



Universidad
Tecnológica de Bolívar
CARTAGENA DE INDIAS

ESTUDIO DE LOS ESTANDARES PARA REDES INALAMBRICAS WIMAX

NESTOR PONCE GULLOSO
EDDIE CASTILLO RODELO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MINOR EN COMUNICACIONES Y REDES
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.
2008



**Universidad
Tecnológica de Bolívar**
CARTAGENA DE INDIAS

ESTUDIO DE LOS ESTANDARES PARA REDES INALAMBRICAS WIMAX

Autores

NESTOR PONCE GULLOSO

EDDIE CASTILLO RODELO

Monografía presentada para optar el titulo de Ingeniero de Sistemas

Director de Monografía

GIOVANNY RAFAEL VÁSQUEZ MENDOZA

MAGISTER EN CIENCIAS COMPUTACIONALES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

MINOR EN COMUNICACIONES Y REDES

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2008

Cartagena, julio de 2008.

Cartagena, D. T. y C., Julio de 2008.

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADOS.

Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Ciudad.

Respectados Señores:

Con toda atención, nos dirigimos a ustedes, con el fin de presentarles a consideración, estudio y aprobación, la monografía titulada “ESTUDIO DE LOS ESTANDARES PARA REDES INALAMBRICAS WIMAX”, como requisito parcial para optar el titulo de Ingeniero de Sistemas.

Atentamente,

Néstor Ponce Guloso

Eddie Castillo Rodelo

Cartagena, D. T. y C., Julio de 2008.

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADOS.

Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Ciudad.

Cordial Saludo

A través de la presente me permito entregarle la monografía titulada “ESTUDIO DE LOS ESTANDARES PARA REDES INALAMBRICAS WIMAX”, para su estudio y evaluación, la cual fue realizada por los estudiantes Nestor Ponce Guloso y Eddie Castillo Rodelo del cual acepto ser su director.

Atentamente,

Ing. Isaac Zuñiga S

AUTORIZACIÓN

Cartagena, D. T. y C., Julio de 2008.

Yo, **Néstor Ponce Guloso**, identificado con el número de cedula 73'192.144 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para ser uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el Catalogo Online de la biblioteca.

Néstor Ponce Guloso.

AUTORIZACIÓN

Cartagena, D. T. y C., Julio de 2008

Yo, **Eddie Castillo Rodelo**, identificado con el número de cedula **9'299.280** de Turbaco Bolívar, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para ser uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el Catalogo Online de la biblioteca.

Eddie Castillo Rodelo

Nota de Aceptación

Firma de presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIAS

Este trabajo es parte de mi vida y comienzo de otras etapas, por esto y mas se lo dedico con todo mi amor, cariño...

A DIOS, ya que sin el no hay nada.

A mis padres Nestor Ponce y Miriam Guloso, por siempre estar a mi lado, por instruirme, aconsejarme, impartirme valores, conducirme correctamente y hacer de mi una persona integral.

A todas las personas que siempre han estado a mi lado, mis hermanos, amigos, compañeros y profesores de la U, mis familiares y todas aquellas personas que siempre se preocupan por mí y me apoyan.

Nestor Ponce Guloso

*Esta Logro se lo dedico con todo mi amor y cariño a ti Dios Padre,
por haberme ofrecido toda una vida llena de aventuras
y experiencias dentro de este mundo universitario.*

*A mis Padres EDIE CASTILLO Y REINA RODELO (Q.E.P.D)
y a mi hermana CINTHYA CASTILLO
por darme las ganas, la fuerza y las costumbres
necesarias para guiarme en la vida y en mis estudios.*

*Y en especial a mi madre querida, porque desde el cielo gozaras
de mucha alegría al ver a tu hijo triunfar.*

*A KETY PERIÑAN por guiarme y apoyarme
en momentos
difíciles de mi vida y mi carrera.*

*A mis FAMILIARES por ayudarme en mi formación
como persona Integral.*

Eddie Castillo Rodelo.

AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar nuestro agradecimiento a las muchas personas que han contribuido al desarrollo de este trabajo de grado.

En primer lugar a todas las personas que han colaborado con la realización de este trabajo, muy especialmente al ingeniero Giovanni Vásquez, el cuales nos han sabido guiar y asesorar.

También queremos agradecer a la Universidad Tecnológica de Bolívar por brindarnos la oportunidad de poder presentar este trabajo para optar por nuestro titulo de Ingenieros de Sistemas.

Y por ultimo, pero no por menos importantes, gracias a todas las personas que han confiado en nosotros y nos han apoyado a lo largo de la consecución de todos nuestros logros y han ayudado en la elaboración de esta monografía.

Esperamos no haber olvidado a nadie. Y asumimos toda la responsabilidad de cualquier tipo de errores que pudieran figurar en este trabajo. También esperamos que sea lo más provechoso para todos los interesados. Cualquier sugerencia, comentario, idea o corrección será bien recibido.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

INTRODUCCIÓN

1. BREVE DESCRIPCION DEL PROBLEMA	2
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos	2
3. JUSTIFICACIÓN	3
4. GENERALIDADES DE LAS REDES INALÁMBRICAS WIMAX	4
4.1 Que es WIMAX?	4
4.2 Cómo funciona WIMAX?	4
4.3 Principales características de la tecnología WIMAX	6
4.3.1 Tasa de transferencia	6
4.3.2 Gran alcance (50 km.)	7
4.3.3 Escalabilidad	7
4.3.4 Cobertura	7
4.3.5 Calidad de Servicio	8
4.3.6 Bajo costo y rapidez de implantación	8
4.3.7 LOS (QPSK) y NLOS (OFDMA)	8
4.3.8 Smart Antennas	9
4.3.8.1 Antenas de array en fase o multihaz	9
4.3.8.2 Array de antenas adaptativas	9
4.3.9 IP extremo a extremo	10
4.3.10 Usuarios por Estación Base	10
4.3.11 Seguridad	10
4.3.12 Independencia del Protocolo	11
4.4 Ventajas y desventajas de la tecnología WIMAX	11
4.4.1 Ventajas	11
4.4.2 Desventajas	12
4.5 Topología de una red WIMAX	13
4.5.1 Topología Punto a Punto	13
4.5.2 Topología Punto a Multipunto (PMP)	14
4.5.3 Redes Enmalladas (Mesh)	15
4.6 Uso del espectro	16
4.6.1 Bandas de frecuencia	16
4.6.1.1 Banda libre de 5Ghz	17
4.6.1.2 Banda con licencia de 3,5Ghz	18
4.6.1.3 Banda mixta de 2,5Ghz	18

4.6.2	Uso libre o con licencia	19
4.6.2.1	Bandas con licencia	19
4.6.2.2	Bandas de uso libre	19
4.7.	Arquitectura de una red WIMAX	21
4.7.1	Estación Base WIMAX	21
4.7.2	Estaciones Suscriptoras WIMAX	21
4.7.3	Esquema de red WIMAX	22
4.7.3.1	Visión Primitiva	22
4.7.3.2	Visión Actual	23
4.7.4	Principios básicos para el desarrollo de la arquitectura WWMAX	24
4.8	Escenarios Flexibles de Despliegue	25
4.8.1	Aplicaciones WIMAX	25
4.8.1.1	Integración de WIMAX en una red global	26
4.9	Características generales de la tecnología WIMAX	27
5. CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR PARA WIMAX 802.16		28
5.1	Capa Física (PHY)	29
5.1.1	Multiplexación de la información	29
5.1.2	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	29
5.1.2.1	Ortogonalidad	30
5.1.2.2	Multitrayecto	31
5.1.2.3	Tiempo de guarda y extensión cíclica	31
5.1.3	OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Acces)	32
5.2	Subcanalización	32
5.3	Acceso al medio	33
5.3.1	Técnica FDD	33
5.3.2	Técnica TDD	34
5.4	Acceso al medio de los usuarios	36
5.4.1	Espectro ensanchado por saltos en frecuencia (FHSS)	36
5.4.2	Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)	37
5.5	Capa MAC	37
5.5.1	Servicio MAC de planificación	40
5.5.2	Características del servicio MAC de planificación	41
5.5.2.1	Asignación de recursos dinámica	41
5.5.2.2	Soporte de la calidad de servicio (QoS)	42
5.5.2.2.1	QoS en modo Mesh	43
5.5.2.2.2	QoS en modo PMP	43
5.6	Portadora simple 802.16	44
5.6.1	NLOS y LOS	44
6. FAMILIA DE ESTÁNDARES DEL 802.16 PARA WIMAX		47
6.1	Estándar 802.16a	47
6.2	Estándar 802.16b	48

3.3	Estándar 802.16e	48
6.4	Estándar 802.16f	49
6.5	Estándar 802.16g	50
6.6	Estándar 802.16h	51
6.6.1	MAC Enhancement for Coexistence	51
6.7	Estándar 802.16i	52
6.8	Estándar 802.16j	52
6.9	Estándar 802.16k	53
7. DESAFÍOS TÉCNICOS Y COMERCIALES DE WIMAX		54
7.1	Avances en el área de uso y el consumo de energía	55
7.2	Transmisores y receptores de WIMAX con la tecnología de MIMO - NXP	55
7.3	Interfaz aérea incompleta	56
7.3.1	Arquitectura incompleta de la red	56
7.3.2	Prueba de interoperabilidad y pruebas de campo en el mercado	57
7.4	Economías inciertas	57
7.5	Oportunidades de mercado para WIMAX	57
7.5.1	Mercados desarrollados y subabastecidos	58
7.5.2	Reemplazo y extensión de DSL y cable módem	58
8. VULNERABILIDAD, RIESGO Y ATAQUES DE LA REDES WIMAX		59
8.1	Vulnerabilidad	59
8.2	Riesgos de las redes inalámbricas WIMAX	60
8.3	Ataques a redes inalámbricas WIMAX	61
8.3.1	Espionaje (surveillance)	61
8.3.2	Interceptar una señal	62
8.3.3	Suplantar una fuente real	62
8.3.4	WarDriving	62
8.4	Herramientas el para monitoreo de redes inalámbricas	63
CONCLUSIONES		64
BIBLIOGRAFIA		65

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

	Pág.
Figura 1. Topologías en áreas urbanas y sub-urbanas.	13
Figura 2. Topología punto a multipunto (PMP).	14
Figura 3. Topología Malla (Mesh).	15
Figura 4. Esquema de red WIMAX con visión directa -Visión primitiva.	22
Figura 5. Esquema de red WIMAX sin visión directa -Visión actual.	23
Figura 6. Técnica FDD.	34
Figura 7. Técnica FDD.	35
Figura 8. Zona de Fresnel LOS.	44
Figura 9. LOS (línea de vista) y NLOS (sin línea de vista)	46
Tabla 1. Bandas y frecuencias disponibles para WIMAX.	17
Tabla 2. Beneficios de soluciones con licencia y exentas de licencia.	20
Tabla 3. Características generales de la tecnología WIMAX.	27
Tabla 4. Técnicas de modulación de OFDM.	32
Tabla 5. Cuadro comparativo de TDD y FDD.	35
Tabla 6. Comparación de las diferentes versiones del estándar 802.16.	53
Tabla 7. Herramientas para el monitoreo de redes inalámbricas.	63

INTRODUCCIÓN

WIMAX traduce las siglas de *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, y es la marca encargada de certificar que un producto está conforme con los estándares de acceso inalámbrico IEEE¹ 802.16. Estos estándares permiten conexiones de velocidades similares al ADSL o al cable módem, sin cables, y hasta una distancia de 50-60 km.

La tecnología WIMAX esta siendo la base de las Redes Metropolitanas de acceso a Internet, servirá de soporte para facilitar las conexiones en zonas rurales, y se utilizará en el mundo empresarial para implementar las comunicaciones internas. Además, el impacto de esta nueva tecnología inalámbrica puede ser extraordinario ya que contiene una serie de elementos que van a favorecer su expansión: bajo costo de implantación; gran alcance de hasta 50 Km; velocidades de transmisión que pueden alcanzar los 75 Mbps; no necesita visión directa; tecnología IP extremo a extremo. Además, dependiendo del ancho de banda del canal utilizado, una estación base puede soportar miles de usuarios, netamente superior al WLAN.

Para promover el uso de los estándares WIMAX, es necesario que los fabricantes de dispositivos electrónicos lleguen a acuerdos para desarrollar esta tecnología, dando lugar a certificaciones que aseguren la compatibilidad y la interoperabilidad de antenas, procesadores o receptores. Por ello existe el WIMAX Forum, asociación sin ánimo de lucro formada por decenas de empresas comprometidas con el cumplimiento del estándar IEEE 802.16.

¹ Institute of Electrical and Electronics Engineer

4. BREVE DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Actualmente existen técnicos, ingenieros, empresas, industrias, universidades que aun no disfrutan de un acceso de alta velocidad a Internet con la facilidad y eficiencia que podría ofrecer la tecnología WIMAX, y si la utilizan no conocen como es que funciona en realidad.

Debido al enorme crecimiento y al auge que esta teniendo esta tecnología en la actualidad, existe un gran número de personas que actualmente no cuentan con información detallada de cómo trabaja la tecnología WIMAX.

5. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Brindar a técnicos, universitarios, empresas, e industrias un documento con información detallada y al alcance de todos de la tecnología WIMAX, desde sus características, desarrollo, vulnerabilidades, movilidad, operabilidad, seguridad y especificando los últimos estándares que existe y que se encuentran certificados actualmente.

2.2 Objetivos específicos

- Describir las generalidades de las redes inalámbricas WIMAX, tales como su concepto, sus principales características, ventajas, desventajas, arquitectura y su topología.
- Definir sus principales desafíos técnicos y comerciales.

- Exponer y analizar las principales vulnerabilidades, riesgos y ataques de seguridad más comunes.
- Definir sus principales características y de que manera afectan a estas redes
- Conocer y analizar los estándares actuales que ofrece esta tecnología.

6. JUSTIFICACIÓN

La motivación a realizar este documento esta originada por el incremento y uso de la tecnología inalámbrica WIMAX en el país y a nivel mundial; Esto debido a que muchos usuarios utilizan esta tecnología pero a la vez desconocen los beneficios que esta tiene y como funciona en realidad. A diario somos testigo de la utilización de la novedosa tecnología WIMAX para el beneficio de muchos usuarios y empresas, pero además de esto queremos brindar un documento que sea accesible para cualquier empresa o institución que quiera conocer más en forma detallada como trabaja a fondo esta tecnología.

De igual manera hacer saber a usuarios con acceso a banda ancha que han estado principalmente usando tecnologías que utilizan como medio de transmisión algún tipo de cable, ya sea cobre, coaxial o fibra, como es el caso de DSL y Cable MODEM, que existe una nueva tecnología llamada WiMAX (IEEE 802.16) la cual nos brinda acceso a banda ancha inalámbrica y deja depender de una infraestructura cableada hasta el sitio del cliente.

4. GENERALIDADES DE LAS REDES INALÁMBRICAS WIMAX

4.1 Que es WIMAX?

WIMAX es un estándar de comunicación radio de última generación, promovido por el IEEE y principalmente diseñado para proveer accesos vía radio de alta capacidad a distancias inferiores a 50 kilómetros y con tasas de transmisión de hasta 70 Mbps.

Las soluciones que ofrece WIMAX se pueden aplicar en muchos escenarios (enlaces punto a punto, redes metropolitanas, cobertura de hot-spots² WiFi³, redes empresariales, backbones, etc.), con altas garantías de disponibilidad y estabilidad.

El hecho de que WIMAX aun no se todavía una tecnología de consumo en muchos países ha permitido que el estándar se desarrolle conforme a un ciclo bien establecido, lo que es garantía de su estabilidad y de cumplimiento con la especificaciones.

4.2 Cómo funciona WIMAX?

WIMAX es una tecnología inalámbrica que funcionaría similar a WiFi pero con la ventaja de ofrecer velocidades más altas, mayores distancias y para un mayor número de usuarios. "WIMAX podría solucionar la falta de acceso de banda ancha

² hot-spots, Punto de acceso inalámbrico WiFi

³ Wireless, Fidelity, definido en el estándar IEEE 802.11

a las áreas suburbanas y rurales que las compañías del teléfono y cable todavía no ofrecen”⁴.

Un sistema de WIMAX tiene o esta compuesto por dos partes:

- Una parte son las torres WIMAX, que se encargan de dar cobertura de hasta 8.000 kilómetros cuadrados según el tipo de señal que se transmita.
- La otra parte esta compuesta por los receptores, es decir, las tarjetas que conectamos a nuestro PC, portátil, PDA y demás para tener acceso.

Dentro del funcionamiento de de WIMAX encontramos dos tipos de formas de ofrecer señal:

- Una forma es cuando hay objetos que se interponen entre la antena y el receptor. En este caso se opera con bajas frecuencias (entre los 2 y los 11 Ghz) para así no sufrir interferencias por la presencia de objetos; esto hace que el ancho de banda disponible sea menor. Las antenas que ofrezcan este servicio tendrán una cobertura de 65 Km. cuadrados (más o menos como las de los teléfonos móviles).
- La otra forma es cuando no hay nada que se interponga y hay contacto visual directo. En este caso se opera a muy altas frecuencias, al rededor de 66 Ghz, disponiendo de un gran ancho de banda. Además, las antenas que ofrezcan este servicio tendrán una cobertura de hasta 9.300 Km. cuadrados.

⁴ <http://observatorio.cnice.mec.es>

Aquí los usuarios normales van a ser usuarios del primer tipo de servicio, el que opera a bajas frecuencias. Aquí a pesar de ser peor el servicio se va a notar mucha diferencia con el WiFi de ahora en dos aspectos fundamentales: la velocidad sube ahora hasta los 70 Mbps y la señal llega a ser válida hasta en 50 Km. (con condiciones atmosféricas favorables).

4.3 Principales características de la tecnología WIMAX

Las principales características de la tecnología WIMAX son:

- Tasa de transferencia
- Escalabilidad
- Cobertura
- Calidad del servicio
- Seguridad.
- Bajo costo y rapidez de implantación entre otras.

4.3.1 Tasa de transferencia

Por medio de un sólido esquema de modulación, el IEEE 802.16 entrega una alta tasa de transferencia a altos rangos con un alto nivel de eficiencia espectral que es también tolerante a reflexiones de señal.

La modulación dinámica adaptativa permite a la estación base negociar la tasa de transferencia por rangos. Por ejemplo, si la estación base no puede establecer un link robusto a un abonado distante usando el esquema de modulación de mayor orden, 64 QAM (Modulación por Amplitud en Cuadratura), el orden de modulación se reduce a 16 QAM o QPSK, la cual reduce la tasa de transferencia e incrementa el rango efectivo.

4.3.2 Gran alcance (50 km.)

A diferencia de redes de distintas tecnologías, como WiFi, WIMAX está orientado a emplear como tecnología de acceso en redes metropolitanas, permitiendo grandes coberturas en función del entorno, de la densidad de usuarios y de la versión empleada.

4.3.3 Escalabilidad

El 802.16 soporta canales de ancho de banda flexibles. Por ejemplo, si un operador tiene asignado 20 MHz de espectro, este operador puede dividirlo en 2 sectores de 10 MHz cada uno, o 4 sectores de 5 MHz cada uno. Focalizando potencia en sectores de pequeños incrementos, el operador puede incrementar el número de usuarios manteniendo un buen rango y tasa de transferencia.

Para escalar aun más la cobertura, el operador puede usar nuevamente el mismo espectro en dos o más sectores creando aislaciones propias entre las antenas de estaciones base.

4.3.4 Cobertura

En adición al soporte de un esquema de modulación robusto y dinámico, el estándar IEEE 802.16 también soporta tecnologías que incrementan la cobertura, incluida la tecnología de malla (Mesh) y las técnicas de *antena inteligente*. Mientras la tecnología de radio mejora y los costos bajan, la habilidad de incrementar la cobertura y la tasa de transferencia usando múltiples antenas para crear *diversidad en transmisión y/o recepción* aumentará sensiblemente la cobertura en escenarios extremos.

4.3.5 Calidad de Servicio

La capacidad de voz es extremadamente importante, especialmente en mercados internacionales no cubiertos por servicio. Por esta razón el estándar IEEE 802.16a incluye características de calidad de servicio que permiten servicios incluyendo voz y video que requieren una red de baja latencia. Las características de garantía requeridas por el *controlador de acceso al medio (MAC)* del IEEE 802.16, permiten al operador brindar simultáneamente niveles de servicio Premium garantizados para negocios, tanto como niveles de servicio T1, y servicio de alto volumen a hogares, similares a niveles de servicio de cable, todos dentro de la misma área de servicio perteneciente a una estación base.

4.3.6 Bajo costo y rapidez de implantación

El despliegue de una red WIMAX tiene un coste similar al de una red WiFi y mucho inferior al de cualquier tipo de red celular o cableada con prestaciones similares. Aunque en el fondo esto depende del tamaño de la red.

El tiempo invertido en la implantación de una red WIMAX es menor que el de cualquier tecnología análoga. El menor tamaño de los equipos de estaciones bases, así como la configuración de red extremo a extremo con tecnología IP facilita su integración tanto en entornos rurales como urbanos, disminuyendo enormemente la obra civil en los segundos.

4.3.7 LOS (QPSK) y NLOS (OFDMA)

Los requisitos de visión directa o de no visión directa son directamente aplicables a la modulación empleada. “Mientras que el principio se pensaba en una

modulación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) que requería línea de visión directa entre el emisor y el receptor, en la actualidad, empleando OFDM (Orthogonal Frequency-division Multiplexing) conseguimos poder transmitir con altas tasas y sin visión directa”⁵.

4.3.8 Smart Antennas

El uso de tecnologías avanzadas en tecnología de antenas permite alcanzar eficiencias espectrales de hasta 5 bps/Hz. Las “Smart Antennas”⁶ proporcionan beneficios en términos de capacidad y funcionamiento respecto a las antenas estándares, ya que pueden adaptar su patrón de radiación para adecuarse a un tipo determinado de tráfico o a entornos difíciles.

“Las Smart Antennas mejoran su rendimiento mediante la combinación de las dimensiones espaciales de la antena con la dimensión temporal. Existen dos tipos básicos que son”⁷:

4.3.8.1 Antenas de array en fase o multihaz:

Pueden usar un número de haces fijos escogiendo el más adecuado o con un haz enfocado hacia la señal deseada que se mueve con ella.

4.3.8.2 Array de antenas adaptativas:

Utilizan múltiples elementos de antena que gestionan la interferencia y ruido recogido con el objetivo de maximizar la recepción de la señal. El patrón del haz varía con el entorno del canal.

⁵ syc.escet.urjc.es/moodle/file.php/50/moddata/forum/144/13417/Memoria_Introduccion_a_WiMAX.pdf

⁶ Smart Antenas, Antenas inteligentes

⁷ http://www.quobis.com/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=2

4.3.9 IP extremo a extremo

Según las tendencias del sector de evolucionar hacia un modelo all-IP, WIMAX se posiciona en un lugar dominante, ya que, desde su creación se sitúa como una tecnología que permite comunicaciones IP extremo a extremo.

4.3.10 Usuarios por Estación Base

Desde su nacimiento, WIMAX estaba previsto como una tecnología capaz de soportar un gran número de usuarios, alrededor de 1000, pero aproximaciones más realistas y nuevas experiencias pilotos, así como la necesidad de alcanzar mayores alcances de cobertura y mayores anchos de banda hacen que, actualmente, se esté trabajando con estaciones bases que soportan a unos 200 usuarios.

4.3.11 Seguridad

La seguridad es una ventaja en WIMAX, el uso del algoritmo DES⁸ bajo CBC⁹ brinda un nivel de seguridad que hace posible pensar en implementar WIMAX como el acceso radio para complementar las redes celulares o para ofrecer servicios con total confidencialidad. WIMAX proporciona un nivel de control de acceso al medio (MAC) que utiliza un mecanismo *grant-request*¹⁰ para utilizar el intercambio de datos. Este mecanismo permite un mejor aprovechamiento del medio radioeléctrico.

⁸ DES, Data Encryption Standar

⁹ CBS, Chipher Bolck Chaining

¹⁰ *grant-request* Demanda en función del servicio prestado

4.3.12 Independencia del Protocolo

“WIMAX se propone como una tecnología portadora de última milla independiente del protocolo usado en la red. Es por ello que es capaz transportar flujos de tráfico IP, TDM, E1/T1 (SDH), ATM, Frame Relay o servicios de voz”¹¹.

4.4 Ventajas y desventajas de la tecnología WIMAX

WIMAX resulta mucho más variable que las actuales tecnologías inalámbricas ya que puede cubrir áreas de hasta 50 kilómetros a la redonda sin línea de vista, es decir, con obstáculos entre los puntos que comunica. Sin embargo, aunque el sistema provee suficiente ancho de banda como para reemplazar a cientos de empresas con conexiones T1 (alta velocidad) y hogares con ADSL, actualmente no se conocen algunos de los resultados de las pruebas que se llevan a cabo en diferentes laboratorios certificados para realizar pruebas; de todos manera habrá que esperar a que se comercialicen la mayoría de productos para saber cuáles son sus prestaciones reales

4.4.1 Ventajas

- WIMAX es ideal para zonas urbanas, ya que pocas estaciones dan una gran cobertura.
- Los costos de inversión inicial son bajos y ofrece una extensión rápida.
- No se requieren muchas necesidades de obra civil como zanjas, permisos, etc.

¹¹ syc.escet.urjc.es/moodle/file.php/50/moddata/forum/144/13417/Memoria_Introduccion_a_WiMAX.pdf

- Las inversiones crecen de forma proporcional al número de clientes, es decir los equipos de usuario se van aumentando a medida que éstos se acreditan.
- WIMAX ofrece fácil escalabilidad ya que aumenta la capacidad para los nuevos usuarios añadiendo los transmisores necesarios.
- Cubren fácilmente zonas remotas o de difícil acceso y se complementa a los sistemas cableados en zonas no rentables y áreas dispersas o remotas.

4.4.2 Desventajas

Aunque es difícil criticar una tecnología que todavía no se conoce por completo en el mercado de muchos países, los expertos aseguran que una de sus grandes debilidades será su susceptibilidad a interferencias, incluso de aparatos domésticos tan comunes como teléfonos inalámbricos y ni siquiera celulares u hornos de microondas.

La necesidad de mejoras en esta tecnología ya se ha visto reflejada en los retrasos sufridos por el programa de certificación, que garantiza la compatibilidad de los productos a comercializar.

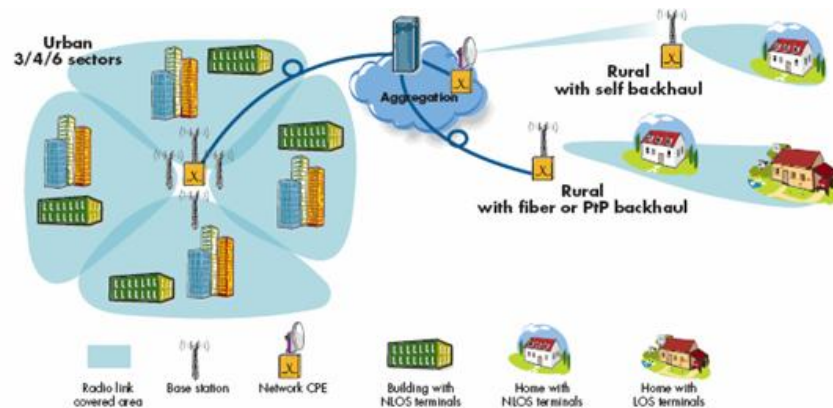
- Existe una necesidad de visión directa para altas tasas de transmisión, que supone que es un problema en las ciudades y obliga a emplazar repetidores para evitar zonas de sombra.
- Existe poco aprovechamiento del ancho de banda en zonas rurales escasamente pobladas, lo que implica un gran costo por usuario.
- Limitación de potencia para prever interferencias con otros sistemas.
- Alto consumo de batería en los dispositivos.

4.5 Topología de una red WIMAX

En la actualidad y en el constante desarrollo de los estándares varias topologías y tecnologías de backhaul¹² serán soportadas por WIMAX: líneas cableadas (Ethernet), enlaces de microondas PTP, así como backHaul WIMAX

Hoy en día dentro de la tecnología WIMAX, se contemplan infraestructuras punto a punto para backhails o radioenlaces y punto a multipunto para acceso a última milla.

Figura 1. Topologías en áreas urbanas y sub-urbanas¹³



4.5.1 Topología Punto a Punto

Una red punto a punto es el modelo más simple de red inalámbrica, compuesta por dos radios y dos antenas de alta ganancia en comunicación directa entre ambas. Este tipo de enlaces se utilizan habitualmente conexiones dedicadas de alto rendimiento o enlaces de interconexión de alta capacidad.

¹² Backhaul. Backbone o red transparente

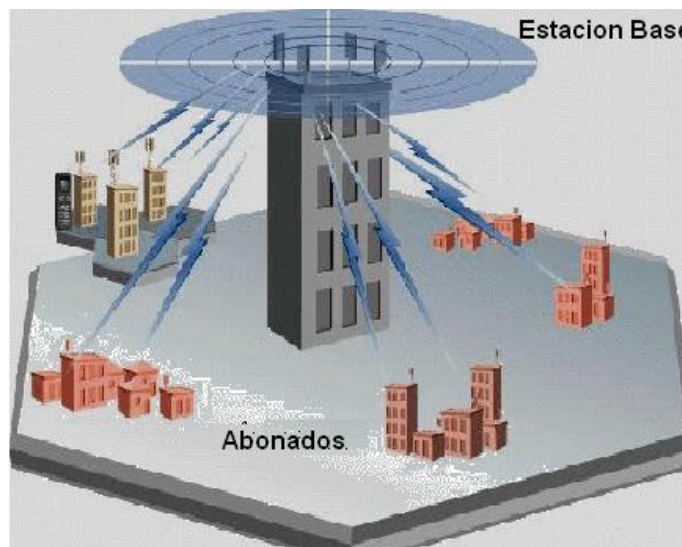
¹³ Tomado de http://www.unicontacto.com/document/Charla_URBE_Nov_2005.ppt

Este tipo de enlaces son fáciles de instalar, pero difíciles de crear con ellos una red grande. Es habitual su uso para enlaces punto a punto en cliente finales o para realizar el backhaul de redes.

4.5.2 Topología Punto a Multipunto (PMP)

Un enlace punto a multipunto, comparte un determinado nodo que se caracteriza por tener una antena omnidireccional, es decir con varios sectores y puntos de terminación con antenas direccionales con una ganancia elevada. Este tipo de red es más sencillo de implementar que las redes punto a punto, ya que el hecho de añadir un suscriptor sólo requiere incorporar equipamiento del lado del cliente, por lo que no varía nada en la estación base. Aunque, cada sitio remoto debe encontrarse dentro del radio de cobertura de la señal, que en el caso de WIMAX no requerirá que se sitúe en puntos con visión directa.

Figura 2. Topología punto a multipunto (PMP)¹⁴



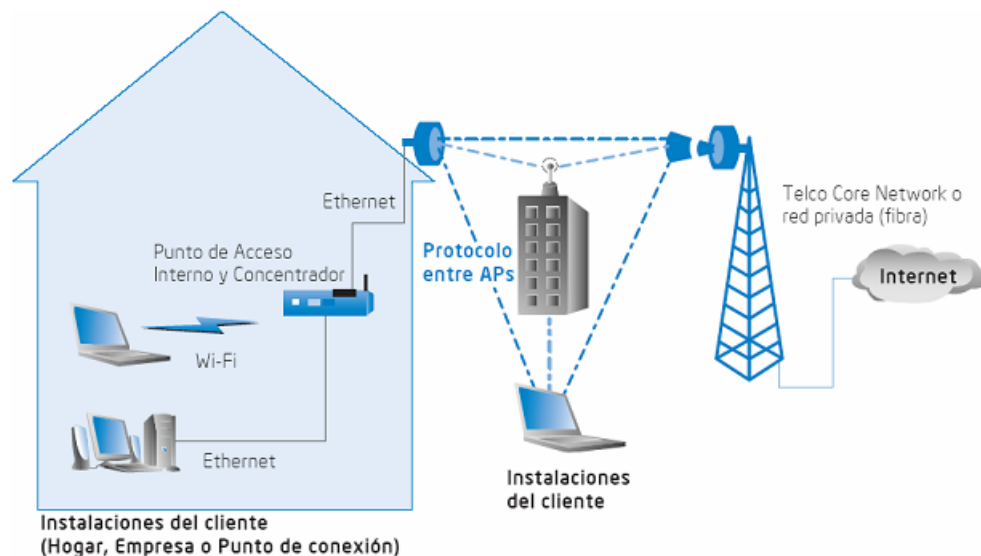
¹⁴ Tomado de <http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/304471.pdf>

Esta topología será posible utilizarla para backhaul de la red de operadores, o para clientes que no deseen disponer de capacidad dedicada, al compartir los recursos con todos los terminales. El problema de este tipo de topología es que el diseño direccional de las antenas de los usuarios hace que no pueda conectar con otras redes (meshing).

4.5.3 Redes Enmalladas (Mesh)

Las redes enmalladas son aquellas en las que la comunicación se puede hacer entre los diferentes nodos y no sólo entre nodo y estación base.

Figura 3. Topología Malla (Mesh)¹⁵



Para este tipo de redes, se pueden realizar las operaciones de dos maneras diferentes: distribuida ó centralizada: Para la distribuida, todos los nodos deben coordinar con los demás la manera de transmitir para evitar colisiones con los datos y realizar el control de tráfico, y demás deben enviar por difusión (*broadcast*) su respectivo estado (recursos disponibles, peticiones y concesiones)

¹⁵ Tomado de <http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/304471.pdf>

a todos sus vecinos; para la centralizada, los recursos se asignan de una manera más concentrada, ya que la estación base *Mesh*, recopila varias peticiones de un determinado sector y otorga los respectivos recursos para cada enlace.

4.6 Uso del espectro

Uno de los principales obstáculos para permitir acelerar el despliegue de sistemas de acceso inalámbricos para entornos extensos es el costo de extensión de la solución. Aunque en el costo total de las instalaciones incluyen varios factores (licencias, espacio para torretas, backhaul, etc) es el costo de los equipos el componente principal. Por los proveedores de servicio y fabricantes involucrados en el WIMAX Forum es donde prestan más interés.

4.6.1 Bandas de frecuencia

Actualmente, el enfoque se realiza en las frecuencias dentro del rango que existe entre 2-6Ghz del espectro. Aquí el ancho de banda reservado es más estrecho que el disponible en el rango de 10 a 66 Ghz, al que nos referiremos como ondas milimétricas, respecto a las centimétricas del primer caso. Las ondas milimétricas se ajustan más a backhails con anchos de banda elevados y visión directa, a diferencias de las centimétricas.

“El WIMAX Forum mantiene que las bandas de frecuencia deben ser colocadas de manera que los operadores con licencia puedan prestar los servicios y utilizar las tecnologías más adecuadas para su entorno”¹⁶.

¹⁶ http://www.quobis.com/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=2

4.6.1.1 Banda libre de 5Ghz

El rango de frecuencias de utilidad incluye las bandas entre 5,25 Ghz y 5,85 Ghz. La banda entre 5,15 Ghz y 5,25 Ghz es la más utilizada para aplicaciones interiores de baja potencia, por lo que queda fuera del interés de las aplicaciones WIMAX. Este es el caso de la banda de frecuencia usada en 802.11a (que llega hasta los 5,35Ghz). Además, se caracteriza por disponer de poca potencia en las frecuencias bajas. Ya que en la mayoría de los países se trata de una banda libre, a diferencia de otros países donde hay licencias de uso, para tener constancia de las operaciones, esta banda es estratégica para permitir cubrir mercados remotos o rurales con una baja tasa de población, que pueden quedar fuera del interés de los operadores tradicionales.

En la banda superior (5725-5850 Mhz) muchos países permiten una mayor potencia de salida (4 W en lugar de 1 W EIRP) lo que hace que la banda sea más interesante para aplicaciones WIMAX en larga distancia. El WIMAX Forum promueve acciones, especialmente en Europa, para que se libere esta banda de manera general.

Tabla 1.
Bandas y frecuencias disponibles para WIMAX¹⁷

Banda	Frecuencia	Requiere licencia?	Disponibilidad
2.5 Ghz	2.5 a 2.69 Ghz	SI	En Brasil, México, algunos países del sudeste asiático y USA. WIMAX Forum también incluye 2.3 Ghz en esta categoría de bandas. Su propiedad depende del país
3.5 Ghz	3.3 a 3.8 Ghz pero primero 3.4 a 3.6 Ghz	Si, en algunos Países	En la mayoría de los países la banda 3.4 a 3.6 Ghz se asigna a banda ancha inalámbrica
5 Ghz	5.5 a 2.85 Ghz	NO	En la parte de 5.725 a 5.85 Ghz muchos países permiten mayor salida de potencia (4 watts), lo que puede mejorar la cobertura

¹⁷ http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp04_espanhol.pdf

4.6.1.2 Banda con licencia de 3,5Ghz

Es la primera banda utilizada para operadores de banda ancha con licencia que generalmente se localiza entre los 3,4 y 3,6 Ghz, aunque hay nuevas posibilidades en el rango 3,3 y 3,4 Ghz y en el 3,6-3,8 Ghz. Bandas superiores a ésta, puede que sean ocupadas por el Reino unido, hasta los 4200 Mhz

Las bandas entre 3,4 y 3,6 Ghz han sido reservadas por la mayoría de los países para servicios fijos, móviles y/o por satélite. En estas bandas el enfoque del foro WIMAX será el de minimizar los requisitos técnicos y reglamentarios no necesarios que puedan impedir el desarrollo de WIMAX para esta clase de operadores. En ellas se opera tanto con TDD como con FDD existiendo canales de 3,5 y 7 Mhz.

4.6.1.3 Banda mixta de 2,5Ghz

Las bandas entre 2,5 y 2,69 Ghz (Multichannel Multipoint Distribution Service) han sido reservadas por Estados Unidos, México, Brasil y algunos países de Asia donde ha sido poco utilizadas para su utilidad original, relacionada con la transmisión de televisión. “El WIMAX Forum realiza esfuerzos globales con el objetivo de aumentar la disponibilidad de estas bandas para aplicaciones de bandas anchas tanto fijas como móviles”.

Esta banda usa tanto FDD como TDD, con ancho de banda de los canales de 5 Mhz, con 6 Mhz. Esta banda del espectro está orientada al desempeño de servicios móviles, dentro del estándar 802.16e, ya que es la que presenta un mejor comportamiento para este tipo de servicios.

4.6.2 Uso libre o con licencia

Los beneficios de las soluciones basadas en WIMAX tanto en espectro con licencia como de uso libre sobre las soluciones cableadas son la eficiencia en costos, escalabilidad y flexibilidad.

4.6.2.1 Bandas con licencia

Para usar una banda con licencia es normal que el operador adquiera espectro, que es un proceso muy variable en función del país en el que se quiera operar, teniendo que pasar por subastas, elevados precios y retardos considerables. Por contrario esta barrera de entrada, acompañada del uso exclusivo de una banda permite conseguir una gran calidad y una interferencia muy baja. Las frecuencias bajas asociadas a bandas licenciadas (2,5 Ghz y 3,5 Ghz) permiten conseguir una mejor característica NLOS. Según se **incremente** el despliegue de los operadores aparecerán las primeras interferencias dentro de las propias redes que se deberán reducir con un diseño apropiado de la red.

4.6.2.2 Bandas de uso libre

En la mayoría de los mercados, el espectro que no requiere licencia y que podría emplearse para WIMAX es 2.4GHz y 5.8GHz. Debido a que el espectro no requiere licencia, la barrera para ingresar es baja por lo que hace más fácil que un posible operador comience a ofrecer servicios empleando el espectro. En algunos casos, esto puede ser ventajoso. Desafortunadamente, también existen varias desventajas. “En ciertos países en particular en Europa, rige el concepto de

espectro “con licencia light”, lo que significa que el usuario tiene que presentar su intención de usar el espectro que no requiere licencia”¹⁸.

Los proveedores de servicio en mercados salientes como países en desarrollo con áreas subdesarrolladas pueden reducir el tiempo de llevar al mercado el servicio y los costos iniciales si eligen por usar soluciones basadas en licencia abiertas. Además, también es posible usar estas soluciones en el caso de operadores con licencia.

Las soluciones en bandas de libre uso están limitadas en términos de la potencia de salida transmitida a pesar de que no sea precisa licencia. Esta potencia es la única condición para los proveedores, que pueden usar el espectro tanto como quieran. Otra limitación es la calidad de servicio, que vendrá dada también por el número de señales interferentes de otros operadores.

Tabla 2.
Beneficios de soluciones con licencia y exentas de licencia.¹⁹

Ventajas de Solución con Licencia	Ventajas de Solución Exenta de Licencia
Mejor calidad de servicio	Desarrollo rápido
Mejor recepción "non-line-of-sight" (sin línea de vista) - NLOS en bajas frecuencias	Menores costos
Mayores barreras de entrada	Más opciones en todo el mundo

¹⁸ http://www.cdg.org/resources/white_papers/files/WiMAX%20FINAL%20Spanish.pdf

¹⁹ http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp04_espanhol.pdf

4.7. Arquitectura de una red WIMAX

La arquitectura clásica en una interfaz radio de cualquier tecnología inalámbrica esta compuesta de una estación base y terminales móviles. En este caso, la terminología empleada en WIMAX define la estación base y las estaciones suscriptoras.

4.7.1 Estación Base WIMAX

Las estaciones base de WIMAX pueden ser de exteriores o de interiores. Las estaciones base de exteriores suelen ser similares a las de los sistemas de comunicaciones móviles celulares, mientras que las estaciones base para interiores tienen un aspecto similar a los punto de acceso de WiFi.

Los radios de cobertura oscilan entre las decenas de km^2 , aunque en expansiones reales nos encontramos que, para entornos urbanos densamente poblados esta cifra desciende hasta los 5 km^2 .

4.7.2 Estaciones Suscriptoras WIMAX

Las estaciones suscriptoras WIMAX están diseñadas para su instalación en terminales de sobremesa o integrados dentro de dispositivos como receptores instalados en PC, portátiles o PDA's.

Entre los modelos de estaciones suscriptoras certificados que podemos encontrar terminales que reciben señal WIMAX y son capaces de repartir esa señal a través de una antena WiFi

4.7.3 Esquema de red WIMAX

4.7.3.1 Visión Primitiva

Como todos los estándares siempre estarán evolucionando, WIMAX tiene que saber adaptarse a las distintas necesidades del sector. De esta manera pudimos ver que en el año 2000, WIMAX se forjaba como un simple servicio DSL inalámbrico, cuya estación base proporcionaba un acceso de datos de alta velocidad o como un enlace punto a punto para la conexión de grandes núcleos empresariales.

Este antiguo servicio requería visión directa de los terminales suscriptores con la estación base y por este motivo, se pensó en la instalación de dichas antenas suscriptoras en el exterior de los edificios y indudablemente la idea de movilidad todavía no estaba presente. El esquema de red propuesto a raíz de esta visión de la tecnología era como el que se muestra en la siguiente figura.

Figura 4. Esquema de red WIMAX con visión directa
Visión primitiva²⁰



²⁰ gsync.escet.urjc.es/moodle/file.php/50/moddata/forum/144/13417/Memoria_Introduccion_a_WiMAX.pdf

4.7.3.2 Visión Actual

A diferencia de la visión primitiva de la tecnología, la evolución de los distintos modelos de redes inalámbricas y celulares, así como de la idea que los usuarios tienen de las mismas, hacen que la idea inicial evolucione hacia un concepto del servicio enfocado a la movilidad. Esto no quiere decir que el modelo primitivo sea abandonado, sino que se mejora ofreciendo un amplio campo de aplicaciones.

En esta nueva visión, la arquitectura no se puede quedar al margen, es por eso que las antenas se integran en los equipos y es donde se empieza a hablar de terminales fijos y móviles. Gracias al impulso del WIMAX forum, hoy en día contamos con una versión certificada, 802.16d-2004, orientada al servicio fijo y otra versión certificada, 802.16e-2005, orientada a los servicios móviles.

A continuación se muestra la nueva visión con la que se crea WIMAX, apartado bastante del modelo de la visión primitiva.

Figura 5. Esquema de red WIMAX sin visión directa
Visión actual²¹



²¹ gsync.escet.urjc.es/moodle/file.php/50/moddata/forum/144/13417/Memoria_Introduccion_a_WiMAX.pdf

4.7.4 Principios básicos para el desarrollo de la arquitectura WIMAX

- Soporte para el descubrimiento y selección de un NSP accesible por un MS.
- Soporte de un NAP que emplee una o más topologías ASN
- Especificación de los puntos referencia entre varios grupos de entidades funcionales de red (entre ASNs, CSNS, ASN-CSN).
- Soporte para evolución de caminos entre varios modelos de uso, sujeto a suposiciones y limitaciones técnicas.
- Permitir diferentes implementaciones basadas en diferentes combinaciones de entidades funcionales en una red física siempre y cuando estas implementaciones cumplan con la normativa de los protocolos y procedimientos.
- Soporte aun para el escenario más trivial de un único operador desarrollando una ASN junto con un limitado grupo de funciones CSN así que el operador pueda ofrecer acceso básico a Internet sin tener que considerar el “roaming”.
- La arquitectura se basa en un marco de conmutación de paquetes, incluidos los nativos procedimientos basados en el estándar IEEE 802,16 y sus modificaciones, proceda IETF RFC y normas Ethernet.
- La arquitectura permite la disociación de la arquitectura de acceso de los servicios de conectividad IP. Elementos de la red de la conectividad del sistema se agnóstico a la radio.
- La arquitectura permite la modularidad y la flexibilidad para dar cabida a una amplia gama de opciones de despliegue, tales como:
 - En pequeña escala a gran escala (escasa densidad de la cobertura de radio y de la capacidad) las redes WIMAX.
 - Urbano, suburbano y rural de radio propagación entornos.
 - Licenciados y / o licencia exenta de las bandas de frecuencia.
 - Jerárquica, plana, la malla o topologías, y sus variantes.
 - La coexistencia de las fijas, nómadas, portátiles y móviles, modelos de uso.

4.8 Escenarios Flexibles de Despliegue

WIMAX es una tecnología variable de mayor excelencia para una gran variedad de escenarios de aplicación que abarca desde puntos fijos, nómadas, móviles, interiores y exteriores de comunicación. Al diseñar un sistema de WIMAX, incluida la capacidad factores o requisitos en materias de cobertura, fijas o móviles, sectorización y los sistemas de reutilización todos ayudan a determinar el derecho conjunto de características y requisitos de capacidades a la estación base WIMAX.

Por tal razón algunos operadores de LMDS (Local Multipoint Distribution System) están empezando a considerar esta tecnología muy en serio y ya han comenzado a hacer despliegues de red, utilizando los elementos que hoy en día están disponibles.

4.8.1 Aplicaciones WIMAX

La primera generación de productos WIMAX serán unidades exteriores que funcionarán en aplicaciones con o sin línea de vista entre equipos, donde se ofrecerá limitados anchos de banda y sin movilidad. También se necesitará instalar el equipo en cada hogar para poder usar WIMAX. En este primer momento se contará con las mismas prestaciones de un acceso básico a Internet.

La segunda generación será para interiores, con módems auto instalables similares a los módems de cable o DSL. En ese momento, las redes WIMAX ofrecerán movilidad para que los clientes lleven su computadora portátil o MODEM WIMAX a cualquier parte con cobertura.

4.8.1.1 Integración de WIMAX en una red global

Los operadores móviles pueden integrar WIMAX en sus redes para relanzar sus carteras de productos añadiendo servicios de elevado ancho de banda para complementar sus servicios de datos existentes. El acceso a las mismas aplicaciones (mensajería, agenda, portal, etc.) sobre diferentes de accesos de radio se ofrece con una única factura y un único perfil de abonado. Un requisito clave de las arquitecturas de red WIMAX es integrar uniformemente abonados fijos y nómadas en las arquitecturas de redes móviles y fijas existentes. El método de la arquitectura de servicios comunes proporciona a los usuarios las siguientes facilidades, independientemente del tipo de red de acceso:

Autenticación y control de acceso comunes: Los usuarios pueden tener una única suscripción y recibir una sola factura incluso aunque use diferentes redes de acceso. La solución se basa en mecanismos de AAA (autenticación, autorización y contabilidad).

Acceso a servicios comunes: Todos los flujos se enrutan a través de la red doméstica usando mecanismos de tunelado. Este escenario de interfuncionamiento brinda al operador doméstico el control total de la oferta de servicio y proporciona al usuario todos los servicios a los que se ha suscrito sea lo que sea la red de acceso.

Continuidad de servicio: a través de diferentes redes de acceso mediante el soporte de IP móvil. Inicialmente los usuarios sólo buscaban acceder a sus servicios habituales, pero rápidamente demandaron la continuidad de servicios mientras se estaban desplazando y pasando de una celda a otra. La solución les permite disfrutar de una mejor experiencia cuando acceden a sus aplicaciones por la mejor red disponible cuando se está en casa, lejos de casa o desplazándose.

4.9 Características generales de la tecnología WIMAX

Tabla 3.

Características	Descripción
Sin línea de vista NLOS	No necesita línea de visión entre la antena y el equipo suscriptor.
Modulación OFDM	Permite transmisión simultánea de múltiples señales a traves de cables o aires en diversas frecuencias, usa espaciamiento ortogonal de las frecuencias para prevenir interferencias.
Antenas inteligentes	Soportan mecanismo de mejora de eficacia espectral en redes inalámbricas y diversidad de antenas.
Topología punto-multipunto y de malla	Soporta dos topologías de red, servicio de distribución multipunto y la malla para comunicación entre suscriptores.
Calidad de servicio	Califica la operación NLOS sin que la señal se distorsione severamente por la existencia de edificios, las condiciones climáticas y flujo vehicular.
TDM y FDM	Tipos de multiplexaje que soporta para proporcionar la interoperabilidad con sistemas inalámbricos TDM y celulares FDM.
Bandas bajo licencia	Opera en banda licenciada en 2.4Ghz y 3.5Ghz para transmisiones externas en largas distancias.
Bandas libre sin licencia	Opera en bandas libre en 5.8, 8y 10.5 Ghz con variación según el espectro de cada país.
Seguridad	Incluye medidas de privacidad y criptografía inherentes en el protocolo. El estándar 802.16 agrega autenticación de instrumento con certificados x.509 usando DES en modo CBC.
Codificación	Adaptativa
Canalización	De 5 10 Mhz
Modulación	Adaptativa
Ecuilización	Adaptativa
Acceso al medio	Por medio de TDMA dinámico
Tamaño del paquete	Ajuste dinámico del tamaño del paquete
Corrección de errores	ARQ (retransmisión inalámbrica)
Aprovisionamiento	Aprovisionamiento dinámico de usuarios mediante DHCP y TFTP.
Tasa de transmisión	Hasta 75 Mbps
Espectro de frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> - IEEE 802.16a entre 2-11 Ghz (LOS) comunicación entre Antenas. - IEEE 802.16b entre 5-6 Ghz con QoS - IEEE 802.16c entre 10-66 Ghz con QoS - IEEE 802.16e entre 2-6 Ghz (NLOS) para distribución a Suscriptores, móvil.
Aplicaciones	Voz, video y datos

5. CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR PARA WIMAX 802.16

Actualmente existen muchos operadores y proveedores de servicios que pueden aun no estar familiarizados con los detalles del estándar 802.16, pero esta tecnología inalámbrica está revolucionando el acceso de banda ancha de la industria.

El estándar 802.16 se creó con el objeto de agilizar la expansión de los servicios de banda ancha, debido que los sistemas no cableados son más rápidos de implementar siendo a su vez más económicos. Además, los sistemas que se basan en el estándar 802.16-2004 tienen la ventaja de ser interoperables entre los diferentes vendedores, esto quiere decir que disminuye los costos de implementación.

También fue diseñado para acomodar cualquier despliegue de TDD o FDD permitiendo terminales full y half-duplex en el caso de FDD.

5.1 Capa Física (PHY)

Está diseñada para bandas de frecuencia entre 10GHz y 66GHz con multiplexación tipo TDD o FDD, en canales de frecuencia que pueden estar entre 20MHz y 28MHz, y los anchos de banda para la transmisión están entre 32Mbps y 134.4Mbps; estos valores varían dependiendo de la técnica de modulación utilizada, la cual puede ser QPSK²², 16-QAM ó 64-QAM²³.

²² QPSK, Quadrature Phase Shift Keying

²³ QAM, Quadrative Amplitude Modulation

5.1.1 Multiplexación de la información

La multiplexación es el proceso donde múltiples canales de información se combinan en un canal de transmisión. Existen dos métodos de multiplexación principales: TDM (Time Division Múltiple) y FDM (Frequency Division Multiplex), en función del recurso que comparten.

En el método FDM muchos canales se combinan repartiendo rangos de frecuencias espectrales de manera similar al FDD, teniendo que reservar bandas de guardia para evitar solapamientos. Para conseguir una mayor eficiencia se ha desarrollado el método OFDM.

5.1.2 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDM es una técnica de multiplexación multiportadora. La base del OFDM reside en la combinación de múltiples portadoras moduladas solapadas espectralmente, pero manteniendo las señales moduladas ortogonales, de manera que no se producen interferencias entre ellas²⁴. Además, es posible utilizar diferentes técnicas de modulación entre portadoras, con lo cual se consigue una funcionalidad extra.

En recepción las portadoras deben ser separadas antes de demodular. En las técnicas de multiplexación tradicionales FDM, se utilizaban filtros pasobanda en cada una de las frecuencias por lo que además de no solapar las bandas, era obligatoria la reserva de bandas de guardia. Un método de conseguir una mayor eficiencia espectral es solapar las portadoras, mediante el uso de una DFT tanto en modulación como en demodulación, que es en lo que se basa el OFDM.

²⁴ <http://www.eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0638t.pdf>

Otra ventaja del OFDM, que es la causa por la que se ha popularizado en la tecnología WIMAX, es la capacidad para gestionar los diferentes retardos que se producen en señales que padecen multitrayecto.

5.1.2.1 Ortogonalidad

En un canal FDM los datos viajan en un gran flujo y no pueden ser subdivididos, mientras que un canal OFDM los datos viajan en pequeños grupos individuales. Esta diferencia hace que ambos sistemas respondan de manera diferente a la interferencia, entonces un flujo FDM es más grande y contiene más información que un flujo OFDM, por lo tanto en caso de que la interferencia destruyera un flujo FDM toda la información útil se perdería, mientras que si esta información se transmitiera por un canal OFDM se dividiría en pequeños flujos, de forma tal que si la interferencia afectara uno de estos flujos, solo se perdería una fracción de la información y no toda .

En los sistemas OFDM estos flujos son llamados subportadoras y tienen la característica de que deben ser ortogonales e independientes entre si. El concepto fundamental en OFDM es la ortogonalidad de las subportadoras, tenemos entonces que las portadoras son ondas senoidales o cosenoidales y por lo tanto el área bajo la curva de estas es siempre cero.

Esta ortogonalidad en OFDM permite la transmisión simultánea de muchas sub portadoras en un estrecho ancho de frecuencias sin que interfieran unas con otras. En el transmisor la señal es definida en el dominio de la frecuencia. Las amplitudes y las fases de las portadoras dependen del dato que es transmitido y las transmisiones de los datos son sincronizadas en las portadoras, estas pueden ser procesadas todas juntas, símbolo a símbolo.

5.1.2.2 Multitrayecto

El Principal problema que enfrentan las comunicaciones inalámbricas es la presencia del efecto multitrayecto durante la transmisión. En un ambiente multitrayecto el camino entre el transmisor y el receptor tiene múltiples reflexiones u obstrucciones que provocan que la señal transmitida sea reflejada por una gran cantidad de objetos.

Cuando ocurre esto la señal alcanza al receptor por diferentes rutas, cada una de estas señales es una copia de la original, y cada una de estas tiene un retardo ligeramente diferente y una ganancia ligeramente diferente. Estos retardos en el tiempo causan cambios de fase en la componente fundamental de la señal produciendo un degradamiento en la señal. En el multitrayecto las señales reflejadas vienen atrasadas y son sumadas a la señal principal, esto entonces causan ganancias en la amplitud de la señal o grandes atenuaciones.

5.1.2.3 Tiempo de guarda y extensión cíclica

Para poder soportar el efecto multitrayecto y eliminar la interferencia entre símbolos (ISI)²⁵ en la modulación OFDM, se introduce un intervalo de guarda a cada símbolo OFDM. La longitud de dicho intervalo es seleccionada de modo que sea mayor a la propagación del retardo esperado.

Este tiempo de guarda consiste en que si un símbolo de OFDM llega con cierto retraso, el tiempo de guarda tendrá un espacio suficiente para que este símbolo no vaya a interferir con un símbolo siguiente. El intervalo de guarda puede, consistir de información nula, es decir de ausencia de la señal. Sin embargo esto podría generar un problema de interferencia entre portadoras (ICI)²⁶.

²⁵ (ISI), Interferencia entre símbolos

²⁶ (ICI), Interferencia entre portadoras

5.1.3 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Acces).

Es una extensión de la técnica OFDM, que es la técnica de multiplexación en uso en los sistemas inalámbricos 802.11a/g y 802.16/a/d/e. En los sistemas OFDM actuales, un único usuario puede transmitir sobre todas las subportadoras en cualquier momento y se utilizan técnicas de acceso múltiple por división en frecuencia o en tiempo para soportar múltiples usuarios.

El principal problema de estas técnicas de acceso estática es que los usuarios ven el canal de una manera diferente cuando no es utilizado. OFDMA, por el contrario, permite a múltiples usuarios transmitir en diferentes subportadoras por cada símbolo OFDM. Así, se asegura de que las subportadoras se asignan a los usuarios que ven en ellas buenas ganancias de canal.

Tabla # 4.
Técnicas de modulación de OFDM

Velocidad	Técnica de modulación	Bits por señal
6 Mbps	BPSK	1
9 Mbps	BPSK	1
12 Mbps	QPSK	2
18 Mbps	QPSK	2
24 Mbps	QAM -16 (BPSK)	4
36 Mbps	QAM -16 (BPSK)	4
48 Mbps	QAM -64 (QPSK)	6
54 Mbps	QAM -64 (QPSK)	6

5.2 Subcanalización

La subcanalización en el enlace ascendente es una opción dentro de WIMAX Sin la subcanalización, las restricciones regulatorias y la necesidad de costo efectivo en el equipo de abonado, típicamente causan que el presupuesto de enlace sea asimétrico, causando que el rango del sistema sea limitado en el enlace de subida.

La subcanalización permite que el presupuesto de enlace sea balanceado tal que las ganancias del sistema de enlace ascendente y descendente sean similares. La subcanalización concentra la potencia transmitida en algunas portadoras OFDM, incrementando la ganancia del sistema, pudiendo esto ser usado tanto para extender el alcance del mismo, superar las pérdidas de penetración de construcciones y/o reducir el consumo de potencia del equipo de abonado.

El uso de subcanalización está más expandido en el acceso OFDM para permitir un uso más flexible de los recursos que puedan soportar la operación móvil.

5.3 Acceso al medio

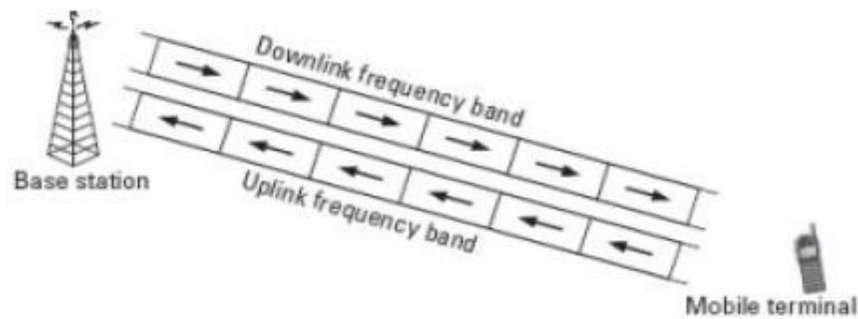
En las comunicaciones bidireccionales que comparten un mismo medio de propagación es necesario establecer algún mecanismo para el control del acceso. Los métodos principales son FDD basado en reparto de la frecuencia y TDD, basado en reparto temporal.

5.3.1 Técnica FDD

La técnica FDD, o transmisión bidireccional por división en frecuencia. Se basa en la utilización de dos bandas diferentes de frecuencia para la transmisión, una para el envío y otra para la recepción. Esta técnica es la utilizada en telefonía móvil de segunda generación (GSM)²⁷ y tercera generación.

²⁷ GSM Global System for Mobil Comunication

Figura 6. Técnica FDD²⁸



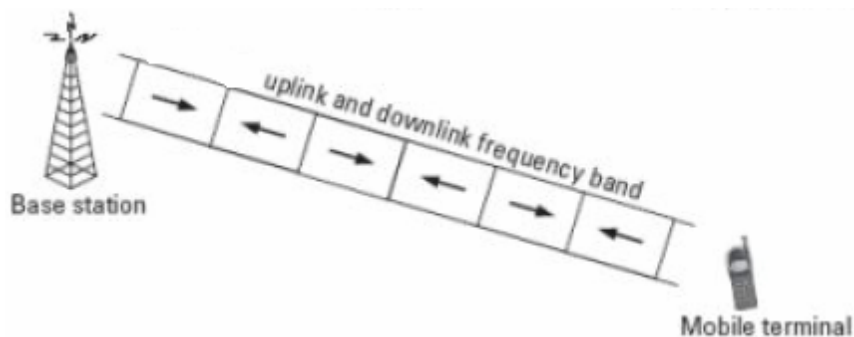
Como desventaja tiene el hecho de tener que recurrir a buenos filtros separadores de frecuencia. Este tipo de filtros reciben el nombre de duplexores. Esta técnica es la que mejor se adapta al tráfico de voz, ya que permite tener un retardo mínimo, pero por contrario es la que requiere una implementación más costosa principalmente por la adquisición de la licencia para operar en el espectro. En general, se recomienda su utilización en entornos con patrones de tráfico predictivos, donde el costo del equipamiento es más importante que la eficiencia espectral.

5.3.2 Técnica TDD

La técnica TDD, o transmisión bidireccional por división en tiempo. A diferencia de la técnica FDD, se utiliza una única banda de frecuencia para envío y recibo de la información, compartiendo los periodos de transmisión. Es una técnica muy eficiente para tráfico asimétrico, ya que se acomoda al perfil del tráfico por lo que se considera más adecuado para perfiles con descargas grandes de Internet.

²⁸ <http://www.quobis.com/index.php>

Figura 7. Técnica FDD²⁹



El estándar WIMAX soporta ambas técnicas de transmisión. Las soluciones para bandas licenciadas recurren a la técnica FDD mientras que las orientadas a bandas libres usan la técnica TDD.

Tabla # 5.
Cuadro comparativo de TDD y FDD³⁰

	TDD	FDD
Descripción	Técnica de duplexación usada en soluciones exentas de licencia y que usa un solo canal para el uplink(enlace de carga) y el downlink (enlace de descarga).	Técnica de duplexación usada en soluciones con licencia que usa un par de canales de espectro, un para el uplink y otro para el downlink.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad mejorada porque no se requiere Espectro en pares. • Más fácil hacer par con tecnologías de antenas Inteligentes. • Asimétrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología probada para voz. • Diseñada para tráfico simétrico. • No requiere tiempo de guarda.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • No puede transmitir y recibir al mismo tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • No puede instalarse si le falta un par al espectro. • Generalmente el espectro tiene licencia. • Costo más elevado con relación a la compra del espectro.
Uso	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de datos asimétricas “explosivas”. • Ambientes con diagramas de tráfico variable. • La eficiencia RD es más importante que el costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ambientes con diagramas de tráfico previsible. • El costo del equipo es más importante que la eficiencia RF.

²⁹ <http://www.quobis.com/index.php>

³⁰ http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp04_espanhol.pdf

5.4 Acceso al medio de los usuarios

Las técnicas para gestionar el acceso múltiple de los usuarios al canal de información son TDMA (Time Division Multiple Access) y CDMA (Code Division Multiple Access), que se usan actualmente en telefonía de 2G y 3G.

TDMA: Se basa en la división del canal en ranuras temporales, transmitiendo los diferentes usuarios con una técnica similar a la del paso de testigo, es decir sólo uno de los usuarios utiliza el canal de manera simultánea.

CDMA: Permite a todos los usuarios transmitir de manera simultánea, algo que era imposible con las técnicas de modulación tradicionales, por lo que se basa en técnicas de espectro ensanchado. Mediante estas técnicas los bits a transmitir por un usuario se reparten a lo largo del canal de una manera pseudo-aleatoria. Otra de las ventajas es la capacidad que proporciona, dada su elevada eficiencia espectral ya que acomoda más usuarios por ancho de banda.

Entre las varias implantaciones existentes de TDMA, cabe destacar el GSM, que utiliza la técnica de saltos de frecuencia. En el caso de TDMA es el switch el encargado de determinar cuando debe conmutar la señal.

5.4.1 Espectro ensanchado por saltos en frecuencia (FHSS)

Es una técnica que confía en la diversidad en frecuencia para combatir las interferencias. Esto se realiza mediante el uso de la modulación FSK (Frequency Shift Keying) , basada en códigos. Así, la señal entrante es desplazada en frecuencia en una cantidad determinada dada por un código que extiende la potencia de la señal sobre un ancho de banda amplio.

La ganancia del proceso está asociada al número de frecuencias disponibles para una tasa de transmisión dada. Otro factor importante es la tasa a la que ocurren los saltos. El tiempo mínimo requerido es función de la tasa de bit de información, la cantidad de redundancia utilizada y la distancia a la fuente de interferencias más próxima

5.4.2 Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)

El proceso Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) se realiza mediante la multiplicación de una portadora con una señal digital de pseudo-ruido. Entonces, un mezclador balanceado multiplica la portadora con la señal de información modulada, obteniendo una señal con un espectro ancho, similar al de una señal de ruido. Este ancho de banda tan amplio, permite que la señal caiga por debajo del origen de ruido sin que esto implique una pérdida de la información.

Una característica de esta técnica es que es posible usar otras modulaciones, diferentes de BPSK³¹, para incrementar la tasa de transmisión. Este aumento de ganancia conlleva una reducción equivalente en la ganancia del proceso, dada la relación entre el ancho de banda y la tasa de chip.

5.5 Capa MAC

El estándar 802.16 fue desarrollado desde sus inicios con la condición de que fuera capaz de entregar servicios de banda ancha incluyendo el tráfico de voz, datos y video. La capa MAC del estándar está diseñada de tal manera que puede soportar incrementos bruscos en la demanda de tráfico mientras que al mismo

³¹ BPSK, Binary Phase Shift Keying

tiempo soporta tráfico de voz y video los cuales son sensibles a la latencia en el canal.

Los recursos que el planificador MAC asigna a un terminal, pueden variar desde una sola ranura temporal "time slot" hasta una trama entera, de esta manera se tiene un gran rango dinámico de salida para el terminal de un usuario específico en cualquier momento. La estructura de las tramas permite a las terminales asignarles perfiles de burst dinámicos para el uplink o downlink dependiendo de las condiciones del enlace. Esto permite la compensación entre capacidad y robustez en tiempo real, otorgando así un incremento de casi el doble en la capacidad promedio al compararse con sistemas no adaptables, mientras mantiene una apropiada disponibilidad del enlace.

La capa MAC 802.16 utiliza un protocolo de unidad de datos (PDU) de longitud variable, así como otros conceptos, los cuales incrementan grandemente la eficiencia del estándar. Múltiples PDUs de MAC pueden ser concatenados dentro de un solo burst para evitar la sobrecarga de la capa Física. Adicionalmente, múltiples Unidades de Datos de Servicio (SDU) para el mismo servicio pueden ser concatenados dentro de un solo PDU de MAC, evitando la sobrecarga del encabezamiento del MAC.

La fragmentación permite a los SDUs muy grandes ser enviados a través de los límites de las tramas para garantizar la QoS de otros servicios. La eliminación de la carga del encabezamiento puede utilizarse para reducir la sobrecarga causada por las porciones redundantes de los encabezamientos del SDU.

El MAC utiliza un esquema de auto-corrección de solicitud/concesión del ancho de banda, el cual elimina la sobrecarga y el retraso de los reconocimientos, mientras

que simultáneamente permite un mejor manejo del QoS que los esquemas de reconocimiento tradicionales³².

Las terminales cuentan con una variedad de opciones disponibles para solicitar ancho de banda, dependiendo del QoS y los parámetros de tráfico de sus servicios. Pueden ser escogidos individualmente o por grupos. Incluso pueden robar ancho de banda ya asignado y realizar la solicitud para obtener mas.

La capa MAC está compuesta de 3 subcapas³³:

- **Service-Specific Convergence Sublayer (CS):** Se encarga de transformar los datos de las redes externas y pasarlos a la MAC CPS convertidos en *service data units* (SDU), que son las unidades de datos que se transfieren entre capas adyacentes. Se encuentra sobre la MAC CPS y utiliza los servicios suministrados por ésta.
- **MAC Common Part Sublayer (MAC CPS):** Es el núcleo de la toda la capa MAC y suministra los servicios de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, establecimiento y mantenimiento de la conexión. En esta subcapa se prestan los servicios de planificación que representan los mecanismos de manipulación de datos soportados por el planificador de la MAC para el transporte de datos en una conexión las cuales está asociada a un solo servicio de datos el cual a su vez, está asociado a unos parámetros de QoS que son quienes determinan su comportamiento.

Existen cuatro tipos de servicios:

- Concesión no Solicitada (UGS)
- *Polling* en tiempo real (rtPS)
- *Polling* no en tiempo real (nrtPS)
- Mejor Esfuerzo (BE)

³² ³² <http://www.guatemwireless.org/wimax-el-estandar-ieee-80216>

³³ <http://www.eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0638t.pdf>

Security Sublayer: Presta los servicios de autenticación, intercambio seguro de claves y cifrado. Permite proveer a los usuarios un servicio de banda ancha seguro a través de su conexión fija mediante el cifrado de las conexiones, y al operador protegerse contra las conexiones no autorizadas forzando el cifrado.

5.5.1 Servicio MAC de planificación

La principal función del servicio MAC de planificación es dar el correcto tratamiento QoS al variado tráfico que se transmite en el enlace de aire y a su vez optimizar los recursos del enlace. Este servicio de planificación de WIMAX esta diseñado para manejar eficientemente los servicios de banda ancha de datos incluidos voz, datos y video variando el canal inalámbrico

El planificador del enlace de aire corre sobre la BS³⁴, se considera que pertenece a la capa MAC de la BS, este planificador determina los contenidos de DL³⁵ y UL en cada trama, cuando se utilizan modos opcionales como diversidad en transmisión, AAS³⁶ y MIMO³⁷, la capa MAC divide el UL³⁸ y DL en sub tramas para hacer y una zonificación para poder clasificar las SS que están utilizando alguno de estos esquemas, así el planificador asigna oportunidades de transmisión a las MS³⁹ individualmente dentro de la zona en la estén operando, en OFDM, en el DL las oportunidades de transmisión son time slots mientras que en OFDMA UL y DL las oportunidades de transmisión son time slots dentro de subcanales individuales.

El planificador determina los requerimientos de ancho de banda de las MS individuales basados en las clases de servicios de las conexiones y el estado de las colas en la MS y BS. La BS monitorea sus propias colas y determina los

³⁴ BS, Estación Base

³⁵ DL, Down Link o enlace de bajada

³⁶ AAS, Adaptive Antenna System

³⁷ MIMO, Multiple Input Multiple Output

³⁸ UL, *Up Link* Enlace de Subida

³⁹ MS, Mobile Station

requerimientos del DL y utiliza varios mecanismos de sondeo para mantenerse informado de los requerimientos de la MS para en UL.

También hay un planificador de paquetes en la BS y la MS. Este planificador planifica los paquetes de las colas de transmisión dentro de las oportunidades de transmisión asignadas a la MS dentro de cada trama.

5.5.2 Características del servicio MAC de planificación

El planificador MAC debe asignar eficientemente los recursos disponibles en el caso de que se de un aumento brusco en el la demanda del tráfico y un cambio en las condiciones de el canal ya que este es variante con el tiempo. El planificador se encuentra localizado en cada estación base para permitir una rápida respuesta a los requerimientos del tráfico y las condiciones del canal.

Los paquetes de datos son asociados a un flujo de servicio con sus parámetros QoS, entonces el planificador puede determinar el orden de transmisión sobre la interfaz de aire. Los servicios del planificador están disponibles para el DL y el UL tráfico. Para que el planificador MAC haga una eficiente asignación de recursos y pueda proveer el QoS deseado, el UL debe retroalimentar con información como las condiciones de tráfico y los requerimientos QoS.

5.5.2.1 Asignación de recursos dinámica

La capa MAC soporta la asignación de recursos en frecuencia o tiempo. La asignación de recursos es entregada en mensajes MAP (Media Acces Protocol) en el comienzo de cada trama. El planificador es quien maneja el transporte de datos

en cada conexión, cada conexión esta asociada un único servicio de datos con grupo de parámetros de QoS que cuantifican los requerimientos del QoS.

5.5.2.2 Soporte de la calidad de servicio (QoS)

Actualmente la tecnología WIMAX se encuentra todavía en evolución continua. Todos los esfuerzos que se realizan no sólo a facilitar la integración de redes para proveedores de servicios sino que también proporcionan a los abonados una mejor experiencia. En efecto, WIMAX ya no se considera como un suministro de la tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha, sino que, con su capacidad para proporcionar la próxima generación de servicios

“QoS se refiere a la capacidad que tiene la red para proveer mejor servicio a tráfico de red seleccionado con diversas tecnologías. El objetivo de las tecnologías QoS es darle la prioridad (que incluya el ancho de banda dedicado para controlar la fluctuación y la latencia) requerida para el tráfico interactivo en tiempo real, y asegurarse, de esta manera, que el tráfico en los otros paths (rutas) no falle. En general, las bandas sin licencia pueden estar sujetas a problemas de QoS porque la instalación está abierta a todos. No obstante, los avances en los estándares asociados y tecnologías relacionadas ayudan a mitigar problemas con bandas sin licencia”⁴⁰.

La capa MAC es responsable de hacer diferencia entre los diversos niveles de QoS requeridos por las aplicaciones (servicios multimedia, VoIP, streaming de video, entre otras) que pueden correr a través de 802.16. El establecimiento de la calidad de servicio (QoS) para 802.16 se hace basado en el CID, tanto para modo PMP como para modo Mesh.

⁴⁰ http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp03_espanhol.pdf

Un aspecto importante respecto al tema de la QoS es el modelo de petición/concesión de ancho de banda, que ayuda para que unos usuarios no se interfieran con los demás, ya que la BS reserva un *slot* para contención, durante el cual una SS realiza una petición de un *slot* para el uplink, y luego la BS evalúa el nivel de servicio adquirido por ese usuario y le asigna un *slot* para que éste transmita la información.

5.5.2.2.1 QoS en modo Mesh

En modo enmallado no se definen clases de servicio, sino que dentro del mismo paquete de una conexión *unicast* se definen los parámetros de QoS asociados a dicho paquete, los cuales dependen del CID que él mismo lleva.

5.5.2.2.2 QoS en modo PMP

Los modelos de red en las topologías de red punto-multipunto se hacen considerando la demanda de ancho de banda y la clase de aplicación que estén ejecutando las SS, ya que algunas de éstas permiten ciertas características que otras no, como por ejemplo los retardos en la transferencia de los paquetes. Además también se tiene en cuenta que los usuarios no demandan tanto ancho de banda de subida como de bajada ni todos se conectan al mismo tiempo.

“Cuando culmina el registro de la SS en la red, el sistema descarga desde la base de datos del flujo de servicio los parámetros que tiene asignada esa SS y mediante ellos caracteriza su conexión definiendo un nivel de QoS que puede ser Oro, Plata o Bronce y según éste se aplican ciertas reglas a la conexión.”⁴¹.

⁴¹ <http://eav.upb.edu.co/banco/files/EstandarIEEE80216.pdf>

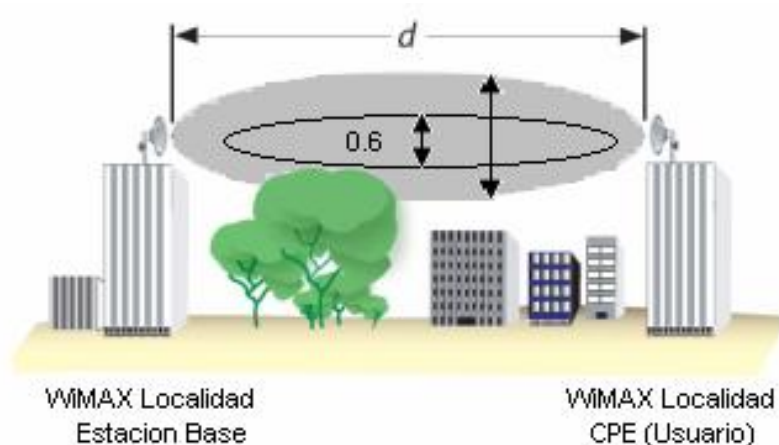
5.6 Portadora simple 802.16

Se diseño con el fin de dar soporte a las aplicaciones de radio enlace como la necesidad de línea de vista (LOS) o sin línea de vista (NLOS) entre la antena y el equipo suscriptor. Actualmente existen enlaces inalámbricos fijos de banda ancha solamente pueden suministrar cobertura para línea de vista (LOS), la tecnología WIMAX ha sido mejorada para suministrar una excelente cobertura sin línea de vista (NLOS). Esta tecnología permite la mejor cobertura de larga distancia hasta los 50 KM en condiciones LOS y celdas de radio típicas hasta los 8 Km dentro de condiciones NLOS.

5.6.1 NLOS y LOS

El canal de radio de una red inalámbrica se describe como con línea de vista (LOS) o sin línea de vista (NLOS). En un enlace con línea de vista la señal viaja a través de un camino directo y sin obstrucciones desde el transmisor hasta el receptor.

Figura 8. Zona de Fresnel LOS⁴²



⁴² Freeman, R, Radio System Design for Telecommunications (1-100 GHz), New York, Wiley and Sons)

En la figura anterior se muestra que un link LOS requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel esté libre de obstrucciones. Si no se tiene en cuenta esta exigencia existirá una baja de la intensidad de señal, la zona de despeje de Fresnel requerida depende de la frecuencia de operación y de la distancia entre transmisor y localidades receptoras.

La zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en cuenta además de haber una visibilidad directa entre las dos antenas. Este factor procede de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de señal recibido

En un enlace NLOS, la señal alcanza al receptor por medio de reflexiones, difracciones y dispersiones. Todas las señales que alcanzan al receptor consisten en componentes del camino directo, caminos reflejados múltiples, energía de dispersión y caminos de propagación por difracción. Estas señales poseen distintos retardos, atenuaciones, polarizaciones y estabilidad relativos al camino directo.

El fenómeno de caminos múltiples puede también causar el cambio de la polarización de la señal; de esta manera, usar polarización para el uso de frecuencias, como es realizado normalmente en los sistemas LOS, puede ser problemático para los sistemas NLOS.

La manera en que los sistemas de radio usan estas señales de múltiples caminos como una ventaja, es la llave para suministrar servicio en aplicaciones NLOS. Existen ventajas que hacen las aplicaciones NLOS muy deseables. Por ejemplo, proyectos muy estrictos y restricciones de altura de antenas que a veces no permiten a la misma estar posicionada para LOS.

La tecnología NLOS también acorta los gastos de instalación del equipamiento de abonado (CPE) haciendo la instalación una realidad y facilitando la adecuada ubicación de estos equipos. La tecnología también reduce la necesidad de un sitio de pre instalación mejorando la precisión de las herramientas de planificación de NLOS.

La tecnología NLOS y las funciones ampliadas en WIMAX hacen posible el uso de equipo de abonado (CPE) en interiores. Esto posee dos desafíos principales.

Mientras la mayoría de las tecnologías inalámbricas disponibles en la actualidad pueden proporcionar solamente cobertura con visión directa (LOS) entre transmisor y receptor, las técnicas empleadas en la capa física y la estabilidad y robustez de la capa de acceso al medio (MAC) hacen que WIMAX pueda proporcionar cobertura con buena calidad de servicio en condiciones en que no hay visión directa (NLOS). Con WIMAX se cubren las dos posibles situaciones del medio inalámbrico, dispone de cobertura para grandes distancias (del orden de 30 km.) para LOS y se puede usar en celdas del orden de 5 km para condiciones NLOS como vemos en la siguiente figura.

Figura 9. LOS (línea de vista) y NLOS (sin línea de vista)⁴³



⁴³ http://telecomid.webs.upv.es/ftp/CD/Programa%20I+D%202007_07_14_archivos/pdf/8.pdf

6. FAMILIA DE ESTÁNDARES DEL 802.16 PARA WIMAX

6.1 Estándar 802.16a

Es una actualización que se publicó en el mes de enero del 2003 en donde se especificaron algunas aplicaciones para acceso de última milla. En este estándar el tamaño del canal es variable entre 1.5 y 20 Mhz, con velocidades de hasta 7.5 Mbps. Define la interfaz aire para los sistemas de acceso inalámbricos fijos PMP que soportan varios servicios.

Una de las propiedades que hace que se destaque el estándar 802.16a es la modulación adaptativa capaz de ofrecer diferentes velocidades de transmisión, calidad y facilitar el cambio de velocidad de transmisión para optimizar el espectro. El estándar soporta tanto FDD como TDD lo que permite la interoperabilidad tanto con otros dispositivos inalámbricos como con dispositivos celulares. Como sistema es punto a multipunto, se utiliza un mecanismo de acceso múltiple al enlace ascendente y el esquema utilizado es el TDMA.

El MAC es orientado a conexión, de forma que cada comunicación establecida entre la estación base y un equipo terminal lo hace por una conexión determinada. Además, en el momento en que un equipo terminal se registra en la estación base, ésta establece una serie de conexiones predefinidas, que permiten tanto la gestión del equipo terminal, como la solicitud del ancho de banda por parte de éste.

El estándar tiene definidos cuatro métodos de reserva de anchura de banda, para cuatro tipos de servicios diferentes:

- **Servicio garantizado no solicitado:** la estación base asigna periódicamente espacio disponible en el enlace ascendente para cada conexión de este tipo que se haya establecido.

- **Servicio con sondeo en tiempo real:** diseñado para el soporte de conexiones en tiempo real que generen paquetes de tamaño variable según intervalos de tiempo constantes.
- **Servicio de sondeo en tiempo diferido:** diseñado para el soporte de conexiones que no presentan requisitos de tiempo real.
- **Servicio best effort:** pensado en el tráfico de este tipo, como podría ser el acceso a Internet.

6.2 Estándar 802.16b

La extensión 'b' del estándar 802.16b se caracteriza por aportar al protocolo una fuerte calidad de servicio. La extensión permite una amplia línea de visión para transmitir con baja distorsión debido a los edificios, lluvia o vehículos, e incluso puede priorizar los diferentes tipos de tráfico. En el caso específico de las aplicaciones se puede distinguir la calidad de servicio que necesita cada una de ellas⁴⁴. El 802.16b también permite adaptar la capa MAC de acuerdo al grado de servicio adecuado para cada una de las aplicaciones resultando más eficiente comparado con la implementación de capas de control adicionales sobre esta capa.

3.3 Estándar 802.16e

“El estándar 802.16e es una enmienda a la especificación base 802.16-2004 y su objetivo es el mercado móvil al agregar portabilidad y el recurso para clientes móviles con adaptadores IEEE 802.16a para conectar directamente la red WIMAX al estándar.”⁴⁵

⁴⁴ ejemplo, para transmitir vídeo se necesita poca latencia pero se pueden permitir errores de transmisión, en cambio existen otras aplicaciones que no pueden tener errores pero pueden admitir cierto retraso.

⁴⁵ http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp03_espanhol.pdf

Fue aprobado en diciembre de 2005, este nuevo estándar ofrece la característica clave de la movilidad que no poseía el estándar 802.16-2004. Este estándar requiere una nueva solución de hardware y software ya que este no es compatible con el anterior 802.16-2004, algo que no es exactamente bueno para algunos operadores que planean extender el 802.16-2004 para después llegar al 802.16e

La principal razón de esta incompatibilidad es que el 802.16e usa S-OFDMA (“Scalable-OFDMA”) tanto en el enlace ascendente como en el descendente. S-OFDMA significa que el número de sub portadoras OFDM aumenta, o escala (de 128 subportadoras hasta 2.048 subportadoras), según sea la señal de radio frecuencia recibida por el usuario, los requerimientos del usuario y el ancho banda del canal de radio que se este usando.

Mientras que el 802.16-2004 solo permite la utilización 256 subportadoras para OFDM el 802.16e-2005 utiliza S-OFDMA con un esquema escalable de 128, 512, 1024, 2048 sub portadoras Además se tiene el inconveniente de que la capa MAC (Media Access Control) es diferente en ambos estándares ya que, para efecto de soportar la movilidad se que agregó un encabezado con información de control.

6.4 Estándar 802.16f

El IEEE 802.16 fue creado en agosto del 2004. Su objetivo fue definir la (MIB) para la MAC, PHY y los procedimientos de gestión IEEE 802. provee una gestión de referencia del modelo 802.16-2004 basado en redes.

El modelo consiste en un sistema de gestión de red (NMS), nodos administrados y base de datos de flujo de servicio. La BS y los nodos administrados coleccionan y gestionan información requerida a la NMSs por los protocolos de gestión, como el protocolo simple (SNMP) sobre la gestión de conexión secundaria definida en

802.16-2004. IEEE 802.16f está basado en la versión SNMP 2 (SNMPv2), el cual es compatible con SNMPv1. 802.16f que provee soporte opcional para SNMPv3.

6.5 Estándar 802.16g

El estándar 802.16g fue iniciado en agosto del 2004. El alcance de 802.16g es producir procedimientos y enmiendas de servicio para 802.16 y 802.16e. Provee un esquema de gestión de red para permitir interoperar y gestionar eficientemente los recursos de la red; recursos como movilidad, espectro y estandarización para dispositivos fijos y móviles en el 802.16-2004. El 802.16g define un *generic packet convergence sublayer* (GPCS) como capa superior.

GPCS fue diseñado para facilitar la gestión de conexión pasando información de protocolos de capa superior sin necesidad de decodificar su encabezado. Esto se logra permitiéndole al protocolo de capa superior pasarle la información GPCS al *punto de acceso de servicio* (SAP). Dado que dispositivos en el 802.16 pueden pertenecer a una red mayor, ellos requieren interactuar con entidades para los propósitos de gestión y de control. El 802.16g abstrae un *network control and management system* (NCMS) que interactúa con los BSs.

NCMS consta de diferentes servicios como son los servicios de llamado, puertas traseras y servicios de enrutado, servicios de sincronización, servicios reserva de datos, servicios de coordinación, servicios de la gestión, servicios de seguridad, servicios de gestión de red, etc. Estas entidades pueden estar centralizadas o distribuidas a través de la red.

6.6 Estándar 802.16h

El propósito principal de IEEE 802.16h es desarrollar mecanismos mejorados de la MAC para permitir compatibilidad entre dispositivos exentos de licencia del 802.16-2004 y facilitar compatibilidad con otros sistemas usando la misma banda.

El estándar 802.16h diseña un protocolo compatible, el cual está definido en el nivel IP y es intencionalmente primordial para la comunicación BS-BS. El protocolo introduce mecanismo para tomar y negociar los recursos de espectro de radio entre la MSs dentro del rango de frecuencia. El procedimiento utilizado por el protocolo para la resolución de interferencia esta basado en la separación de la interferencia en la frecuencia y los dominios de tiempo.

6.6.1 MAC Enhancement for Coexistence

Es el proceso de proporcionar realce a la MAC para soportar comunicación usando bandas exentas de licencia y descoordinadas.

- **Capability negotiation:** Es un mecanismo provisto en la capa MAC por la BS para saber las capacidades de la SS y sus funcionalidades para soportar banda exenta de licencia.
- **Extended channel numbering structure:** Es usado para definir el ancho de banda del canal y mejorar el manejo de interferencia. Este procedimiento le provee el realce a la canalización y la definición de números del canal. Define tres esquemas de canalización; número del canal extendido, el cual especifica el número de referencia del canal; Base de referencia del canal, la cual define el rango de frecuencia y el canal espaciando, que define el valor en incrementos de 10 kHz.

- Measurement and reporting: es un proceso para definir mecanismos y mensajes en la capa MAC para medir y reportar niveles de interferencia y el ancho de banda usado.

6.7 Estándar 802.16i

El proyecto IEEE 802.16i fue iniciado en diciembre del 2005 para corregir o reemplazar el 802.16f. El alcance de 802.16i es proveer movilidad a la capa MAC, capa PHY y procesos de gestión. Usa metodologías de protocolo neutrales por la gestión red para especificar modelos de recurso y relacionar juego de soluciones y gestionar los dispositivos en una red móvil.

6.8 Estándar 802.16j

El estándar 802.16j es iniciado en Julio de 2005 con el fin mejorar el 802.16 en la convergencia de redes, cobertura de redes y capacidad del sistema. El 802.16j extiende la infraestructura de la red del legado 802.16 e incluye tres tipos de pases: pases fijos, pases nómadas y pases móviles. 802.16j está obligado a habilitar la operación de los pases de nodos sobre la banda licenciada. El 802.16j define los realces necesarios de la capa MAC mientras al mismo tiempo no cambian las especificaciones de la SS.

El estándar 802.16j definió unos tipos de RS: capacidad de soportar enlaces PMP, enlaces MMR, y agregación de tráfico de RSs múltiple. Para facilitar la comunicación de RSs con BS, se requieren cambios en BS para soportar conexiones MMR y agregación de tráfico de RSs múltiple. Para conseguir requisitos MMR, 802.16j realiza la estructura normal del marco en la capa PHY y agrega mensajes nuevos para pasar a la capa MAC.

6.9 Estándar 802.16k

El estándar 802.16k fue creado en marzo del 2006 para desarrollar una serie de estándares como mejoras a la capa MAC del 802.16. El grupo de estudio del 802.16k se puso en marcha con el fin de definir procedimientos necesarios y realces de la capa MAC para permitirle 802.16-2004 soportar funcionalidad definida en 802.1D.

Tabla 6.
Comparación de los diferentes versiones del estándar⁴⁶ 802.16

Versión WiMAX	Fecha publicación	Motivación	Cobertura máxima	Rango frecuencia	Otros comentarios
802.16	2001/2002	Primera versión.	5 km	10 – 66 GHz	Sólo para portadora única con LOS (SC).
802.16a	2003	Incluir NLOS.	50 km	2 – 11 GHz	Tres nuevos interfaces de radio: Portadora única con NLOS (SCa), OFDM 256 y OFDMA 2048.
802.16b	2001/2002	Para tratar las bandas de frecuencia sin licencia (WirelessHUMAN).	Sin definir	5 – 6 GHz	Se incluye QoS para audio y video en tiempo real.
802.16c	Finales 2002	Para crear los perfiles del sistema de LOS.	50 km	10 – 66 GHz	Se actualiza y completa la primera versión del estándar.
802.16d	Junio 2004	Perfeccionar el 802.16a.	50 km	2 – 11 GHz	Reemplaza a todas las versiones anteriores.
802.16e	Marzo 2006	Incluir movilidad en el estándar.	5 km	2 – 6 GHz	Con velocidades máximas del móvil de unos 250 km/h.
802.16f	Dic. 2005	Incluir funcionalidad multi-hop.	-----	-----	Permite la creación de redes Ad-Hoc.
802.16g	-----	Incluir un handover eficiente.	-----	-----	Pretende mejorar la QoS.

⁴⁶ http://telecomid.webs.upv.es/ftp/CD/Programa%20I+D%202007_07_14_archivos/pdf/8.pdf

7. DESAFÍOS TÉCNICOS Y COMERCIALES DE WIMAX

Actualmente todas las tecnologías que salen se enfrentan a desafíos ya sean técnicos como comerciales, los cuales deben afrontar y superar para convertirse en un éxito técnico y comercial. La tecnología WIMAX se enfrenta a desafíos como arquitectura incompleta de la red, tiempo correspondiente a pruebas de interoperabilidad, interfaces de estándares además de la competencia.

Una de esas competencias es la telefonía UTMS de tercera generación (3G) que ya está desplegada y en funcionamiento, siendo la opción natural en aquellas áreas y espacios donde no exista cobertura ADSL (Cable Ethernet) o WiFi. Para tratar de contrarrestar el avance WIMAX los promotores y operadores de telefonía móvil 3G ya tienen lista una mejora de la actual tecnología W-CDMA, denominada HSDPA o 3.5G, que puede trabajar con las radio bases actuales y que supuestamente tiene picos de transmisión de hasta 10 Mbps. Aunque muchos prevén una dura batalla entre WIMAX y HSDPA, se piensa que ambas tecnologías, a pesar de ofrecer servicios y prestaciones similares, son complementarias. Mientras WIMAX tiene una orientación más específica a la transmisión de datos y cercana a las aplicaciones informáticas convencionales, las tecnologías móviles de nueva generación seguirán apostando a las comunicaciones de voz, aunque acompañadas con servicios de datos. Mientras que los sistemas dotados de la tecnología HSDPA, podrían ser utilizadas por aquellos que quieren, por ejemplo, descarga su correo mientras viajan en un automóvil o en tren.

Otro desafío para WIMAX en cuanto a competencia es Max-Fi el cuál se trata de una red WiFi de largo alcance, que cumple con la mayoría de lo que propone la

tecnología [WIMAX](#), pero con costos muy bajos con respecto a WIMAX. Esta red tiene un rango de 2 Km y permite transferencias de 1 o 2 Mbps. Cada estación Max-Fi tiene 4 radios 802.11a/b/g y puede soportar hasta 300 usuarios.

Los creadores de MaxFi aseguran que WIMAX ofrece más banda ancha, ellos también pueden llegar al 80 por ciento de esa banda ancha, pero con sistemas menos poderosos y menos costosos. Actualmente esta tecnología se está utilizando en el puerto de Antwerp, en la ciudad portuaria de Bélgica. Allí tienen instalado 14 puntos de acceso que cubren aproximadamente 30 Km cuadrados.

7.1 Avances en el área de uso y el consumo de energía

Un desafío técnico para WIMAX son los componentes de radio digital que siguen siendo difíciles de fabricar. Sin embargo, investigadores esperan ver avances importantes en cuanto a costos, tamaño de chips y funcionamiento simultáneo de radio. En el caso de las multiradios WIMAX la capacidad de crear radios más pequeños resulta decisivo para lograr una eficiencia energética y de formato. Con tamaños más pequeños de componentes, los fabricantes podrán incluir las tecnologías e interfaces necesarias para hacer que la multiradio funcione sin problemas en cualquier infraestructura de comunicaciones consiguiendo así resolver problemas de interferencia de plataformas y amortiguar el ruido.

7.2 Transmisores y receptores de WIMAX con la tecnología de MIMO - NXP

Con esta tecnología MIMO WIMAX en la industria, la nueva familia de NXP de transmisores-receptores de UXA234xx permite a WIMAX mejorar el alcance y conducir mayor ancho de banda y eficacia espectral, siendo especialmente eficaz para tener acceso a una conexión de WIMAX en zonas urbanas densas.

Estos nuevos transmisores-receptores de WIMAX garantizan la entrega completa entre las estaciones base, que es uno de los desafíos más grandes para los diseñadores del equipo de WIMAX. Esta nueva tecnología de transmisor-receptor de WIMAX también entrega una óptima interoperabilidad con variedad de bandas bases utilizando el análogo estándar I/Q y la interconexión serial, y se entiende con estándares celulares, de WLAN y de Bluetooth.

7.3 Interfaz aérea incompleta

Es posible que el organismo encargado de fijar los estándares del IEEE no asigne suficiente tiempo para que las propuestas se revisen y analicen adecuadamente antes de ser elegidas y potencialmente, adoptadas en el estándar. Además de que se presenten muchas propuestas al foro para su revisión y posible aceptación en el estándar. Esto puede reflejar que cuando se realiza mucho trabajo e relación con un estándar, es inevitable que salgan problemas imprevistos. El ejemplo más documentado de pronto UMTS⁴⁷ fue confirmado en el año 2001, pero que nunca logró su expectativa técnica y éxito comercial hasta pasados dos o tres años.

7.3.1 Arquitectura incompleta de la red

El estándar 802.16e sólo se refiere a las capas físicas (PHY) y de control de acceso medio (MAC), y depende del Foro WIMAX empezar temas como el control de llamadas, administración de sesiones, seguridad, arquitectura de la red, roaming, etc. Para poner las cosas en vista, tal como está escrito el estándar en la actualidad, cada estación base WIMAX es casi ajena a las estaciones base que la

⁴⁷ UMTS, Sistema Universal de Telecomunicación Móvil

rodean, mientras que la capa MAC sólo tiene *placeholders* para el tráfico de mensajes relacionado con la implementación de un *handover*.

7.3.2 Prueba de interoperabilidad y pruebas de campo en el mercado

La prueba de interoperabilidad siempre requiere más tiempo que el previsto, en particular si se está probando un estándar completamente nuevo y si participan compañías que por lo general no están acostumbradas a este tipo de actividad. Si se supone que la prueba de interoperabilidad es exitosa y que hay disponibles soluciones comercialmente viables, los potenciales operadores podrían pasar meses realizando pruebas de campo antes de pasar a la prueba de mercado y luego posiblemente a una instalación comercial de mayor escala.

7.4 Economías inciertas

Así como sucede con otras tecnologías inalámbricas, la economía de emplear WIMAX para ofrecer servicios inalámbricos fijos en regiones del mundo donde los despliegues wireline aún no han tenido lugar o donde hay poca competencia es atractiva. Al descartar la necesidad de extender cobre o fibra, un operador puede reducir significativamente sus gastos de capital iniciales mientras que a la vez, reduce el riesgo de que haya problemas con el servicio causados por el vandalismo o por el robo de los cables colocados bajo tierra.

7.5 Oportunidades de mercado para WIMAX

Existen varias oportunidades de mercado para WIMAX, algunas más factibles que otras. En muchas solicitudes, estas oportunidades hoy se enfrentan mediante

soluciones patentadas de pequeñas compañías, lo cual quiere decir que no se está creando una nueva oportunidad de mercado, sino más bien que se está redefiniendo.

7.5.1 Mercados desarrollados y subabastecidos

En varias regiones del mundo, el cable de cobre hasta una casa o una empresa simplemente no existe. En estas situaciones, una oferta inalámbrica fija basada en un estándar abierto puede tener un mejor sentido económico que desplegar cables de cobre que pueden ser fácilmente robados y revendidos en el mercado abierto.

Varias de las compañías que fueron miembros fundadores del Foro WIMAX han estado proveyendo estaciones radio base y CPE a estos mercados durante algunos años. El mercado total hasta el momento ha sido relativamente pequeño, pero las tecnologías han suministrado una oferta de servicios muy necesaria en esos países.

7.5.2 Reemplazo y extensión de DSL y cable módem

Actualmente existen en el mundo muchos mercados en desarrollo, en los cuales existen regiones de países en donde la economía de instalar cables o poner DSLAM no tiene sentido. Para estos casos, una tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha fija podría ser más apropiada. Hoy en día hay una serie de WISP (Wireless Internet Service Providers). Los costos de infraestructura total y los números de abonados han sido muy moderados. Sin embargo, la disponibilidad de equipos WIMAX en grandes volúmenes de una cierta cantidad de proveedores podría ayudar a mejorar la economía y a su vez aumentar el tamaño del mercado.

8. VULNERABILIDAD, RIESGO Y ATAQUES DE LA REDES WIMAX

8.1 Vulnerabilidad

La principal vulnerabilidad de de WIMAX es la falta de una estación base certificada la cual es necesitada para una autenticación mutua. Sin autenticación mutua, la estación suscriptora no pueden verificar que protocolo de autorización del mensaje recibido son de la estación base.

Esto permite que la estación suscriptora este abierta y expuesta ataques de falsificación, permitiéndole cualquier atacante enviarle respuestas a la estación base⁴⁸. Una solución para esto es Wireless Key Management Infrastructure (WKMI), el cual se base en el estándar IEEE 802.11i. WKMI se basa en el uso de certificados que le permiten a las estación suscriptora y estación base Realice autenticación mutua y negociación crucial.

La generación de AK es otra preocupación con el protocolo de autorización. Aunque el estándar asume una generación aleatoria de AK, no impone requisitos. Una debilidad adicional esta en el hecho de que las estaciones base generan el AK, la estación suscriptora debe confiar que la estación base siempre genera un nuevo AK que es criptograficamente separado de todas los demás AKs previamente generados. Para conservar su validez, las estación base deben tener un generador números aleatorios perfecto. Permiéndole a ambos a la estación suscriptora y estación base contribuir a la generación de AK para poder solucionar este problema.⁵⁰

⁴⁸ D. Johnston and J. Walker, Overview of IEEE 802.16 security, *IEEE Security & Privacy*, Vol. 2, pp. 40–48, 2004.

8.2 Riesgos de las redes inalámbricas WIMAX

Actualmente son los varios los riesgos que se derivan de las vulnerabilidades de las redes inalámbricas WIMAX. Ejemplo, se podría realizar un ataque por implantación, de un usuario no autorizado o por la ubicación de un punto de acceso ilegal más poderoso que capte las estaciones cliente en vez del punto de acceso legítimo, interceptando la red inalámbrica. Otra forma posible sería crear interferencias y si es posible la denegación de servicio con solo introducir un dispositivo que emita ondas de radio.

Los puntos de acceso (AP) están expuestos a un ataque de fuerza bruta para averiguar los passwords, por lo que una configuración incorrecta de los mismos facilitaría la invasión de una red inalámbrica WIMAX por parte de intrusos.

A pesar de los riesgos anteriormente expuestos, existen soluciones y mecanismos de seguridad para impedir que cualquiera con el conocimiento y las herramientas adecuadas pueda introducirse en una red. Unos mecanismos son seguros, otros son fácilmente vulnerables por programas distribuidos gratuitamente por Internet.

Cabe aclarar que a diario somos testigos de los distintos pensamientos de los hackers que existen en el mundo actual, podemos deducir que en el campo de la seguridad para redes inalámbricas un hacker puede entrar a la red de una entidad a través de un punto de acceso sin protección o a través de una estación de trabajo. Una vez que esté asociado con la red, va a ser difícil de detectar porque probablemente no sea visible, además estas personas utilizan los recursos de la entidad sin despertar sospecha y es posible que nunca lo descubran”.

Para protegerse, las entidades deben asegurarse que los empleados o los hackers no instalen puntos de acceso que no están autorizados en la red y que los puntos de acceso que sí lo están, estén configurados de manera segura. En ambientes densos, como las áreas urbanas o edificios de oficinas con múltiples inquilinos, las

compañías tienen que asegurarse de que los usuarios no se conecten a las redes de otras compañías.⁴⁹

8.3 Ataques a redes inalámbricas WIMAX

Los ataques a las redes inalámbricas se basan en las identificaciones de estas, este es el método para detectar la existencia de un AP de una red inalámbrica. Para esto se utiliza una WNIC (tarjeta de red inalámbrica) funcionando en modo promiscuo y acompañado con un software que permite verificar la existencia de puntos de acceso.

En el momento en que se detecta la existencia de una red abierta, habitualmente se dibuja una marca en el suelo donde se registran las características de la misma. Esto se conoce Wardriving y, una vez realizado, permite disponer de un autentico mapa donde se anotan todos los puntos de acceso con sus datos (SSID, WEP, direcciones MAC, etc...). además del Wardriving existen otros ataques y herramientas para la realización de estos.

8.3.1 Espionaje (surveillance)

Este ataque consiste simplemente en observar todo el entorno de la red inalámbrica, antenas, puntos de acceso, cables de red y todos los dispositivos conectados a la red, con el fin de recopilar información y combinar con otros tipos de ataques. Para la realización de este ataque no se necesita ningún tipo de "hardware" o "software" especial.

⁴⁹ ALAPONT M, Vincent. Seguridad en Redes Inalámbricas: Trabajo Ampliación de Redes. Tesis, Universidad de Valencia España.

8.3.2 Interceptar una señal

En este ataque el atacante intenta identificar el origen y el destino que posee la información, después de haber interceptado la señal, el atacante intentará recopilar información alterable del sistema.

8.3.3 Suplantar una fuente real

Esta técnica de ataque se engloba dentro de los ataques activos, donde un intruso pretende ser la fuente real u original.⁵⁰

8.3.4 WarDriving

Es el método más conocido para detectar las redes inalámbricas inseguras. Se realiza habitualmente con un dispositivo móvil, como un ordenador portátil o un PDA. El método es realmente simple: el atacante simplemente pasea con el dispositivo móvil y en el momento en que detecta la existencia de la red, se realiza un análisis de la misma.

Para realizar el Wardriving se necesitan realmente pocos recursos. Los más habituales son un ordenador portátil con una tarjeta inalámbrica, un dispositivo GPS para ubicar el AP en un mapa y el software apropiado.

⁵⁰ HUERTAS GRAFIA, José Luís. Tecnologías de Red, "Seguridad en redes inalámbricas".

8.4 Herramientas el para monitoreo de redes inalámbricas.

Tabla 7.
Herramientas para el monitoreo de redes inalámbricas⁵¹

Herramienta	Descripciones
NetStumbler	Identificador de APs, escucha los SSID y manda señales buscando APs
Kismet	Sniffer y monitor de WLANs de forma pasiva monitorea el trafico inalámbrico, orden la información para identificar SSIDs, direcciones MAC, canales y velocidades de conexión.
THC-RUT	Herramienta para descubrir WLANs, Usa la fuerza bruta para identificar APS de bajo tráfico- Su primera herramienta en una red desconocida.
Ethereal	Permite surfear de forma interactiva la información capturada, observando información detallada de todo el tráfico inalámbrico.
WepCrack	Rompe la encriptación. Hace un crack de WEP utilizando las vulnerabilidades en la programación de RC4.
AirSnort	Rompe la encriptación, monitorea de forma pasiva las transmisiones, computando la llave de encriptación cuando se han capturado suficientes paquetes.
HostAP	Convierte una estación WLAN para funcionar como un AP.

⁵¹ ALAPONT M, Vincent. Seguridad en Redes Inalámbricas.

CONCLUSIONES

Al iniciar este proceso de recopilar información que nos permitiera conocer mas a fondo sobre el estándar inalámbrico de WIMAX 802.16, no existía mucha información, salvo en los medios técnicos certificados y grandes fabricantes de esta tecnología que estaban al frente de todo lo que ocurría con la evolución de este estándar ; pero al concluir nos damos cuenta que el enorme crecimiento que esta teniendo esta tecnología y la manera como esta entrando en el mercado es bastante ventajoso.

Las tecnologías de banda ancha inalámbrica de alta velocidad basadas en el estándar IEEE 802.16 prometen abrir oportunidades de mercado económicamente viables para operadores, proveedores de servicio de Internet inalámbrico y fabricantes de equipamiento. La flexibilidad de la tecnología inalámbrica, combinada con la alta velocidad, escalabilidad, alto alcance y funciones de calidad de servicio del estándar IEEE 802.16 ayudarán a llenar los vacíos de cobertura de banda ancha y alcanzar millones de nuevos clientes residenciales y de negocios en todo el mundo.

Así como en todo nuevo proyecto, se inicio dando a conocer las generalidades de la tecnología WIMAX, de quienes la conforman, como funciona para después fundamentar sus bases teóricas como las técnicas de modulación, multiplexacion, estructura de la capa MAC y PHY, calidad de servicio, seguridad entre otros aspectos relevantes que llevan a tener un buen concepto y conocimiento de cómo funciona esta tecnología, para después dar a conocer sus extensiones que ofrece el estándar 802.16.

BIBLIOGRAFÍA

- Freeman, R, Radio System Design for Telecommunications (1-100 GHz), New York, Wiley and Sons).
- WiMAX Standards and Security (WiMAX), Syed A. Ahson, Mohammad Ilyas
- D. Johnston and J. Walker, Overview of IEEE 802.16 security, *IEEE Security & Privacy*, Vol. 2, pp. 40–48, 2004.
- ALAPONT M, Vincent. Seguridad en Redes Inalámbricas: Trabajo Ampliación de Redes. Tesis, Universidad de Valencia España.
- HUERTAS GRAFIA, José Luís. Tecnologías de Red, “Seguridad en redes inalámbricas”.
- http://www.quobis.com/index.php?option=com_docman&task=doc_view&id=2
Wimax: La revolucion Inalambrica
- syc.escet.urjc.es/moodle/file.php/50/moddata/forum/144/13417/Memoria_Introduccion_a_WiMAX.pdf.
Introducción a WiMAX, por Carlos Aguilar P y Julián del Castillo P.
- http://www.unicontacto.com/document/Charla_URBE_Nov_2005.ppt
Acceso Inalámbrico Banda Ancha por Prof. DIÓGENES MARCANO
- <http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/304471.pdf>
De qué manera Entender Wi-Fi y WiMAX como Soluciones de Acceso para Áreas Metropolitanas
- http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp04_espanhol.pdf
Instalación de Soluciones WiMAX Exentas de Licencia
- http://www.cdg.org/resources/white_papers/files/WiMAX%20FINAL%20Spanish.pdf.
WiMAX Oportunidades y desafíos en un mundo inalámbrico

- <http://www.eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0638t.pdf>
WiMAX Móvil Por: Juan Miguel Steller Solórzano
- <http://www.guatewireless.org/wimax-el-estandar-ieee-80216>
Especificaciones Técnicas de WiMAX.
- <http://eav.upb.edu.co/banco/files/EstandarIEEE80216.pdf>
ESTUDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16-2004
- <http://www.tele-semana.com>
Revista telesemana Especial Wimax, Proceso de Estandarizacion
- http://telecomid.webs.upv.es/ftp/CD/Programa%20I+D%202007_07_14_archivos/pdf/8.pdf.
- http://www.unitecnologica.edu.co/ieee_utb/IJET/Planeacion_redes_Wimax_2007.pdf
ESTANDAR IEEE 802.16, PLANEACIÓN Y DISEÑO DE REDES WIMAX
- <http://observatorio.cnice.mec.es>
- <http://www.mouse.cl/2005/rep/04/22/01.asp>
WiMax: Develamos los mitos tras esta tecnología inalámbrica

ANEXOS

**RECOMENDACIONES DE LIBROS QUE PUEDEN ADQUIRIR PARA PROFUNDIZAR MAS ACERCA DE LA
TECNOLOGIA WIMAX**

NOMBRE DEL LIBRO	AUTORES	EDITORIAL	AÑO	COSTO / PESOS
Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking	Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed	Prentice Hall	2008	\$ 130.980
WIMAX Standards and Security	Syed A. Ahson, Mohammad Ilyas	CRC Taylor & Francis Group	2008	\$ 105.525
Wimax Operator S Manual: Building 802.16 Wireless Networks	Sweeney, daniel	Apress	2008	\$ 167.100
Mobile Broadcasting with WiMAX: Principles, Techology, and Application	Amitabh Kumar (Author)	Focal Press	2008	\$ 109.740
WiMAX: Technologies, Performance Analysis and QoS	Syed A. Ahson, Mohammad Ilyas	CRC Taylor & Francis Group	2008	\$ 139.830
Standard for Wireless Metropolitan Area Networks	Carl Eklund, Roger B. Marks, Subbu Ponnuswamy, Kenneth L. Stanwood, Nico J.M. Van Waes	IEEE	2007	\$ 115.050
WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access	Loutfi Nuaymi	WILEY	2007	\$ 157.530

GLOSARIO

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AAS	<i>Adaptive Antenna System</i> Sistema de Antena Adaptativa
ASN	<i>Autonomous System Number</i>
AAA	<i>Authentication Authorization & Accounting</i> Autenticación Autorización y Contabilidad
ATM	<i>Modo de Transferencia Asíncrona</i>
BS	<i>Base Station</i> Estación Base
Backhaul	<i>Backbone o Red Transparente</i>
CBC	<i>Chipher Bolck Chaining</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i> Acceso Múltiple por División de Código
CPE	<i>Equipo del lado del cliente</i>
DES	<i>Data Encryption Estándar</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i> Línea Digital del Abonado
DSSS	<i>Espectro ensanchado por secuencia directa</i>
DL	<i>Down Link</i> Enlace de Bajada
DSLAM	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i> Transmisión Bidireccional por División en Frecuencia
FHSS	<i>Espectro ensanchado por saltos en frecuencia</i>

FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
GSM	<i>Global System Mobile</i> Sistema Móvil Global
GPCS	<i>Generic Packet Convergence Sublayer</i>
hot-spots	<i>Punto de acceso inalámbrico WiFi</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i> Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i> Grupo de Trabajo en Ingeniería de Internet
ISI	<i>Interferencia entre símbolos</i>
ICI	<i>Interferencia entre portadoras</i>
LOS	<i>line-of-sight</i> Sin Línea Vista
LMDS	<i>Local Multipoint Distribution System</i>
MAC	<i>Media Access Control</i> Control de Acceso al Medio
MS	<i>Mobile Station</i> Estación Móvil
MAP	<i>Media Access Protocol</i> Protocolo de Acceso al Medio
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i> Múltiples Entradas Múltiples Salidas
NLOS	<i>Non-line-of-sight</i> Sin Línea Vista
NSP	<i>Network Service Provider</i> Proveedor de servicios de red
NMS	<i>System Management Network</i> sistema de gestión de red

NCMS	<i>Network Control and Management System</i> Control de Red y Sistema Gestion
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> Multiplexación por División de Ortogonal de Frecuencia
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i> Múltiple Acceso por División de Ortogonal de Frecuencia
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i> Asistente Personal Digital
PMP	<i>point to point</i> punto a multipunto
PDU	<i>Protocomo de unidad de datos</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation.</i> Modulación Amplitud por Cuadratura
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
QoS	<i>Quality of Service.</i> Calidad de Servicio+
RS	<i>Radio Station</i> Estación de Radio
SDU	<i>Unit of Data of Service</i> Unidad de Datos de Servicio
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i> Protocolo Simple de Gestion de Red
SAP	<i>Service Access Point</i> Punto de Acceso de Servicio
TDM	<i>Time Division Multiple</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i> Transmisión Bidireccional por División en Tiempo
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>

UL	<i>uplink</i> Enlace de subida
UTMS	<i>Universal Mobile Telephone System</i> Sistema Universal de Telefonía Móvil
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i> Voz sobre IP
WIMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i> Fidelidad Inalámbrica
W-CDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i> Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha
WISP	Wireless Internet Service Providers