



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

**WiMAX: Tecnología Inalámbrica de Banda
Ancha**

**Trabajo Monográfico
para obtener el grado de**

Ingeniero en Redes

PRESENTA

Jesús Orifiel Álvarez Ruiz

Supervisores

Dr Jaime Silverio Ortegón Aguilar

MC. Javier Vázquez Castillo

Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

Chetumal, Quintana Roo, México, Enero de 2010.



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

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

INGENIERO EN REDES

Comité de Trabajo Monográfico

Supervisor:

Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar

Supervisor:

MC. Javier Vázquez Castillo

Supervisor:

Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

Chetumal, Quintana Roo, México, Enero de 2010.

Agradecimientos

A mi supervisor el Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar, por haberme apoyado todo el tiempo con la creación de mi Monografía, agradezco su tiempo, tolerancia y su amabilidad al tratar a la gente.

A mis supervisores el Dr. Freddy Ignacio Chan Puc y el MC. Javier Vázquez Castillo por apoyarme con sus buenas ideas y ayudarme en la corrección de mi trabajo.

A todos mis profesores de la carrera de Ing. En Redes por darme las herramientas y la creatividad necesaria para resolver cualquier problema. Sobre todo por haberme creado un perfil que me servirá para defenderme en la vida.

A mis compañeros de la carrera por que trabajando juntos logramos superar muchos problemas, a pesar de los desvelos y los grandes esfuerzos que pasamos juntos. Agradezco su apoyo sobre todo a mis compañeros Marcos Hernández Meza, Raúl de la Cruz Lazcano, Víctor Félix Juárez Brito y Jesús Oliva Canché

Dedicatoria

A mis queridos padres Elias Alvarez Martínez y María Felicitas Ruiz García:

Por que gracias a todo su esfuerzo, cariño y consejos es que llegue a este momento. Todo lo que soy se los debo a ellos y estaré agradecido toda mi vida. Este trabajo es una muestra de que todo su sacrificio tiene una recompensa y su recompensa es que logre terminar mi carrera.

Resumen

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) surgió hace algunos años; y ha tomado gran auge en el campo de las comunicaciones inalámbricas, debido a su mayor capacidad de transmisión y su distancia de cobertura; solo por mencionar las principales.

Este documento es elaborado con el fin de conocer nuevas alternativas que se pueden implementar al momento de crear una red de comunicaciones. Hoy en día, la tendencia para las redes es eliminar el cable, ya que representa altos costos de instalación, sin olvidar las limitaciones topográficas con las que hay que enfrentarse. WiMAX es una tecnología inalámbrica de banda ancha que puede ayudar a eliminar este problema.

El siguiente trabajo monográfico se enfocará en el estándar 802.16-2004, estudiando sus principales características, su funcionamiento y los tipos de servicios que se pueden ofrecer. Además se comparará con otras tecnologías inalámbricas como es Wi-Fi y 3G, sus ventajas, desventajas y como se complementa con ellas. Al final se presentarán algunas conclusiones, las cuales ayudarán a distinguir cuando usar cada una de éstas redes y como trabajan juntas para ofrecer un mejor servicio.

Contenido

Índice de figuras.....	8
Índice de tablas.....	10
Capítulo 1. Introducción.....	11
1.1 Objetivo general.....	13
1.2 Objetivos particulares.....	13
1.3 Justificación.....	14
Capítulo 2. Marco teórico.....	15
2.1 Definición.....	15
2.2 WiMAX sin licencia.....	16
2.3 WiMAX con licencia.....	17
2.4 Estándares WiMAX.....	18
2.4.1 Estándar 802.16-2004.....	18
2.4.2 Estándar 802.16e-2005.....	18
2.4.3 Otros estándares.....	19
Capítulo 3. El estándar 802.16-2004.....	21
3.1 Estructura física.....	23
3.2 Arquitectura WiMAX.....	26
3.2.1 Punto-multipunto (PMP).....	26
3.2.2 Mesh o malla.....	27
Capítulo 4. Operación del estándar 802.16-2004.....	28
4.1 Capa física.....	29
4.1.1 OFDM.....	31
4.1.2 Modulación adaptativa.....	35

4.1.3 Técnicas de corrección de errores.....	36
4.2 Capa MAC	37
4.2.1 Subcapa de convergencia	38
4.2.2 Subcapa de parte común (CPS).....	41
4.2.3 Subcapa de seguridad.....	48
Capítulo 5. Aplicaciones, servicios y comparación con otras tecnologías.....	50
5.1 Aplicaciones y servicios.....	50
5.2 WiMAX en México	51
5.3 WiMAX y Wi-Fi, comparativa de tecnologías.....	53
5.3.1 Ancho de banda y cobertura.....	54
5.3.2 Competencia por el canal.....	55
5.3.3 Sensibilidad frente a interferencias.....	55
5.3.4 Calidad de servicio	56
Capítulo 6. Conclusiones	58
6.1 Estándares futuros	59
Bibliografía	61
Acrónimos	63
Glosario.....	67

Índice de figuras

Figura 3.1 Antena WiMAX.....	22
Figura 3.2 Estaciones WiMAX.....	22
Figura 3.3 Dispositivo CPE (Equipo Local del Cliente)	23
Figura 3.4 Antena omnidireccional de WiMAX (4).....	24
Figura 3.5 Estación base WiMAX (4)	25
Figura 3.6 Arquitectura punto-multipunto	26
Figura 3.7 Arquitectura mesh o malla. (1).....	27
Figura 4.1 Capas del estándar 802.16-2004	28
Figura 4.2 Modos LOS Y NLOS	30
Figura 4.3 Subportadoras ortogonales.....	31
Figura 4.4 Comparación entre la señal OFDM y una simple señal portadora ...	32
Figura 4.5 Símbolo (señal) OFDM en el dominio de la frecuencia.	34
Figura 4.6 Modulación adaptativa. (1).....	36
Figura 4.7 Funciones de la capa MAC del estándar 802.16-2004	37
Figura 4.8 Supresión del encabezado del paquete (PHS)	40
Figura 4.9 Operación PHS en WiMAX (3).....	41
Figura 4.10 Segmentación y concatenación de SDUs en MAC PDUs.....	42
Figura 4.11 Formato del PDU de la MAC.....	43
Figura 4.12 Encabezado genérico.	43
Figura 4.13 Encabezado de petición de ancho de banda.	44
Figura 4.14 Servicio de Flujos en IEEE 802.16-2004.....	47
Figura 4.15 Encriptación del PDU MAC	49
Figura 5.1 Servicios WiMAX.....	50

Figura 5.2 Interoperabilidad entre Wi-Fi y WiMAX	53
Figura 5.3 Comparación entre WiMAX y Wi-Fi.....	54

Índice de tablas

Tabla 2.1 Estándares 802.16(1).....	20
Tabla 4.1 Tipos de subportadoras.....	34
Tabla 4.1 Campos del encabezado genérico. (3).....	44
Tabla 4.2 Campos del encabezado de petición de ancho de banda. (3)	45
Tabla 5.1 Comparaciones técnicas entre WiMAX y Wi-Fi.....	57

Capítulo 1. Introducción

Las redes inalámbricas (WLAN) surgieron como el resultado de un experimento realizado por ingenieros de IBM® en 1979. Ellos utilizaron enlaces infrarrojos para crear la red local de una fábrica ubicada en Suiza. Los resultados obtenidos pueden considerarse como el punto de partida de la línea evolutiva de esta tecnología.

Desde que los primeros investigadores empezaron a tratar con las WLAN, siempre se ha requerido mejorarlas. Usando el esquema de espectro disperso, no solo se trabajaba con infrarrojos si no hasta con microondas, pero había un problema, los experimentos que se realizaban eran sólo a nivel de laboratorio; además eran de uso exclusivo para tecnologías militares, es decir, no estaban abiertas todavía para el mercado. El problema se acabó en mayo de 1985 después de que la FCC (Federal Communications Commission), agencia de los Estados Unidos encargada de administrar y regular en materia de telecomunicaciones, asignó las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical): 902-928 MHz, 2.400-2.4835 GHz y 5.725-5.850 GHz a las redes inalámbricas basadas en espectro disperso.

Con la asignación de las bandas ISM, que son de uso comercial sin licencia, se propició una mayor actividad en la industria. Éste fue el principal motivo por el cual las redes inalámbricas, pasaron de ser exclusivamente de laboratorios del ejército a una tecnología abierta al mercado.

Después que las redes inalámbricas se iniciaron en el mercado, en 1990 la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), forma el comité IEEE 802.11, el cual empieza a trabajar para establecer una norma para las WLAN.

Con el auge que las WLAN estaban teniendo, empezaron a surgir muchas organizaciones, entre ellas se encontraba Winforum® (Wireless Information Networks FORUM), creada en 1992. Liderada por Apple® e integrada por empresas del sector de las telecomunicaciones y de informática, Winforum trabajaba para conseguir bandas de frecuencias para las PCS (Personal Communications Service). Otra organización muy importante es la IrDA® (Infrared Data Association) creada en 1993 y enfocada en las WLAN de enlaces infrarrojos.

Con numerosas organizaciones surgiendo y después de largos años de trabajo, en 1994 aparece el primer borrador de la norma 802.11 para las WLAN. En 1996, un grupo de empresas del sector de informática móvil (Mobile Computing), forman el Wireless LAN Interoperability Forum (WLI Forum®). La finalidad de esta organización es la de potenciar el mercado inalámbrico mediante la creación de un amplio grupo de productos y servicios interoperativos.

Finalmente en 1999, se concluyó la norma 802.11 de las WLAN y se crea la asociación WECA® (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), creada por 3com, Airones, Intersil, Lucent Technologies, Nokia y Symbol Technologies. Esta asociación paso a ser Wi-Fi® Alliance en el 2003. Wi-Fi significa Wireless Fidelity y tiene como objetivo crear una marca que permitiese fomentar más fácilmente la tecnología inalámbrica, asegurando la compatibilidad de los equipos que fueran utilizados.

Hoy en día, Wi-Fi domina el mercado de las redes inalámbricas, presentando algunas desventajas, siendo éstas principalmente relacionadas al área de cobertura a unos cientos de metros. Lo anterior ha favorecido en la aparición de

nuevas tecnologías inalámbricas como WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), o en español Interoperabilidad Mundial para el Acceso por Microondas, la cual tiene mejor desempeño con respecto al área de cobertura.

WiMAX llega como una tecnología de comunicación inalámbrica de banda ancha, capaz de superar las carencias de Wi-Fi. El estándar WiMAX es un estándar utilizado por varios fabricantes para el desarrollo de sistemas de comunicaciones. Por otro lado es una tecnología radioeléctrica de última milla (alcance de decenas de Km), tanto para conexiones de Banda Ancha fijas como portables o móviles; diseñado en su origen para ofrecer servicios “triple play”, sobre todo con mayor calidad de servicio y seguridad.

Además una de las principales características de WiMAX es que no se trata de sustituir las otras tecnologías como Wi-Fi, si no complementarse con ellas, es decir, utilizando Wi-Fi como extensiones finales de tecnologías de banda ancha.

En esta monografía se analizarán las características de este nuevo estándar llamado WiMAX, además se mencionarán algunos de los servicios que puede ofrecer y sobre todo, cómo está evolucionando en comparación a otras tecnologías de comunicación inalámbrica en el mundo.

1.1 Objetivo general

Realizar un estudio de las características con las que cuenta WiMAX, así como describir cuáles son sus ventajas y desventajas en comparación con otras tecnologías inalámbricas.

1.2 Objetivos particulares

- Definir el concepto de WiMAX.
- Conocer el surgimiento de esta nueva tecnología.

- Analizar el funcionamiento de WiMAX.
- Estudiar las características de WiMAX.
- Estudiar el estándar 802.16-2004 en particular.
- Realizar un estudio de los diferentes servicios que ofrece.
- Analizar las ventajas y desventajas en comparación con otras tecnologías inalámbricas.
- Estudiar las diferentes aplicaciones de WiMAX.

1.3 Justificación

Como estudiante de la carrera de Ingeniería en Redes, es muy importante conocer las tecnologías que se utilizan para realizar comunicaciones entre diferentes dispositivos de red, así como las nuevas alternativas que se tienen para uso en el futuro hablando de diseño e implementación de redes de comunicación de datos.

Esta monografía se ha hecho con el fin de estudiar nuevas tecnologías, enfocándose en el tema de la transmisión inalámbrica. Se estudiará un nuevo estándar de comunicación llamado WiMAX (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas), que está tomando un gran auge en el campo de las comunicaciones inalámbricas.

WiMAX ofrece una gran cantidad de ventajas, entre ellas, más cobertura y mayor ancho de banda, además de que tiene muchos campos de aplicación. Por otro lado sabemos que los medios inalámbricos son la tendencia de hoy en día, ya que están sustituyendo al cable tradicional, eliminándolo por completo en algunas redes. Como ejemplo, WiMAX es capaz de abarcar distancias tan largas como la misma fibra óptica, ofrecer más ancho de banda, más seguridad y mejor Calidad de Servicio que las cotidianas redes Wi-Fi. Las características antes mencionadas son muy importantes porque son aspectos que hay que estudiar para prepararse a recibir las nuevas alternativas tecnológicas.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Definición

Muchas veces se piensa en WiMAX, como el nombre de un estándar para Redes Inalámbricas de Área Metropolitana, pero realmente WiMAX, es el nombre comercial que se le otorga a un conjunto de estándares de la familia 802.16, creados por la IEEE. En el mismo caso se encuentra Wi-Fi, el cual es el nombre de la asociación certificadora de los dispositivos que operan bajo el estándar 802.11, que muchas veces los usuarios lo confunden con el nombre de la tecnología inalámbrica.

Es muy importante poner en claro lo que significan los términos “Worldwide Interoperability for Microwave Access” para entender mejor su funcionamiento. Worldwide (Mundial) quiere decir que WiMAX es la solución más efectiva y económica para suministrar banda ancha a escala universal. Interoperability (Interoperabilidad) significa garantizar un alto nivel de interoperabilidad, entre dispositivos de distintos proveedores de soluciones que se encuentren bajo el sello de WiMAX. Por último Microwave Access (Acceso por Microondas) describe el medio de transmisión usado, en este caso Microondas.

Hay que tener en cuenta que WiMAX es el conjunto de estándares de la familia 802.16, entre los que destacan el 802.16-2004 y el 802.16e, los cuales tienen características y funcionamientos diferentes. Además puede operar en bandas de frecuencias tanto licenciadas como no licenciadas, lo que modifica su comportamiento ya que trabaja en diferentes espectros de frecuencia.

Generalizando, el estándar IEEE 802.16 define las características técnicas del protocolo de comunicaciones. Con éste, es posible la “última milla” en accesos inalámbricos de áreas remotas, difíciles y costosas de alcanzar con cable o fibra óptica. Alcanza servicios de Banda Ancha de hasta 50 Km, para estaciones fijas y de 5 a 15 Km para estaciones móviles, mencionando que es menos susceptible a interferencias. En contraste, Wi-Fi solamente alcanza en muchos casos de 30 a 100m. También podría servir como backhaul (red de entorno), permitiendo una rápida y fácil conexión de hotspots Wi-Fi a Internet, cuando no sea conveniente acceder con cable. Eventualmente, permite conectar computadoras y otros dispositivos móviles directamente a las redes de área metropolitana (MAN).

2.2 WiMAX sin licencia

WiMAX usa las frecuencias no licenciadas de 2.4 GHz y 5.8 GHz para transmitir. Esta parte del espectro de frecuencias puede ser usado por cualquier operador que quiera ofrecer servicios WiMAX. Siendo frecuencias no licenciadas, tiene beneficios en la parte de los costos, pero esto repercute en muchas desventajas como:

- **Interferencia:** Debido a que es un espectro de frecuencias no licenciadas, muchas compañías de servicios WiMAX pueden transmitir por el mismo canal, provocando interferencia entre las señales RF (Radio Frecuencia). Si bien las tecnologías Wi-Fi y WiMAX soportan DFS (Dynamic Frequency Selection) o Selección Dinámica de Frecuencia, que permite identificar un canal libre en caso de que se detecte una interferencia entre las señales, es posible que existan problemas con la transmisión. DFS agrega latencia o retardo al envío de datos, ocasionando así, problemas a aplicaciones en tiempo real como el caso de VoIP; afectando la calidad de servicio (QoS) que se le otorga al usuario.

- Mayor Competencia: Los operadores que transmiten en frecuencias no licenciadas, tienen que tomar en cuenta que cualquier otra compañía puede transmitir usando el mismo canal.
- Potencia limitada: Los organismos que se encargan de regular las comunicaciones, generalmente limitan la potencia con que se transmitirá, esto afecta a la calidad de la señal.
- Disponibilidad: Mientras el espectro de 2.4 GHz está disponible universalmente, en la actualidad el espectro 5.8 GHz no se encuentra disponible en varios países.

2.3 WiMAX con licencia

Las frecuencias que usa WiMAX y se encuentran bajo licencia son: 700MHz, 2.3GHz, 2.5GHz y 3.5GHz. Aunque el espectro RF de frecuencias licenciadas tiene como consecuencias costos muy elevados, tiene grandes beneficios, sobre todo porque ya no existe interferencia por parte de otros operadores. Lo anterior se debe a que existen organismos que regulan el espectro radioeléctrico, debido a esto, si un operador desea transmitir en alguna de las frecuencias mencionadas, tendría que pagar para tener uso exclusivo del espectro. Las frecuencias que se encuentran bajo licencia, son usadas cuando se desea conceder una mejor calidad de Servicio (QoS) al cliente. Un ejemplo, es el mencionado anteriormente, aplicaciones como VoIP ya no se verían afectadas por la latencia de la transmisión, provocada por interferencia de otros operadores. (1)

2.4 Estándares WiMAX

Como se ha mencionaba anteriormente, WiMAX es el nombre comercial de una familia de estándares. A continuación se describen los más destacados:

2.4.1 Estándar 802.16-2004

También conocido como 802.16d, es un estándar diseñado para tecnologías fijas, que se publicó en octubre de 2004. Es una versión mejorada de los estándares 802.16a y 802.16c, los cuales fueron sustituidos por éste. Ofrece el mayor ancho de banda y la más amplia cobertura entre las tecnologías inalámbricas de última generación. Además los equipos que funcionen bajo este estándar, tendrán la ventaja de interoperar entre los diferentes vendedores, lo cual disminuye el costo de implementación. El estándar trabaja bajo las bandas de frecuencia:

- Bandas 10-66 GHz licenciada.
- Bandas por debajo de 11 GHz.
- Bandas no licenciadas 5-6 GHz.

Está basado en OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales), y con 256 subportadoras. Pueden cubrir un área de 50 Km, permitiendo la conexión Sin Línea Vista (NLOS, por sus siglas en inglés), es decir, con obstáculos interpuestos. Tiene capacidad para transmitir datos a una velocidad de hasta 75 Mbps, con una eficiencia espectral de 5.0 bps/Hz. Las tecnologías WiMAX pueden trabajar bajo un esquema mesh (malla), cubriendo así áreas muy extensas.

2.4.2 Estándar 802.16e-2005

El 7 de diciembre de 2005 fue aprobado por la IEEE el estándar 802.16e-2005 mejor conocido como WiMAX móvil. Diseñado para ofrecer las características

con las que carece el estándar 802.16-2004; portabilidad y movilidad. A continuación se muestran algunas características:

- Utiliza las bandas de frecuencia 2 a 6 GHz.
- Trabaja también con dispositivos fijos en la banda de frecuencia de 2 a 11 GHz.
- Trabaja sin línea de vista (NLOS), es decir, las antenas no necesitan estar alineadas.
- Utiliza los canales de ancho de banda de 1.25–20MHz.
- Tasa de transferencia de hasta 15 Mbps.
- Tiene un alcance de 2 a 5 Km aproximadamente.

2.4.3 Otros estándares

- Estándar 802.16: Completado en diciembre del 2001, fue el primer prototipo de la tecnología WiMAX. Actúa entre 2 y 11 GHz por lo que puede funcionar en bandas licenciadas y no licenciadas.
- Estándar 802.16b: Se caracteriza por aportar al protocolo una fuerte calidad de servicio. Siendo una extensión del estándar 802.16, permite una amplia línea de visión para transmitir con baja distorsión debida a los edificios, lluvia o vehículos, e incluso puede priorizar los diferentes tipos de tráfico.
- Estándar 802.16c: Publicado en enero de 2003, fue desarrollado bajo las bandas de 10-66 GHz, pero fue sustituido por el estándar 802.16-2004. Su principal objetivo fue el de permitir la interoperabilidad entre sistemas específicos que trabajan en el ancho de banda antes mencionado.
- Estándar 802.16.2-2001: Publicado en septiembre del 2001, desarrollado para trabajar en bandas licenciadas de 10-66 GHz. Éste fue también sustituido por el estándar 802.16-2004.
- IEEE Standard 802.16/Conformance01-2003: Esta norma se publicó en agosto de 2003 con el objetivo de evaluar la conformidad de una

determinada aplicación. Representa una declaración denominada: Declaración de Conformidad con la Aplicación de Protocolo (PICS), para especificar las capacidades y opciones que se han llevado a cabo y qué limitaciones podrían impedir la interoperación (interworking) en sistemas de Acceso a Banda Ancha inalámbrico (BWA) de 10-66GHz.

- IEEE Standard 802.16/Conformance02-2003: Esta norma se publicó en febrero de 2004, describe la estructura y el conjunto de pruebas para fines de ensayo de sistemas BWA de 10-66GHz.
- IEEE Standard 802.16/Conformance03-2004: Esta norma se publicó en junio de 2004 con el objetivo de precisar las pruebas de conformidad y la interoperabilidad en las BWA de 10-66GHz. En la *tabla 2.1* se puede observar la característica de los estándares más destacados (1).

Tabla 2.1 Estándares 802.16 (1)

Estándares	802.16a	802.16-2004	802.16e-2005
Rango de Frecuencias	2-11 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz
Condición del Canal	Sin línea de visión (NLOS)	Sin línea de visión (NLOS)	Sin línea de visión (NLOS)
Ancho de Banda del canal	1.25-28 MHz	1.25-28 MHz	1.25-20 MHz
Tipo de Modulación	OFDM, QPSK, 16QAM y 64QAM.	OFDM, QPSK, 16QAM y 64QAM.	OFDM, QPSK, 16QAM y 64QAM.
Topología de Red	PTP, PMP, mesh.	PTP, PMP, mesh.	PTP, PMP, mesh.
Tasa de transferencia	75 Mbps Fijo	75 Mbps Fijo	15 Mbps Máximo de movilidad que soporta: 125 Km/h
Radio o alcance de la señal	El rango máximo es de 30 millas, con una antena básica.	El rango máximo es de 30 millas, con una antena básica.	1-3 millas.
Aplicaciones que soporta	Alternativa para E1/T1, cable backhaul de celular y Wi-Fi, VoIP, conexiones de Internet.	802.16 plus, las mismas aplicaciones que soporta el 802.16a.	Aplicaciones plus del 802.16-2004, WiMAX fijo soporta VoIP, QoS y redes empresariales.

Capítulo 3. El estándar 802.16-2004

El estándar 802.16d o mejor conocido como 802.16-2004 fue aprobado en junio de 2004. Con la aprobación de este nuevo estándar se sustituyeron el 802.16a, el cual puede trabajar bajo bandas licenciadas o no licenciadas y el 802.16c, que su principal objetivo es permitir la interoperabilidad entre los distintos dispositivos que trabajen bajo el sello WiMAX. Tomando las mejores características de sus antecesores, el 802.16-2004 permite una conexión inalámbrica de banda ancha y una amplia área de cobertura. (1)

Normalmente cuando se requiere comunicar dos sitios que se encuentran a kilómetros uno del otro se usaría fibra óptica; sin embargo, con ayuda de esta tecnología se pueden cubrir áreas de hasta 50 Km, evitando el problema de instalar el cableado. Además permite la conexión Sin Línea Vista (NLOS), es decir, que se puede realizar la transmisión aún con obstáculos interpuestos. Otra de sus principales ventajas es que tiene capacidad para transmitir datos a una velocidad de más de 75 Mbps.

El 802.16-2004 es conocido como WiMAX fijo, por que se usa una antena que se coloca en un lugar estratégico del suscriptor (*figura 3.1*), la cual recibe la señal de una torre central. Esto es lo que lo diferencia en comparación del estándar 802.16e hecho para estaciones móviles como celulares, notebooks, PDAs, entre otros.



Figura 3.1 Antena WiMAX

WiMAX fijo puede usarse para lugares muy retirados los cuales son de difícil acceso para los proveedores de servicios de Internet (ISP). Muchas veces las compañías en México, tienen problemas con personas interesadas en contratar sus servicios, debido a que los clientes se encuentran muy aislados de sus instalaciones. Aún siendo usuarios que se encuentren dentro de la ciudad, si son colonias lejanas, las compañías tendrían que hacer toda la instalación del cableado para darle servicio a sus clientes. Por lo tanto, la solución por la que se inclinan, es esperar que haya muchos usuarios demandando el servicio para que inicien la instalación de todo lo que se requiere: cableado, centralitas, postes, etc.; esto implica mucho tiempo y dinero para las empresas. Con WiMAX fijo puede solucionarse este problema al instalar una torre central, la cual ofrecería el servicio de Internet a los usuarios evitando los problemas mencionados, (figura 3.2).

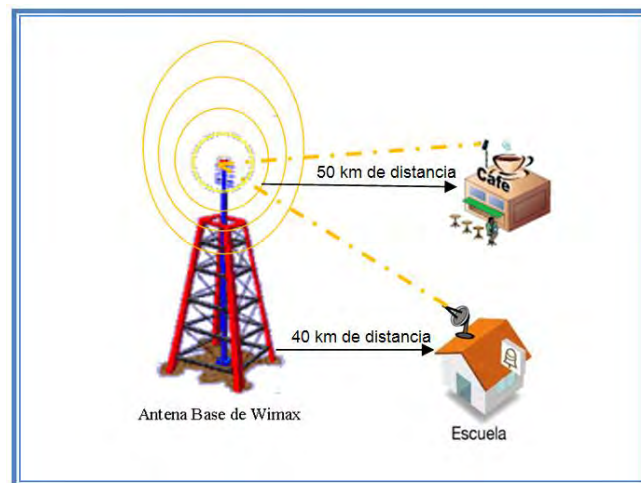


Figura 3.2 Estaciones WiMAX

3.1 Estructura física

En la estructura física, las redes constan de partes fundamentales como lo son la BS (Estación Base), las SS's (Estaciones Subscriptoras), los enlaces y estaciones repetidoras. Las SS's están identificadas por una dirección única de 48 bits de la capa MAC. Esta dirección permite distinguirlas tomando en cuenta tanto el fabricante como el tipo de equipo, por lo que también se les considera como direcciones universales. Se emplea durante los procesos de registro así como en los de autenticación.

Para realizar una conexión a una red WiMAX, desde el punto de vista del usuario es muy sencilla, nada diferente a como conectarse con una red Wi-Fi. Hay diferentes formas para realizar la conexión, para el estándar 802.16-2004 que se usa para dispositivos fijos encontramos los siguientes:



Figura 3.3 Dispositivo CPE (Equipo Local del Cliente)

El CPE (Customer Premises Equipment) o Equipo Local del Cliente, (*figura 3.3*), es la manera más sencilla de conectarse a una BS WiMAX. Consiste en un aparato conectado a nuestra PC (De escritorio o Laptop) que nos permite crear una red WiMAX dentro de nuestra casa. También podemos conectar nuestro teléfono para realizar llamadas VoIP de bajo costo. Al igual que las tarjetas

WiMAX, éste se puede llevar a todas partes que queramos (siempre que existe cobertura) y conectarnos inalámbricamente a una alta velocidad.

Otra opción es una terminal WiMAX (hub, switch, router, etc.), conectada a una antena externa que se orienta a la dirección de la BS. Por lo tanto, no es una terminal portable a diferencia del CPE, sino que tiene que permanecer en un lugar fijo. Por el hecho de que se necesita una alineación de la antena con la estación base, se requiere de un servicio técnico especializado con sus medidores de campo adecuados. Cabe mencionar que los dispositivos WiMAX son capaces de repartir esa señal a través de una antena Wi-Fi.

Las antenas se colocan en algún lugar apropiado, como el techo de la vivienda u oficina del usuario, donde la recepción de la señal es la indicada. Mayormente se utilizan antenas omnidireccionales (que proporciona 360° de cobertura) o antenas sectoriales (que proporcionan alrededor de 180° de cobertura), (*figura 3.4*).



Figura 3.4 Antena omnidireccional de WiMAX (5)

Desde el punto de vista del operador, las estaciones base de WiMAX son bastante más ligeras, pequeñas y fáciles de instalar que la de otras tecnologías,

como se observa en la *figura 3.5*. No hay que poner las “torres gigantes”, como en la infraestructura GSM. Pero sí hay que buscar algunos puntos para poder desplegar la red, como se menciona a continuación:

- Las BS's deben de ser instaladas estratégicamente, de tal manera que el radio de cobertura llegue a todos los lugares donde se requiere ofrecer el servicio.
- Si es un servicio que necesita de visión directa entre la BS y la SS, se tendrá que ubicar la BS en un lugar donde se pueda evitar lo más posible las interferencias físicas, como pueden ser montañas y edificios de grandes dimensiones.
- Además, se debe de considerar si se necesita cohabitar con otras BS's, es decir, si se requiere hacer enlaces entre las BS's, éstas deben de ser ubicadas en una distancia correcta una de la otra.
- Otro punto muy importante es cuando se requiere una red redundante. Tal es el caso de una arquitectura mesh o malla, donde las BS's deben de estar ubicadas estratégicamente, de tal manera que si un enlace presenta problemas, otra BS cubra el rango de cobertura del enlace dañado, con el fin tener la red operando constantemente.



Figura 3.5 Estación base WiMAX (5)

Para una idea más clara, si se considera que una torre de una BS ofrece una cobertura de 35 Km de radio, ésta llegaría a cubrir áreas de aproximadamente 8000 kilómetros cuadrados; es lo que hace que WiMAX llegue a zonas lejanas donde no es viable tirar líneas de cable para comunicaciones.

3.2 Arquitectura WiMAX

Dentro de la arquitectura para redes inalámbricas fijas encontramos algunas variantes, dependiendo de cómo se comunique el sistema, tal es el caso de las comunicaciones punto-multipunto y multipunto-multipunto (mesh o malla).

3.2.1 Punto-multipunto (PMP)

Las partes fundamentales de la arquitectura punto-multipunto del sistema son la BS, las SS y ocasionalmente estaciones repetidoras. Dentro de un sector y a una misma frecuencia todas las SS's reciben la misma señal sin requerir de coordinación con otras BS's, ya que sólo una BS puede transmitir a la vez.

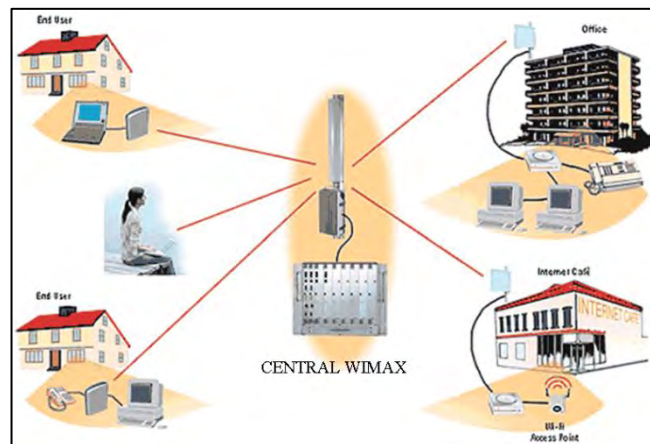


Figura 3.6 Arquitectura punto-multipunto

En la arquitectura punto-multipunto se establece una estación base que será la que proporcione el acceso a la red y a donde se conectarán directamente todos los clientes, por eso el nombre de punto (estación base) a multipunto (clientes).

En la *figura 3.6* se muestra un ejemplo de esta arquitectura. Este modo es comparable con la forma de conexión en la telefonía celular, donde existe una estación base hacia donde los teléfonos celulares se comunican para entrar a la red telefónica; si el usuario se aleja de la red de cobertura, entonces su teléfono no tendrá señal para comunicarse. También, si el usuario desea comunicarse con otro dentro de la red celular, su llamada pasará siempre por la estación base.

3.2.2 Mesh o malla

En modo mesh, la conexión se realiza directamente entre todos los nodos, formando una “malla”. En una red de PMP, todas las conexiones deben pasar por el BS; mientras que con la arquitectura de malla, cada SS puede actuar como un punto de acceso y es capaz de enrutar paquetes por sí misma a sus vecinos. Éste tipo de arquitectura permite ampliar la cobertura geográfica de una red, como se observa en la *figura 3.7*. Además presenta una conexión redundante entre los usuarios y de esta manera garantiza la conexión dentro de la red (1).

WiMAX, en resumen, tiene la posibilidad de configurarse de forma centralizada: donde el ruteo lo realice sólo la BS; o en un esquema de igualdad distribuida: donde el ruteo lo lleven a cabo la BS o la SS, según sea el caso.

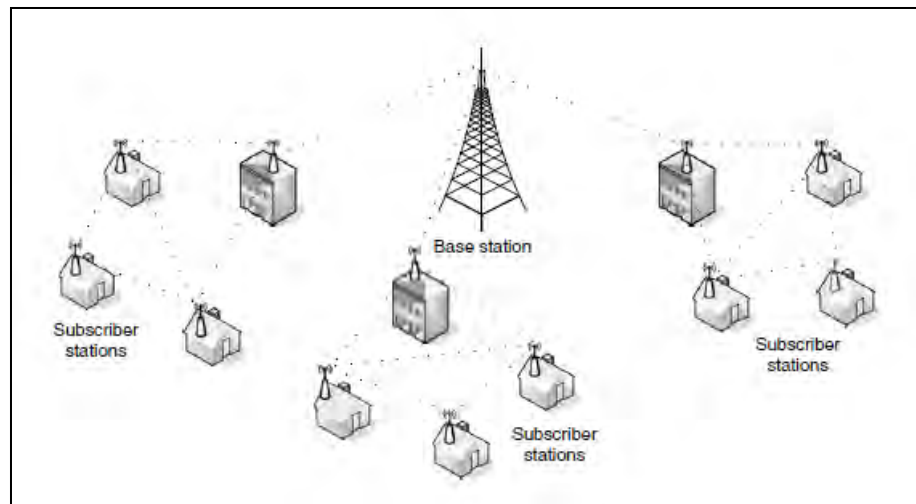


Figura 3.7 Arquitectura mesh o malla. (1)

Capítulo 4. Operación del estándar 802.16-2004

El estándar IEEE 802.16-2004 define los parámetros de la interfaz inalámbrica para acceso de Banda Ancha a nivel físico (PHY layer) y de acceso al medio (Media Access Control).

En la *figura 4.1* se puede observar el análisis por capas del estándar 802.16-2004 las cuales son las bases de la operación de WiMAX.

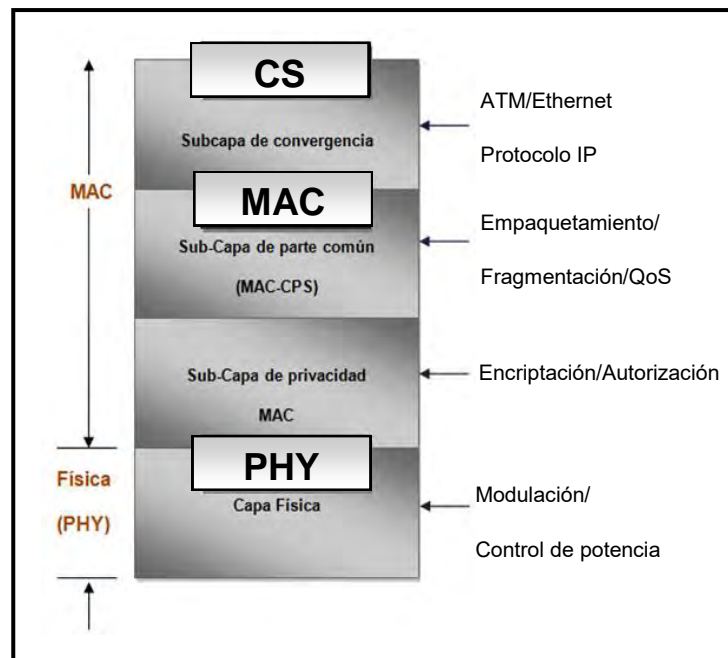


Figura 4.1 Capas del estándar 802.16-2004

4.1 Capa física

La capa física especifica las bandas de frecuencias, el esquema de modulación, velocidad de los datos, técnicas de corrección de errores entre otros.

WiMAX de acceso fijo trabaja en las frecuencias comprendidas de 2 a 11 GHz y 10 a 66 GHz, sin embargo, cabe mencionar que no se utilizan todas las frecuencias entre los rangos mencionados.

En el rango de 2 a 11 GHz (similar a Wi-Fi), se utilizan frecuencias bajo licencia como 2.5 GHz y la de 3.5 GHz utilizada en Europa. Además trabaja con frecuencias exentas de licencia como en el caso de 5.8 GHz, esto solo por mencionar algunas. Éstas, siendo transmisiones de más baja longitud de onda, no son fácilmente interrumpidas por obstáculos físicos. Pueden fácilmente propagarse a través de reflexiones, difracciones y dispersiones, no obstante, esto ocasiona que el ancho de banda sea menor. Por este motivo y con la ayuda de la modulación OFDM, que más adelante se mencionará, WiMAX de acceso fijo tiene una propiedad muy interesante ya que puede transmitir con NLOS (Non line of sight) o por su traducción en español "Sin Línea de Vista", es decir no es necesario que exista visibilidad entre las antenas de la estación WiMAX y el dispositivo conectado a la red.

Con la transmisión NLOS WiMAX de acceso fijo puede alcanzar velocidades de 18 Mbps con una cobertura alrededor de 5 a 8 Km. Además con ayuda de la arquitectura mesh (malla), anteriormente descritas, logra cubrir áreas muy extensas.

Por otro lado el rango de frecuencias comprendido entre 10 a 66 GHz, que son frecuencias altas, la transmisión es más vulnerable a las condiciones climatológicas, pero se alcanzan mayores velocidades de transmisión. Para este tipo de frecuencias WiMAX fijo utiliza LOS (Line of Sight o Línea de Vista), es decir, un servicio con necesidad de visión directa. Cada dispositivo que se conecte dentro de la red debe estar dentro del rango de cobertura, sin

obstáculos entre su antena y la de la BS que le proporciona la conexión WiMAX.

La conexión con línea de visión es más estable y robusta, capaz de enviar mayor cantidad de datos con una tasa de error baja. Con este tipo de transmisión se puede llegar a velocidades de 75 a 100 Mbps con una eficiencia espectral de 5.0 bps/Hz y tiene una cobertura alrededor de 40 a 70 Km, pero considerando a la señal como correcta a una distancia de 50 Km.

Para entender mejor ambos modos, entiéndase que las estaciones base que dan la cobertura de la red WiMAX tienen que estar comunicadas entre sí. Como son estaciones fijas con las antenas en alto, donde generalmente no hay obstrucciones, se utiliza el modo de Línea de Vista. Pero para los clientes que utilizan WiMAX en su casa por ejemplo, es necesario recurrir al modo sin línea de vista porque el usuario estará dentro de su casa donde las paredes y muchos otros obstáculos obstruyen la visibilidad entre su computadora y la estación WiMAX.

En la *figura 4.2* se puede observar un enlace LOS y NLOS (2).

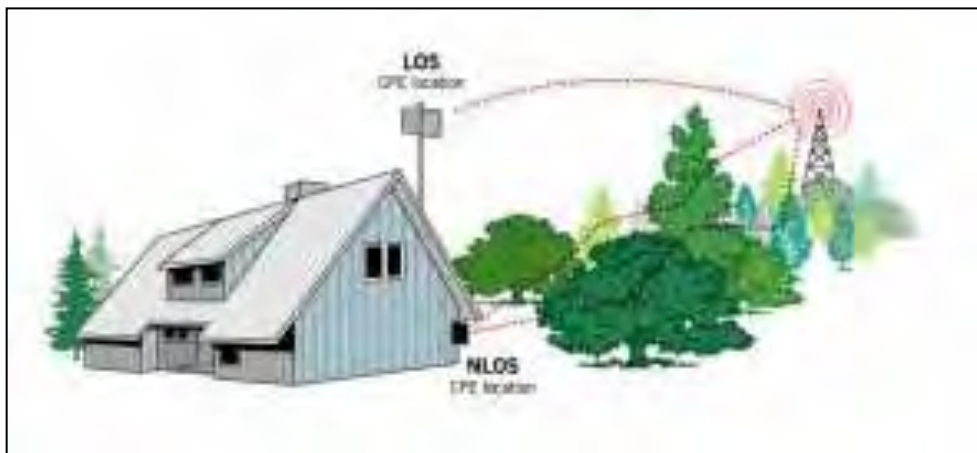


Figura 4.2 Modos LOS Y NLOS

4.1.1 OFDM

La capa física también define el método de modulación que se usará para la transmisión a través del medio. Para el estándar 802.16-2004 se utiliza una técnica de modulación llamada OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales). OFDM es uno de los motivos por el cual WiMAX puede ofrecer enlaces a altas velocidades.

OFDM ayuda a tener una eficiencia espectral alta, debido a que es una técnica de comunicación que divide un canal de frecuencia en un número determinado de bandas de frecuencias equiespaciadas. En cada banda se transmite una subportadora que transporta una porción de información del usuario las cuales son moduladas con 64QAM, 16QAM, QPSK y BPSK.

OFDM se basa en Multiplexación por División de Frecuencia (FDM). La palabra multiplexar en comunicaciones significa agrupar un conjunto de señales y enviarlas por un medio. Si cada una de las señales se envía con portadoras de frecuencias diferentes, se llama FDM. Ahora bien se dice que las señales son ortogonales porque matemáticamente forman un ángulo de 90° entre sí, además de que las señales son enviadas en paralelo a diferencia de una simple señal portadora (3).

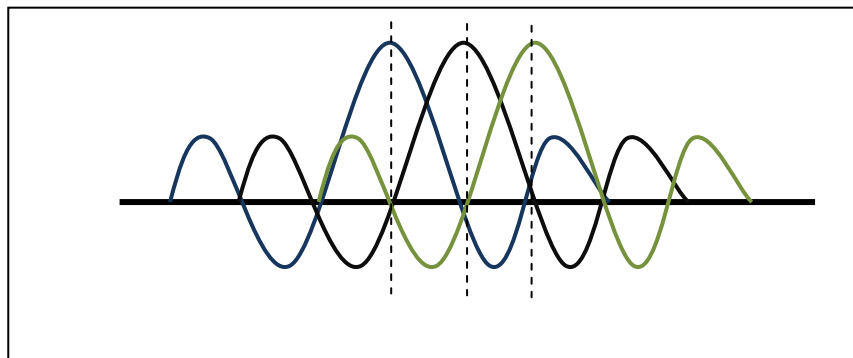


Figura 4.3 Subportadoras ortogonales

El hecho de que cada subportadora sea ortogonal al resto, permite que las subportadoras estén traslapadas (*figura 4.3*), y no exista interferencia,

aumentando la eficiencia del espectro debido a que no se utilizan bandas de separación entre ellas.

En la *figura 4.4* se puede observar la diferencia entre una señal simple y una basada en OFDM.

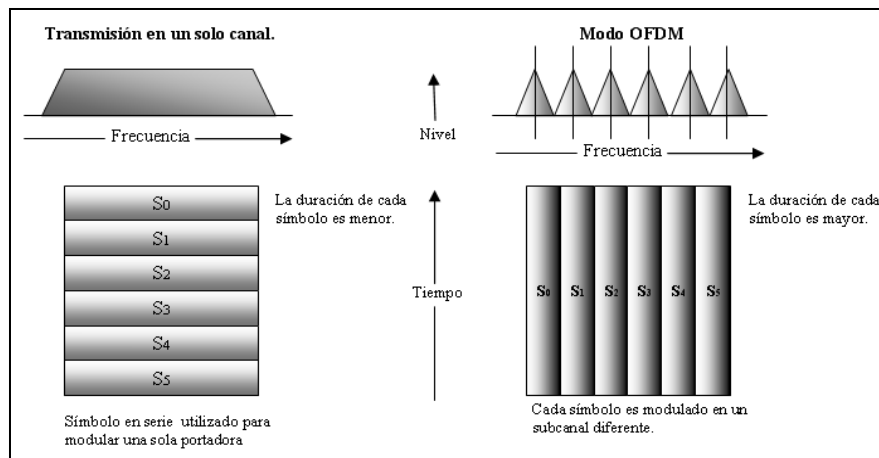


Figura 4.4 Comparación entre la señal OFDM y una simple señal portadora

Un sistema OFDM toma un flujo de datos y lo divide entre el número de subportadoras usadas (N flujos paralelos), cada uno con una tasa de trasmisión de $1/N$ de la original. Por ejemplo, si se utiliza un sistema con 100 subportadoras y se transmite un solo flujo con una tasa de 1 Mbps es convertido en 100 flujos de 10 Kbps. Al crear flujos de datos más lentos, provoca que la duración de cada bit aumente en un factor de N , esto favorece cuando se requiere tener una buena cobertura en la señal.

Asimismo, es una gran ventaja al momento de transmitir, porque supera los retos de la propagación en entorno NLOS, es decir, con obstáculos interpuestos o sobre lugares que contengan mucha interferencia. Una adecuada elección de los parámetros del sistema, como el número de subportadoras y la distancia entre estas, pueden reducir enormemente, o incluso eliminar la interferencia inter-simbólica (ISI).

La Interferencia entre símbolos sucede cuando la magnitud de la distorsión aumenta conforme se eleva la tasa de bits de los datos transmitidos, esto se da por la siguiente razón: conforme se incrementa la tasa de bits, algunas de las componentes de frecuencia asociadas a cada transición de bits se retrasan, comenzando a interferir con las componentes de frecuencia asociadas a un bit posterior. En otras palabras, es cuando los pulsos o bits se dispersan e interfieren con los bits vecinos, provocando que se entorpezca la decisión sobre ellos. El entorpecimiento que se da debido a este fenómeno se denomina ruido blanco de la señal. Algunas veces el receptor puede recibir réplicas de las señales transmitidas, sin embargo, gracias a la modulación OFDM este problema se puede evitar.

Como se mencionaba anteriormente OFDM ofrece una gran ventaja para la calidad de la transmisión, pero ¿cómo está definida para WiMAX?

WiMAX Forum ha establecido que para el estándar 802.16-2004, diseñado para dispositivos fijos, sean utilizadas 256 subportadoras para su uso en un solo canal. Sin embargo, del total 192 son utilizadas para datos, 8 son pilotos y 56 nulas. Las subportadoras pilotos son utilizadas como referencia para minimizar los desplazamientos de frecuencia y fase. Por último las 56 subportadoras nulas son utilizadas para el resguardo de la banda y la frecuencia DC, que corresponde a la frecuencia central del canal (4).

En la *tabla 4.1* se muestran los tipos de subportadoras con sus respectivas características.

Tabla 4.1 Tipos de subportadoras

Tipo de subportadora	Función
Subportadoras de datos	Usadas para transportar los símbolos de datos.
Subportadoras pilotos	Utilizadas para seguimiento, estimaciones del canal y sincronización.
Subportadoras nulas	No poseen potencia almacenada e incluye a la subportadora DC y las subportadoras de guarda. La subportadora DC no es modulada para evitar efectos de saturación o exceso de potencia en el amplificador.
Subportadoras de guarda	Utilizadas para evitar interferencias entre los símbolos retrasados y los posteriores.

A continuación en la *figura 4.5* se muestra una representación de un símbolo OFDM en el dominio de la frecuencia.

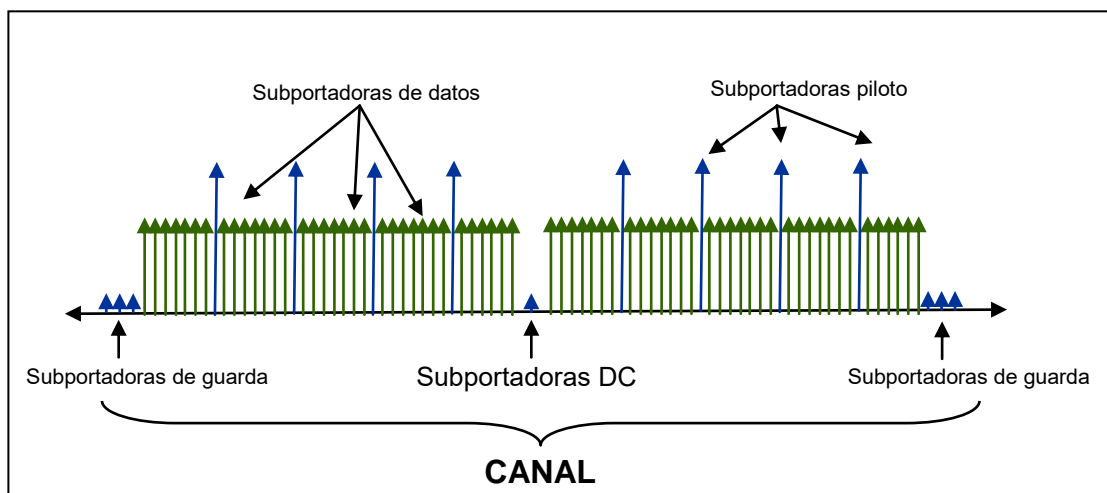


Figura 4.5 Símbolo (señal) OFDM en el dominio de la frecuencia.

Otra posible opción para eliminar completamente la ISI es añadir intervalos de guarda entre las señales OFDM, De este modo, los símbolos que llegan tarde no interferirán con los símbolos posteriores.

4.1.2 Modulación adaptativa

Como se mencionaba anteriormente el estándar 802.16-2004 utiliza OFDM como esquema de transmisión, debido a su gran robustez en ambientes NLOS. Con OFDM cada subportadora es modulada con técnicas como: 64QAM, 16QAM, QPSK y BPSK dependiendo de la condición del canal. Las BS's eligen el método correcto tomando en cuenta la Relación Señal Ruido (SNR) que existen en el enlace radio con sus SS's. Diferentes órdenes de modulación permiten enviar más bits por símbolo y de esta manera alcanzar un alto throughput o mejor eficiencia espectral. A la propiedad que tienen las BS's para adaptarse a las condiciones del canal se le conoce como Modulación adaptativa.

Una BS puede elegir la modulación 64QAM para aumentar el throughput cuando las SS's se encuentran más cerca de ella, esto se debe a que la señal no necesita atravesar demasiados obstáculos y se requiere menos potencia para la transmisión; 64QAM es la más eficiente para estos casos. Durante un desvanecimiento de la señal, el sistema WiMAX puede desplazar a la señal a un esquema de modulación como 16QAM o QPSK para mantener la calidad y estabilidad del enlace. La modulación menos eficiente es BPSK, que se utiliza para clientes muy alejados de la BS, ya que se requiere mayor potencia de la señal y el throughput que fluirá a través del sistema será menor. Esto quiere decir que a mayor distancia menor es el orden de modulación empleado. En resumen la modulación adaptativa permite al sistema superar el desvanecimiento de la señal y otras interferencias. Si el lector quiere obtener más información al respecto se sugiere consultar (1 págs. 19-24, 126).

En la *figura 4.6* se muestra el tipo de modulación utilizado en términos del alejamiento a la estación base.

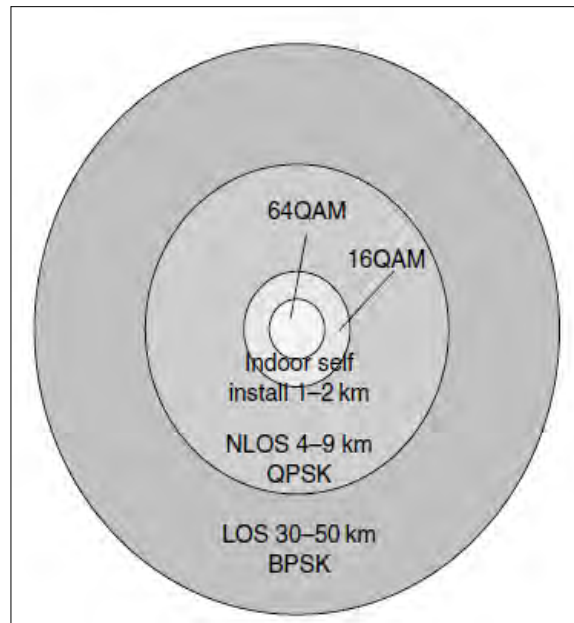


Figura 4.6 Modulación adaptativa. (1)

4.1.3 Técnicas de corrección de errores

Las técnicas de corrección de errores han sido incorporadas para reducir los requerimientos de señal ruido en el sistema. Se utilizan varias técnicas para corregir errores, las cuales mejoran significativamente el throughput. Estas técnicas se describen a continuación:

- FEC: Corrección de Errores Hacia Adelante (en inglés, Forward Error Correction) es un código de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original. Se utiliza en sistemas sin retorno o sistemas en tiempo real donde no se puede esperar a la retransmisión para mostrar los datos. Una ventaja de este código es que el retardo de tránsito es constante, ya que no hay que perder tiempo en retransmitir. Presenta el inconveniente

de que es difícil conseguir una alta fiabilidad y además los decodificadores son lentos y costosos.

- ARQ: Solicitud de Repetición Automática (Automatic Repeat Request), consiste en pedir retransmisión de la trama errónea, detectada a través de un código detector de error. La utilización de esta técnica está limitada por la calidad del canal, si se tiene canales con mucho ruido ésta no es eficiente. Esto mejora significativamente el número de bits incorrectamente recibidos llamado BER (Bit Error Ratio). Estas técnicas de corrección ayudan a recuperar tramas erróneas que pueden haber sido perdidas por desvanecimientos selectivos de frecuencia o ráfagas de errores. Para un mayor detalle sobre las técnicas de corrección de errores se sugiere consultar (4 págs. 312,385) y (5).

4.2 Capa MAC

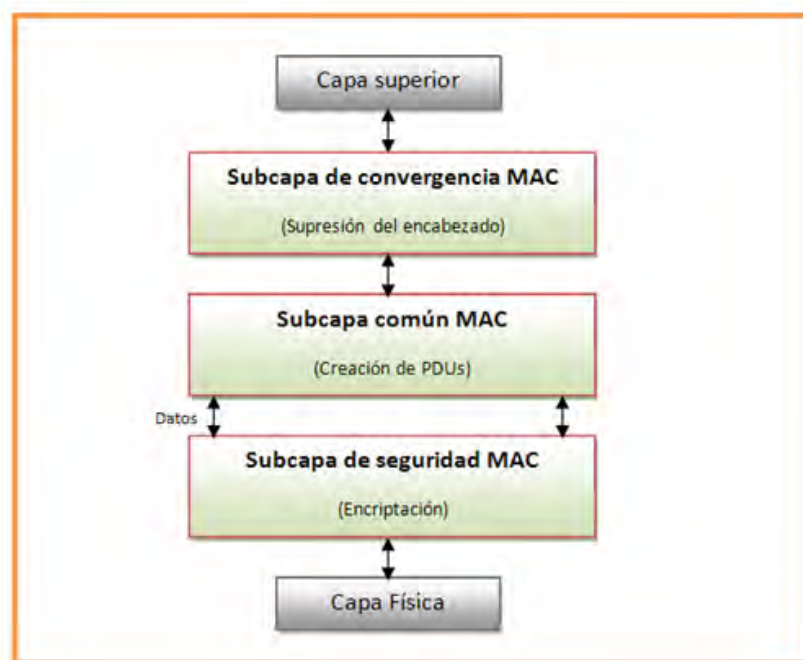


Figura 4.7 Funciones de la capa MAC del estándar 802.16-2004

La Capa MAC (Control de Acceso al Medio) se puede observar en la *figura 4.7*, la cual define cómo y cuándo una estación base o estación de abonado puede

iniciar la transmisión sobre el canal. Dado que la capa física de WiMAX es inalámbrica, la capa MAC se centra en administrar en forma eficiente los recursos de la interfaz de aire. En las siguientes subsecciones se detallará cada una de las subcapas de la capa MAC.

4.2.1 Subcapa de convergencia

La Subcapa de Convergencia (CS) está localizada entre la Capa MAC y la de red. La subcapa de convergencia acepta los Protocolos de Unidades de Datos (PDUs) de las capas superiores, permitiendo al 802.16 realizar una clasificación de estos, e inmediatamente entrega la PDU de servicio específico al Punto de Acceso al Servicio (SAP) en forma de MAC-SDUs (MAC - Servicio de Unidades de Datos). Las SDUs son unidades de información de un protocolo de capa superior que definen una petición de servicio a un protocolo de capa inferior.

La CS interactúa con una variedad de protocolos de capas superiores, como ATM y Ethernet. Esta realiza todas las operaciones que dependen de la naturaleza de estos protocolos de capa superior, como la supresión de cabeceras y de la ubicación de direcciones de la capa superior.

4.2.1.1 Ubicación de direcciones de la capa superior

Un elemento importante durante la conexión es el CID (Identificador de conexión), del encabezado de la capa MAC, quien funciona como apuntador hacia el receptor y proporciona información acerca del contexto que se realiza. Por ejemplo, cada solicitud de asignación de ancho de banda que realizan las SS está basada en el CID, por lo que el ancho de banda disponible será distinto para conexiones diferentes. Las conexiones entre la BS y la SS se identifican mediante el CID de 16 bits, permitiendo hasta 65536 conexiones en cada uno de los canales (de subida y bajada).

El CID es responsable de la ubicación de las direcciones de la capa superior. Por ejemplo las direcciones IP de las SDUs para identificar las conexiones MAC y PHY en las transmisiones. Un CID debe ser visto como una dirección temporal y dinámica de capa 2 asignada por la BS para identificar la conexión unidireccional existente con una SS. Un CID contiene datos para el control del tráfico (4).

4.2.1.2 Supresión del encabezado del paquete (PHS)

Como todos sabemos, hay una gran cantidad de datos repetitivos en las cabeceras de los paquetes en una red IP (direcciones de destino de origen, los números de puerto, números de versión, etc.). El proceso de supresión de cabeceras consiste en que la porción repetitiva de las cabeceras de datos son suprimidas al ser enviadas y restauradas al ser recibidas. La supresión tiene como objetivo obtener una mayor proporción de información útil transmitida frente a información de canal, esto beneficia en un gran ahorro de ancho de banda y por lo tanto se brinda un mejor servicio. En WiMAX la implementación de PHS se torna vital debido a que mejora la eficiencia de la red para ofrecer Servicios como VoIP.

Por ejemplo, si el tráfico transmitido proviene de una red Ethernet y los SDU's entregados a la CS son paquetes IP, pero, el origen y el destino que figuran en el encabezado de cada paquete IP no cambia de un paquete al siguiente, el encabezado puede ser removido antes de ser transmitido por el aire. Del mismo modo en el receptor: La parte repetitiva de la cabecera puede ser reinsertada en la SDU, antes de ser entregado a la capa superior, en este caso la de red.

En la *figura 4.8* se puede observar mejor el proceso de Supresión del Encabezado.

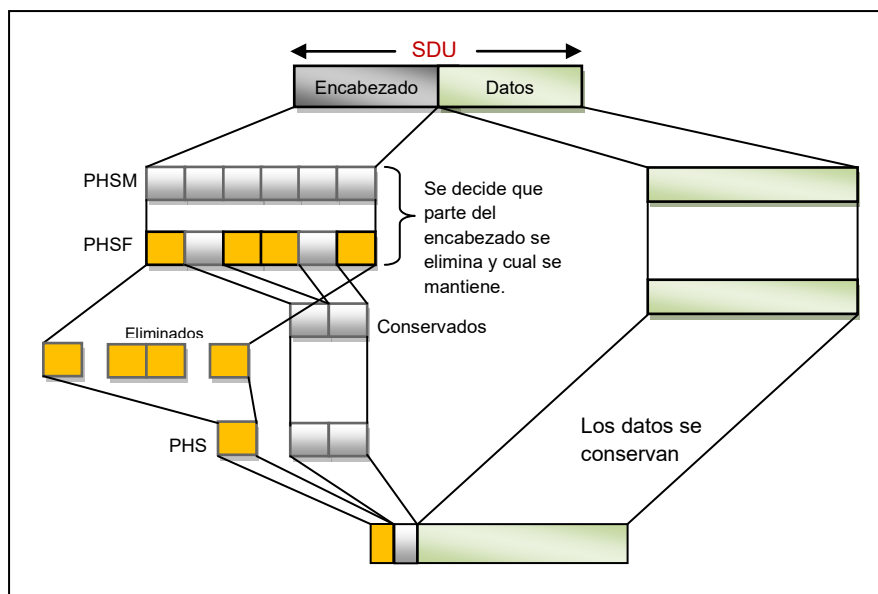


Figura 4.8 Supresión del encabezado del paquete (PHS)

El funcionamiento de la supresión del encabezado se puede sintetizar en los siguientes pasos (*figura 4.9*):

1. Cuando la SDU es recibida, la CS primero determina si existe una regla PHS asociada a esa SDU.
2. Si se encuentra una regla que coincida, la CS determina la parte del encabezado que no debe ser suprimida, usando una Máscara de PHS (PHSM) asociada con la SDU.
3. La parte del encabezado que sea suprimida se conoce como el Campo de PHS (PHSF).
4. Si el PHS verificador (PHSV) se utiliza, la CS primero compara los bits en la PHSF con los SDU anteriores para ver si coinciden, estos se basan en la norma PHS. Si el PHSF de la SDU coincide con el PHSF caché, los bytes correspondientes a la PHSF son removidos.
5. La SDU se adjunta por el Índice de PHS (PHSI) según lo dispuesto por la regla de correspondencia. El PHSI es un campo de 8 bits que se refiere a la PHSF.

6. Del mismo modo, si el PHSF de la SDU no coincide con el PHSF de la regla asociada, la PHSF no se suprime y la SDU se adjunta con un PHSI de 0.

7. Si el PHSV no se utiliza, el CS no se puede comparar el PHSF de la SDU con el PHSF caché, y la supresión de cabecera se realiza en todas las SDU (4).

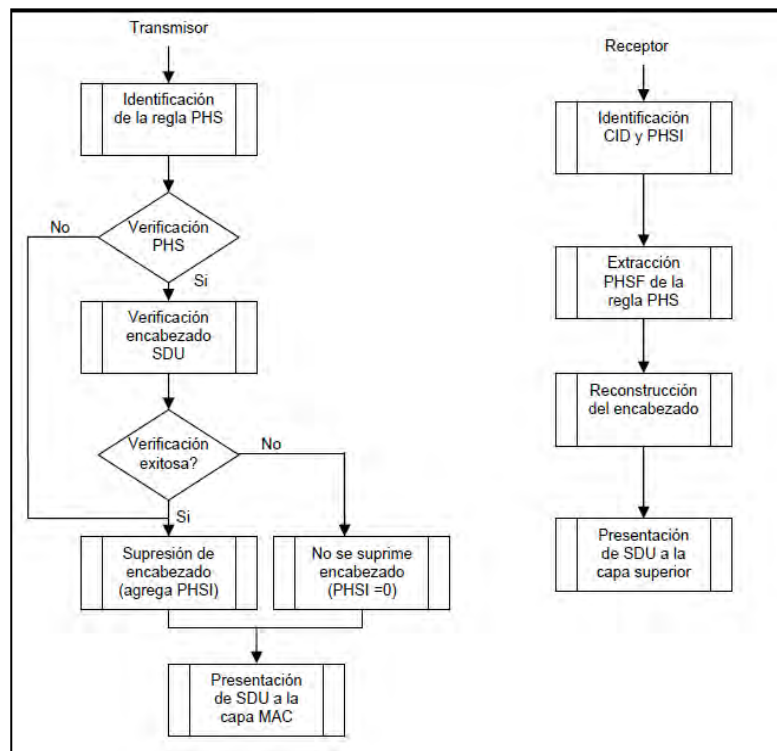


Figura 4.9 Operación PHS en WiMAX (4)

4.2.2 Subcapa de parte común (CPS)

Esta subcapa realiza todas las operaciones de paquetes que son independientes de las capas superiores como: fragmentación y concatenación de SDUs en MAC PDUs, transmisión de MAC PDUs, control de QoS y gestión del ancho de banda.

Esta subcapa es la encargada de la construcción y transmisión de los PDU MAC. Con esto puede llevar a cabo tareas como la planificación de las transmisiones y la distribución del ancho de banda.

4.2.2.1 Fragmentación

Los paquetes que exceden la longitud máxima disponible para transmitir pueden ser divididos en otros más pequeños. La capacidad para realizar fragmentaciones se indica al momento de establecer la conexión. Esta operación es otra manera de aprovechar de forma eficiente el ancho de banda disponible, como fue el caso del PHS (4).

Los SDUs que lleguen a la Subcapa de Parte Común sirven para la creación de los PDUs de la capa MAC. Basándose en el tamaño, múltiples SDU's pueden unirse para formar un solo PDU; o de lo contrario, un solo SDU puede ser fragmentado para distribuirse en varios PDUs.

Cuando un PDU es fragmentado, cada sección del fragmento es etiquetado por un número secuencial; de este modo, el receptor puede obtener la información en el orden correcto.

Con el objetivo de utilizar eficientemente los recursos de la capa física, los PDUs que han sido destinados al mismo receptor pueden ser concatenados para enviarse en una misma transmisión. Este proceso se muestra a continuación en la *figura 4.10*.

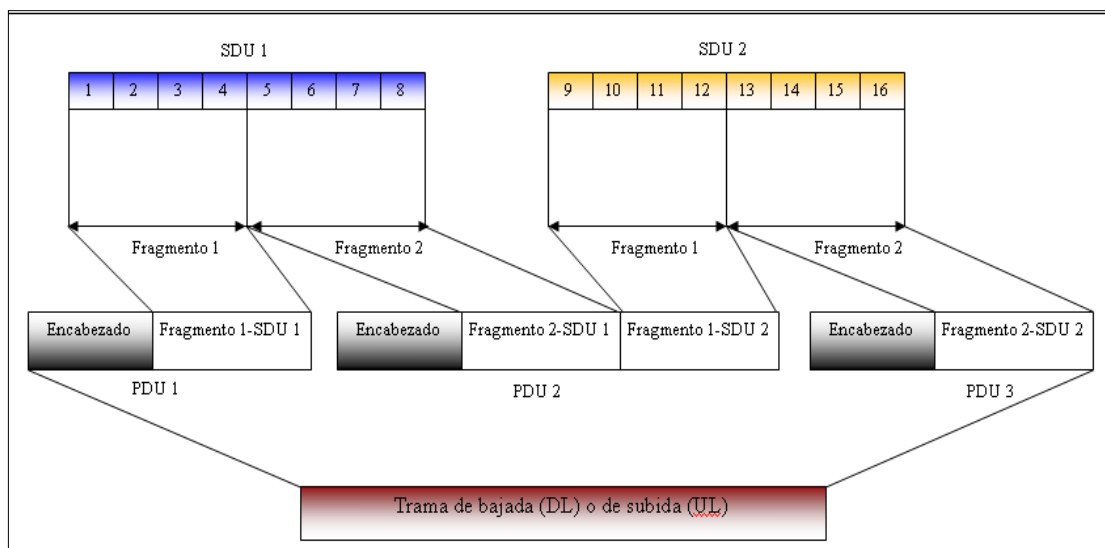


Figura 4.10 Segmentación y concatenación de SDUs en MAC PDUs

4.2.2.2 Formato del encabezado MAC

La PDU de la MAC es la unidad de datos que intercambia la capa MAC de la BS y la del SS. Consiste en una cabecera de MAC de longitud fija, una carga útil de longitud variable y una verificación de redundancia cíclica (CRC), tal como se muestra en la *Figura 4.11*.



Figura 4.11 Formato del PDU de la MAC

WiMAX tiene dos tipos de PDUs, cada uno con una estructura muy diferente en el encabezado como se menciona a continuación:

Encabezado genérico: Transporta datos y mensajes propios de la capa MAC. Utilizado por los paquetes que poseen información del usuario, de control o cuando se emplean las funciones de fragmentación, concatenación o empaquetamiento (*figura 4.12*).

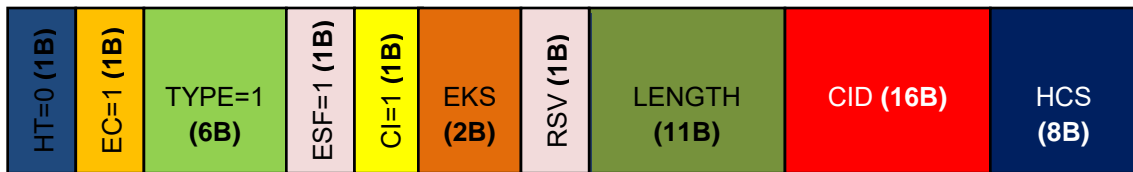


Figura 4.12 Encabezado genérico.

En la *tabla 4.1* se muestra la descripción de cada campo del encabezado genérico.

Tabla 4.1 Campos del encabezado genérico. (3)

Campo	Tamaño (bits)	Descripción
HT	1	Tipo de Encabezado (<i>Header Type</i>). Debe tener el valor 0, indicando que el encabezado corresponde al tipo Genérico.
EC	1	EC, Control de Cifrado (<i>Encryption Control</i>). Indica si el encabezado se ha encriptado. (0 = desactivado; 1 = activado)
Type	6	Indica el tipo de carga útil (<i>payload</i>) incluida en el paquete.
ESF	1	Campo del Subencabezado (<i>Extended subheader field</i>) (1 = subencabezado presente; 0 = no presente)
CI	1	Indicador CRC (CRC Indicator). Indica si se ha empleado la Verificación de Redundancia Cíclica (<i>Cyclic Redundancy Check</i>) para el control de errores. (1 = CRC activada; 0 = CRC desactivada)
EKS	2	Secuencia de Llave de Cifrado (<i>Encryption Key Sequence</i>). Índice de la Llave de Cifrado y del Vector de Inicialización.
Rsv	1	Reservado
LEN	11	Longitud (<i>length</i>), tamaño en bytes de un PDU MAC, incluyendo encabezado.
CID	16	Identificador de Conexión (<i>Connection Identifier</i>). Empleado para identificar la conexión generadora del paquete.
HCS	8	Secuencia Verificadora de Encabezado (<i>Header Check Sequence</i>). Para identificar errores en el encabezado.

Encabezado de petición de ancho de banda: Utilizado por la SS para indicar a la BS que es requerido más ancho de banda. Contiene un encabezado y a diferencia del genérico no posee comprobación de redundancia cíclica (CRC), (*figura 4.13*).

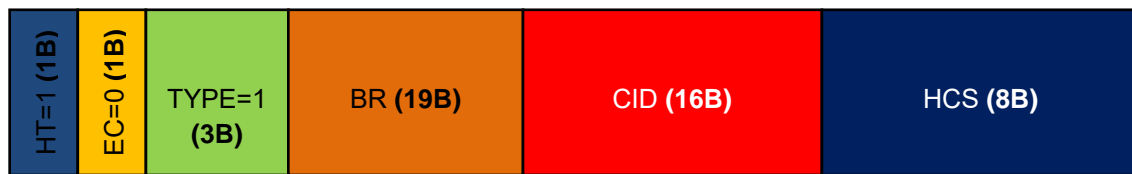


Figura 4.13 Encabezado de petición de ancho de banda.

En la *tabla 4.2* se muestra la descripción de cada campo del encabezado de petición de ancho de banda.

Tabla 4.2 Campos del encabezado de petición de ancho de banda. (4)

Campo	Tamaño (bits)	Descripción
HT	1	Debe tener el valor 1, indicando que el encabezado corresponde al tipo de Asignación de Ancho de Banda.
EC	1	Debe tener el valor 0, ya que no es posible cifrar los paquetes de este tipo.
Type	3	Indica el tipo de solicitud que se realiza (incrementada o agregada).
BR	19	<i>Bytes solicitados (Bytes Requested)</i> . Tamaño total de la información que desea transmitirse.
CID	16	Conexión que solicita la asignación de ancho de banda..
HCS	8	Secuencia Verificadora de Encabezado (<i>Header Check Sequence</i>). Para identificar errores en el encabezado.

Además de los encabezados antes mencionados, WiMAX también define cinco tipos de subencabezados que pueden ser utilizados en un PDU genérico:

- Subencabezado Mixto: Utilizado después del encabezado genérico para indicar que se está utilizando una red mixta.
- Subencabezado de fragmentación: Indica que el SDU fue fragmentado en múltiples PDUs.
- Subencabezado de realimentación: Indica que la SS ofrece realimentación con información del estado del canal.

4.2.2.3 Solicitud y asignación de ancho de banda

Cada SS realiza una solicitud a la BS, para incrementar o decrementar el ancho de banda, de acuerdo con sus necesidades y tipo de tráfico generado.

La asignación del ancho de banda la realiza la BS de acuerdo a las solicitudes que realizan las SS's, conforme con los requerimientos específicos de cada conexión, dicho mecanismo se conoce como Acceso Múltiple Asignado por Demanda (DAMA). Las oportunidades de transmisión dependen de los parámetros de QoS especificados durante la inicialización de la conexión.

Para el enlace de bajada (Downlink, DL), todas las decisiones de distribución de ancho de banda son tomadas por la BS de acuerdo al identificador de conexión (CID).

Como todos los PDUs contienen un identificador de conexión, la estación base los ordena según sus requerimientos de calidad de servicio. Una vez que estén ordenados, ésta información se comparte a la SS.

Para el enlace de subida (Uplink, UL), la SS realiza peticiones de recursos a través de peticiones de ancho de banda. Cuando la BS recibe una petición de incremento de ancho de banda de una SS, agrega la cantidad de banda solicitada. En dado caso que no exista ancho de banda disponible para ofrecer, se lleva a cabo un proceso de encuesta. Para evitar cualquier tipo de tráfico o colisión, solo se toman en cuenta a las SS's que están utilizando un ancho de banda considerable.

De esta forma, se busca liberar el ancho de banda de alguna SS para transferírsele a otra. Si aún no existe ancho de banda disponible, entonces se repite el proceso. El número de intentos permitidos es definido por el fabricante o por el proveedor de servicio.

4.2.2.4 QoS en WiMAX

La Subcapa de Parte Común es la encargada de cumplir con los requerimientos de QoS (Calidad de Servicio). El control QoS se logra utilizando una arquitectura orientada a conexión, donde todas las conexiones de enlace ascendente y descendente son controladas por la BS a través del Identificador de Conexión (CID). La especificación 802.16 ofrece el ancho de banda de acuerdo al tipo de servicio o flujo de datos que la SS utiliza; por ejemplo, una SS que requiere video-conferencias utiliza más ancho de banda que otra que solo necesita transmitir datos. Entonces dependiendo de las características de la conexión es el ancho de banda que asigna la BS.

Cada conexión tiene diferentes tipos de flujos de datos, en esta subcapa, la calidad de servicio se ofrece mediante el Servicio de Flujos, como se ilustra en la *Figura 4.14*. Cada flujo PDU es clasificado y asociado con sus respectivos parámetros de calidad de servicio. La clasificación y planificación se lleva a cabo gracias a un Servicio de Identificación de Flujo (SFID) de 32 bits de largo, que identifica los parámetros de QoS que necesita cada SS, y se encuentra relacionado con el Identificador de Conexión (6).

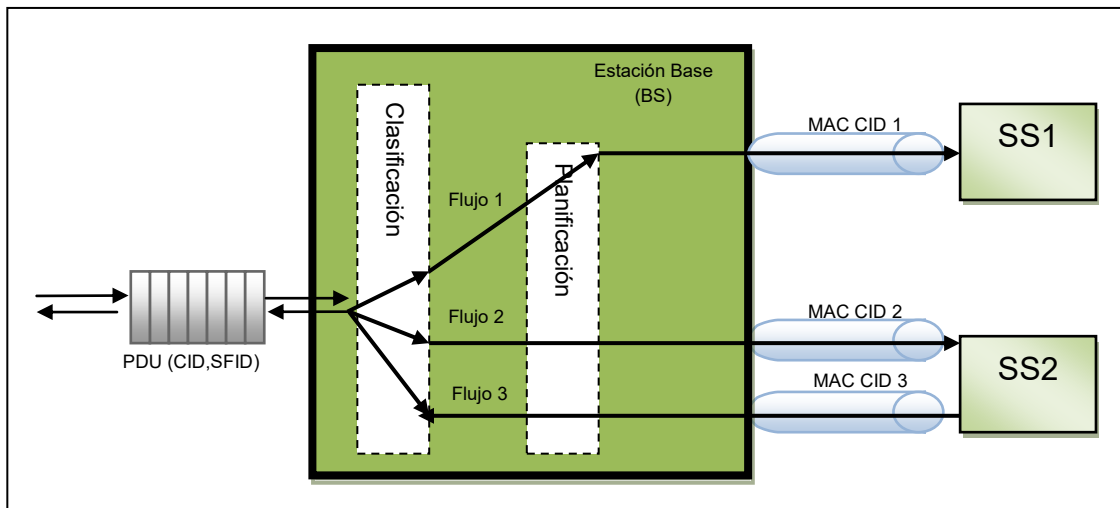


Figura 4.14 Servicio de Flujos en IEEE 802.16-2004.

Bajo la especificación 802.16, un suscriptor podría ser asociado con un número de SFID caracterizado por parámetros QoS. Esta información se presume que es proporcionada en un sistema de gestión de clientes (AAA database) o un servidor de políticas.

4.2.2.5 Planificación de servicios

La capa MAC de WiMAX utiliza un servicio de planificación para clasificar cada tipo de servicio, esto acorde a su necesidad de ancho de banda y calidad de servicio, como se mencionó anteriormente.

Un servicio de planificación únicamente sirve para definirle a la red el método de transmisión a emplear, considerando el tipo de servicio. WiMAX define cinco servicios de planificación; estos son:

1. Autorización de servicio no solicitado (UGS): Diseñado para soportar servicios en tiempo real como VoIP.
2. Servicio de sondeo en tiempo real (rtPS): Diseñado para soportar servicios en tiempo real que requieren paquetes de información de tamaño variable como por ejemplo video MPEG.
3. Servicio de sondeo en tiempo no real (nrtPS): Similar al rtPS sin embargo, por ser un servicio en tiempo no real, contiene retrasos de algunos segundos en cuanto a su respuesta.
4. Servicio de mejor esfuerzo (BE): Provee un pequeño soporte de QoS a aquellas aplicaciones que no tienen requisitos estrictos de calidad de servicio.
5. Servicio de sondeo extendido en tiempo real (ertPS): Es un nuevo servicio de planificación introducido por la IEEE 802.16e para lograr la eficiencia de UGS, pero no es usado para el estándar estudiado en esta tesis.

4.2.3 Subcapa de seguridad

La subcapa de seguridad es la responsable de la encriptación, autorización e intercambio apropiado de las claves de encriptación entre las estaciones base y las estaciones subscriptoras.

Como se sabe, la seguridad es primordial para las redes inalámbricas, WiMAX propone una serie de características muy completas en materia de seguridad:

- Autenticación de usuario en base a protocolo EAP (Protocolo de autenticación extensible), el cual permite contraseñas de un solo uso y autenticación por clave pública.
- Autenticación del terminal por intercambio de certificados digitales que impiden la conexión de terminales no autorizados.
- Cifrado de las comunicaciones utilizando algoritmos como el DES o el AES, mucho más robustos que el Wireless Equivalent Privacy (WEP) utilizado en redes Wi-Fi.

4.2.3.1 Encriptación de PDU's

Al transmitir un paquete, el emisor hará funcionar la encriptación y la autenticación de datos del paquete. El receptor por su parte, al recibir hace funcionar la descrición y autenticación obteniendo la información necesaria en el encabezado genérico de la capa MAC del paquete (4).

La cabecera MAC genérica no será encriptada. La cabecera contiene toda la información necesaria para la descrición de un payload en la SS receptora. La información que contiene el encabezado genérico se encuentra en los campos EC (Control de Encriptación), EKS (Secuencia de Llave de Cifrado) y el CID (identificador de conexión). Esto se ilustra en la *figura 4.15*:

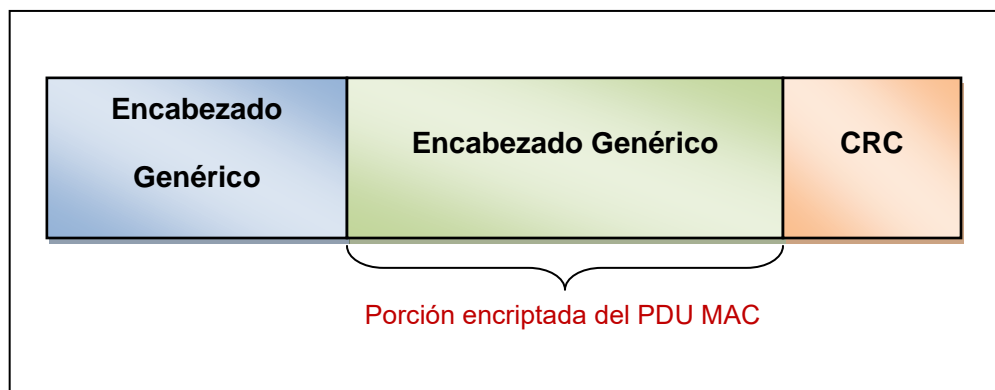


Figura 4.15 Encriptación del PDU MAC

Capítulo 5. Aplicaciones, servicios y comparación con otras tecnologías.

5.1 Aplicaciones y servicios

Para las empresas WiMAX puede resultar una alternativa a contemplar, ya que el precio puede resultar mucho menor en comparación con otras tecnologías como en el caso de enlaces E1 y T1. Además WiMAX fijo tiene una gran variedad de aplicaciones y servicios que se adaptan a la necesidad de cada usuario gracias a su funcionamiento basado en los requerimientos QoS de cada conexión.

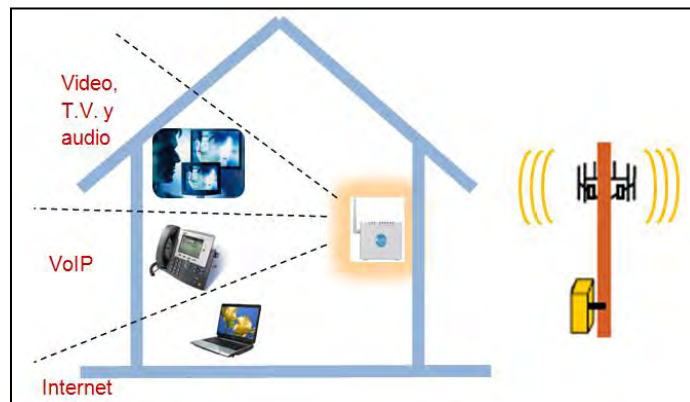


Figura 5.1 Servicios WiMAX

WiMAX fijo ofrece servicios de triple play (voz, Banda ancha y televisión) que aplicándolos en diferentes ambientes tecnológicos se pueden obtener una gran variedad de funciones (*figura 5.1*), por ejemplo:

- Wireless VoIP.

- VPLS – Virtual Private LAN Services.
- Video en Demanda (VoD).
- Cajeros Automáticos (ATM).
- Juegos en Línea.
- Aplicaciones de Seguridad y Monitoreo (cámaras de seguridad).
- Comunicación Multimedia.
- Redes de Sensores.
- Telemática y Telemetría.
- Monitoreo Remoto de Signos Vitales de Pacientes.

Con las ventajas ya mencionada de WiMAX fijo como velocidades de hasta 75 Mbps y coberturas de hasta 50 Km, está tecnología se puede aplicar en una gran variedad de lugares como:

- Ayuntamientos y Centros Educativos
- Minería, Agricultura y Transportes
- Seguridad y Emergencias
- Internet y WISP (Wireless Internet Service Provider).
- Comunidades de Vecinos
- Empresas Privadas.
- Backhuals y Hotspots.

5.2 WiMAX en México

En México una de las primeras compañías de comunicaciones en implementar WiMAX es AXTEL la cual pertenece a WiMAX Forum. Actualmente AXTEL ya ofrece servicios basados en tecnología WiMAX en Monterrey, Puebla y Guadalajara. Por ejemplo en Monterrey, Nuevo León, hay más de 100 puntos de acceso a Internet inalámbrico de banda ancha gratuitos, en parques, jardines y bibliotecas. También se están haciendo pruebas piloto de dos cámaras remotas con acceso con WiMAX hasta el Centro de Control en México DF.

Además AXTEL ofrece WiMAX en su versión 802.16e para dispositivos móviles con ayuda de radiobases (puntos de acceso) de infraestructura Motorola (7).

Otra de las compañías que ya se encuentra actualmente ofreciendo servicios de WiMAX es Ultratelecom. El servicio se llama Ultranet2go y funciona a través de un radiomódem pequeño portátil, el cual sólo requiere conectarse a la computadora y a la red eléctrica (aunque también se activa con batería), por lo que los usuarios pueden llevarlo a cualquier lugar donde haya cobertura WiMAX y acceder a internet, no obstante otra opción es una tarjeta que se instala en la computadora.

Si el usuario contrata el servicio de Ultranet2go, las mensualidades van desde 215 pesos hasta 800 pesos, de acuerdo con la velocidad requerida. A la fecha, Ultratelecom cuenta con 7 mil usuarios del servicio de internet y con 190 mil de televisión de paga. La compañía ofrece el servicio en Puebla, Veracruz, Aguascalientes, Coahuila, Coahuila, Coahuila, Tampico, Matamoros Tehuacán, Xalapa, Cuernavaca, Cuautla, Chilpancingo, Iguala y Tlaxcala, entre otras ciudades (8).

Por otro lado TELMEX, el principal proveedor de Servicios de Internet en México, apenas está empezando a implementar tecnología WiMAX. TELMEX no está haciendo un despliegue de WiMAX a gran escala, si no que utiliza esta tecnología para alcanzar zonas urbanas donde no llega con su infraestructura cableada. Además, el operador mexicano utiliza esta tecnología para dar servicios en zonas rurales del país. Por ejemplo, después de la inundación en Tabasco, todas las líneas telefónicas se dañaron, por lo que TELMEX implemento teléfonos inalámbricos por medio de WiMAX.

En Quintana Roo una empresa llamada NGN Telecom que es una empresa especializada en el diseño e implementación de soluciones tecnológicas para Gobiernos, Universidades y Corporativos, ya implementó la primera Red WiMAX en Playa del Carmen y Cancún para aplicaciones de Voz, datos y

Video. Además de que han implementado soluciones de Internet gratuito en varios parques de estas ciudades (9).

5.3 WiMAX y Wi-Fi, comparativa de tecnologías

WiMAX ha sido catalogado como una amenaza para las demás tecnologías inalámbricas, sin embargo ese no es el objetivo de ésta, sino que fue desarrollada para ser interoperable con las tecnologías ya existentes como Wi-Fi, 3G y 4G. Por ejemplo, WiMAX se puede usar para comunicar inalámbricamente muchas SS que se encuentran a kilómetros de distancia y utilizar Wi-Fi como terminales finales para los usuarios, como se observa en la *figura 5.2*. En este apartado compararemos algunas características como ancho de banda, sensibilidad frente a interferencias, competencias por acceso al medio y la calidad del servicio del estándar 802.16-2004 y Wi-Fi con el estándar 802.11g.

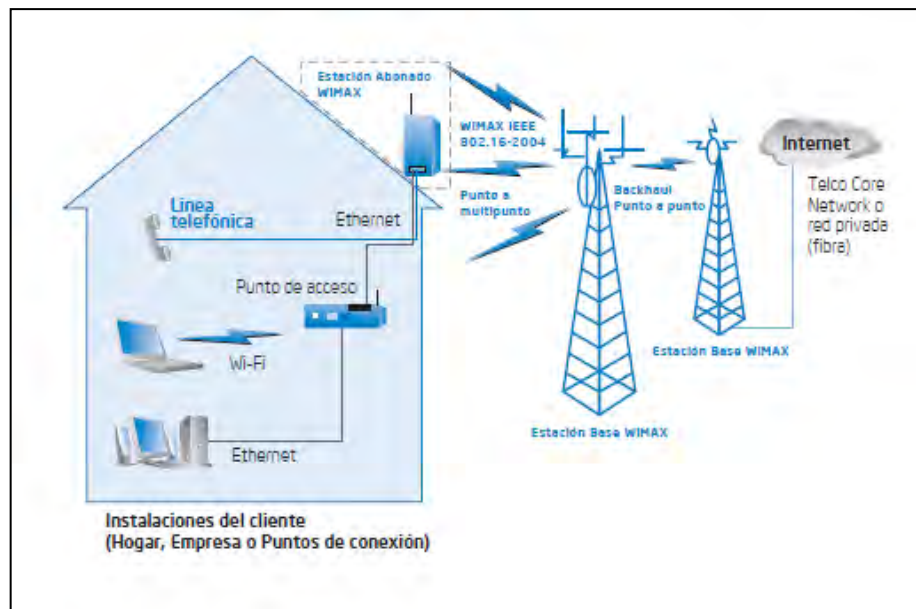


Figura 5.2 Interoperabilidad entre Wi-Fi y WiMAX

5.3.1 Ancho de banda y cobertura

Wi-Fi alcanza velocidades de hasta 54 Mbps con el estándar 802.11g. WiMAX por otro lado tiene velocidades de hasta 75 Mbps con el estándar 802.16-2004. Sin embargo, el pasado 11 de septiembre del 2009 se aprobó definitivamente el estándar 802.11n para redes Wi-Fi que alcanza velocidades de hasta 300 Mbps teóricos en condiciones ideales, pero en condiciones reales tiene una velocidad de hasta 150 Mbps.

Si bien las velocidades de transmisión son superadas por Wi-Fi 802.11n, éste no alcanza la cobertura con la que cuenta el estándar 802.16-2004. Sin embargo, hay que recalcar que WiMAX es una tecnología que sigue madurando y por tanto está en un proceso de mejora continua. En cuanto a cobertura, el alcance de la comunicación Wi-Fi está alrededor de los 30m–100m, con equipos estándar en situaciones de visión directa sin obstáculos; mientras que WiMAX puede alcanzar transmisiones de hasta 50 kilómetros. Este alcance es debido a las bandas frecuenciales licenciadas usadas y a la potencia del transmisor, y por supuesto es afectado por el terreno, clima, edificios, etc. (10).

En la grafica 5.3 se puede observar las diferencias entre ancho de banda y cobertura de estas dos tecnologías inalámbricas.

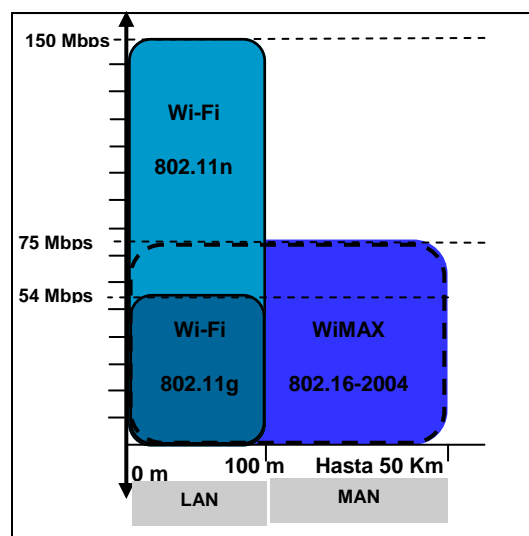


Figura 5.3 Comparación entre WiMAX y Wi-Fi

5.3.2 Competencia por el canal

El estándar 802.11 (Wi-Fi) usa una capa MAC muy similar a la MAC Ethernet. El acceso al medio no está controlado, por lo que se basa en algoritmos de escucha y espera aleatoria (CSMA/CD). Si una estación quiere transmitir, escucha el canal, y si está libre, transmite, si no, espera un tiempo aleatorio. Estos algoritmos no garantizan la ausencia de colisiones, especialmente dado que no todas las estaciones inalámbricas son capaces de escucharse. El propio concepto de espera aleatoria indica la presencia de instantes de silencio en los que el canal no está siendo empleado. En definitiva, la MAC no es determinista (se basa en algoritmos aleatorios) y no es eficiente. De hecho, la eficiencia MAC del estándar 802.11 llega como mucho al 40%, proporcionando 22 Mbit/s netos de una capa física de 54 Mbit/s (10). Esa eficiencia además varía, ya que el comportamiento no es determinista. Por eso los fabricantes de equipamiento Wi-Fi nunca indican el throughput neto, sino la capacidad a nivel físico.

En el estándar 802.16 (WiMAX fijo), el acceso al medio está controlado por la estación base. Ninguna estación suscriptora transmite sin permiso de la estación base. La transmisión se realiza en tramas de longitud constante perfectamente organizadas por la estación base. De este modo se garantiza la ausencia de colisiones y silencios, por lo que se logra la máxima eficiencia MAC con un comportamiento determinista. La eficiencia MAC de WiMAX llega al 92%, proporcionando un throughput de casi 35 Mbit/s de una capa física de 37.7 Mbit/s (10). WiMAX puede garantizar el throughput neto, que es un parámetro mucho más interesante a nivel de sistema, que la capacidad a nivel físico. Eso sólo se puede lograr gracias al determinismo de la MAC.

5.3.3 Sensibilidad frente a interferencias

Para evitar la interferencia tanto Wi-Fi como WiMAX utilizan el método de modulación OFDM, como se vio en el capítulo 4. Si bien ambos utilizan OFDM, WiMAX utiliza un sistema más robusto con 256 subportadoras, a diferencia de Wi-Fi que utiliza solo 65. Esto se debe a que WiMAX fue diseñado para

multicamino y proveer comunicaciones NLOS, es decir con obstáculos interpuestos, además de reducir de manera eficiente la Interferencia intersimbólica (ISI).

Por otra parte Wi-Fi utiliza la banda sin licencia de 2.4 GHz, sujeta a interferencias de microondas o teléfonos inalámbricos. Esta es una gran ventaja para WiMAX ya que opera en varias bandas de frecuencia bajo licencia, lo que elimina la interferencia y la cacofonía propia de las bandas no sujetas a licencia. Un servicio bajo licencia está sujeto a una legislación que permite que los transmisores WiMAX puedan alcanzar una mayor potencia.

5.3.4 Calidad de servicio

Al contrario de 802.11, 802.16 fue diseñado teniendo en cuenta una amplia variedad de tipos de tráfico para satisfacer las necesidades de distintas aplicaciones como: VoIP, audio y video, o la navegación por Internet y la transmisión de ficheros.

La característica principal de la calidad de servicio en 802.16, y lo que lo distingue de sus competidores como 802.11 o 3G, es la asociación de cada paquete con un flujo de servicio (por lo que se dice que es orientado a conexión a nivel MAC). A cada conexión se le asigna un identificador de conexión (CID), y un identificador de flujo de servicio (SFID) que tiene asociada una clase de servicio determinada (*véase en el capítulo 4*). Un flujo de servicio se define como un flujo unidireccional de tramas MAC con una conexión asociada con parámetros de calidad de servicio específicos como latencia, jitter y throughput. Estos parámetros se emplean en la capa MAC para la planificación y la transmisión de las tramas.

En la tabla 5.1 podemos observar las diferencias técnicas entre ambas tecnologías.

Tabla 5.1 Comparaciones técnicas entre WiMAX y Wi-Fi

	Wi-Fi 802.11g	WiMAX 802.16-2004
Aplicación principal	LAN inalámbrica	Acceso inalámbrico de banda ancha
Banda de Frecuencia	2.4 GHz 5 Ghz	2-11 GHz 10-66 Ghz
Ancho de banda del canal	20 MHz	1.25-28 MHz
Tipo de modulación	OFDM (64 canales)	OFDM (256 canales), QPSK, 16QAM, 64QAM y BPSK.
Tasa de transferencia	54 Mbps	75 Mbps
Cobertura	30-100 m	50 Km
Half/Full Duplex	Half	Full
Movilidad	Fijo	Fijo

Capítulo 6. Conclusiones

A lo largo de esta monografía se analizó WiMAX, enfocándose específicamente en el estándar 802.16-2004. Como se habló en los primeros capítulos, el éxito de WiMAX se debe a su cobertura de 50 km y a su velocidad de transmisión de hasta 75 Mbps, en general. Además, se estudiaron las diferentes bandas de frecuencias en las que WiMAX puede trabajar. Como se vio en el capítulo 2, WiMAX fijo puede trabajar tanto en frecuencias licenciadas como no licenciadas, sin embargo, es mejor trabajar con frecuencias bajo licencia ya que no se verían afectadas por la latencia de la transmisión, provocada por interferencia de otros operadores. Además de que el ancho de banda que ofrecen las frecuencias bajo licencia es mucho mejor ya que la potencia se encuentra regulada por algunos organismos de comunicaciones.

Por otra parte, WiMAX da la facilidad de utilizar arquitectura mesh o malla, la cual ofrece un diseño de red redundante. A diferencia de la arquitectura punto a multipunto, varias estaciones base o entre las mismas estaciones suscriptoras se puede hacer el enlace. Lo anterior significa que si un enlace falla, existirá otro camino para continuar con la comunicación, esto lleva a un servicio constante y estable.

Además, se analizó que WiMAX fue diseñada para ofrecer Calidad de Servicio; lo cual es muy importante hoy en día, ya que ninguna otra tecnología inalámbrica está diseñada para ofrecer estas características. Con ayuda del SFID, los servicios se ofrecen a los usuarios de acuerdo a sus requerimientos de ancho de banda, cumpliendo con las demandas de los clientes. Además, el

sistema de WiMAX incorpora supresión de encabezado y fragmentación de PDUs, vitales para un mejor rendimiento del ancho de banda.

Otro de los motivos que ayudan a que WiMAX se siga expandiendo es su robustez como sistema de comunicaciones inalámbricas. Como se analizó en el capítulo cuatro, WiMAX utiliza modulación OFDM, la cual ayuda a soportar interferencias del medio ambiente y la interferencia inter-simbólica (ISI). También, WiMAX fijo puede utilizarse en ambientes NLOS y LOS; pero, se concluye que el sistema con Línea de Vista es mucho mejor, ya que es un servicio más estable y robusto, capaz de enviar mayor cantidad de datos con una tasa de error baja. Además de que se alcanzan velocidades de 75 Mbps y coberturas de 50 Km.

En cuanto a las comparaciones entre Wi-Fi y WiMAX, hay que Resaltar, WiMAX no es una tecnología sustituta de Wi-Fi. Una de las principales razones es que no compiten en el mismo mercado; WiMAX es una tecnología para redes MAN, es decir, es para áreas metropolitanas, mientras que Wi-Fi es una tecnología para redes LAN, para redes pequeñas como hogares y oficinas. Además, WiMAX surgió para interoperar con las tecnologías ya existentes como Wi-Fi, 3G y 4G, de allí parte de su nombre “Interoperabilidad Mundial”.

6.1 Estándares futuros

Actualmente, se habla de un nuevo estándar de la familia WiMAX, se trata del estándar 802.16-2009 o mejor conocido como el 802.16m, que dejaría como obsoletos al 802.16-2004 y 802.16e.

Esta tecnología es capaz de soportar altas velocidades de datos con una gran movilidad. La alta movilidad engloba velocidades en las carreteras o los trenes rápidos (60 km/h hasta 250 km/h, o más). Se prevé que la velocidad de transmisión será de hasta 100 Mbps aproximadamente para alta movilidad, como el acceso móvil; y hasta aproximadamente 1 Gbps de baja movilidad, con un modo conocido como nómada. Se menciona que lo que le permitiría a este

nuevo estándar entregar altas velocidades, es la tecnología denominada MIMO (Multiple-input/multiple-output) que ya usan routers y access point compatibles con 802.11g y 802.11n (11).

Bibliografía

1. **Ilyas, Syed Ahson and Mohammad.** *WiMAX Applications*. Estados Unidos : CRC Press, 2008. 978-1-4200-4547-5.
2. **Bfioptilas.** Qué es WiMAX. [En línea] 2008. [Citado el: 23 de Septiembre de 2009.] <http://new.wireless.bfioptilas.es/Que+es+la+Tennologia+WiMAX-77.htm>.
3. **Vázquez, Albert Inglés.** *Despliegue y Análisis de la Cobertura de una Red WiMAX Basada en IEEE 802.16-2004*. Bellaterra : Universidad Autonoma de Barcelona, 2008.
4. **Andrews, Jeffrey G.** *Fundamentals of WiMAX*. Estados Unidos : Prentice Hall, 2007. 0-13-222552-2.
5. **FayerWayer.** WiMAX. [En línea] 10 de Diciembre de 2008. [Citado el: 20 de Mayo de 2009.] <http://www.fayerwayer.com/tag/wimax/>.
6. **Roberto, Kwang-Cheng Chen y J.** *Mobile WiMAX*. Gran Bretaña : IEEE Press, 2008. 978-0-470-51941-7.
7. **Guerrero, Angelina Mejia.** Radio, Televisión y Telecomunicaciones en México. *El Universal*. 2008.
8. **Guerrero, Angelina Mejia.** Primera red de WiMax opera ya en México. *El Universal*. 2008.
9. NGN Telecom . [En línea] 2009. [Citado el: 09 de Noviembre de 2009.] http://ngn.com.mx/noticias/articulo/94/NGN_implementa_parques_en_linea.html
.
10. **Francisco Milagro Lardiés, Alberto los Santos Aransay.** *Redes Inalámbricas de Acceso*. España : s.n., 2009.

11. **IEEE.** *www.ieee.org*. [En línea] 01 de Diciembre de 2007. [Citado el: 04 de Noviembre de 2009.] http://www.ieee802.org/16/tgm/contrib/C80216m-07_007.pdf.

Acrónimos

3G	Third Generation (Tercera Generación)
4G	Fourth-Generations (Cuarta Generación)
AAA	Authentication, Authorization, and Accounting (Autenticación Autorización y Contabilización)
AES	Advanced Encryption Standard (Estándar de cifrado avanzado)
ARQ	Automatic Repeat Request (Solicitud de Repetición Automática)
BER	Bit Error Ratio (Tasa de Error de Bit)
Bps	Bits per Second (Bits por segundo)
BPSK	Binary Phase Shift Keying (Manipulación por Desplazamiento Binario de Fase)
BS	Base Station (Estación Base)
CID	Connection Identifier (Identificador de conexión)
CPE	Customer Premises Equipment (Equipo Local del Cliente)
CRC	Cyclic Redundancy Check (Verificación de Redundancia Cíclica)
DAMA	Demand Assignment Multiple Access (Acceso Múltiple Asignado por Demanda)
DES	Data Encryption Standard (Estándar de Encriptación de Datos)
DFS	Dynamic Frequency Selection (Selección Dinámica de Frecuencia)
EAP	Extensible Authentication Protocol (Protocolo de autenticación extensible)

FCC	Federal Communications Commission (Comisión Federal de las Comunicaciones)
FDM	Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia)
FEC	Forward Error Correction (Corrección de Errores Hacia Adelante)
GHz	Gigahercio
GSM	Global System for Mobile communications (Sistema Global para las comunicaciones Móviles)
IBM	International Business Machines
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica)
IrDA	Infrared Data Association
ISI	(Inter Symbol Interference) interferencia inter-simbólica
ISM	Industrial, Scientific and Medical (industrial, Científica y Medica)
ISP	Internet Service Provider (proveedores de servicios de Internet)
Kbps	kilobits per second (Kilobits por segundo)
LAN	Local Area Network (Red de Área Local)
LOS	Line of Sight (Linea de Vista)
MAC	Media Access Control (Control de Acceso al Medio)
MAN	Metropolitan Area Network (Redes de Área Metropolitana)
Mbps	Megabits per second (Megabits por segundo)
MHz	Megahercio

MPEG	Moving Picture Experts Group (Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento)
NLOS	Non Line of Sight (Sin Línea Vista)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales)
PCS	Personal Communications Service
PDA	Personal Digital Assistant (Asistente Digital Personal)
PHS	Packet Header Suppression (Supresión del Encabezado del Paquete)
PMP	Point to multipoint (Punto-Multipunto)
QAM	Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de amplitud en cuadratura)
QoS	Quality of Service (Calidad de Servicio)
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase)
RF	Radio Frequency (Radio Frecuencia)
SFID	service flow Identifier (Servicio de Identificación de Flujo)
SNR	Signal to noise ratio (Relación Señal Ruido)
SS	Subscriber Station (Estaciones Subscriptoras)
VoD	(video on demand) Video en Demanda
VoIP	Voice over IP (Voz sobre IP)
VPLS	Virtual Private LAN Services (Servicio Privado Virtual LAN)

WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WEP	Wireless Equivalent Privacy (Privacidad Equivalente por Cable)
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad Mundial para el Acceso por Microondas)
Winforum	Wireless Information Networks FORUM
WISP	Wireless Internet Service Provider (Proveedor de Servicio de Internet Inalámbrico)
WLAN	Wireless Local Area Network (Red Inalámbrica de Área Local)
WLI Forum	Wireless LAN Interoperability Forum

Glosario

802.11g: El estándar 802.11g ofrece un ancho de banda elevado (con un rendimiento total máximo de 54 Mbps pero de 30 Mbps en la práctica) en el rango de frecuencia de 2,4 GHz, con alcance de 100 metros. El estándar 802.11g es compatible con el estándar anterior, el 802.11b, lo que significa que los dispositivos que admiten el estándar 802.11b también pueden funcionar con el 802.11b.

802.11n: El estándar 802.11n para redes Wi-Fi alcanza velocidades de hasta 300 Mbps teóricos en condiciones ideales, pero en condiciones reales tiene una velocidad de hasta 150 Mbps. En cuanto a cobertura alcanza distancias de 30m–100m.

AAA: Tipo de protocolos que realizan tres funciones: Autenticación, Autorización y Contabilización. La expresión *protocolo AAA* no se refiere pues a un protocolo en particular, sino a una familia de protocolos que ofrecen los tres servicios citados.

AES: Es un esquema de cifrado por bloques adoptado como un estándar de cifrado por el gobierno de los Estados Unidos.

Ancho de Banda Análogo: Normalmente se refiere a la gama de frecuencias de un sistema electrónico analógico. También podría referirse al rango de frecuencias que pueden propagarse bajo un cable de cobre. El ancho de banda análogo es dado en unidades de frecuencia, o ciclos por segundo, que se mide

en Hz. Existe una correlación directa entre el ancho de banda de cualquier medio y la velocidad de transmisión de datos en bits por segundo, que el medio puede soportar.

Ancho de banda Digital: Es una medida de cuánta información puede fluir de un lugar a otro en una determinada cantidad de tiempo. Es una medida dada en bits por segundo.

Backhaul: Literalmente significa "red de retorno". En telecomunicaciones, un backhaul es un enlace de interconexión entre redes de datos o redes de telefonía móvil (celular). Pueden ser llevados a cabo utilizando conexiones de baja, media o alta velocidad y por medio de tecnologías alámbricas o inalámbricas (wireless).

CSMA/CD: CSMA/CD, es el acrónimo de Carrier Sense Multiple Acces/Collision Detect. Esto quiere decir que Ethernet censa el medio para saber cuando puede acceder, e igualmente detecta cuando sucede una colisión.

Eficiencia Espectral: Es una medida de lo bien aprovechada que está una determinada banda de frecuencia usada para transmitir datos (bits). Cuando mayor es este valor, mejor aprovechada está dicha banda. En general es el rendimiento o grado de aprovechamiento que se obtiene al utilizar dicho recurso. Es decir, la relación entre la cantidad de información transferida y la porción de espectro utilizada.

Espectro Disperso: Es una técnica de modulación empleada en telecomunicaciones para la transmisión de datos, por lo común digitales y por radiofrecuencia. Trabaja en la frecuencia de 902-928MHz, 2450-2483.5MHz y 5725-5850MHz y transmite información en bandas que no requieren autorización para su uso, las llamadas bandas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM).

Ethernet: Ethernet (también conocido como *estándar* IEEE 802.3) es un estándar de transmisión de datos para redes de área local con acceso al medio por contienda CSMA/CD.

Hotspots: Es una zona de cobertura Wi-Fi abierta al público el cual provee servicios de red inalámbrico. Los hotspots se encuentran en lugares públicos, como aeropuertos, bibliotecas, centros de convenciones, cafeterías, hoteles, etc.

Infrarrojo: La radiación infrarroja se encuentra entre la luz visible y las ondas de radio del espectro electromagnético. La radiación infrarroja (IR) tiene longitudes de ondas entre 1 milímetro y 750 nanómetros. La longitud de onda de la luz roja tiene 700 nanómetros (o 7 000 Å). La radiación infrarroja oscila con frecuencias entre 300 gigahertz (GHz ó 10⁹ hertz) y 400 terahertz (THz ó 10¹² hertz).

Jitter: Es la variación en el retardo, en términos simples la diferencia entre el tiempo en que llega un paquete y el tiempo que se cree que llegara el paquete.

Latencia: Es la suma de retardos temporales dentro de una red. Un retardo es producido por la demora en la propagación y transmisión de paquetes dentro de la red.

Microondas: La comunicación se realiza a través de ondas electromagnéticas de alta frecuencia (microondas), que operan en las bandas de 3,5 y 28 GHz, y viajan a través de espacio libre.

PDU: en inglés, (Protocol Data Units), Unidades de Datos de Protocolo. Se utiliza para el intercambio entre unidades parejas, dentro de una capa del modelo OSI.

Protocolo: Los protocolos definen las comunicaciones entre las computadoras de una red, son lenguajes estandarizados que tienen en común los programas

de dichas computadoras. Estos protocolos definen cada parte del proceso de comunicación, desde las señales transmitidas por los cables de red hasta los lenguajes que permiten que aplicaciones de maquinas diferentes intercambien mensajes.

Calidad de Servicio: (Quality of Service, en inglés) son las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de datos en un tiempo dado (*throughput*).

Relación Señal Ruido: Se define como el margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe.

SDU: (Service Data Unit) o Unidad de datos de servicio. Es el conjunto de datos, dentro del sistema de referencias OSI, que dada una capa concreta, no incluyen la información de control o cabecera de dicha capa.

Triple play: En Telecomunicaciones, Triple-Play, se define como la transmisión de servicios de voz, Banda ancha y televisión. Es la comercialización de los servicios telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios canales de TV y pago por evento (PPV).

Troughput: Cantidad de datos por unidad de tiempo que se entregan, mediante de un medio físico o lógico, en un nodo de la red.