbps, tales como video conferencias inalámbricas.

Este estándar utiliza multi-bandas moduladas en OFDM que utiliza canales de 528MHz (tres canales principales en bandas bajas y cuatro canales opcionales en bandas superiores).

Como se muestra en la tabla 5.10, el estándar IEEE 802.15.3a tiene un sistema de canales en la UWB. En el grupo A hay tres bandas para operaciones estándares. En el grupo C hay cuatro bandas que se utilizarían para uso opcional en áreas en donde haya picoredes simultáneas (esto se utilizaría solo en las regiones más próximas dado que las perdidas por propagación limitan las señales en estas frecuencias tan altas). Las bandas de los grupos B y D se reservarían para futuras expansiones. Cada banda utilizaría time hopping con multiplexado ortogonal y multiplexado de división de tiempo lo que permitiría a cada banda en el UWB ser dividido en un conjunto de canales ortogonales (con una mayor duración en el periodo de los símbolos). Debido al incremento en la longitud del periodo en los símbolos OFDM, esta modulación puede reducir exitosamente los efectos de ISI.

No. De Bandas	3 (Primera generación de bandas) 10 bandas opcionales
Ancho de Banda	528MHz
Rango de Frecuencias	Grupo A: 3.168GHz – 4.752GHz Grupo B: 4.752GHz – 6.072GHz Grupo C: 6.072GHz – 8.184GHz Grupo D: 8.184GHz – 10.296GHz
Características de Modulación	TFI-OFDM, QPSK
Método de co-existencia	Banda Nula para WPAN (~ 5GHz)
Método de acceso múltiple	Intercalación en tiempo – frecuencia

Picoredes simultaneas	4
Códigos de corrección de error	Convolutional Code
Tasa de código	11/32 @110Mbps, 5/8 @ 200Mbps 3/4 @ 480Mbps.
Margen de enlace	5.3 dB @ 10 m @ 110 Mbps 10.0 dB @ 4m @ 200 Mbps 11.5 dB @ 2m @ 480 Mbps.
Período de Símbolo	312.5ps

TABLA 5.10. Asignación de Espectro

Los impulsos de radio (IR), la propuesta típica para las comunicaciones en UWB, involucra la utilización impulsos de poca duración que ocupen una sola banda de varios GHz. Los datos son comúnmente modulados con PPM (modulación de posición de pulso); y se puede soportar a múltiples usuarios utilizando un esquema de salto de tiempo (time-hopping).

La propuesta de multi-bandas, tiene gran flexibilidad para coexistir con otras aplicaciones inalámbricas internacionales y para aceptar posibles regulaciones gubernamentales, fuera de Estados Unidos, que reduzcan el espectro de las UWB. OFDM es un método de acceso múltiple muy nuevo y complejo que está ganando popularidad.

c. Bosquejo de la distribución de equipos UWB y cálculos considerados para el diseño de la red inalámbrica UWB

Una vez establecido el número de dispositivos coordinadores, así como los distintos parámetros característicos de la red inalámbrica y el estándar UWB más adecuado a los requerimientos, se realizará un bosquejo de la distribución de los equipos inalámbricos dentro del edificio considerado, así como la distancia entre ellos para lo cual es necesario determinar los cálculos del margen de cada uno de los enlaces entre los dispositivos coordinadores UWB

c1. Subsuelo.

El subsuelo del edificio en consideración tiene un área aproximada de 250 m², es decir 25m de largo por 10m de ancho aproximadamente, tal como se puede observar en la figura 5.2. Los 3 Dispositivos Coordinadores ha ser implementados, si bien van a

desempeñar las mismas funciones que cualquiera de los dispositivos inalámbricos de la red, también tienen funciones como puntos de acceso por tal razón estos 3 elementos deben tener una posición fija dentro del subsuelo, es decir no van a ser equipos móviles dentro de la red.

Por tanto, es necesario primeramente determinar los 3 puntos estratégicos en el subsuelo donde van a ser instalados los 3 Dispositivos Coordinadores para lo cual hay que considerar que la distancia entre ellos no debe sobrepasar los 10m para garantizar una velocidad de transmisión entre ellos superior a 100Mbps y además garantizar que cualquier dispositivo o equipo inalámbrico móvil de la red en cualquier punto del subsuelo este cubierto a menos de 10m por cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores. En la figura 5.2 se observa la distribución de los 3 dispositivos coordinadores (SSDC).

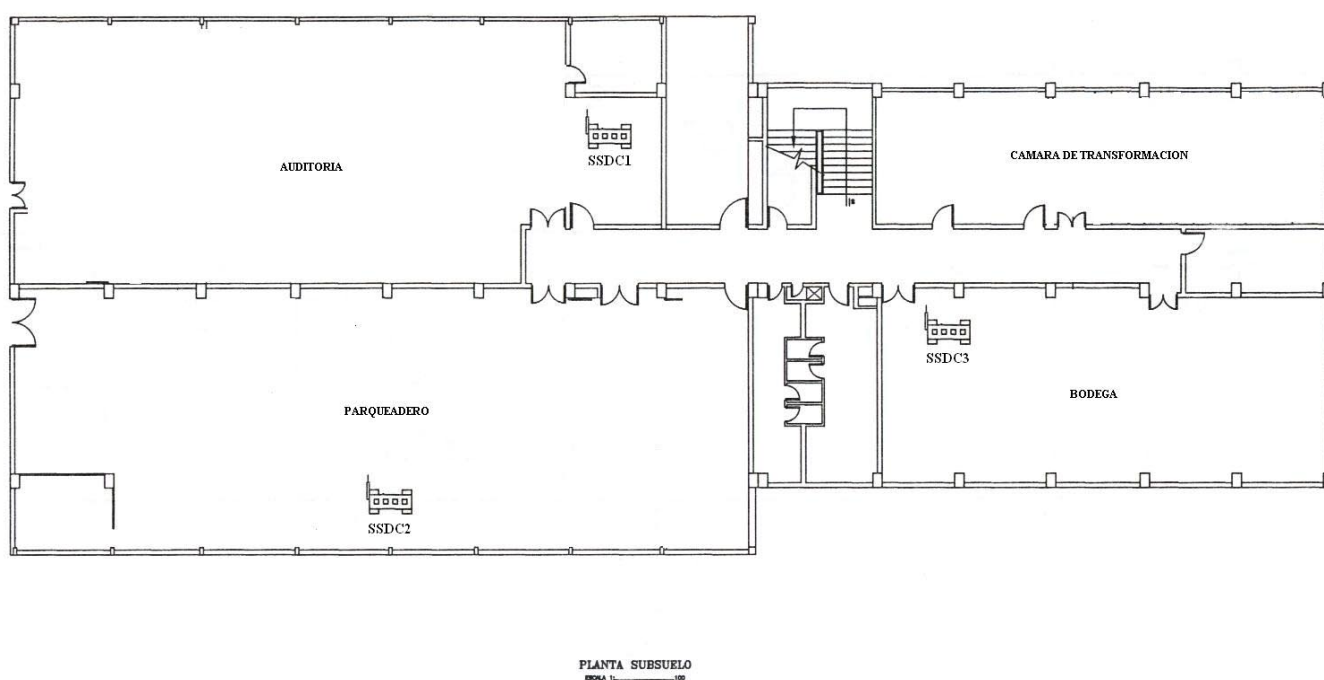


FIGURA 5.2. Distribución de dispositivos inalámbricos UWB en el Subsuelo

Para la determinación de estos 3 puntos estratégicos en el subsuelo se realizaron las siguientes consideraciones y cálculos:

- De acuerdo al estándar UWB seleccionado para el diseño de la red inalámbrica de corto alcance, tenemos los siguientes márgenes de enlace mínimos permitidos para garantizar

la correcta funcionalidad de la red, de acuerdo a la distancia entre dispositivos y la velocidad de transmisión requerida.

5.3 dB @ 10 m @ 110 Mbps

10.0 dB @ 4m @ 200 Mbps

11.5 dB @ 2m @ 480 Mbps.

- Es decir, por ejemplo, que para tener a una distancia de 10m una velocidad de transmisión de 110Mbps es necesario tener un margen de enlace mínimo de 5.3dB, etc.
- Por tal motivo la distancia entre cada dispositivo coordinador debe ser no más de 10m y la ubicación de cada uno de ellos debe garantizar que cualquier equipo inalámbrico en cualquier lugar del subsuelo debe estar cubierto a menos de 10m por cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores.
- Los tres lugares escogidos para la instalación de los 3 dispositivos coordinadores en el subsuelo son: la auditoría para la instalación del dispositivo SSDC1, el parqueadero para la instalación del dispositivo SSDC2 y la bodega para la instalación del dispositivo SSDC3.
- La distancia entre el SSDC1 y el SSDC2 es de aproximadamente 9m
- La distancia entre el SSDC1 y el SSDC3 es de aproximadamente 7m
- La distancia entre el SSDC2 y el SSDC3 es de aproximadamente 10m
- Una vez establecidas las distancias entre cada dispositivo coordinador, se determina el margen de enlace, para lo cual hay que considerar la ganancia de proceso que es una de las características y ventajas de los sistemas UWB y la atenuación por interferencia.
- La Ganancia de Proceso, como se había explicado en el capítulo 2, es una medida de una resistencia de radio al jamming (bloqueo). Para el estándar UWB escogido, se tiene la ganancia de proceso definida por la suma de la ganancia de proceso por el ciclo de trabajo más la ganancia de proceso por el efecto de integración de pulso.
- De acuerdo a las especificaciones técnicas, un ciclo de trabajo del 1% produce una ganancia de proceso de 20dB, para el estándar IEEE 802.15.3a, se tiene un ciclo de trabajo del 0.5% lo que produce una ganancia de proceso de 23dB. El efecto de la integración de pulso representa la energía de integración sobre una gran cantidad de pulsos para determinar un bit digital, lo cual para el estándar IEEE 802.15.3a, produce una ganancia de proceso de 27dB.

- La ganancia de proceso total es entonces la suma de estos dos componentes, es decir, 50dB.
- Por tanto, para determinar el margen de enlace entre cada dispositivo coordinador se tendrá la siguiente expresión:

$$M_{\text{ENLACE}} = G_{\text{PROCESO}} - \text{Atenuación}$$

- La atenuación por interferencia viene definido por el tipo de obstáculo, para el caso del edificio en consideración se tiene como obstáculos paredes y pisos hechos con materiales de construcción de yeso, ladrillo, cemento y baldosas de grosor entre 10 a 15cm, y paredes de separación entre distintas oficinas adyacentes que tienen un grosor de 4 a 5cm, por tanto, de acuerdo a la tabla 5.8 referente a las atenuaciones empíricas se tiene obstáculos del tipo 2 y 3 que representan una atenuación media de 13dB y 20.9dB respectivamente.
- El margen de enlace entre el SSDC1 y el SSDC2 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (13+20.9) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 16.1\text{dB}$$

- El margen de enlace entre el SSDC1 y el SSDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (20.9+20.9) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 8.2\text{dB}$$

- El margen de enlace entre el SSDC2 y el SSDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (20.9+20.9) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 8.2\text{dB}$$

- De acuerdo a los márgenes de enlaces calculados y las distancias definidas entre cada uno de los dispositivos coordinadores del subsuelo se ha garantizado una velocidad de transmisión entre ellos superior a los 100Mbps, y de la misma manera por la ubicación estratégica de estos dispositivos coordinadores se ha garantizado que cualquier equipo inalámbrico móvil perteneciente a la red y ubicado en el subsuelo se encuentre a menos de 10m de cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores y con márgenes de enlace superiores a 8dB y de esta forma tener velocidades de transmisión entre equipos móviles de 110, 200 y hasta 480Mbps.

c2. Planta Baja

La Planta Baja del edificio en consideración tiene un área aproximada de 230 m², es decir 26m de largo por 9m de ancho aproximadamente, tal como se puede observar en la figura 5.3. Los 3 Dispositivos Coordinadores ha ser implementados, si bien van a desempeñar las mismas funciones que cualquiera de los dispositivos inalámbricos de la red, también tienen funciones como puntos de acceso por tal razón estos 3 elementos deben tener un posición fija dentro de la planta baja, es decir no van a ser equipos móviles dentro de la red.

Por tanto, es necesario primeramente determinar los 3 puntos estratégicos en la planta baja donde van a ser instalados los 3 Dispositivos Coordinadores para lo cual hay que considerar que la distancia entre ellos no debe sobrepasar los 10m para garantizar una velocidad de transmisión entre ellos superior a 100Mbps y además garantizar que cualquier dispositivo o equipo inalámbrico móvil de la red en cualquier punto de la planta baja este cubierto a menos de 10m por cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores. En la figura 5.3 se observa la distribución de los 3 dispositivos coordinadores (PBDC).

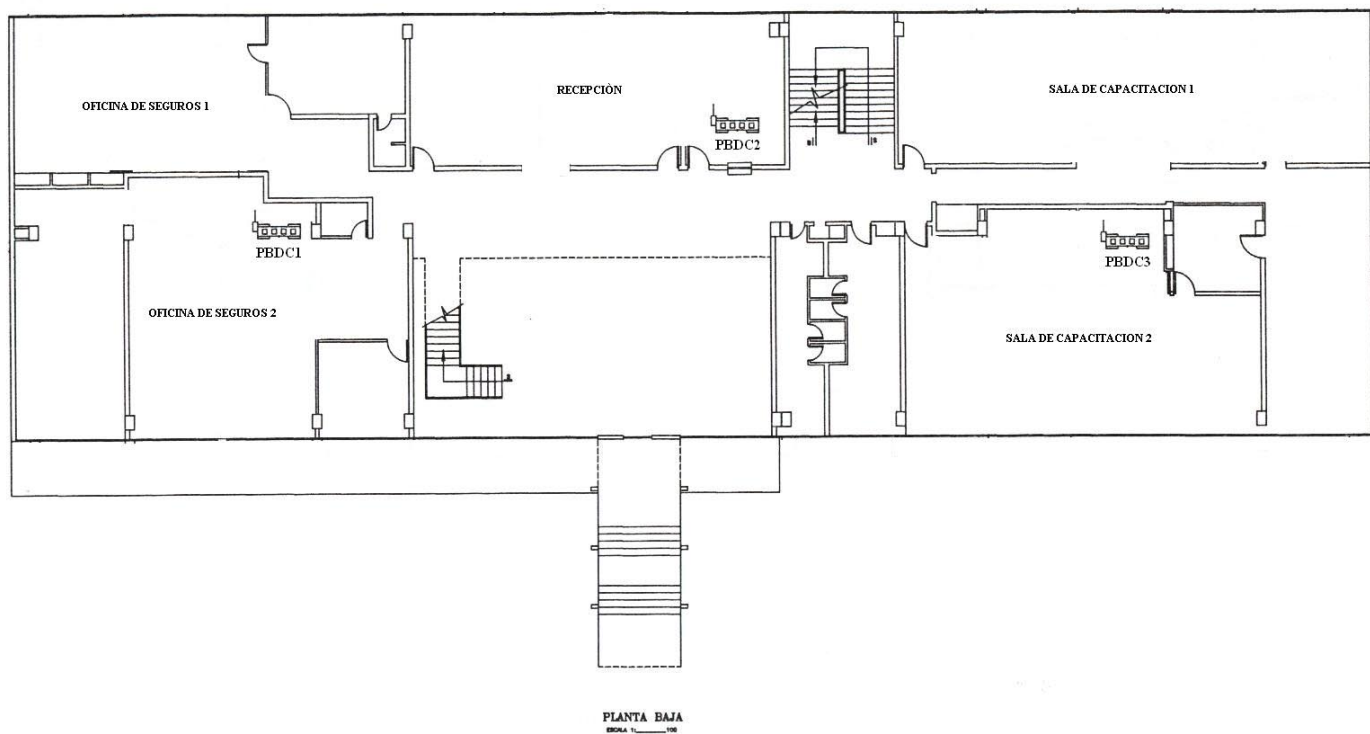


FIGURA 5.3. Distribución de dispositivos inalámbricos UWB en la Planta Baja

Para la determinación de estos 3 puntos estratégicos en la planta baja se realizaron las mismas consideraciones y cálculos que para el subsuelo; es decir:

- De acuerdo al estándar UWB seleccionado para el diseño de la red inalámbrica de corto alcance, tenemos los siguientes márgenes de enlace mínimos permitidos para garantizar la correcta funcionalidad de la red, de acuerdo a la distancia entre dispositivos y la velocidad de transmisión requerida.

5.3 dB @ 10 m @ 110 Mbps

10.0 dB @ 4m @ 200 Mbps

11.5 dB @ 2m @ 480 Mbps.

- Es decir, por ejemplo, que para tener a una distancia de 10m una velocidad de transmisión de 110Mbps es necesario tener un margen de enlace mínimo de 5.3dB, etc.
- Por tal motivo la distancia entre cada dispositivo coordinador debe ser no más de 10m y la ubicación de cada uno de ellos debe garantizar que cualquier equipo inalámbrico en cualquier lugar de la planta baja debe estar cubierto a menos de 10m por cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores.
- Los tres lugares escogidos para la instalación de los 3 dispositivos coordinadores en la planta baja son: la oficina 2 de seguros para la instalación del dispositivo PBDC1, la recepción para la instalación del dispositivo PBDC2 y la sala 2 de capacitación para la instalación del dispositivo PBDC3.
- La distancia entre el PBDC1 y el PBDC2 es de aproximadamente 7m
- La distancia entre el PBDC1 y el PBDC3 es de aproximadamente 10m
- La distancia entre el PBDC2 y el PBDC3 es de aproximadamente 6m
- Una vez establecidas las distancias entre cada dispositivo coordinador, se determina el margen de enlace, de la misma forma que se determinó para el subsuelo, es decir, hay que considerar la ganancia de proceso y la atenuación por interferencia.
- Para el estándar UWB escogido, se tiene la ganancia de proceso definida por la suma de la ganancia de proceso por el ciclo de trabajo más la ganancia de proceso por el efecto de integración de pulso y de acuerdo a las especificaciones técnicas señaladas para los cálculos realizados en el subsuelo, ésta ganancia de proceso total es entonces la suma de estos dos componentes, es decir, 50dB.
- Por tanto, para determinar el margen de enlace entre cada dispositivo coordinador se tendrá la siguiente expresión:

$$M_{\text{ENLACE}} = G_{\text{PROCESO}} - \text{Atenuación}$$

- La atenuación por interferencia viene definido por el tipo de obstáculo, para el caso de la planta baja del edificio en consideración se tiene obstáculos de las mismas características y material que se tenía en el subsuelo, es decir, obstáculos del tipo 2 y 3 que representan una atenuación media de 13dB y 20.9dB respectivamente.

- El margen de enlace entre el PBDC1 y el PBDC2 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (13+13) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 24\text{dB}$$

- El margen de enlace entre el PBDC1 y el PBDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (20.9+20.9) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 8.2\text{dB}$$

- El margen de enlace entre el PBDC2 y el PBDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (20.9+13) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 16.1\text{dB}$$

- De acuerdo a los márgenes de enlaces calculados y las distancias definidas entre cada uno de los dispositivos coordinadores de la planta baja se ha garantizado una velocidad de transmisión entre ellos superior a los 100Mbps, y de la misma manera por la ubicación estratégica de estos dispositivos coordinadores se ha garantizado que cualquier equipo inalámbrico móvil perteneciente a la red y ubicado en la planta baja se encuentre a menos de 10m de cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores y con márgenes de enlace superiores a 8dB y de esta forma tener velocidades de transmisión de 110, 200 y hasta 480Mbps.

c3. Primer Piso

El primer piso del edificio en consideración tiene un área aproximada de 210 m², es decir 26m de largo por 8m de ancho aproximadamente, tal como se puede observar en la figura 5.4. Los 3 Dispositivos Coordinadores ha ser implementados, si bien van a desempeñar las mismas funciones que cualquiera de los dispositivos inalámbricos de la

red, también tienen funciones como puntos de acceso por tal razón estos 3 elementos deben tener un posición fija dentro de la primer piso, es decir no van a ser equipos móviles dentro de la red.

Por tanto, es necesario, al igual que en el subsuelo y planta baja, primeramente determinar los 3 puntos estratégicos en el subsuelo donde van a ser instalados los 3 Dispositivos Coordinadores para lo cual hay que considerar que la distancia entre ellos no debe sobrepasar los 10m para garantizar una velocidad de transmisión entre ellos superior a 100Mbps y además garantizar que cualquier dispositivo o equipo inalámbrico móvil de la red en cualquier punto del primer piso este cubierto a menos de 10m por cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores. En la figura 5.4 se observa la distribución de los 3 dispositivos coordinadores (PPDC).

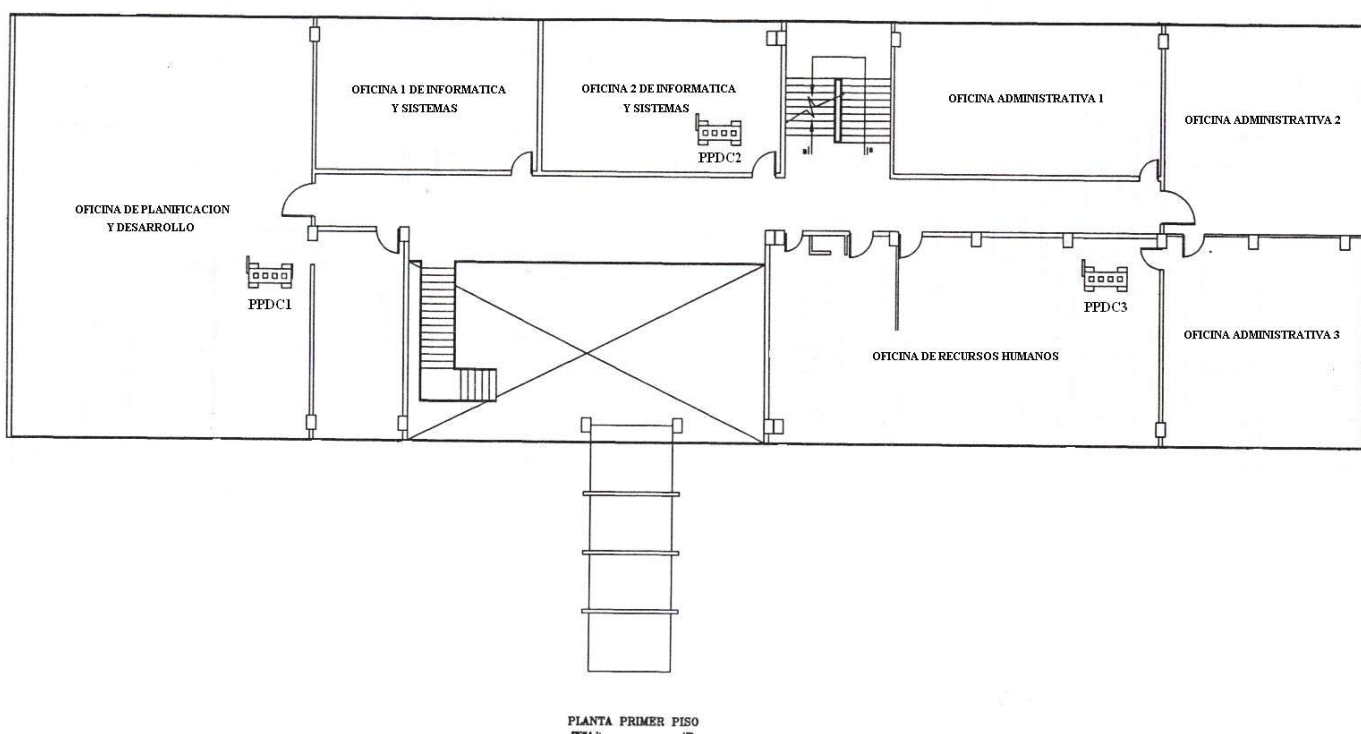


FIGURA 5.4. Distribución de dispositivos inalámbricos UWB en el Primer Piso

Para la determinación de estos 3 puntos estratégicos en el primer piso se realizaron las mismas consideraciones y cálculos que para el subsuelo y la planta baja; es decir:

- De acuerdo al estándar UWB seleccionado para el diseño de la red inalámbrica de corto alcance, tenemos los siguientes márgenes de enlace mínimos permitidos para garantizar

la correcta funcionalidad de la red, de acuerdo a la distancia entre dispositivos y la velocidad de transmisión requerida.

5.3 dB @ 10 m @ 110 Mbps

10.0 dB @ 4m @ 200 Mbps

11.5 dB @ 2m @ 480 Mbps.

- Es decir, por ejemplo, que para tener a una distancia de 10m una velocidad de transmisión de 110Mbps es necesario tener un margen de enlace mínimo de 5.3dB, etc.
- Por tal motivo la distancia entre cada dispositivo coordinador debe ser no más de 10m y la ubicación de cada uno de ellos debe garantizar que cualquier equipo inalámbrico en cualquier lugar del primer piso debe estar cubierto a menos de 10m por cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores.
- Los tres lugares escogidos para la instalación de los 3 dispositivos coordinadores en el primer piso son: la oficina de planificación y desarrollo para la instalación del dispositivo PPDC1, la oficina 2 de informática y sistemas para la instalación del dispositivo PPDC2 y la oficina de recursos humanos para la instalación del dispositivo PPDC3.
- La distancia entre el PPDC1 y el PPDC2 es de aproximadamente 9m
- La distancia entre el PPDC1 y el PPDC3 es de aproximadamente 10m
- La distancia entre el PPDC2 y el PPDC3 es de aproximadamente 8m
- Una vez establecidas las distancias entre cada dispositivo coordinador, se determina el margen de enlace, de la misma forma que se determinó para el subsuelo y la planta baja, es decir, hay que considerar la ganancia de proceso y la atenuación por interferencia.
- Para el estándar UWB escogido, se tiene la ganancia de proceso definida por la suma de la ganancia de proceso por el ciclo de trabajo más la ganancia de proceso por el efecto de integración de pulso y de acuerdo a las especificaciones técnicas señaladas para los cálculos realizados en el subsuelo y en la planta baja, ésta ganancia de proceso total es entonces la suma de estos dos componentes, es decir, 50dB.
- Por tanto, para determinar el margen de enlace entre cada dispositivo coordinador se tendrá la siguiente expresión:

$$M_{\text{ENLACE}} = G_{\text{PROCESO}} - \text{Atenuación}$$

- La atenuación por interferencia viene definido por el tipo de obstáculo, para el caso del primer piso del edificio en consideración se tiene obstáculos de las mismas características y material que se tenía en el subsuelo y en la planta baja, es decir, obstáculos del tipo 2 y 3 que representan una atenuación media de 13dB y 20.9dB respectivamente.

- El margen de enlace entre el PPDC1 y el PPDC2 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (20.9+13) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 16.1\text{dB}$$

- El margen de enlace entre el PPDC1 y el PPDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (20.9+20.9) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 8.2\text{dB}$$

- El margen de enlace entre el PPDC2 y el PPDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (13+13) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 24\text{dB}$$

- De acuerdo a los márgenes de enlaces calculados y las distancias definidas entre cada uno de los dispositivos coordinadores del primer piso se ha garantizado una velocidad de transmisión entre ellos superior a los 100Mbps, y de la misma manera por la ubicación estratégica de estos dispositivos coordinadores se ha garantizado que cualquier equipo inalámbrico móvil perteneciente a la red y ubicado en el primer piso se encuentre a menos de 10m de cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores y con márgenes de enlace superiores a 8dB y de esta forma tener velocidades de transmisión de 110, 200 y hasta 480Mbps.

c4. Segundo Piso

El segundo piso del edificio en consideración tiene un área aproximada de 210 m², es decir 26m de largo por 8m de ancho aproximadamente, tal como se puede observar en la figura 5.5. Los 3 Dispositivos Coordinadores ha ser implementados, si bien van a desempeñar las mismas funciones que cualquiera de los dispositivos inalámbricos de la red, también tienen funciones como puntos de acceso por tal razón estos 3 elementos deben

tener un posición fija dentro de la primer piso, es decir no van a ser equipos móviles dentro de la red.

Por tanto, es necesario, al igual que en el primer piso, primeramente determinar los 3 puntos estratégicos en el subsuelo donde van a ser instalados los 3 Dispositivos Coordinadores para lo cual hay que considerar que la distancia entre ellos no debe sobrepasar los 10m para garantizar una velocidad de transmisión entre ellos superior a 100Mbps y además garantizar que cualquier dispositivo o equipo inalámbrico móvil de la red en cualquier punto del primer piso este cubierto a menos de 10m por cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores. En la figura 5.5 se observa la distribución de los 3 dispositivos coordinadores (SPDC).

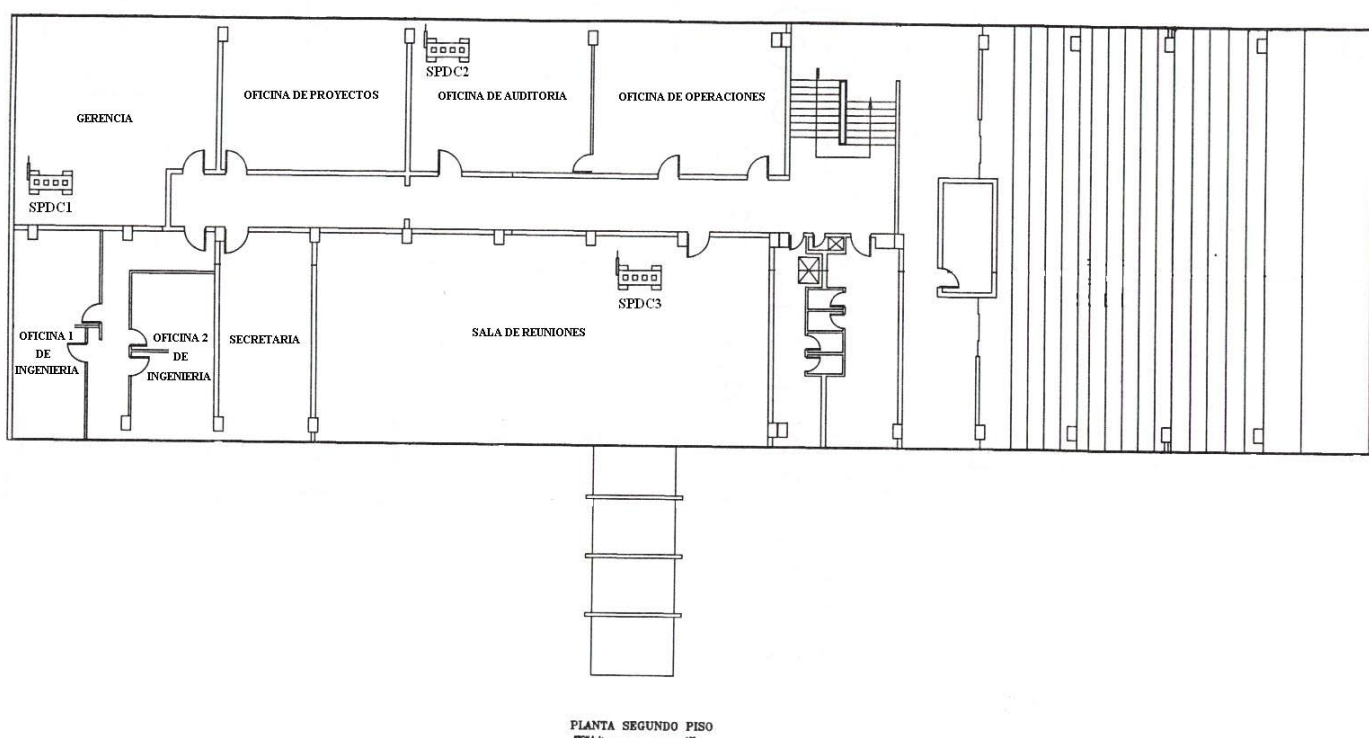


FIGURA 5.5. Distribución de dispositivos inalámbricos UWB en el Segundo piso

Para la determinación de estos 3 puntos estratégicos en el primer piso se realizaron las mismas consideraciones y cálculos que para el subsuelo, la planta baja y el primer piso; es decir:

- De acuerdo al estándar UWB seleccionado para el diseño de la red inalámbrica de corto alcance, tenemos los siguientes márgenes de enlace mínimos permitidos para garantizar

la correcta funcionalidad de la red, de acuerdo a la distancia entre dispositivos y la velocidad de transmisión requerida.

5.3 dB @ 10 m @ 110 Mbps

10.0 dB @ 4m @ 200 Mbps

11.5 dB @ 2m @ 480 Mbps.

- Es decir, por ejemplo, que para tener a una distancia de 10m una velocidad de transmisión de 110Mbps es necesario tener un margen de enlace mínimo de 5.3dB, etc.
- Por tal motivo la distancia entre cada dispositivo coordinador debe ser no más de 10m y la ubicación de cada uno de ellos debe garantizar que cualquier equipo inalámbrico en cualquier lugar del segundo piso debe estar cubierto a menos de 10m por cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores.
- Los tres lugares escogidos para la instalación de los 3 dispositivos coordinadores en el segundo piso son: la gerencia para la instalación del dispositivo SPDC1, la oficina de auditoria para la instalación del dispositivo SPDC2 y la sala de reuniones para la instalación del dispositivo SPDC3.
- La distancia entre el SPDC1 y el SPDC2 es de aproximadamente 8m
- La distancia entre el SPDC1 y el SPDC3 es de aproximadamente 10m
- La distancia entre el SPDC2 y el SPDC3 es de aproximadamente 6m
- Una vez establecidas las distancias entre cada dispositivo coordinador, se determina el margen de enlace, de la misma forma que se determinó para el subsuelo, la planta baja y el primer piso, es decir, hay que considerar la ganancia de proceso y la atenuación por interferencia.
- Para el estándar UWB escogido, se tiene la ganancia de proceso definida por la suma de la ganancia de proceso por el ciclo de trabajo más la ganancia de proceso por el efecto de integración de pulso y de acuerdo a las especificaciones técnicas señaladas, ésta ganancia de proceso total es entonces la suma de estos dos componentes, es decir, 50dB.
- Por tanto, para determinar el margen de enlace entre cada dispositivo coordinador se tendrá la siguiente expresión:

$$M_{\text{ENLACE}} = G_{\text{PROCESO}} - \text{Atenuación}$$

- La atenuación por interferencia viene definido por el tipo de obstáculo, para el caso del segundo piso del edificio en consideración se tiene obstáculos de las mismas características y material que se tenía en el subsuelo, en la planta baja y en el primer piso, es decir, obstáculos del tipo 2 y 3 que representan una atenuación media de 13dB y 20.9dB respectivamente.

- El margen de enlace entre el SPDC1 y el SPDC2 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (13+13) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 24\text{dB}$$

- El margen de enlace entre el SPDC1 y el SPDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (20.9+13) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 16.1\text{dB}$$

- El margen de enlace entre el SPDC2 y el SPDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (13+20.9) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 16.1\text{dB}$$

- De acuerdo a los márgenes de enlaces calculados y las distancias definidas entre cada uno de los dispositivos coordinadores del segundo piso se ha garantizado una velocidad de transmisión entre ellos superior a los 100Mbps, y de la misma manera por la ubicación estratégica de estos dispositivos coordinadores se ha garantizado que cualquier equipo inalámbrico móvil perteneciente a la red y ubicado en el segundo piso se encuentre a menos de 10m de cualquiera de los 3 dispositivos coordinadores y con márgenes de enlace superiores a 8dB y de esta forma tener velocidades de transmisión de 110, 200 y hasta 480Mbps.

d. Cálculos de conectividad entre los diferentes pisos del edificio

Una vez que se ha garantizado la correcta funcionalidad de la red inalámbrica en cada piso del edificio calculando y estableciendo la ubicación de los dispositivos coordinadores y la distancia entre ellos; se hace necesario establecer la conectividad entre los dispositivos coordinadores que no se encuentran al mismo nivel dentro del edificio, es decir, es necesario interconectar las 4 redes bosquejadas en los literales anteriores. Con

esto, por ejemplo, un equipo inalámbrico UWB ubicado en el subsuelo puede comunicarse con un equipo inalámbrico del primer piso.

Primeramente hay que determinar la altura de cada piso del edificio y el tipo de obstáculo que separa entre piso y piso, esto es:

- El subsuelo tiene una altura de 3m
- La planta baja, el primer piso y el segundo piso tienen una altura de 2.5m
- El tipo de obstáculo entre piso y piso de acuerdo a la tabla 5.8 es del tipo 4, es decir, lo forman materiales de construcción de ladrillo, cemento y yeso, de grosor entre 30 y 60cm. Este tipo de obstáculo genera una atenuación media de 32.8dB

Debido a la atenuación media señalada anteriormente entre cada piso del edificio, resulta difícil establecer la conectividad directa entre dos dispositivos coordinadores que no se encuentran en pisos contiguos, ya que ello implicaría que se tenga una atenuación media superior a la ganancia de proceso determinada entre 2 dispositivos UWB, es decir 50dB.

Por tanto no se establecerá directamente la conectividad entre dos dispositivos coordinadores que no se encuentren en pisos contiguos, sino se lo hará a través de los dispositivos coordinadores ubicados en los pisos adjuntos, es decir por ejemplo, para establecer la comunicación entre un dispositivo coordinador del subsuelo y uno del segundo piso, se lo realizará por medio de un dispositivo coordinador de la planta baja y de uno del primer piso.

De acuerdo a la ubicación estratégica de todos los dispositivos coordinadores en los diferentes pisos del edificio, la conectividad y el cálculo del margen de enlace entre los dispositivos coordinadores pertenecientes a pisos adjuntos se lo realizará de la siguiente manera:

- Conectividad entre el subsuelo y la planta baja:

Margen de enlace entre el SSDC1 y el PBDC1 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (32.8) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 17.2\text{dB}$$

Margen de enlace entre el SSDC2 y el PBDC2 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (32.8) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 17.2\text{dB}$$

Margen de enlace entre el SSDC3 y el PBDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (32.8) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 17.2\text{dB}$$

- Conectividad entre la planta baja y el primer piso:

Margen de enlace entre el PBDC1 y el PPDC1 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (32.8) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 17.2\text{dB}$$

Margen de enlace entre el PBDC2 y el PPDC2 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (32.8) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 17.2\text{dB}$$

Margen de enlace entre el PBDC3 y el PPDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (32.8) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 17.2\text{dB}$$

- Conectividad entre el primer piso y el segundo piso:

Margen de enlace entre el PPDC1 y el SPDC1 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (32.8) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 17.2\text{dB}$$

Margen de enlace entre el PPDC2 y el SPDC2 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (32.8) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 17.2\text{dB}$$

Margen de enlace entre el PPDC3 y el SPDC3 será:

$$M_{\text{ENLACE}} = 50\text{dB} - (32.8) \text{ dB}$$

$$M_{\text{ENLACE}} = 17.2\text{dB}$$

Observando los cálculos anteriores, se ha establecido que lo más conveniente para la interconexión entre los dispositivos coordinadores de los diferentes pisos del edificio es realizarlo a través de los dispositivos coordinadores adjuntos que tienen la misma numeración ya que éstos son los que más cercanos están respecto de un piso a otro. En resumen, la conectividad del dispositivo coordinador SSDC1 y del SPDC1 está determinada a través del PBDC1 y del PPDC1, la conectividad del dispositivo coordinador

SSDC2 y del SPDC2 está determinada a través del PBDC2 y del PPDC2 y la conectividad del dispositivo coordinador SSDC3 y del SPDC3 está determinada a través del PBDC3 y del PPDC3.

Finalmente de esta manera se ha logrado bosquejar toda la red inalámbrica UWB dentro del edificio y se ha garantizado la correcta funcionalidad de la red, es decir, un usuario con un equipo inalámbrico ubicado en cualquier lugar del edificio tiene la capacidad de transmitir o recibir información con otro usuario ubicado en cualquier otro lugar del edificio.

e. Verificación de posibles interferencias y de cobertura

Para confirmar que las especificaciones técnicas de operación de los equipos inalámbricos estén de acuerdo con las especificaciones IEEE 802.15.3a y que permitan un correcto funcionamiento de la red, es necesario realizar un barrido espectral en la banda de frecuencias seleccionada con el fin de determinar posibles señales interferentes, garantizando que en la red inalámbrica diseñada la banda a utilizarse es una banda de frecuencias limpia.

Además, para confirmar que la ubicación de los dispositivos coordinadores es adecuado y que el diseño de la red está realizada eficientemente, es necesario establecer la ubicación del transmisor en un punto principal y en una o más alternativas de ubicación que permita con un análisis espectral verificar que los niveles de señal en toda el área de cobertura establecida para cada dispositivo no esté debajo del nivel mínimo requerido que es 5.3dB para garantizar una velocidad de transmisión mayor a 110Mbps.

Como referencia, en los anexos se presentan alternativas de control del espectro y cobertura para las Wi-Fi.

f. Instalación

En esta etapa se debe seguir el procedimiento de desarrollo y el cronograma previamente establecido en la etapa de planificación, su desarrollo deberá ser flexible al cronograma, ya que deberá solventar ciertos imprevistos y problemas que se presenten.

Como procedimiento para simplificar la instalación, se sugiere primero la instalación de los dispositivos UWB basados en el estándar IEEE 802.15.3a en cada uno de los dispositivos inalámbricos que conformarán la red (94 dispositivos de acuerdo a la tabla 5.6 referente al número de usuarios estimados del edificio). Como se explicó en el punto anterior el utilizar el estándar 802.15.3a se implementará una red con tecnología CMOS que consisten en circuitos integrados o analógicamente PC Cards desarrolladas por Intel y por Texas Instruments.

Posteriormente se configurarán los dispositivos coordinadores (3 en cada planta del edificio, total 12), es decir, 12 dispositivos inalámbricos fijos pertenecientes a la red cumplirán con ciertas funciones que desempeñan los puntos de acceso, esto es, mantener la sincronía y el tiempo dentro de la red, controlar el ingreso de nuevos dispositivos a la red, asignar los tiempos para conexiones entre los dispositivos 802.15.3a, etc.

g. Etapa de Entrega

Finalmente, culminados todas las etapas de implementación se procede a la etapa de entrega. Previamente se realiza un proceso de revisión de los equipos, para garantizar su correcto funcionamiento. El proceso se lo realiza sin el cliente.

La comprobación del funcionamiento de los dispositivos coordinadores, se los puede realizar en base a la misma arquitectura Ad-Hoc.

Las pruebas mínimas necesarias que se deben realizar son las siguientes:

g1. Atenuación.- Esta prueba mide la pérdida de la señal en los medios de transmisión y determina el peor caso de todos los pares. Para la realización de esta prueba se deben tomar en cuenta parámetros como la temperatura, superficies metálicas y la humedad relativa. La prueba reporta la frecuencia al punto de falla.

g2. Diafonía del extremo cercano (*Near End Cross-talk NEXT*).- Esta prueba mide la señal de acoplamiento de un par con otro, es necesario realizar medidas con todas las combinaciones de pares. La prueba reporta como resultado la frecuencia al punto de falla.

Finalmente, luego de realizar las pruebas, se le entrega el sistema al cliente. Éste puede contratar un fiscalizador para la comprobación del cumplimiento de los términos del contrato, o puede solicitar se realice nuevamente las pruebas de las instalaciones.

5.3. ANÁLISIS DE COSTOS

En esta sección, se realizará un análisis de costos comparativo entre la red inalámbrica diseñada utilizando por un lado el estándar 802.11b y por otro el estándar UWB 802.15.3a, donde se detalla la cantidad y las características de cada uno de los elementos que conforman el sistema con sus respectivos precios unitarios.

Se considera, aparte de los rubros de los costos unitarios de los elementos que conforman el sistema, los costos de la mano de obra y del personal encargado del desarrollo del proyecto.

5.3.1. Costos de los Elementos del Sistema 802.11b

Dentro de los costos de los elementos del sistema se ha considerado a los usuarios del edificio como usuarios con ordenadores fijos y móviles; esto implica que si la red estuviera basada en el estándar 802.11b, los usuarios deberían poseer una PC Card cada uno.

El análisis de costos con el estándar 802.11b se realiza tomando en cuenta los elementos para la red, tales como tarjetas de red y los puntos de acceso.

Costo de los Adaptadores para Usuarios.- Todos los usuarios de la red inalámbrica necesitan la adquisición de una tarjeta PC Card.

El costo de la adquisición de las tarjetas se resume en la tabla 5.11; se establecen rubros por cada planta del edificio y cada dispositivo. El cálculo se lo realiza con la tarjeta *ORINOCO Silver*.

	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
		[u]	[USD]	[USD]
1	Tarjeta PC Card Silver para usuarios del subsuelo	25	179.0	4,475.0
2	Tarjeta PC Card Silver para usuarios de la planta baja	24	179.0	4,296.0
3	Tarjeta PC Card Silver para usuarios del primer piso	15	179.0	2,685.0
4	Tarjeta PC Card Silver para usuarios del segundo piso	30	179.0	5,370.0
TOTAL				16,826.0

TABLA 5.11. Costo de los adaptadores para usuarios

Costo de los Puntos de Acceso.- Los puntos de acceso de Orinoco no incluyen la tarjeta PC Card necesaria para su funcionamiento, por lo cual en la evaluación de costos de los puntos de acceso, se incluirá un rubro para las tarjetas PC Card necesarias. Se utilizará una tarjeta PC Card por cada punto de acceso. El costo se resume en la tabla 5.12.

	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
		[u]	[USD]	[USD]
1	Puntos de Acceso (AP 1000) en el edificio	4	995.0	3,980.0
2	Tarjeta PC Card Silver para los Puntos de Acceso del edificio	4	179.0	716.0
TOTAL				4,696.0

TABLA 5.12 Costo de los Puntos de Acceso con sus respectivas tarjetas PC Card

Costos de Implementación.- Dentro de los costos de implementación se toma en cuenta el trabajo de ingeniería por parte de los diseñadores del sistema y de la mano de obra calificada. Para tal efecto se considera un grupo de trabajo calificado de 6 personas los mismos que perciben una ganancia por obra terminada; por separado se considera el trabajo de los diseñadores, los mismos que pueden percibir una ganancia por el proyecto, correspondiente a un porcentaje del total, o un salario en caso de pertenecer a una empresa.

Un resumen con valores de los sueldos para los grupos de trabajo se presenta en la tabla 5.13, donde se asumen valores de sueldos y no de porcentajes de los totales. Los valores que se encuentran en la tabla han sido establecidos por un distribuidor del mercado nacional.

	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNITARIO	TOTAL
		[u]	[USD]	[USD]
1	Sueldo por obra para mano de obra especializada en implementación de redes	6	200.0	1,200.0
2	Sueldo por trabajo de diseño de redes	1	2,000.0	2,000.0
			TOTAL	3,200.0

TABLA 5.13. Costos de mano de obra y del grupo de diseñadores

5.3.2. Costos de los Elementos del Sistema 802.15.3a (UWB)

Dentro de los costos de los elementos del sistema se ha considerado a los usuarios del edificio como usuarios con ordenadores fijos y móviles; esto implica que como la red está basada en el estándar 802.15.3a, los usuarios deberían poseer una Circuito Integrado Intel cada uno.

El análisis de costos con el estándar 802.15.3a se realiza tomando en cuenta los elementos para la red, tales como tarjetas de red y los dispositivos coordinadores.

Costo de los Adaptadores para Usuarios.- Todos los usuarios de la red inalámbrica necesitan la adquisición de un Circuito Integrado Intel.

El costo de la adquisición de los dispositivos Intel se resume en la tabla 5.14; se establecen rubros por cada planta del edificio y cada dispositivo.

	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
		[u]	[USD]	[USD]
1	Circuito Integrado Intel para usuarios del subsuelo	25	100.0	2,500.0
2	Circuito Integrado Intel para usuarios de la planta baja	24	100.0	2,400.0
3	Circuito Integrado Intel para usuarios del primer piso	15	100.0	1,500.0
4	Circuito Integrado Intel para usuarios del segundo piso	30	100.0	3,000.0
			TOTAL	9,400.0

TABLA 5.14. Costo de los adaptadores UWB para usuarios

Costo de los Dispositivos Coordinadores.- La implementación de los dispositivos coordinadores implica un costo adicional puesto que los circuitos integrados de cada piso configurados como dispositivos coordinadores son fijos dentro del edificio y no se consideran como parte de los 94 usuarios móviles. Este costo se puede observar en la tabla 5.15.

	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
		[u]	[USD]	[USD]
1	Circuito Integrado Intel para usuarios del subsuelo	3	100.0	300.0
2	Circuito Integrado Intel para usuarios de la planta baja	3	100.0	300.0
3	Circuito Integrado Intel para usuarios del primer piso	3	100.0	300.0
4	Circuito Integrado Intel para usuarios del segundo piso	3	100.0	300.0
TOTAL				1,200.0

TABLA 5.15. Costo de los adaptadores UWB para dispositivos coordinadores

Costos de Implementación.- Dentro de los costos de implementación se toma en cuenta el trabajo de ingeniería por parte de los diseñadores del sistema y de la mano de obra calificada. Para tal efecto se considera un grupo de trabajo calificado de 2 personas ya que la implementación de la red en base al estándar 802.15.3a es simple y de bajo costo.

Un resumen con valores de los sueldos para los grupos de trabajo se presenta en la tabla 5.16, donde se asumen valores de sueldos y no de porcentajes de los totales. Los valores que se encuentran en la tabla han sido establecidos por un distribuidor del mercado nacional.

	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNITARIO	TOTAL
		[u]	[USD]	[USD]
1	Sueldo por obra para mano de obra especializada en implementación de redes	2	200.0	400.0
2	Sueldo por trabajo de diseño de redes	1	2,000.0	2,000.0
TOTAL				2,400.0

TABLA 5.16. Costos de mano de obra y del grupo de diseñadores UWB

5.3.3. Costo Total Comparativo del Sistema

Una vez establecido el costo de los equipos y de implementación para cada uno de los 2 estándares, se determina el valor aproximado del costo total comparativo que tendrá la implementación de la red inalámbrica.

En la tabla 5.17 se encuentran todos los costos para su consecuente determinación.

	DESCRIPCIÓN	802.11b	802.15.3a
		PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL
		[USD]	[USD]
1	Costo de los adaptadores para los usuarios	16,826.0	9,400.0
2	Costo de los Puntos de Acceso con sus respectivos PC Card	4,696.0	1,200.0
4	Costo de Implementación	3,200.0	2,400.0
TOTAL		24,722.0	13,000.0

TABLA 5.17. Costo total comparativo de implementación del sistema

Como se puede observar hay un considerable beneficio económico al utilizar el estándar UWB 802.15.3a de aproximadamente unos 11,700.0 USD.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Considerando los capítulos anteriores podemos deducir conclusiones muy interesantes y fuertes sobre el futuro y aplicación de las WLAN's y WPAN's. Estas pueden tener repercusiones económicas, científicas y tecnológicas muy importantes por lo que hemos tenido mucho cuidado con ellas.

La primera conclusión a la que llegamos es que las WPAN's tienen un futuro muy importante en la vida del hombre, tomando en cuenta el crecimiento tan rápido en el número de unidades de teléfonos móviles que serán capaces de incorporarse a una WPAN y las demás posibilidades que estos ofrecerán “la tecnología tiende a los sistemas móviles de la cuarta generación (4G), y los servicios que se ofrecerán se extenderán de los hombres a cualquier cosa que se mueva”.

UWB promete revolucionar las redes caseras en los hogares, teniendo aplicaciones tales como bajar imágenes de una cámara digital hacia una computadora, distribuir señales de alta densidad de televisión (HDTV) de un receptor a múltiples aparatos de televisión a lo largo de una casa u oficina, conectar impresoras a una computadora, reemplazar cualquier cable de información (no de energía) en el perímetro de un cuarto de una casa, oficina, escuela, hospital, industria, etc.

El 14 de febrero de 2002, la FCC emitió 15 reglas que gobernarán los dispositivos que trabajen en bandas libres entre ellas los dispositivos para las UWB. El uso de UWB bajo la supervisión de la FCC ofrece capacidades con un potencial muy grande (algunos Gbps) sobre pequeñas distancias (menos de 10 metros) con baja potencia de radiación (-43

dBm/MHz). La FCC define las señales de UWB como aquellas que tienen un fracción de ancho de banda (una proporción de banda base y ancho de banda en una portadora de RF) de a lo más 0.20, o una UWB con ancho de banda de al menos 500MHz.

La definición precisa de UWB es “la banda de frecuencias delimitada por los puntos que son 10dB menores a la mayor radiación de emisiones”.

Las reglas de la FCC permiten a los dispositivos UWB operar en potencias bajas, un EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) de -41.3 dBm/MHz, en un espectro libre de 3.1 a 10.6GHz, con máscaras de emisión fuera de banda, que tienen niveles de energía muy bajos. Los límites de las emisiones bajas en banda y fuera de banda, tienen el objetivo de asegurar que los dispositivos que trabajan con UWB no causen interferencia destructiva con servicios licitados y otras operaciones importantes de radio, entre las que se encuentran la telefonía celular, PCS, GPS, 802.11.a, frecuencias satelitales, y canales de radio terrestre.

Dado que dichos pulsos ocupan un gran ancho de banda, su energía es regada sobre una gran parte del espectro electromagnético. Estas frecuencias son tan altas que pueden ser transmitidas sin ser primero moduladas sobre una portadora, como se hace con las transmisiones normales FM, AM, teléfonos celulares y Wi-Fi.

Otra conclusión importante es que los servicios de telecomunicación de banda ancha están creciendo de manera importante, en parte por el gran número de teléfonos móviles (que en varias partes del mundo supera al número de teléfonos fijos), dichos servicios se entregarán (en muchos casos) por medio de una WPAN. Un dato importante que apoya esta conclusión es que “actualmente, más de 60 millones de personas acceden Internet utilizando teléfonos móviles”, dichos teléfonos ya tienen capacidades para conectarse a una WPAN.

En una sociedad moderna con necesidades y demandas de comunicación importantes es indispensable y en especial para que se den las WPAN's es necesario que:

- Exista la capacidad de ofrecer comunicación inalámbrica a todos los objetos electrónicos que se muevan.

- Que se puedan ofrecer servicios de comunicación en donde no halla facilidades de comunicación fija.
- Dar capacidades de comunicación inalámbrica a todos los dispositivos que realicen algún tipo de confirmación, ejecuten funciones de control, etc.

Bluetooth, fue la primer tecnología que contó con un estándar, sin embargo podemos observar que esta tecnología es la que tiene una potencia de transmisión mayor, y a pesar de que tiene modos de operación para ahorro de energía no representa un factor decisivo al momento de optar por algún tipo de tecnología WPAN. Un punto importante es que utiliza GFSK para la modulación de datos, lo cual hace más eficiente el uso del espectro electromagnético.

Otro punto importante es que trabaja en la banda libre de los 2.4GHz, y por lo tanto no es necesario contar con ningún permiso para poder transmitir, sin embargo los demás tipos de tecnología trabajan de igual forma sobre bandas libres de comunicación. Es importante destacar que este estándar es muy flexible al momento de implementarlo ya que puede trabajar con varias topologías de red, cualquier dispositivo puede trabajar como maestro o como esclavo. Además es el estándar con el que se tiene más experiencia.

El IEEE 802.15.3a, es un caso especial ya que trabaja con UWB. El estándar para este tipo de WPAN's, es el que tiene características más interesantes. Es el que tiene mayor ancho de banda, tiene velocidades de transmisión superiores a cualquiera de las anteriores, la potencia de transmisión es sumamente baja y tiene un alcance de 10 a 30m, suficientes para conectar cualquier dispositivo que se encuentre en una PAN.

Por lo anterior hemos concluido que el mejor estándar es el que ofrecerá el IEEE 802.15.3a. Se estima que los demás estándares desaparecerán. Esto tiene consecuencias económicas muy importantes ya que al desaparecer los demás estándares se perderán millones de dólares en investigación e inversión tecnológica además de todas las horas de trabajo por parte de investigadores y científicos.

Los sistemas UWB podrían utilizar las mismas técnicas de acceso que los radios 802.11 (basado en Carrier Sense Multiple Access/ Contention Avoidance), pero esta técnica es ineficiente y no apropiada para la distribución de medios *streaming*. Un mejor

camino es utilizar un mecanismo ranurado tal como el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) según lo definido por el estándar IEEE802.15.3a.

Para las redes caseras y de oficina creemos que las necesidades de computación “requerirán sistemas que trabajen a escala global de manera segura”. Este tipo de sistemas serán administrados por muchas personas no especializadas. En este tipo de sistemas todos los dueños de las casas serán los administradores de las redes caseras. Pensamos que “es tiempo de cambiar de sistemas de propósito específico de un solo tipo a sistemas más amplios que sean capaces de tener contacto global de Internet”. Un ejemplo de este tipo de sistemas en un ambiente de oficina es un sistema que permita cambiar dispositivos de comunicación cuando una persona que se encuentra hablando se mueve de una oficina a otra. Otro ejemplo es el permitir y facilitar a los huéspedes de un hotel el manejo de los dispositivos que se encuentran en el cuarto del hotel.

En el aspecto multimedia “creemos que las comunicaciones incorporarán todo tipo de medios, desde medios continuos hasta aplicaciones para compartir datos”. Los dispositivos de integración, “nuestros dispositivos móviles de comunicación se pueden integrar fácilmente a dispositivos tales como credenciales programables, PDAs, laptops con recursos compartidos en el entorno, como pantallas largas, proyectores de video, , cámaras de video de alta resolución, , bocinas, estéreos, y luces”.

Los dispositivos de localización “son elementos clave que determinarán que tipos de servicios y dispositivos que estarán disponibles y como la comunicación será conducida a reducir las interferencias y rupturas de comunicación del usuario. En vez de proporcionar únicamente información geográfica, se pretende integrar información de alto nivel que describa las características de algún lugar como un teatro o una estación de transporte”.

La consistencia en la seguridad “es uno de los objetivos principales que proporcionarán un control máximo sobre la comunicación y sobre toda la información que revelada a otros usuarios”. Con lo anterior podemos ver que el tráfico de información en un ambiente de oficina será muy importante. En este ambiente convivirán muchos tipos de tecnología, la cual transportará datos de voz, video y datos provenientes de muchas fuentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- M. Z. WIN and R.A. SCHOLTZ, “Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications,” *IEEE Trans. on Comm.*, v. 48, no. 4, April 2000.
- R. A. SCHOLTZ, “Multiple access with time-hopping impulse modulation,” *Proc. MILCOM '93*, vol. 2, 1993.
- H. V. POOR, “Signal Processing for Wideband Communications”, IEEE Information Society Newsletter, Junio 1992.
- M. L. WELBORN, “System considerations for ultra-wideband wireless networks,” *Proc. IEEE RAWCON 2001*, Boston, MA, Aug. 2001.
- FCC NOTICE OF PROPOSED RULE MAKING, “Revision of Part 15 of the Commission’s Rules Regarding Ultrawideband Transmission Systems,” ET-Docket 98-153.
- J. FOERSTER, “The Effects of Multipath Interference on the Performance of UWB Systems in an Indoor Wireless Channel,” submitted to VTC2001, to be presented in May 2001.
- ERIC MEIHOFFER, “The Performance of Bluetooth in a Densely Packed Environment,” Bluetooth Developers Conference, December 2000.
- “Assessment of Ultra-Wideband (UWB) Technology,” July 13, 1990. DTIC No.ADB146160. The Executive Summary of this report is published in the *IEEE Aerospace and Electronics Systems Magazine*, Nov. 1990.
- <http://www.eetimes.com/showArticle.jhtml?articleID=20300705>; Standard CMOS Ultra-Wideband Single Chip Solutions
- <http://www.uwb.org>; Comunicaciones UWB
- <http://www.ultra.usc.edu/ulab/>; Sistemas Inalámbricos Multiplexados Ultra Wideband

-
- <http://www.multispectral.com>; Conceptos y aplicaciones básicas de la Tecnología UWB
 - <http://www.developer.intel.com>; Ventajas de las comunicaciones UWB
 - <http://www.timedomain.com/>; Sistemas UWB en el dominio de tiempo
 - <http://ultra.usc.edu/New%20Site/papers/thpaper.pdf>; Modulación por Posición de Pulso PPM en transmisión de datos
 - <http://www.bluetooth.com/>; Estudio y análisis de la tecnología Bluetooth
 - <http://standards.ieee.org/wireless/>; Los estándares inalámbricos IEEE
 - antennas@timedomain.com; Antenas UWB
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX/>; Las tecnologías WiMAX
 - http://www.airmagnet.com/assets/datasheets/AirMagnet_Spectrum_Analyzer.pdf; Análisis Espectral WiFi

ANEXO 1

APLICACIONES DE UWB EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y DE RADAR.

ANEXO 2

CONTROL DEL ESPECTRO Y COBERTURA PARA LAS REDES INALÁMBRICAS WI-FI.

ANEXO 3

ANTENA UWB DE 3.1 – 10GHZ PARA APLICACIONES UWB COMERCIALES

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 1.1. Grupo de estándares IEEE 802.15 para redes WPAN	21
FIGURA 1.2. Tecnologías de redes inalámbricas	28

CAPÍTULO 2

FIGURA 2.1. Forma del pulso en el dominio del tiempo	35
FIGURA 2.2. Densidad espectral de potencia para una señal UWB de 10MHz con incertidumbre de tiempo T_b base fija.	35
FIGURA 2.3. Densidad espectral de potencia mostrando el espectro discreto y continuo de 800 a 1600MHz	36
FIGURA 2.4. Densidad espectral de potencia mostrando el espectro continuo en un ancho de banda de 10KHz comparado con el espectro discreto	37
FIGURA 2.5. El exceso como una función del ancho de banda del receptor	41
FIGURA 2.6. La distribución para varios anchos de banda del receptor, de menos de 1MHz y anchos de banda de 10 y 20MHz	41
FIGURA 2.7. Radio UWB o Tranceptor Básico de Radio Impulsiva	44
FIGURA 2.8. Diagrama de bloques del tranceptor UWB	45
FIGURA 2.9. Monociclo Gaussiano de frecuencia central 2GHz en los dominios de tiempo y frecuencia	46
FIGURA 2.10. Tren de pulsos monociclos en el dominio del tiempo y la frecuencia	47
FIGURA 2.11. Un tren de pulsos monociclo Gaussiano de salto en el tiempo (time-hopping)	48

FIGURA 2.12. Modulación por Posición de Pulso	49
FIGURA 2.13. El impacto de la modulación de tiempo PN sobre la distribución de energía en el dominio de frecuencia	50
FIGURA 2.14. Formato Básico TH	51
FIGURA 2.15. Forma de enviar la información en una secuencia de pulsos	51
FIGURA 2.16. Formato TH con ganancia de proceso	52
FIGURA 2.17. Funcionamiento de un Sistema UWB empleando diferentes esquemas TH-SS	53
FIGURA 2.18. Salida del Correlator	54
FIGURA 2.19. Función de la Antena UWB	57
FIGURA 2.20. Antena BroadSpec: Ganancia y Respuesta de Fase	58
FIGURA 2.21. Antena BroadSpec: Reflexión y VSWR	59
FIGURA 2.22. Antena BroadSpec: Eficiencia de Radiación	59

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1. Límites de la Densidad Espectral de Potencia correspondientes a la NPRM del año 2000	63
FIGURA 3.2. Regulación actual en Estados Unidos para dispositivos UWB en redes inalámbricas WLAN	83
FIGURA 3.3. Propuesta de los límites de Emisión para dispositivos UWB <i>indoor</i> en redes inalámbricas de área local en el Ecuador	89
FIGURA 3.4. Propuesta de los límites de Emisión para dispositivos UWB <i>hand-held</i> en redes inalámbricas de área local en el Ecuador	90

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1. Evolución de las tecnologías inalámbricas	102
FIGURA 4.2. Comparación de la capacidad espacial entre IEEE 802.11x, Bluetooth y UWB	106

FIGURA 4.3. Ejemplo del tranceptor Bluetooth	108
FIGURA 4.4. Ejemplo de la arquitectura del transmisor-receptor UWB	110

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.1. Estructura en el tiempo de las <i>Super-frames</i> .	132
FIGURA 5.2. Distribución de dispositivos inalámbricos UWB en el Subsuelo	136
FIGURA 5.3. Distribución de dispositivos inalámbricos UWB en la Planta Baja	139
FIGURA 5.4. Distribución de dispositivos inalámbricos UWB en el Primer Piso	142
FIGURA 5.5. Distribución de dispositivos inalámbricos UWB en el Segundo piso	145

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

TABLA 1.1. Principales estándares WLAN	11
TABLA 1.2. Comparación entre los estándares IEEE 802.11x y el estándar HiperLAN2	14
TABLA 1.3. Tabla resumen de las características del estándar 802.16	26
TABLA 1.4. Resumen de tecnologías inalámbricas de acceso por área de cobertura	27

CAPÍTULO 2

(No existen tablas)

CAPÍTULO 3

TABLA 3.1. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a sistemas de proyección de imagen que operan en bajas frecuencias	75
TABLA 3.2. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a sistemas de proyección de imagen que operan en frecuencias medias	76
TABLA 3.3. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a sistemas de proyección de imagen que operan en altas frecuencias	77
TABLA 3.4. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a Sistemas de Radar Vehicular	77

TABLA 3.5. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a Sistemas UWB de interiores	79
TABLA 3.6. Límites de emisión de dispositivos correspondientes a Sistemas UWB <i>Hand-Held</i>	80
TABLA 3.7. Límites de emisión de dispositivos UWB correspondientes a redes inalámbricas WLAN en Estados Unidos	82
TABLA 3.8. Límites de emisión para dispositivos UWB en redes inalámbricas WLAN en Europa	86
TABLA 3.9. Propuesta de los límites de emisión de dispositivos UWB correspondientes a redes inalámbricas WLAN en el Ecuador	88

CAPÍTULO 4

TABLA 4.1. Cuadro Comparativo de los Estándares IEEE 802.11x, Bluetooth y WiMAX frente a la Tecnología UWB (IEEE 802.15.3a)	104
--	-----

CAPÍTULO 5

TABLA 5.1. Resumen de distribución de las áreas del edificio	121
TABLA 5.2. Número de personas por área de trabajo en el Subsuelo	122
TABLA 5.3. Número de personas por área de trabajo en la Planta Baja	122
TABLA 5.4. Número de personas por área de trabajo en el Primer Piso	122
TABLA 5.5. Número de personas por área de trabajo en el Segundo Piso	122
TABLA 5.6. Número de usuarios estimados en el edificio	123
TABLA 5.7. Número de Dispositivos coordinadores por planta del edificio	125
TABLA 5.8. Tabla de Atenuaciones Empíricas	127
TABLA 5.9. Requerimientos técnicos de una capa física para una WPAN con UWB	133
TABLA 5.10. Asignación de Espectro del estándar IEEE 802.15.3a	134
TABLA 5.11. Costo de los adaptadores IEEE 802.11b para usuarios	153
TABLA 5.12. Costo de los Puntos de Acceso IEEE 802.11b con sus respectivas tarjetas PC Card	153
TABLA 5.13. Costos de mano de obra y del grupo de diseñadores (IEEE 802.11b)	154

TABLA 5.14. Costo de los adaptadores UWB para usuarios	154
TABLA 5.15. Costo de los adaptadores UWB para dispositivos coordinadores	155
TABLA 5.16. Costos de mano de obra y del grupo de diseñadores UWB	155
TABLA 5.17. Costo total comparativo de implementación del sistema IEEE 802.11b con el sistema UWB (IEEE 802.15.3a)	156

FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO

El proyecto de grado fue entregado en la Facultad de Ingeniería Electrónica y reposa en la
Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a _____ del 2006

Ing. Gonzalo Olmedo MSC.

Coordinador de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Dr. Jorge Carvajal

Secretario Académico

Jorge Eduardo Villacrés Ortiz

Autor