



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGON

**“REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A
WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES
ARAGÓN”**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TITULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

PRESENTAN:

SEGURA RAUDA GABRIELA

LÓPEZ MUÑOZ CARLOS GILBERTO

ASESOR:

ING. BARRANCO CASTELLANOS BENITO

EDO. MÉXICO. NETZAHUALCOYOTL. 2008



FES Aragón



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

DEDICADA A:

Aquel por quien nos movemos, existimos y somos.

**INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
UNAM**

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

AGRADECIMIENTO A:

Mis padres los cuales me brindaron su apoyo y consejo, y en los momentos más difíciles siempre estuvieron junto a mí.

Segura Rauda Gabriela.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

AGRADECIMIENTOS.

A mis padres, por su incondicional apoyo.

A Vero, quien inició todo esto.

A la UNAM, a mis profesores, mis amigos y compañeros y especialmente a Gaby.

Carlos G. López Muñoz.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES DE REDES INALÁMBRICAS.....	3
1.1. Redes de comunicación.....	4
1.1.1. Descripción redes de telecomunicación.	4
1.2. Redes de computadoras.....	9
1.2.1. LAN (Local Area Network).....	10
1.2.2. WAN (Wide Area Network).....	11
1.2.3. MAN (Metropolitan Area Network).....	11
1.3. Topologías de red más comunes.	11
1.3.1. Red en anillo.....	11
1.3.2. Red en malla.....	12
1.3.3. Red en bus.....	12
1.3.4. Red en árbol.	13
1.3.5. Red en estrella.....	14
1.4. Redes inalámbricas.	15
1.5. Topologías de redes inalámbricas.....	17
1.6. Tipos de redes inalámbricas.	19
1.6.1. Redes inalámbricas de área personal (WPAN).....	19
1.6.2. Redes de área local inalámbricas (WLAN).	20
1.6.3. Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN).....	21
1.6.4. Redes inalámbricas de área extensa (WWAN).....	22

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

1.7. Modelo de referencia OSI para redes de comunicación.	22
1.7.1. Proceso de intercambio de información.....	24
1.7.2. Capas del modelo OSI.	25
1.8. Las normas del IEEE relacionadas a redes inalámbricas.	27
1.8.1. Norma 802.11 (Wi-Fi).	27
1.8.1.1. Nivel físico. Arquitectura y tecnologías de modulación y propagación.	29
1.8.1.2. Tecnologías utilizadas en las Redes.....	30
1.8.1.3. Control de Acceso al Medio (MAC).	34
1.8.1.4. Arquitectura básica de una red.	40
1.8.1.5. Los servicios.....	41
1.8.1.6. Flujo de datos.	42
1.8.2. IEEE 802.15.....	43
CAPÍTULO 2. NORMA 802.16.....	44
2.1. Generalidades.....	45
2.2. Desarrollo del estándar 802.16	46
2.3. Bandas de frecuencia que utiliza WiMAX.....	47
2.3.1. Frecuencias no licenciadas.....	48
2.3.2. Frecuencias licenciadas.....	48
2.4. WiMAX fijo y Móvil.....	48
2.4.1. OFDM en WiMAX fijo.....	49
2.5. Foro WiMAX	52
2.6. Modos de operación de WiMAX.....	53
2.7. Topología de red.	54

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

2.7.1. De punto a punto.....	54
2.7.2. Punto a multipunto.....	55
2.7.3. Malla.	56
2.7.4. Topología Multi-hop.	58
2.8. Capa MAC.	58
2.8.1. Subcapas de Servicio específico de convergencia.	60
2.8.2. Subcapa común.	60
2.8.3. Formatos de la PDU del MAC.	61
2.8.3.1. Tipos de subheader del MAC:.....	61
2.9. Soporte de PHY y estructura del Frame.	62
2.10. Control de radio enlace (RLC).	63
2.11. Capa física.....	64
2.11.1. Detalles de la capa física (PHY).....	65
2.11.2. Características de la capa física.	67
2.11.2.1. WirelessMAN SC.	67
2.11.2.2. WirelessMAN Sca.	67
2.11.2.3. WirelessMAN-OFDM – 256 FFT.	67
2.11.2.4. WirelessMAN-OFDMA – 2048 FFT.	68
2.12. Escalabilidad.	68
2.13. Portabilidad.	68
2.13.1. Soporte de la gestión de movilidad.	69
2.14. OFDMA.	73
2.15. Servicios sobre WiMAX.	74

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

2.16. La calidad de servicio (QoS).....	75
2.17. Seguridad.....	76
CAPÍTULO 3. WIMAX ENFOQUE PRÁCTICO, RIU FES ARAGÓN.....	77
3.1 Red Inalámbrica Universitaria.	78
3.1.1. ¿Qué es la RIU?.....	78
3.1.2. Su objetivo.	78
3.1.3. Su alcance.....	78
3.1.4. Sus servicios.	78
3.1.5. Su cobertura.....	79
3.1.6. Infraestructura.	82
3.2. Desventajas de Wi-Fi.....	83
3.3. Cualidades de WiMAX.....	84
3.3.1. ¿Por qué WiMAX?.....	84
3.3.2. Características dominantes.....	84
3.3.3. Funcionamiento de WiMAX.	85
3.3.4. Tecnología robusta.	87
3.3.5. Compensaciones flexibles.....	90
3.4. Redes de WiMAX.	91
3.4.1. Tipos de WiMAX.	92
3.5. Construyendo los bloques de WiMAX.....	94
3.5.1. La estación base de WiMAX.	94
3.5.1.1. Tipos de estaciones base.....	96
3.5.2. Receptor de WiMAX.	96

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

3.5.3. Mecanismo de trabajo	97
3.6. Arquitectura.	100
3.7. Características técnicas y fabricantes de equipos WiMAX.....	101
3.7.1. Estaciones base.	101
3.7.2. Estaciones de suscriptor.	107
3.8. Implementación de WiMAX en la FES Aragón.....	110
3.8.1. Implementación: sistema Motorola WAP 400.	111
CONCLUSIONES.	118
GLOSARIO.	119
FUENTES BIBLIOGRAFICAS.	123

INTRODUCCION.

En este trabajo se presentará un estudio completo y profundo de las dos tecnologías inalámbricas dominantes de la actualidad Wi-Fi y WiMAX, enfocándonos principalmente en WiMAX y el estándar que la soporta (IEEE 802.16); con la finalidad de presentar una opción viable para un posible cambio de tecnología en lo que ahora representa la Red Inalámbrica Universitaria en la Facultad de Estudios Superiores Aragón.

Actualmente existen diversas tecnologías con las que un usuario accede a Internet y otras redes. Las más comunes son servicios de televisión por cable con canal de datos (cable módem), transmisión por línea telefónica a mayor frecuencia (DSL y ADSL) y las redes inalámbricas que cumplen con la norma IEEE 802.11 (genéricamente llamadas Wi-Fi). Las comunicaciones por línea de telefonía celular y a través de los cables de energía eléctrica no tienen la misma penetración que las primeras, pero poco a poco se están ubicando en los nichos correspondientes del mercado. Todas esas tecnologías de comunicación comparten tres puntos en contra con relación inversamente proporcional: costo, ancho de banda y cobertura.

Sin lugar a dudas, la tendencia en muchos ramos de las comunicaciones de audio, video y datos es omitir cables de cobre, fibras ópticas y otros conductores, en aras de la movilidad y omnipresencia. De ahí que el Instituto de Ingenieros en Electrónica y Electricidad (IEEE) definió las normas de operación de las redes de área local (LAN) inalámbricas y las publicó bajo la etiqueta 802.11 con un radio de acción de 100 metros sin obstáculos físicos.

802.16 es el nombre que el IEEE asigna a redes con radios de acción de hasta 50 kilómetros. Esta tecnología funciona de forma muy parecida a Wi-Fi, pero con tres ventajas básicas: mayor distancia, más usuarios y más ancho de banda, facilitando la creación de redes de área metropolitana (MAN).

La tecnología 802.16, o Worldwide Interoperability for Microwave Access (de ahí el nombre corto WiMAX) funciona de manera muy similar a la telefonía celular. El principal componente es una antena colocada en una torre con una cobertura de hasta 7500 kilómetros cuadrados. El segundo elemento

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WiMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

es el receptor WiMAX, que puede ir desde una caja colocada en el techo de la casa, hasta algo tan pequeño como una tarjeta PCMCIA en una computadora portátil.

Inicialmente explicaremos los conceptos primordiales para entender de forma completa y accesible el funcionamiento y características de una red inalámbrica, como se origina y de que forma se compone y clasifica. También se tratarán, de manera rápida, otras tecnologías que complementan o compiten a las mencionadas en el párrafo anterior.

Siendo Wi-Fi la tecnología que soporta a la red existente en la FES Aragón, le dedicaremos gran parte del primer capítulo, explicando detalladamente su composición, funcionamiento y características más importantes, pormenorizando la forma en la que se desempeña su tecnología.

El capítulo siguiente estará dedicado de manera completa al análisis de la norma 802.16. Siendo este el estándar que proponemos como alternativa para mejorar la red universitaria, el capítulo desarrollará todos los aspectos importantes que componen al interior la norma 802.16, explicando sus virtudes y alcances, además de las prestaciones que otorga.

El último capítulo abordará la posibilidad de un cambio de tecnología de Wi-Fi a WiMAX. Presentaremos las ventajas prácticas de WiMAX sobre Wi-Fi, además de un estudio sobre las características técnicas de los equipos WiMAX actualmente disponibles, necesarios para la utilización de esta tecnología como soporte de la red inalámbrica del campus de la FES Aragón.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES DE REDES INALÁMBRICAS.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

1.1. Redes de telecomunicación.

1.1.1. Descripción redes de telecomunicación.

Un sistema de telecomunicaciones consiste en una infraestructura física a través de la cual se transporta la información desde la fuente hasta el destino, y con base en esa infraestructura se ofrecen a los usuarios los diversos servicios de telecomunicaciones (figura 1.1). En lo sucesivo se denominará "red de telecomunicaciones" a la infraestructura encargada del transporte de la información. Para recibir un servicio de telecomunicaciones, un usuario utiliza un equipo terminal a través del cual obtiene entrada a la red por medio de un canal de acceso. Cada servicio de telecomunicaciones tiene distintas características, puede utilizar diferentes redes de transporte, y, por tanto, el usuario requiere de distintos equipos terminales.

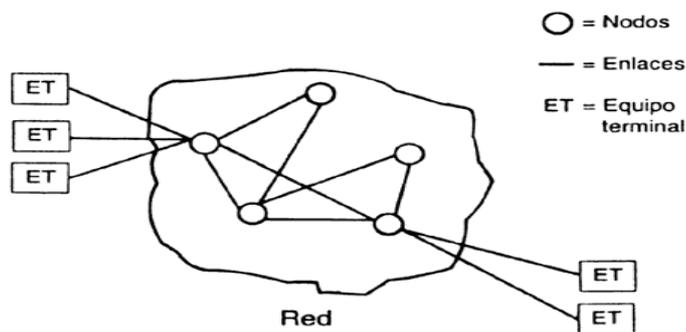


Figura 1.1. Red y equipo terminal.

En este capítulo se describen las redes con que se cuenta en la actualidad para ofrecer distintos servicios de telecomunicaciones, se presentarán los equipos terminales, y se explicará el funcionamiento de algunos de los servicios que se ofrecen al público en general.

La principal razón por la cual se han desarrollado las redes de telecomunicaciones es que el costo de establecer un enlace dedicado entre cualesquiera dos usuarios de una red sería elevadísimo, sobre todo considerando que no todo el tiempo todos los usuarios se comunican entre sí. Es mucho mejor contar con una conexión dedicada para que cada usuario tenga acceso a la red a través de su equipo

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

terminal, pero una vez dentro de la red los mensajes utilizan enlaces que son compartidos con otras comunicaciones de otros usuarios.

En general se puede afirmar que una red de telecomunicaciones consiste en las siguientes componentes: a) un conjunto de nodos en los cuales se procesa la información, y b) un conjunto de enlaces o canales que conectan los nodos entre sí y a través de los cuales se envía la información desde y hacia los nodos.

Desde el punto de vista de su arquitectura y de la manera en que transportan la información, las redes de telecomunicaciones pueden ser clasificadas en:

a) Redes conmutadas. La red consiste en una sucesión alternante de nodos y canales de comunicación, es decir, después de ser transmitida la información a través de un canal, llega a un nodo, éste a su vez, la procesa lo necesario para poder transmitirla por el siguiente canal para llegar al siguiente nodo, y así sucesivamente (figura 1.2).

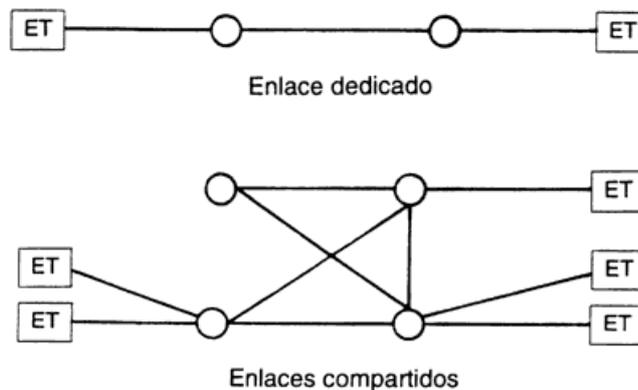


Figura 1.2. Red conmutada.

Existen dos tipos de conmutación en este tipo de redes: conmutación de paquetes y conmutación de circuitos. En la conmutación de paquetes, el mensaje se divide en pequeños paquetes independientes, a cada uno se le agrega información de control (por ejemplo, las direcciones del origen y del destino), y los paquetes circulan de nodo en nodo, posiblemente siguiendo diferentes

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

como cables coaxiales. En la figura 1.5 se presentan ejemplos de redes de difusión con diferentes formas y arreglos de interconexión (topologías), aplicables a redes basadas en radio o en cables. Lo que sí puede afirmarse es que típicamente las redes de difusión tienen sólo un nodo (el transmisor) que inyecta la información en un canal al cual están conectados los usuarios.

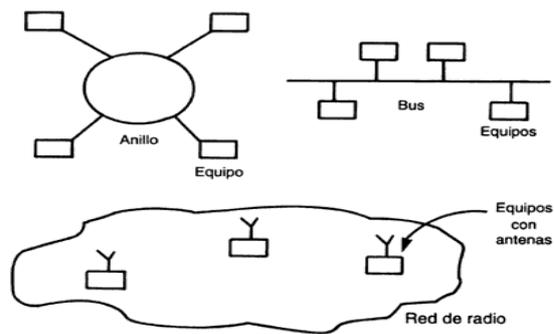


Figura 1.5. Anillo, bus, red con radio.

Para todas las redes cada usuario requiere de un equipo terminal, por medio del cual tendrá acceso a la red, pero que no forma parte de la misma. De esta forma, un usuario que desee comunicarse con otro utiliza su equipo terminal para enviar su información hacia la red, ésta transporta la información hasta el punto de conexión del usuario destino con la red y la entrega al mismo a través de su propio equipo terminal (figura 1.6).

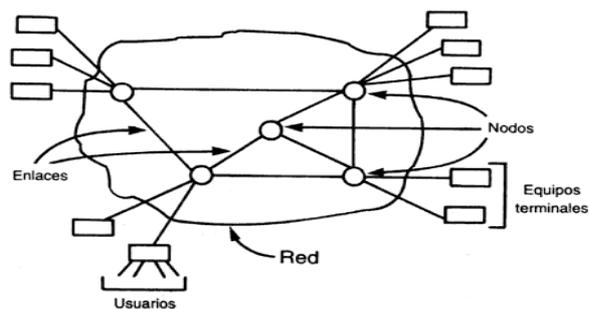


Figura 1.6. Operación de una red.

Los usuarios no pueden transmitir información en todas las redes. Por ejemplo, en televisión o radiodifusión, los usuarios son pasivos, es decir, únicamente reciben la información que

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

transmiten las estaciones transmisoras, mientras que, en telefonía, todos los usuarios pueden recibir y transmitir información.

La función de una red de telecomunicaciones consiste en ofrecer servicios a sus usuarios, y cuando ésta es utilizada para que sobre ella se ofrezcan servicios de telecomunicaciones al público en general (por ejemplo, la red telefónica) se le denomina una red pública de telecomunicaciones. Cuando alguien instala y opera una red para su uso personal, sin dar acceso a terceros, entonces se trata de una red privada de telecomunicaciones: una red de telecomunicaciones utilizada para comunicar a los empleados y las computadoras o equipos en general, de una institución financiera, es una red privada.

Una característica importante de una red es su cobertura geográfica, ya que ésta limita el área en que un usuario puede conectarse y tener acceso a la red para utilizar los servicios que ofrece. Por ejemplo, existen redes locales que enlazan computadoras instaladas en un mismo edificio o una sola oficina (conocidas como LAN por su nombre en inglés: local area network), pero también existen redes de cobertura más amplia (conocidas como WAN por su nombre en inglés: wide area network), redes de cobertura urbana que distribuyen señales de televisión por cable en una ciudad, redes metropolitanas que cubren a toda la población de una ciudad, redes que enlazan redes metropolitanas o redes urbanas formando redes nacionales, y redes que enlazan las redes nacionales, las cuales constituyen una red global de telecomunicaciones (véanse las figuras 1.7 y 1.8).

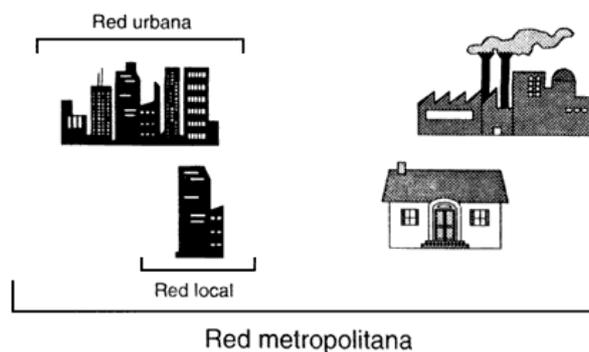


Figura 1.7. Red local, red urbana, red metropolitana.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

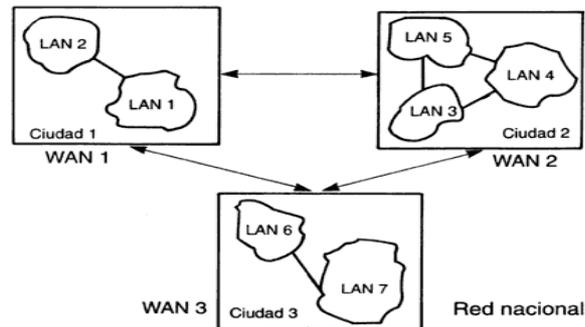


Figura 1.8. Una red nacional.

Uno de los desarrollos más sorprendentes de los últimos años es indudablemente la posibilidad de conectar todas las redes de cobertura limitada en una red global que, al menos en teoría, permite enlazar y comunicar usuarios ubicados en cualquier parte del mundo. Esto es lo que ha dado origen a términos como globalización de la información. Actualmente existen redes de telecomunicaciones que permiten comunicación telefónica instantánea entre dos usuarios de dos países del planeta, que envían información financiera entre instituciones de dos países cualesquiera, que envían señales de televisión de un país a otro, o que permiten localizar personas por medio de receptores de radio en muchos países del mundo.

1.2. Redes de computadoras.

La tecnología durante los últimos tiempos ha estado dominada por una gran revolución industrial y a partir de 1981 cuando IBM lanzó al mercado el computador personal (PC) dirigido a últimos usuarios, éstos vieron la necesidad de compartir información; progresivamente los usuarios fueron reuniéndose para conectarse entre sí formando pequeños grupos para transportar, almacenar y procesar información. Al aumentar la demanda de procesar y obtener información, se han mejorado las técnicas de procesamiento de datos.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

Una red es un conjunto de computadoras (dos como mínimo), que se unen a través de medios físicos (hardware) y lógicos (software), para compartir información y recursos, con el fin de llevar a cabo una actividad o labor de forma eficiente y eficaz.

Una red de computadoras, no es otra cosa que dos o más ordenadores, conectados o enlazados para el intercambio de datos o compartir recursos. El software de una red permite compartir periféricos, manejo de proyectos en grupo, compartir aplicaciones, obtener información de recursos comunes, entre otros. La conexión física entre las computadoras puede efectuarse por un alambre de cobre, fibra óptica, cableado UTP, satélites de comunicaciones, microondas, entre otros.

Consisten en "compartir recursos", y uno de sus objetivos es hacer que todos los programas, datos y equipo estén disponibles para cualquiera de la red que así lo solicite, sin importar la localización física del recurso y del usuario.

Se usan para:

- Compartir recursos, especialmente la información (los datos).
- Proveer la confiabilidad: más de una fuente para los recursos.
- La escalabilidad de los recursos computacionales: si se necesita más poder computacional, se puede comprar un cliente más, en vez de un nuevo mainframe.
- Comunicación.

Las redes de computadoras se pueden clasificar según el área que abarcan como sigue:

1.2.1. LAN (Local Area Network)

Son redes de propiedad privada que funcionan dentro de una oficina, edificio o terreno hasta unos cuantos kilómetros, generalmente son usadas para conectar computadoras personales y estaciones de trabajo en una compañía y su objetivo es compartir recursos e intercambiar información. Las redes de área local se distinguen de otro tipo de redes por su tamaño, cableado y tecnología de transmisión.

Las redes LAN generalmente usan una tecnología de transmisión que consiste en un cable sencillo, al cual se encuentran conectados todos los computadores, la velocidad tradicional de las redes de área

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

local oscila entre 10 y 100 Mbps. Una red es un conjunto de computadoras (dos como mínimo), que se unen a través de medios físicos (hardware) y lógicos (software), para compartir información y recursos, con el fin de llevar a cabo una actividad o labor de forma eficiente y eficaz

1.2.2. WAN (Wide Area Network)

Es una red de gran alcance con un sistema de comunicaciones que interconecta redes geográficamente remotas. Una red se extiende por un área geográfica extensa (Ciudades, Países, Continentes) mantiene computadores con el propósito de ejecutar aplicaciones, a estas computadoras se les denomina HOST. Los host se encuentran conectados a subredes de comunicaciones, cuya función es conducir mensajes de un host a otro

1.2.3. MAN (Metropolitan Area Network)

Abarcan un área intermedia entre las LAN y las WAN. Es básicamente una versión más grande que las redes de área local (LAN), con una tecnología bastante similar. Una red de éste tipo, puede manejar voz y datos e incluso podría estar relacionada con la red de televisión local por cable. Este estándar define un protocolo de gran velocidad, en donde los computadores conectados comparten un bus doble de fibra óptica utilizando el método de acceso llamado bus de cola distribuido.

1.3. Topologías de red más comunes.

1.3.1. Red en anillo.

Topología de red en la que las estaciones se conectan formando un anillo. Cada estación está conectada a la siguiente y la última está conectada a la primera. Cada estación tiene un receptor y un transmisor que hace la función de repetidor, pasando la señal a la siguiente estación del anillo.

En este tipo de red la comunicación se da por el paso de un token o testigo, que se puede conceptualizar como un cartero que pasa recogiendo y entregando paquetes de información, de esta manera se evita pérdida de información debido a colisiones.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

Cabe mencionar que si algún nodo de la red se cae (termino informático para decir que esta en mal funcionamiento o no funciona para nada) la comunicación en todo el anillo se pierde.

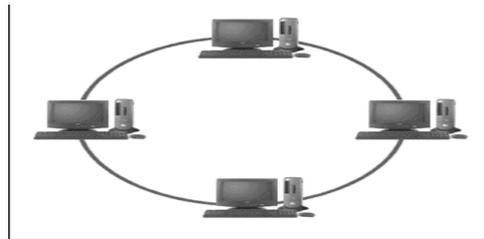


Figura 1.9. Topología en anillo.

1.3.2. Red en malla.

La Red en malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más de los otros nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos.

Si la red de malla está completamente conectada no puede existir absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones. Cada servidor tiene sus propias conexiones con todos los demás servidores.

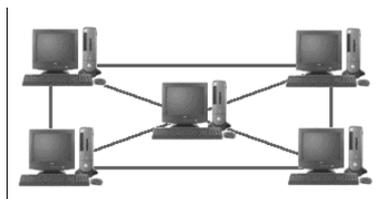


Figura 1.10. Topología en malla completa.

1.3.3. Red en bus.

Topología de red en la que todas las estaciones están conectadas a un único canal de comunicaciones por medio de unidades interfaz y derivadores. Las estaciones utilizan este canal para comunicarse con el resto.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

La topología de bus tiene todos sus nodos conectados directamente a un enlace y no tiene ninguna otra conexión entre nodos. Físicamente cada host está conectado a un cable común, por lo que se pueden comunicar directamente, aunque la ruptura del cable hace que los hosts queden desconectados.

La topología de bus permite que todos los dispositivos de la red puedan ver todas las señales de todos los demás dispositivos, lo que puede ser ventajoso si desea que todos los dispositivos obtengan esta información. Sin embargo, puede representar una desventaja, ya que es común que se produzcan problemas de tráfico y colisiones, que se pueden paliar segmentando la red en varias partes. Es la topología más común en pequeñas LAN, con hub o switch final en uno de los extremos.

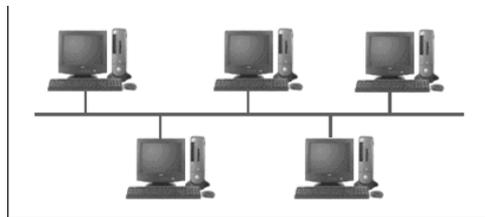


Figura 1.11. Topología en bus.

1.3.4. Red en árbol.

Topología de red en la que los nodos están colocados en forma de árbol. Desde una visión topológica, la conexión en árbol es parecida a una serie de redes en estrella interconectadas.

Es una variación de la red en bus, la falla de un nodo no implica interrupción en las comunicaciones. Se comparte el mismo canal de comunicaciones.

Cuenta con un cable principal (backbone) al que hay conectadas redes individuales en bus.

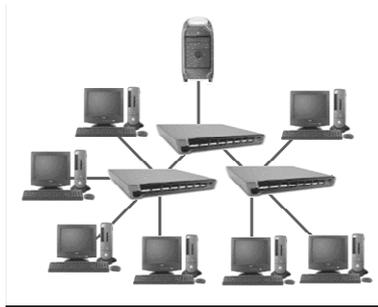


Figura 1.12. Topología en árbol.

1.3.5. Red en estrella.

Red en la cual las estaciones están conectadas directamente al servidor u ordenador y todas las comunicaciones se han de hacer necesariamente a través de él. Todas las estaciones están conectadas por separado a un centro de comunicaciones, concentrador o nodo central, pero no están conectadas entre sí. Esta red crea una mayor facilidad de supervisión y control de información ya que para pasar los mensajes deben pasar por el hub o concentrador, el cual gestiona la redistribución de la información a los demás nodos. La fiabilidad de este tipo de red es que el malfuncionamiento de un ordenador no afecta en nada a la red entera, puesto que cada ordenador se conecta independientemente del hub, el costo del cableado puede llegar a ser muy alto. Su punto débil consta en el hub ya que es el que sostiene la red en uno.



Figura 1.13. Topología en estrella.

1.4. Redes inalámbricas.

Una red inalámbrica es, como su nombre lo indica, una red en la que dos o más terminales (por ejemplo, computadoras portátiles, agendas electrónicas, etc.) se pueden comunicar sin la necesidad de una conexión por cable. Con las redes inalámbricas, un usuario puede mantenerse conectado cuando se desplaza dentro de una determinada área geográfica. Por esta razón, a veces se utiliza el término "movilidad" cuando se trata este tema.

Las redes inalámbricas se basan en un enlace que utiliza ondas electromagnéticas (radio e infrarrojo) en lugar de cableado estándar. Hay muchas tecnologías diferentes que se diferencian por la frecuencia de transmisión que utilizan, y el alcance y la velocidad de sus transmisiones.

Las redes inalámbricas permiten que los dispositivos remotos se conecten sin dificultad, ya se encuentren a unos metros de distancia como a varios kilómetros. Asimismo, la instalación de estas redes no requiere de ningún cambio significativo en la infraestructura existente como pasa con las redes cableadas. Esto ha hecho que el uso de esta tecnología se extienda con rapidez. Las tecnologías inalámbricas están teniendo un gran impacto en el mercado de las telecomunicaciones. Actualmente es raro el operador que no ofrezca como posibilidad una solución de banda ancha en la que para el acceso en el hogar se emplee tecnología Wireless.

Por el otro lado, existen algunas cuestiones relacionadas con la regulación legal del espectro electromagnético. Las ondas electromagnéticas se transmiten a través de muchos dispositivos (de uso militar, científico y de aficionados), pero son propensos a las interferencias. Por esta razón, todos los países necesitan regulaciones que definan los rangos de frecuencia y la potencia de transmisión que se permite a cada categoría de uso.

Además, las ondas hertzianas no se confinan fácilmente a una superficie geográfica restringida. Por este motivo, un hacker puede, con facilidad, introducirse a una red si los datos que se transmiten no están codificados. Por lo tanto, se deben tomar medidas para garantizar la privacidad de los datos que se transmiten a través de redes inalámbricas.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

El esquema de funcionamiento de las redes de acceso inalámbrico es similar al de las comunicaciones celulares, con la salvedad de que el terminal del usuario no es un dispositivo móvil, estando la antena receptora en una ubicación fija (hasta el momento, típicamente en la parte superior de los edificios).

Entre las posibilidades tecnológicas cabe destacar, sistemas relativamente poco conocidos, referenciados como sistemas de banda ancha inalámbricos BWA. Entre ellos MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) o LMDS (Local Multipoint Distribution Services). Ambos sistemas se basan en el uso de frecuencias microondas, por lo que se requiere que no exista ningún tipo de obstáculo físico entre la antena emisora y la receptora. La transmisión es punto-multipunto, por lo que una única antena transmite la señal a varias antenas receptoras dentro de una zona geográfica determinada. Una breve descripción de las dos principales variantes es la siguiente:

LMDS (Local Multipoint Distribution Services)

Esta tecnología permite, en un radio de cobertura limitado, transmitir información a alta velocidad desde un punto (la estación base) a muchos puntos (los clientes) y viceversa. Utiliza bandas de alta frecuencia cuyo uso está regulado y requiere pago de la correspondiente licencia. En España la banda de frecuencias son 3,5 y 26 GHz.

Sus principales desventajas son las siguientes:

- El ancho de banda es compartido por los usuarios, por tanto las prestaciones disminuyen a medida que aumenta el número de usuarios.
- Se requiere visión directa entre las antenas para efectuar la transmisión de datos LOS (Line Of Sight).

MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Services)

El funcionamiento de esta tecnología es muy similar a la anterior, teniendo ambas las mismas desventajas. Las principales diferencias son:

- Utiliza una banda de frecuencia diferente, también regulada, generalmente inferior a 2,5 GHz donde no se requiere visibilidad directa.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

- La distancia entre la estación base y los clientes puede ser mayor a 10 km, mientras que en LMDS no suele superar los 5 km.

Las tecnologías xMDS deben superar la restricción motivada por la necesidad de disponer visión directa entre antenas para tener verdaderamente impacto en el mercado. En este sentido, WiMAX se establece como principal alternativa permitiendo enlaces sin visión directa (NLOS) entre estación base y cliente.

1.5. Topologías de redes inalámbricas.

El grado de complejidad de una red de área local inalámbrica es variable, dependiendo de las necesidades a cubrir y en función de los requerimientos del sistema que queramos implementar podemos utilizar diversas configuraciones de red. Entre las distintas configuraciones que podemos implementar, las formas básicas son:

- a) Peer to peer o redes Ad-hoc.

La configuración más básica es la llamada punto a punto o ad-hoc y consiste en una red de dos terminales móviles equipados con la correspondiente tarjeta adaptadora para comunicaciones inalámbricas, Cuando un adaptador Wireless es activado, primero pasa a un estado de "escucha", en el cual, durante unos 6 segundos está buscando por todos los canales alguna "conversación" activa. Si encuentra alguno, le indicará al usuario a cual se quiere conectar. En el supuesto de que no se pueda conectar a otro Host (equipo) que ya estuviera activo, pasa a "crear la conversación", para que otros equipos se puedan conectar a él.

Para una determinada red inalámbrica con topología Ad-hoc, todos los equipos conectados a ella (Host) deben de ser configurados con el mismo Identificador de servicio básico (Basic Service Set, BSSID). Para que la comunicación entre estas dos estaciones sea posible hace falta que se vean mutuamente de manera directa (LOS), es decir, que cada una de ellas esté en el rango de cobertura

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

radioeléctrica de la otra. Las redes de tipo ad-hoc son muy sencillas de implementar y no requieren ningún tipo de gestión administrativa. Este tipo de red como máximo puede soportar 256 usuarios.



Figura 1.14. Ejemplo de red Ad-hoc

b) Modo Infraestructura.

Para aumentar el alcance de una red del tipo anterior hace falta la instalación de un punto de acceso. Con este nuevo elemento doblamos el alcance de la red inalámbrica (ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones, sino entre cada estación y el punto de acceso). Además, los puntos de acceso se pueden conectar a otras redes, y en particular a una red fija, con lo cual un usuario puede tener acceso desde su terminal móvil a otros recursos. Para dar cobertura en una zona determinada habrá que instalar varios puntos de acceso de tal manera que podamos cubrir la superficie necesaria con las celdas de cobertura que proporciona cada punto de acceso y ligeramente solapadas para permitir el paso de una celda a otra sin perder la comunicación.

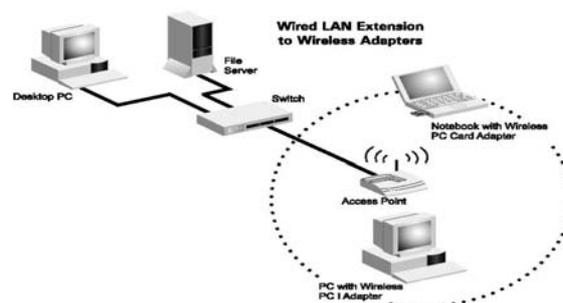


Figura 1.15. Ejemplo de modo infraestructura.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

1.6. Tipos de redes inalámbricas.

Las comunicaciones inalámbricas pueden clasificarse de distintas formas dependiendo del criterio que se atienda. En este caso, vamos a clasificar las redes inalámbricas de acuerdo con su alcance. Se llama alcance a la distancia máxima a la que pueden situarse las dos partes de la comunicación inalámbrica.



Figura 1.16. Tipos de redes inalámbricas por cobertura.

1.6.1. Redes inalámbricas de área personal (WPAN).

Una red inalámbrica de área personal (WPAN) incluye redes inalámbricas de corto alcance que abarcan un área de algunas decenas de metros. Este tipo de red se usa generalmente para conectar dispositivos periféricos (por ejemplo, impresoras, teléfonos móviles y electrodomésticos) o un asistente personal digital (PDA) a una computadora sin conexión por cables. También se pueden conectar de forma inalámbrica dos computadoras cercanas.

La tecnología principal WPAN es Bluetooth, lanzado por Ericsson en 1994. Ofrece una velocidad máxima de 1 Mbps con un alcance máximo de unos treinta metros. La tecnología Bluetooth, también conocida como IEEE 802.15.1, tiene la ventaja de tener un bajo consumo de energía, algo que resulta ideal para usarla en periféricos de pequeño tamaño.



En Bluetooth, puede existir el punto-a-punto y punto-a-multipunto.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

- En el punto-a-punto, la comunicación es directa entre dos dispositivos.
- En el punto-a-multipunto, el canal se comparte por varios dispositivos Bluetooth.

La tecnología Zigbee (también conocida como IEEE 802.15.4) también se puede utilizar para conectar dispositivos en forma



inalámbrica a un coste muy bajo y con bajo consumo de energía. Adecuado para aplicaciones de menor ancho de banda que las de Bluetooth: Domótica, Automatización Industrial y de edificios, seguridad. Zigbee opera en Banda ISM (868 Mhz Europa, 915 Mhz USA, 2,4 Ghz resto del mundo) 16 canales, y puede alcanzar una velocidad de transferencia de hasta 250 Kbps con un alcance máximo de unos 100 metros.

Por último, las conexiones infrarrojas se pueden utilizar para crear conexiones inalámbricas en un radio de unos pocos metros, con velocidades que puedan alcanzar unos pocos megabits por segundo. Esta tecnología se usa ampliamente en aparatos electrónicos del hogar (como los controles remotos), pero puede sufrir interferencias debidas a las ondas de luz. La IrDA (Infrared Data Association), creada en 1995, tiene más de 150 miembros y maneja los siguientes dos estándares:



- IrDA-Control. Protocolo de baja velocidad para control remoto inalámbrica.
- IrDA-Data. Protocolo orientado a crear redes de datos de bajo alcance. Diseñado para trabajar a distancias menores de 1 metro y velocidades de 9.6 Kbps hasta 16 Mbps.

1.6.2. Redes de área local inalámbricas (WLAN).

Se llaman redes inalámbricas de área local (WLAN) a aquellas redes que tienen una cobertura de unos cientos de metros. Estas redes están pensadas para crear un entorno de red local entre computadoras o terminales situados en un mismo edificio o grupo de edificios. En el mercado existen distintas tecnologías que dan respuesta a esta necesidad. Entre estas tecnologías se encuentran las siguientes:

WiFi (wireless fidelity, fidelidad inalámbrica), es el sistema con mayor fuerza ya que esta normalizado por la IEEE en el estándar 802.11 con respaldo de WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) ofrece una velocidad máxima de 54



REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

Mbps en una distancia de varios cientos de metros.

Posteriormente, en este capítulo, hablaremos más extensamente sobre este estándar.

hiperLAN2 (High Performance Radio LAN 2.0), estándar europeo desarrollado por ETSI (European Telecommunications Standards Institute). HiperLAN 2 permite a los usuarios alcanzar una velocidad máxima de 54 Mbps en un área aproximada de cien metros, y transmite dentro del rango de frecuencias de 5150 y 5300 MHz.



HomeRF (Home Radio Frequency), lanzada en 1998 por HomeRF Working Group (que incluye a los fabricantes Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola y



Microsoft, entre otros) ofrece una velocidad máxima de 10 Mbps con un alcance de 50 a 100 metros sin amplificador. A pesar de estar respaldado por Intel, el estándar HomeRF se abandonó en enero de 2003, en gran medida porque los fabricantes de procesadores empezaron a usar la tecnología Wi-Fi en placa (por medio de la tecnología Centrino, que incluía un microprocesador y un adaptador Wi-Fi en un solo componente).

1.6.3. Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN).

Se llaman redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) a aquellas redes que tienen una cobertura desde unos cientos de metros hasta varios kilómetros. El objetivo es poder cubrir el área de una ciudad o entorno metropolitano. Los protocolos LMDS (Local Multipoint Distribution Service), Servicio Local de Distribución Multipunto o WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Acces), Interoperatividad Mundial para Accesos de Microondas, ofrecen soluciones de este tipo.

Existen dos topologías básicas: sistemas que facilitan una comunicación punto a punto a alta velocidad entre dos emplazamientos fijos y sistemas que permiten crear una red punto-multipunto entre emplazamientos fijos. En este caso último caso el ancho de banda utilizado es compartido entre todos los usuarios del sistema.

LMDS es una tecnología inalámbrica via radio para comunicación entre puntos fijos. Esto quiere decir que no es una tecnología pensada para ser utilizada por terminales  en movimiento. El rango de frecuencia utilizado varía entre 2 y 40 GHz dependiendo de la regulación del país en el que se utilice. LMDS no tiene una buena aceptación comercial.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

WiMAX (Worldwide Interperability for Microwave Access) es la mejor red inalámbrica de área metropolitana, puede alcanzar una velocidad aproximada de 72 Mbps en un radio de varios kilómetros. Esta estandarizado por la IEEE en la norma 802.16, en el siguiente capítulo se hablara profundamente de este estándar.



1.6.4. Redes inalámbricas de área extensa (WWAN).

Las redes inalámbricas de área extensa (WWAN) tienen el alcance más amplio de todas las redes inalámbricas. Por esta razón, todos los teléfonos móviles están conectados a una red inalámbrica de área extensa. Las tecnologías principales son:

GSM (Global System for Mobile Communication)

GPRS (General Packet Radio Service)

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)

Una iniciativa importante de los impulsores de la norma 802.16 es la posibilidad de hacer que esta norma involucre también a WWAN en el apartado 802.16e, como se explicara más detalladamente en el siguiente capítulo.

1.7. Modelo de referencia OSI para redes de comunicación.

La interconexión de redes de comunicación no ha sido una tarea sencilla sobre todo por las tecnologías tan diferentes que utilizan cada una de ellas. Por este motivo, fue necesario crear un marco común de referencia que permitiera la comunicación abierta entre diferentes tecnologías de comunicación. Fue por este motivo que en 1984 la organización internacional para normalización (ISO por sus siglas en ingles) desarrollo el modelo de referencia para la Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI). Este modelo describe la manera como fluye la información desde una aplicación de software en una computadora hacia un entorno de red, y luego, hacia una aplicación de software en otra computadora. Este modelo es tan importante que todos los protocolos de comunicación lo toman

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

como referencia. El modelo de referencia OSI tiene siete capas: (1) Física, (2) Enlace de datos, (3) Red, (4) Transporte, (5) Sesión, (6) Presentación y (7) Aplicación.

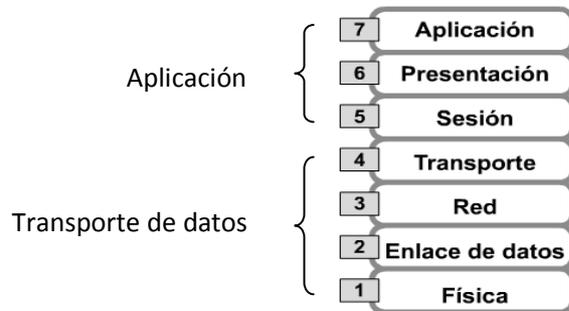


Figura 1.17. Modelo OSI

El modelo se divide en dos categorías: capas superiores e inferiores. Las capas superiores se implementan generalmente en software. La capa superior más alta es la de aplicación, y es la que está más cerca del usuario final. Las capas inferiores manejan los aspectos del transporte de datos. La capa física es la más baja, y está más cerca al medio físico de la red, por ejemplo el cable de red.

El modelo OSI provee un marco conceptual para comunicarse entre diferentes protocolos de comunicación. Por si mismo, el modelo OSI no es un método de comunicación. La comunicación real se realiza mediante protocolos de comunicación. Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que gobiernan la manera como los equipos de computo intercambian información sobre un medio de red.

La información que se transfiere desde una aplicación de software en otra computadora debe pasar a lo largo de las capas del modelo OSI. En otras palabras si una aplicación de software en el sistema A tiene que transmitir información a la aplicación de software en el sistema B, el programa de aplicación en el sistema A pasara su información a la capa de aplicación (capa 7) del sistema A. Luego la capa de aplicación pasará la información a la capa de aplicación (capa 6), y así hasta la capa física (capa 1). En la capa física la información se coloca en el medio de red físico para enviarse al sistema B. La capa física del sistema B toma la información del medio físico y lo manda hacia la capa de enlace de datos (capa 2) y así hasta que llega a la capa de aplicación (capa 7) del sistema B. Para terminar, la

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

capa de aplicación del sistema B pasa la información al programa de información receptor, y el proceso de comunicación se concluye.

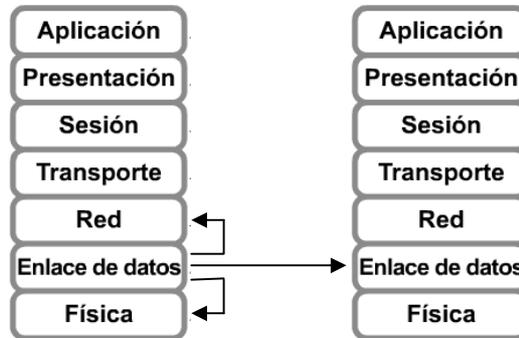


Figura 1.18. Modelo OSI de comunicación con otra capa remota.

Una capa OSI se comunica con otra capa para utilizar sus servicios. Estos servicios le permiten a una capa OSI comunicarse con sus capas pares en las computadoras de otros sistemas. Son tres los elementos que se involucran en estos servicios: el usuario del servicio, el proveedor del servicio y el punto de acceso del servicio (SAP por sus siglas en inglés). Estos tres elementos interactúan en las capas de red y liga de datos.

Para comunicarse con sus capas pares en las computadoras de otros sistemas las siete capas OSI utilizan varios tipos de información de control entre estas los encabezados (headers) y las colas (trails). El primero es un prefijo que se agrega al principio de los datos que bajan de las capas superiores. Los segundos son subfijos o agregado al final de los datos que bajan de las capas superiores. Una capa cualquiera puede tener encabezados, colas y datos de las capas superiores. Esto se le conoce como encapsulación.

1.7.1. Proceso de intercambio de información.

EL proceso de intercambio de información ocurre entre capas OSI pares. Cada capa en el sistema fuente agrega información de control al dato, y cada capa en el sistema de destino analiza y remueve la información de control de dicho dato.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

Si en sistema A tiene datos del software de aplicación para enviarlo al sistema B el dato pasa a la capa de aplicación. La capa de aplicación en el sistema A comunica cualquier información de control que necesite la capa de aplicación en el sistema B agregando un encabezado al dato. La unidad de información resultante (encabezado y dato) pasa a la capa de presentación, la que le agrega su propio encabezado con información de control que necesita la capa de presentación en el sistema B. La unidad de información crece en tamaño ya que cada una agrega su propio encabezado que contiene la información de control que utilizara su capa par en el sistema B. En la capa física el total de la unidad de información se coloca sobre la media de red.

La capa física en el sistema B recibe la unidad de información y la pasa a la capa de liga de datos en el sistema B lee la información de control contenida en el encabezado agregado por la capa de liga de datos en el sistema A. Entonces se quita el encabezado y se pasa el resto de la unidad d información a la capa de red. Cada capa desarrolla la misma acción: la capa lee el encabezado de su capa par, la quita y pasa el resto de la unidad de información a la siguiente capa superior después que la capa de información desarrolla estas acciones, le dato pasa al software de información receptor en el sistema B, exactamente en la forma en que fue transmitido por la aplicación en el sistema A.

1.7.2. Capas del modelo OSI.

Capa física.

La capa física define las especificaciones eléctricas, mecánicas, de procedimiento y funcionales para activar, mantener y desactivar el enlace físico entre los sistemas de red. Las especificaciones de la capa física definen características tales como niveles de voltaje, velocidad de transmisión de datos, máxima distancia de transmisión y conectores físicos. Las implementaciones de la capa física se pueden categorizar como especificaciones LAN y WAN.

Capa de enlace de datos.

Esta capa provee el transito confiable de datos a través de la red física. Diferentes especificaciones de la capa de enlace de datos definen diferentes características de red y protocolo, incluyendo el direccionamiento físico, la topología de red, la notificación de error, la secuencia de trama y el control de flujo. El direccionamiento físico (a diferencia del direccionamiento de red), define como se

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

nombran los dispositivos en la capa de enlace de datos. La topología de red consiste en especificaciones de la capa de enlace de datos. La notificación de error alerta a los protocolos de las capas superiores cuando se presenta un error en la transmisión y la secuencia de tramas de datos reordena las que se han transmitido fuera de secuencia. Finalmente, el control de flujo regula la transmisión de datos para que el dispositivo receptor no se sature con más tráfico del que pueda manejar simultáneamente.

El IEEE (Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica) ha subdividido la capa de enlace de datos en dos subcapas: Control de Enlace Lógico (LLC) y Modo de Acceso al Medio (MAC).

La subcapa LLC administra las comunicaciones entre dispositivos sobre un enlace sencillo de red y se encuentra definida en la norma IEEE 802.2. La norma define un número de campos en las estructuras de la capa de enlace para que múltiples protocolos en las capas más altas compartan un enlace de datos físicos simple. La subcapa MAC administra el acceso del protocolo al medio de red físico para que múltiples dispositivos se identifiquen con una dirección única en la capa de enlace de datos.

Capa de red.

Esta capa proporciona el ruteo y funciones relacionadas que permiten a múltiples enlaces de datos combinarse en una red. Esto se logra a través del direccionamiento lógico (como opuesto al direccionamiento físico) de los dispositivos. La capa de red soporta servicios orientados y no orientados a la conexión de los protocolos de las capas superiores. Los protocolos de la capa de red son de hecho protocolos de ruteo, sin embargo también otro tipo de protocolos están implementados en la capa de red.

Capa de transporte.

La capa de transporte acepta datos de la capa de sesión y segmenta los datos para transportarlos a través de la red. La capa de transporte es responsable de asegurarse que el dato se envía libre de errores y en la secuencia apropiada. El control de flujo se lleva a cabo en esta capa para administrar la transmisión de datos entre dispositivos, de manera que el dispositivo transmisor no envíe más datos de los que el dispositivo receptor puede procesar. Aquí se realiza también la verificación de errores

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

de transmisión mediante diversos mecanismos y, en caso de ser necesario, se solicita la repetición de envío de los datos para corregirlos.

Capa de sesión.

La capa de sesión se establece, administra y se termina la sesión de comunicación. Las sesiones consisten en solicitudes y respuestas de servicios que ocurren entre aplicaciones ubicadas en diferentes dispositivos de red.

Capa de presentación.

Esta capa provee una variedad de funciones de codificación y conversión que se aplican a los datos en la capa de aplicación. Estas funciones aseguran que la información enviada por la capa de aplicación de un sistema puede leerse en la capa de aplicación de otro sistema. Los formatos para representación de datos, imágenes, sonido y video permiten el intercambio de datos de aplicación entre diferentes tipos de sistemas de computación.

Capa de aplicación.

Por su cercanía entre ellos la capa de aplicación y el usuario interactúan directamente con la aplicación del software. Las funciones de esta capa son la identificación de un compañero de comunicación, determinación de los recursos disponibles y la sincronización de la comunicación. Para que se puedan transmitir los datos de una aplicación a capa identifica la identidad y disponibilidad del destinatario; luego, se determinan los recursos disponibles para saber si son suficientes para saber si la comunicación solicitada exista.

1.8. Las normas IEEE relacionadas a redes inalámbricas.

1.8.1. Norma 802.11 (Wi-Fi).

El comité de estándares IEEE 802 formo un grupo de trabajo de estándares de redes LAN inalámbricas 802.11 en 1990. El grupo de trabajo 802.11 asumió la tarea de desarrollar una norma global para equipos de radio y redes que operaban en la banda de uso libre de 2.4 GHz, para tasas de datos de 1 y

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

2 Mbps, y así en 1999 como lo hizo con las LAN cableadas, estandariza el primer estándar WLAN, recogido en el IEEE 802.11. La definición de este estándar supone un hito importante en el desarrollo de esta tecnología, puesto que los usuarios pueden contar con una gama mayor de productos compatibles. Este estándar no especifica una tecnología o especificación concreta, sino simplemente el nivel físico y el subnivel de control de acceso al medio, siguiendo la arquitectura de OSI.

La primera norma 802.11 utilizaba infrarrojos como medio de transmisión teniendo mala aceptación. Posteriormente, salieron otras dos normas basadas en el uso de la frecuencia de 2.4 GHz. Ambas se diferencian por el método de transmisión de radio utilizado. Una utiliza el sistema FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum, Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia) y la otra el sistema DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum, Espectro Ensanchado por Secuencia Directa).

El mayor inconveniente de los sistemas inalámbricos definidos originalmente por 802.11 es que trabajaban a velocidades de 1 y 2 Mbps. Esto, unido al alto coste inicial de los equipos, hizo que la tecnología inalámbrica no se desarrollase hasta 1999. En ese año aparecieron semiconductores de tecnología de radio de 2,4 GHz mucho más baratos. Por otro lado, aparecieron tres nuevas versiones de la norma 802.11:

- IEEE 802.11 b, que subía la velocidad de transmisión a los 11 Mbps. Por este motivo se la conoció también como 802.11 HR (High Rate, Alta Velocidad).
- IEEE 802.11 a. Esta norma se diferencia de 802.11b en el hecho de que no utiliza la banda de los 2,4 GHz, sino la de los 5 GHz y que utiliza una técnica de transmisión conocida como OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia). La gran ventaja es que se consiguen velocidades de 54 Mbps; llegando a alcanzar los 72 y 108 Mbps con versiones propietarias de esta tecnología. El mayor inconveniente es que la tecnología de semiconductores para 5 GHz no está suficientemente desarrollada todavía.
- IEEE 802.11 g. Esta norma surgió en el año 2001 con la idea de aumentar la velocidad sin renunciar a las ventajas de la banda de los 2,4 GHz. Esta norma permite transmitir datos a 54 Mbps. En cualquier caso, existen versiones propietarias de esta tecnología que llegan a los 100 Mbps.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

Posteriormente, se realizaron mejoras ya que en un inicio el IEEE no consideró determinadas características. Las mejoras que se realizaron son: IEEE 802.11e, calidad del servicio; IEEE 802.11h, gestión de espectro; y IEEE 802.11i, seguridad.

1.8.1.1. Nivel físico. Arquitectura y tecnologías de modulación y propagación.

En este apartado realizaremos una revisión de la arquitectura de la capa de nivel físico, donde nos centraremos en describir ligeramente el funcionamiento de la capa de convergencia, fundamentalmente resaltando el proceso de transmisión y recepción de y las técnicas de modulación utilizadas por 802.11 y 802.11b.

Arquitectura de capas 802.11.

La capa física proporciona una serie de servicios a la capa MAC o capa de acceso al medio. Diferentes tecnologías de capa física se definen para transmitir por el medio inalámbrico.

La capa física de servicios consiste en dos protocolos:

- una función de convergencia de capa física, que adapta las capacidades del sistema físico dependiente del medio (PMD). Esta función es implementada por el protocolo PLCP o procedimiento de convergencia de capa física, que define una forma de mapear MPDUs o unidades de datos MAC en un formato de tramas susceptibles de ser transmitidas o recibidas entre diferentes estaciones o STAs a través de la capa PMD.
- Un sistema PMD, cuya función define las características y un medio de transmitir y recibir a través de un medio sin cables entre dos o más STAs. La comunicación entre MACs de diferentes estaciones se realizará a través de la capa física mediante de una serie de puntos de acceso al servicio, donde la capa MAC invocará las primitivas de servicio.

Además de estas capas, podemos distinguir la capa física de gestión. En esta capa podemos distinguir la estructura MIB (Management Information Base) que contienen por definición las variables de gestión, los atributos, las acciones y las notificaciones requeridas para gestionar una estación. Consiste en un conjunto de variables donde podemos especificar o contener el estado y la configuración de las comunicaciones de una estación.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

1.8.1.2. Tecnologías utilizadas en las Redes.

Se explicaran a continuación los métodos de transmisión o multiplexación y los tipos de modulación que se utilizan en este tipo de redes, de las cuales, ya se ha hecho mención en las paginas anteriores.

FHSS

El sistema FHSS consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamada dwell time e inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo.

El orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas, y que tanto el emisor y el receptor deben conocer. Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico, a nivel lógico se mantiene un solo canal por el que se realiza la comunicación.

Esta técnica también utiliza la zona de los 2.4GHz, la cual organiza en 79 canales con un ancho de banda de 1MHz cada uno. El número de saltos por segundo es regulado por cada país, así, por ejemplo, Estados Unidos fija una tasa mínima de saltas de 2.5 por segundo.

El estándar IEEE 802.11 define la modulación aplicable en este caso. Se utiliza la modulación en frecuencia FSK (Frequency Shift Keying), con una velocidad de 1Mbps ampliable a 2Mbps. En la revisión del estándar, la 802.11b, esta velocidad también ha aumentado a 11Mbps. La técnica FHSS sería equivalente a una multiplexación en frecuencia.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

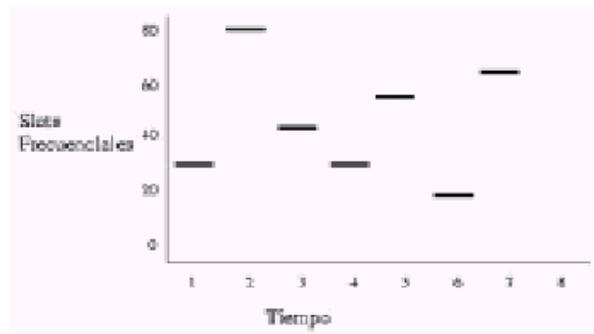


Figura 1.19. Sistema FHSS

DSSS

El sistema DSSS es una técnica en la que se genera un patrón de bits redundante (señal de chip) para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original.

La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como secuencia de Barker (también llamado código de dispersión o PseudoNoise). Es una secuencia rápida diseñada para que aparezca aproximadamente la misma cantidad de 1 que de 0. Un ejemplo de esta secuencia es el siguiente. +1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1 Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original. Además, al sustituir cada bit de datos a transmitir, por una secuencia de 11 bits equivalente, aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por interferencias, el receptor aún puede reconstruir fácilmente la información a partir de la señal recibida.

Una vez aplicada la señal de chip, el estándar IEEE 802.11 ha definido dos tipos de modulación para la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS), la modulación DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) y la modulación DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), que proporcionan una velocidad de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

En el estándar 802.11b, además de otras mejoras en seguridad, aumenta esta velocidad hasta los 11Mbps, lo que incrementa notablemente el rendimiento de este tipo de redes.

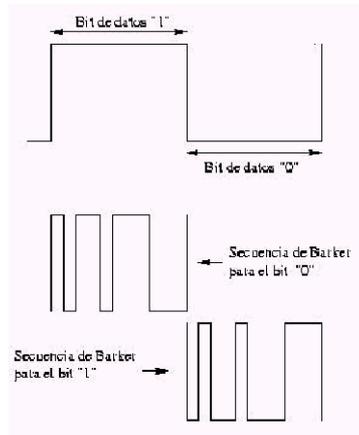


Figura 1.20. Principios del sistema DSSS

OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencias) es la técnica de gestión de frecuencias utilizada por IEEE 802.11a y 802.11g. Esta técnica divide el ancho de banda en subcanales más pequeños que operan en paralelo. De esta forma se consigue llegar a velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps (100 Mbps con soluciones propietarias).

La técnica OFDM fue patentada por Bell Labs en 1970 y está basada en un proceso matemático llamado FFT (Fast Fourier Translatin, Transformada Rápida de Fourier). OFDM divide la frecuencia portadora en 52 subportadoras solapadas. 48 de estas subportadoras son utilizadas para transmitir datos y las otras cuatro para poder alinear las frecuencias en el receptor. Este sistema consigue un uso muy eficiente del espectro radioeléctrico.

OFDM puede transmitir datos a distintas velocidades, utilizando distintas técnicas de modulación en cada una de ellas. Las velocidades normalizadas que admite OFDM son 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

Una de las ventajas de OFDM es que consigue una alta resistencia a las interferencias producidas por las ondas reflejadas en los objetos del entorno (eco o multipath). Estas ondas llegan al receptor con distinta amplitud y a distinto tiempo que la señal principal produciendo interferencias. Estas interferencias son un problema a velocidades superiores a 4 Mbps; por este motivo, se utilizan técnicas (como OFDM) que mitiguen este efecto.

VELOCIDAD (Mbps)	TECNICA DE MODULACIÓN	BITS POR SEÑAL
6	BPSK	1
9	BPSK	1
12	QPSK	2
18	QPSK	2
24	QAM-16 (BPSK)	4
36	QAM-16 (BPSK)	4
48	QAM-64 (QPSK)	6
54	QAM-64 (QPSK)	6

Tabla 1.1. Técnicas de modulación utilizadas en IEEE 802.11.

Modulación de la señal.

Para poder transmitir la señal vía radio, hace falta definir un método de difusión de la señal y un método de modulación de la señal. La modulación consiste en modificar una señal pura de radio para incorporarle la información a transmitir. La señal base a modular recibe el nombre de portadora (carrier). Lo que se le cambia a la portadora para modularla es su amplitud, frecuencia, fase o una combinación de éstas.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

Mientras mayor es la velocidad de transmisión, más complejo es el sistema de modulación.

Las técnicas de modulación utilizadas en IEEE 802.11 son las siguientes:

- BPSK (Binary Phase-Shift Keying, Modulación Binaria por Salto de Fase)
- QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying, Modulación por Salto de Fase en Cuadratura)
- GFSP (Gaussian Frequency-Shift Keying, Modulación Gaussiana por Salto de Frecuencia)
- CCK (Complementary Code Keying, Modulación de Código Complementario)

Una vez emitida la señal modulada, el receptor tiene que recibir la señal, sincronizar el código de difusión y demodular la información. Los sistemas FHSS son más complicados de sincronizar que los sistemas DSSS. En el primer caso hay que sincronizar tiempo y frecuencia y en el segundo, sólo el tiempo.

1.8.1.3. Control de Acceso al Medio (MAC).

Los diferentes métodos de acceso de IEEE802 están diseñados según el modelo OSI y se encuentran ubicados en el nivel físico y en la parte inferior del nivel de enlace o subnivel MAC.

Además, la capa de gestión MAC controlará aspectos como sincronización y los algoritmos del sistema de distribución, que se define como el conjunto de servicios que precisa o propone el modo infraestructura. Por último, veremos el aspecto y los tipos de tramas MAC.

Descripción Funcional del Control de Acceso al Medio.

La arquitectura MAC del estándar 802.11 se compone de dos funcionalidades básicas: la función de coordinación puntual (PCF) y la función de coordinación distribuida (DCF).

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

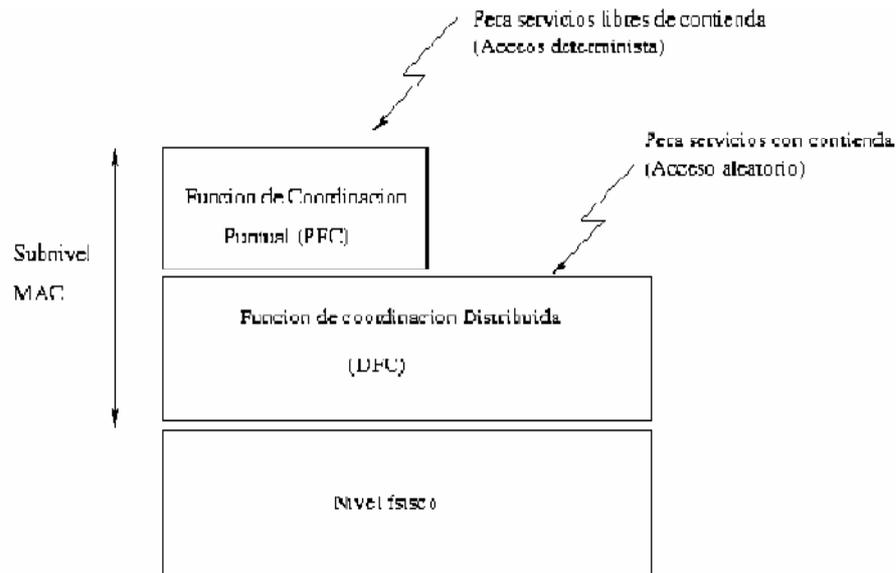


Figura 1.21. Funcionalidad del MAC

DFC, Función de Coordinación Distribuida.

Definimos función de coordinación como la funcionalidad que determina, dentro de un conjunto básico de servicios (BSS), cuándo una estación puede transmitir y/o recibir unidades de datos de protocolo a nivel MAC a través del medio inalámbrico. En el nivel inferior del subnivel MAC se encuentra la función de coordinación distribuida y su funcionamiento se basa en técnicas de acceso aleatorias de contienda por el medio.

El tráfico que se transmite bajo esta funcionalidad es de carácter asíncrono ya que estas técnicas de contienda introducen retardos aleatorios y no predecibles no tolerados por los servicios síncronos.

Las características de DFC las podemos resumir en estos puntos:

- Utiliza MACA (CSMA/CA con RTS/CTS) como protocolo de acceso al medio.
- Necesario reconocimientos ACKs, provocando retransmisiones si no se recibe.
- Usa campo Duration/ID que contiene el tiempo de reserva para transmisión y ACK. Esto quiere decir que todos los nodos conocerán al escuchar cuando el canal volverá a quedar libre.
- Implementa fragmentación de datos.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

- Concede prioridad a tramas mediante el espaciado entre tramas (IFS).
- Soporta Broadcast y Multicast sin ACKs.

Protocolo de Acceso al medio CSMA/CA y MACA.

El algoritmo básico de acceso a este nivel es muy similar al implementado en el estándar IEEE 802.3 y es el llamado CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance). Este algoritmo funciona tal y como describimos a continuación:

1. Antes de transmitir información una estación debe testear el medio, o canal inalámbrico, para determinar su estado (libre / ocupado).
2. Si el medio no está ocupado por ninguna otra trama la estación ejecuta una espera adicional llamada espaciado entre tramas (IFS).
3. Si durante este intervalo temporal, o bien ya desde el principio, el medio se determina ocupado, entonces la estación debe esperar hasta el final de la transacción actual antes de realizar cualquier acción.
4. Una vez finaliza esta espera debida a la ocupación del medio la estación ejecuta el llamado algoritmo de Backoff, según el cual se determina una espera adicional y aleatoria escogida uniformemente en un intervalo llamado ventana de contienda (CW). El algoritmo de Backoff nos da un número aleatorio y entero de ranuras temporales (slot time) y su función es la de reducir la probabilidad de colisión que es máxima cuando varias estaciones están esperando a que el medio quede libre para transmitir.
5. Mientras se ejecuta la espera marcada por el algoritmo de Backoff se continúa escuchando el medio de tal manera que si el medio se determina libre durante un tiempo de al menos IFS esta espera va avanzando temporalmente hasta que la estación consume todas las ranura temporales asignadas. En cambio, si el medio no permanece libre durante un tiempo igual o superior a IFS el algoritmo de Backoff queda suspendido hasta que se cumpla esta condición.

Cada retransmisión provocará que el valor de CW, que se encontrará entre CW_{min} y CW_{max} se duplique hasta llegar al valor máximo. Por otra parte, el valor del slot time es 20m seg.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

Sin embargo, CSMA/CA en un entorno inalámbrico y celular presenta una serie de problemas que intentaremos resolver con alguna modificación. Los dos principales problemas que podemos detectar son:

- Nodos ocultos. Una estación cree que el canal está libre, pero en realidad está ocupado por otro nodo que no oye.
- Nodos expuestos. Una estación cree que el canal está ocupado, pero en realidad está libre pues el nodo al que oye no le interferiría para transmitir a otro destino.

La solución que propone 802.11 es MACA o MultiAccess Collision Avoidance. Según este protocolo, antes de transmitir el emisor envía una trama RTS (Request to Send), indicando la longitud de datos que quiere enviar. El receptor le contesta con una trama CTS (Clear to Send), repitiendo la longitud. Al recibir el CTS, el emisor envía sus datos. Los nodos seguirán una serie de normas para evitar los nodos ocultos y expuestos:

- Al escuchar un RTS, hay que esperar un tiempo por el CTS.
- Al escuchar un CTS, hay que esperar según la longitud.

La solución final de 802.11 utiliza MACA con CSMA/CA para enviar los RTS y CTS.

PCF, Función de Coordinación Puntual.

Por encima de la funcionalidad DCF se sitúa la función de coordinación puntual, PCF, asociada a las transmisiones libres de contienda que utilizan técnicas de acceso deterministas. El estándar IEEE 802.11, en concreto, define una técnica de interrogación circular desde el punto de acceso para este nivel. Esta funcionalidad está pensada para servicios de tipo síncrono que no toleran retardos aleatorios en el acceso al medio. En la figura 21 mostramos la relación entre estos dos modos de operación.

Estos dos métodos de acceso pueden operar conjuntamente dentro de una misma celda o conjunto básico de servicios dentro de una estructura llamada supertrama. Una parte de esta supertrama se asigna al periodo de contienda permitiendo al subconjunto de estaciones que lo requieran transmitir bajo mecanismos aleatorios. Una vez finaliza este periodo el punto de acceso toma el medio y se

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

inicia un periodo libre de contienda en el que pueden transmitir el resto de estaciones de la celda que utilizan técnicas deterministas.

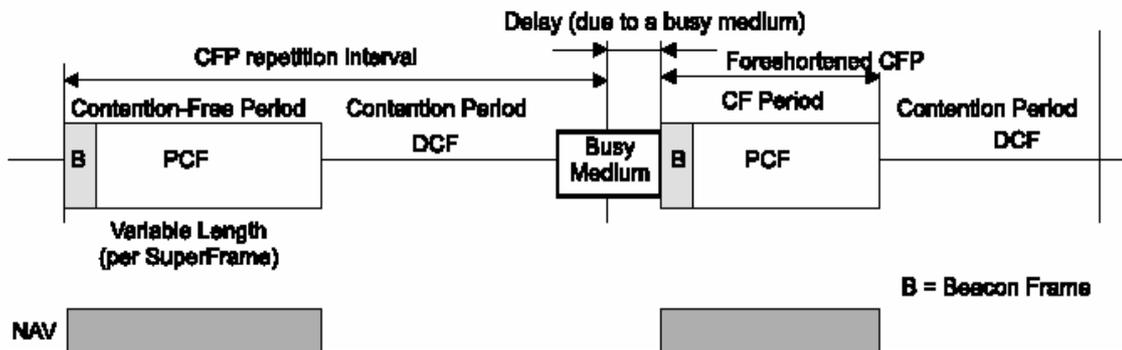


Figura 1.22. Relación entre DCF y PCF.

Un aspecto previo a comentar el funcionamiento de PCF es que es totalmente compatible con el modo DCF, observándose que el funcionamiento es transparente para las estaciones.

Formato de las tramas MAC.

Las tramas MAC contienen los siguientes componentes básicos:

- Una cabecera MAC, que comprende campos de control, duración, direccionamiento y control de secuencia.
- Un cuerpo de trama de longitud variable, que contiene información específica del tipo de trama.
- Un secuencia checksum (FCS) que contiene un código de redundancia CRC de 32 bits.

Las tramas MAC se pueden clasificar según tres tipos:

- Tramas de datos.
- Tramas de control. Los ejemplos de tramas de este tipo son los reconocimientos o ACKs, las tramas para multiacceso RTS y CTS, y las tramas libres de contienda.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
 APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

- Tramas de gestión. Como ejemplo podemos citar los diferentes servicios de distribución, como el servicio de Asociación, las tramas de Beacon o portadora y las tramas TIM o de tráfico pendiente en el punto de acceso.

El formato de la trama MC genérica tiene el siguiente aspecto:

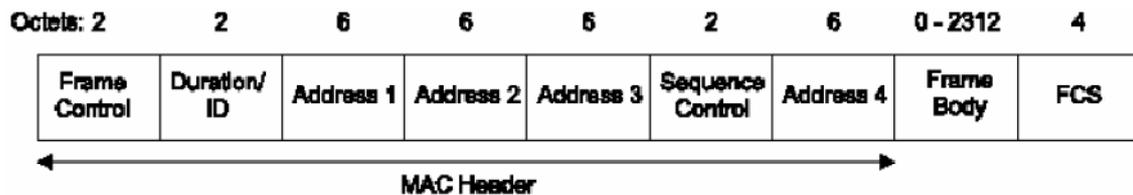


Figura 1.23. Trama MC.

Los campos que componen esta trama son:

- Campo de control. Merece examinar aparte. Lo haremos más abajo.
- Duration/ID. En tramas del tipo PS o Power-Save para dispositivos con limitaciones de potencia, contiene el identificador o AID de estación. En el resto, se utiliza para indicar la duración del periodo que se ha reservado una estación.
- Campos address1-4. Contiene direcciones de 48 bits donde se incluirán las direcciones de la estación que transmite, la que recibe, el punto de acceso origen y el punto de acceso destino.
- Campo de control de secuencia. Contiene tanto el número de secuencia como el número de fragmento en la trama que se está enviando.
- Cuerpo de la trama. Varía según el tipo de trama que se quiere enviar.
- FCS. Contiene el checksum.

Los campos de control de trama tienen el formato siguiente:

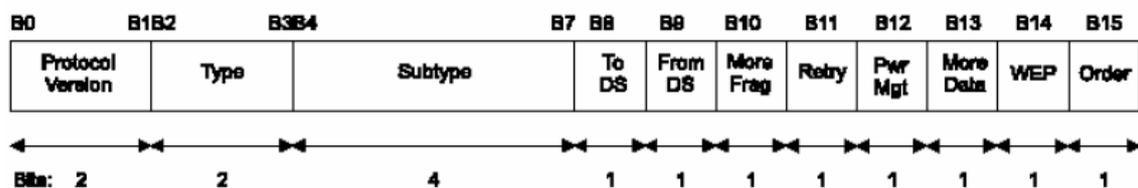


Figura 1.24. Campos de control de trama.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

- Versión.
- Type/Subtype. Mientras tipo identifica si la trama es del tipo de datos, control o gestión, el campo subtype nos identifica cada uno de los tipos de tramas de cada uno de estos tipos.
- ToDS/FromDS. Identifica si la trama se envía o se recibe al/del sistema de distribución.
En redes ad-hoc, tanto ToDS como FromDS están a cero. El caso más complejo contempla el envío entre dos estaciones a través del sistema de distribución. Para ello situamos a uno tanto ToDS como FromDS.
- Más fragmentos. Se activa si se usa fragmentación.
- Retry. Se activa si la trama es una retransmisión.
- Power Management. Se activa si la estación utiliza el modo de economía de potencia.
- More Data. Se activa si la estación tiene tramas pendientes en un punto de acceso.
- WEP. Se activa si se usa el mecanismo de autenticación y encriptado.
- Order. Se utiliza con el servicio de ordenamiento estricto, en el cual no nos detendremos.

1.8.1.4. Arquitectura básica de una red.

La topología de una red es la arquitectura de la red, la estructura jerárquica que hace posible la interconexión de los equipos. IEEE 802.11 y, por tanto, Wi-Fi, contempla tres arquitecturas distintas:

- IBSS (Independent Basic Service Set, Conjunto de Servicios Básicos Independientes). Esta modalidad está pensada para permitir exclusivamente comunicaciones directas entre los distintos terminales que forman la red. A esta modalidad se le conoce también como Ad-hoc o peer to peer.
- BSS (Basic Service Set, Conjunto de Servicios Básicos). En esta modalidad se añade un equipo llamado punto de acceso (AP o Access Point) que realiza las funciones de coordinación centralizada de la comunicación entre las distintas terminales de la red. Tienen funciones de buffer (memoria de almacenamiento intermedio) y de gateway (pasarela) con otras redes. A la modalidad BSS también se le conoce como modo de infraestructura.
- ESS (Extended Service Set, Conjunto de Servicios Extendido). Esta modalidad permite crear una red inalámbrica formada por más de un punto de acceso. Una red ESS está formada por múltiples redes BSS.

En las modalidades de BSS y ESS todas las comunicaciones pasan por los puntos de acceso.

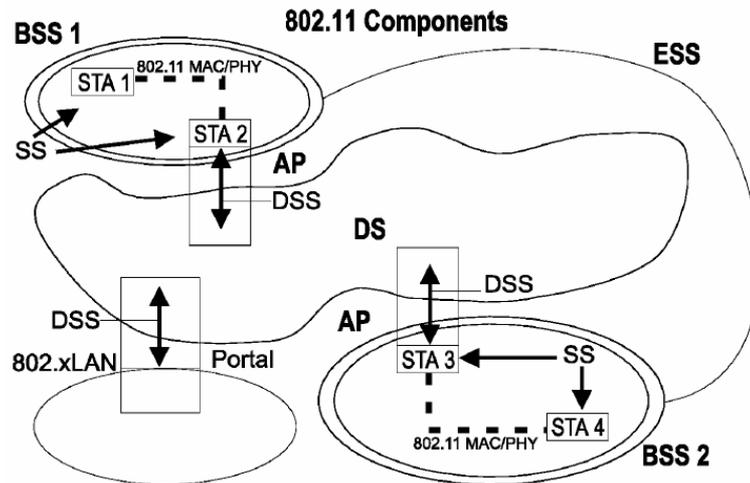


Figura 1.25. Arquitectura completa IEEE 802.11

1.8.1.5. Los servicios.

La arquitectura IEEE 802.11 permite la posibilidad que el DS no puede ser idéntico a un existiendo alambrados LAN. Un DS puede crearse de muchas tecnologías diferentes incluso la actual IEEE802 LANs. IEEE 802.11 no obliga al DS para ser el enlace de los datos o la capa de la red. IEEE 802.11 no especifica los detalles de aplicaciones de DS explícitamente. En cambio, IEEE 802.11 especifica los servicios.

Los servicios son asociados con los componentes diferentes de la arquitectura. Hay dos categorías de servicios IEEE 802.11, el servicio de estación (SS) y el servicio de distribución (DS). Ambas categorías de servicio son usadas por la subcapa 802.11 MAC.

Los servicios de estación (SS):

- Autenticación. Comprueba la identidad de una estación autoriza para asociarse.
- Desautenticación. Cancela una autenticación existente, este servicio da por concluida la conexión cuando una estación pretende desconectarse de la red.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

- Privacidad. Evita el acceso no autorizado de los datos gracias al uso del algoritmo WEP (Wired Equivalency Protocol, Protocolo de Equivalencia con Red Cableada). Este algoritmo pretende emular el nivel de seguridad que se tiene en las redes cableadas.
- Entrega de datos. Facilita la transferencia de datos entre estaciones.

Los servicios de distribución (DS):

- Asociación. Significa la asociación del terminal al punto de acceso haciendo que este sea el responsable de la distribución de datos a, y desde, dicho terminal.
- Desasociación. Cancela una asociación existente.
- Reasociación. Transfiere una asociación entre dos puntos de acceso.
- Distribución. Cuando se transfieren datos de un terminal a otro, el servicio de distribución se asegura de que los datos alcancen su destino.
- Integración. Facilita la transferencia de datos entre la red inalámbrica de IEEE 802.11 y cualquier otra red.

1.8.1.6. Flujo de datos.

Los datos que se van a transmitir por el medio radioeléctrico proceden de las capas superiores (formato IP) y se pasan a la capa **LLC** (Logical Link Control, Control Lógico del Enlace). La capa LLC le pasa estos datos a la capa **MAC**, quien, a su vez, se los pasa a la capa física para su emisión.



Figura 1.26. Interfaces de la capa MAC y física.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

Los paquetes de datos que se intercambian entre las capas LLC y MAC se conocen como MSDU (MAC Service Data Unit, Unidad de Datos del Servicio MAC), mientras que los paquetes de datos que se intercambian entre las capas MAC y física reciben el nombre de MPDU (MAC Protocol Data Unit, Unidad de Datos del Protocolo MAC). En la capa física, quien recibe estos datos es PLCP, quien es responsable de convertir los datos MPDU a un formato compatible con el medio físico.

1.8.2. IEEE 802.15.

Para satisfacer las diferentes necesidades de comunicación dentro de un área personal la IEEE se divide los grupos de estudio en 4 grupos de trabajo que se encargan del desarrollo de los estándares. Cada uno de estos grupos tienen características e intereses específicos, los 4 grupos de trabajo son:

1. IEEE 802.15.1. Realiza las especificaciones del SIG de Bluetooth, del cual se hablo ya anteriormente. Este grupo publicó este estándar el 14 de junio de 2002.
2. IEEE 802.15.2. Este grupo desarrollo un modelo de coexistencia entre la WLAN y las WPAN, así como de los equipos que las envuelven.
3. IEEE 802.15.3. Trabajo para publicar un estándar de alta velocidad (20 Mbps o mayores). Además se diseñó para consumir poca energía y ofrecer soluciones a bajo costo y aplicaciones multimedia.
4. IEEE 802.15.4. Este grupo de trabajo investigó y desarrolló soluciones que requieren una baja de transmisión de datos y con ello una larga duración de baterías. Este estándar maneja una amplia gama de soluciones para la industria, con el nombre de Zigbee, del cual ya se comento anteriormente.

CAPITULO 2. NORMA 802.16

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

2.1. Generalidades.

WiMAX se define como el grupo de tecnologías inalámbricas que emergieron de la familia de estándares WirelessMAN (Wireless Metropolitan Area Network– Red de Área Metropolitana Inalámbrica) el IEEE 802.16 para la comunicación inalámbrica de alta velocidad, para ofrecer la conectividad de banda ancha de última-milla a los hogares y los negocios y para las redes inalámbricas móviles. Aunque el término WiMAX solo tiene algunos años, este ha existido desde finales de los noventa. En 1998, la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) inició un proyecto de normas para especificar un punto a multipunto de banda ancha de acceso inalámbrico, sistema adecuado para la entrega de datos, voz, vídeo y servicios a los clientes fijos. El nivel inicial, designado IEEE 802.16, fue desarrollado para los mayores bandas de microondas (>10 GHz) en caso de que la línea de visión entre el sistema de antenas es necesario para un servicio confiable. Con la asignación para la 802.16 (10-66GHz) y luego con el 802.16 (2-11GHz) en enero de 2003.

WiMAX es similar a Wi-Fi pero ofrece un ancho de banda mayor, una encriptación más fuerte, y funcionamiento mejorado sobre distancias más largas conectando entre las estaciones de recepción que no tiene visión directa (NLOS) pero estas conexiones son menos estables y ofrecen menor velocidad que las conexiones con visibilidad directa (LOS) las cuales son más estables y ofrecen una mayor velocidad hasta 70 Mbps. WiMAX utiliza la tecnología de Modulación Ortogonal de División de Frecuencia (OFDM), que tiene una tasa de consumo de energía baja. WiMAX se puede utilizar para un gran número de aplicaciones, incluyendo conexiones de banda ancha de última-milla, hotspots y backhaul celular, y conectividad de alta velocidad de las empresas. Soporta servicios de banda ancha tales como VoIP o vídeo. WiMAX es también una posibilidad de la tecnología de backhaul en las redes locales de Wi-Fi.

El estándar 802.16 se ha ido adaptando a lo largo de sus diferentes versiones a los diferentes entornos en que es necesario dar cobertura inalámbrica. El proceso de estandarización no ha finalizado, ya que aún quedan pruebas por realizar de las versiones ya existentes, y entornos que abarcar por el estándar en futuras versiones.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

En la primera versión del estándar el ancho de banda era fijo, en versiones posteriores se ha hecho variable, aumentando así la versatilidad del sistema. En un principio, se fijó en 25 MHz, pero en la versión definitiva para cobertura estática (802.16d) éste es flexible entre 1.75 y 20 MHz para bandas con licencia y 10 MHz y 20 MHz para bandas sin licencia. Esto es posible al permitir WiMAX escalar el ancho de banda a emplear en la transmisión ya que el sistema está diseñado para que escale a varios cientos de usuarios cómodamente y además permite un uso flexible de frecuencias para poderse adaptar a cualquier tipo de legislación, permitiendo por tanto mayores coberturas y en consecuencia se necesitan menos puntos de acceso para dar cobertura a una zona extensa y aumentando el número de símbolos que se entregan al canal.

Versiones del estándar 802.16

- 802.16: 10-66 GHz
- 802.16a: 2-11 GHz, 6-54Mbps
- 802.16b: 5-6GHz, 1,2,5.5 y 11 Mbps
- 802.16c: 10-66 GHz, 6-54Mbps
- 802.16d u 802.16-2004 : 2-11 GHz
- 802.16e: Acceso móvil, 2-6 GHz, 6-54 Mbps.

2.2. Desarrollo del estándar 802.16

- IEEE 802.16-2001: IEEE 802.16 fue aprobado formalmente por el IEEE en 2001. Vale mencionar de que muchas ideas básicas de 802.16 fueron basadas en los datos sobre la especificación de interfaz del servicio de cable (DOCSIS). Esto es principalmente debido a las semejanzas entre el ambiente de cable fibra-coaxial híbrido (HFC) y el ambiente de BWA. 802.16 utiliza el espectro de la frecuencia de 10 a 66 GHz y es conveniente para usos de visión directa (LOS). Con sus ondas cortas, el estándar no es útil para los ajustes residenciales debido a las características NLOS causadas por los tejados y los árboles.
- IEEE 802.16a-2003: Esta extensión del estándar 802.16 cubre el estándar fijó BWA en el espectro autorizado y no autorizado a partir del 2 a 11 GHz. El estándar entero junto con las

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

últimas enmiendas fue publicado el 1 de abril de 2003. Esta enmienda fue desarrollada principalmente para los usos NLOS y es así una solución práctica para el problema de la transmisión de la última milla donde están presentes obstáculos como árboles y edificios. IEEE 802.16a apoya la topología de red del PMP y la topología opcional BWA mesh. Especifica tres interfaces de aire: modulación de solo portador, OFDM de 256 puntos y OFDMA de 2048 puntos. El estándar de IEEE 802.16a especifica los tamaños del canal que se extienden a partir de 1.75 a 20 MHz. Este protocolo soporta bajos del estado de latencia para aplicaciones tales como voz y vídeo.

- IEEE 802.16-2004: también conocido como Revisión D se publicó en 2004 para aplicaciones fijas. Este estándar revisa y consolida 802.16-2001, 802.16a- 2003, y 802.16c-2002. La tecnología de WiMAX basada en el estándar 802.16-2004 se está probando rápidamente como tecnología que desempeñe un papel dominante en WirelessMAN de banda ancha fijo. La capa del MAC apoya principalmente arquitectura del PMP y topología mesh como opción. El estándar se especifica para soportar redes inalámbricas fijas. La versión móvil de 802.16 se conoce como WiMAX móvil o 802.16e.
- IEEE 802.16e (WiMAX móvil): Es la versión móvil del estándar 802.16 que el 6 de diciembre de 2005, fue formalmente aprobado por la Junta de Normas del IEEE. Esta nueva enmienda tiene como objetivo el mantener a los clientes móviles conectados con una MAN mientras se mueven alrededor. Soporta dispositivos portables smart phones móviles y asistentes digitales personales (PDA,) a notebooks y a computadoras portátiles. IEEE 802.16e trabaja en las bandas de la frecuencia de 2.3 GHz y de 2.5 GHz.

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

2.3. Bandas de frecuencia que utiliza WiMAX.

Una de las características importantes de WiMAX es que puede funcionar en bandas del espectro licenciadas y no licenciadas:

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

2.3.1. Frecuencias no licenciadas.

El espectro que no requiere licencia y que es utilizado en WiMAX es 2.4GHz y 5.8GH, 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 por razones obvias. En ciertos países, el usuario tiene que presentar su intención de usar el espectro que no requiere licencia. De esta forma, los entes reguladores tienen una mejor noción de quién está empleando el espectro, y controlan la cantidad de licenciatarios y minimizan potencialmente el impacto de interferencias.

2.3.2. Frecuencias licenciadas.

El espectro que requiere licencia tiene un precio potencialmente alto, pero bien lo vale, en especial cuando la oferta del servicio requiere una alta calidad de servicio. La mayor ventaja de tener el espectro que requiere licencia es que el licenciatario tiene uso exclusivo del espectro. Está protegido de la interferencia externa, mientras que sus competidores sólo pueden ingresar en el mercado si también poseen licencia del espectro. El espectro que requiere licencia se encuentra en 700MHz, 2.3GHz, 2.5GHz y 3.5GHz; de éstas, las últimas dos bandas de frecuencia son las que en la actualidad reciben mayor atención.

2.4. WiMAX fijo y Móvil.

WiMAX fijo, también denominado IEEE 802.16-2004, o conocido como 802.16REVd es una mejora del estándar 802.16a que fue certificado en octubre de 2004, determina las conexiones de línea fija a través de una antena en el techo, similar a una antena de televisión. WiMAX fijo funciona en las bandas de frecuencia 2.5 GHz y 3.5 GHz, para las que se necesita una licencia, y en la banda 5.8 GHz para la que no se necesita tenerla.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

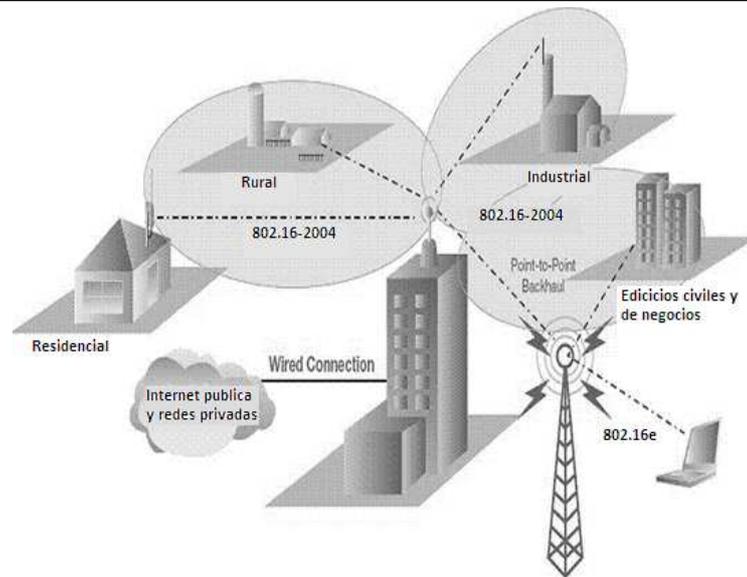


Figura 2.1. Aplicaciones.

WiMAX móvil, que también se denomina IEEE 802.16e-2005, permite que los equipos móviles de los clientes se conecten a Internet. La tecnología WiMAX móvil abre las puertas para el uso de teléfonos móviles por IP e incluso para servicios móviles de alta velocidad. Se basa en la tecnología Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA), lo cual es similar a OFDM en que divide en las subportadoras múltiples. OFDMA, sin embargo, va un paso más allá agrupando subportadoras múltiples en subcanales, tiene ventajas en rendimiento de procesamiento, latencia, eficacia espectral, y la ayuda de avanzada antenas, permitiéndole en última instancia proporcionar un rendimiento más alto. Una sola estación cliente del suscriptor podría usar todos los subcanales dentro del periodo de la transmisión, o los múltiples clientes podrían transmitir simultáneamente usando cada uno una porción del número total de subcanales.

2.4.1. OFDM en WiMAX fijo.

- El canal de banda ancha es subdividido en muchos subcanales angostos
- Gran resistencia a la propagación multitrayectorias
- Más fácil de equalizar que sistemas de una sola portadora
- Acceso múltiple por división en tiempo o frecuencia
- Cada SS tiene asignados algunos subcanales

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

- El aprovechamiento de un sistema OFDM punto a multipunto es lo más eficiente posible
- Cada SS utiliza solo los subcanales de mejor calidad
- El ancho de banda se comparte dinámicamente entre varios SS activos
- La capa PHY del IEEE 802.16a soporta esta forma de brindar acceso múltiple
- La capa MAC soporta la señalización respectiva

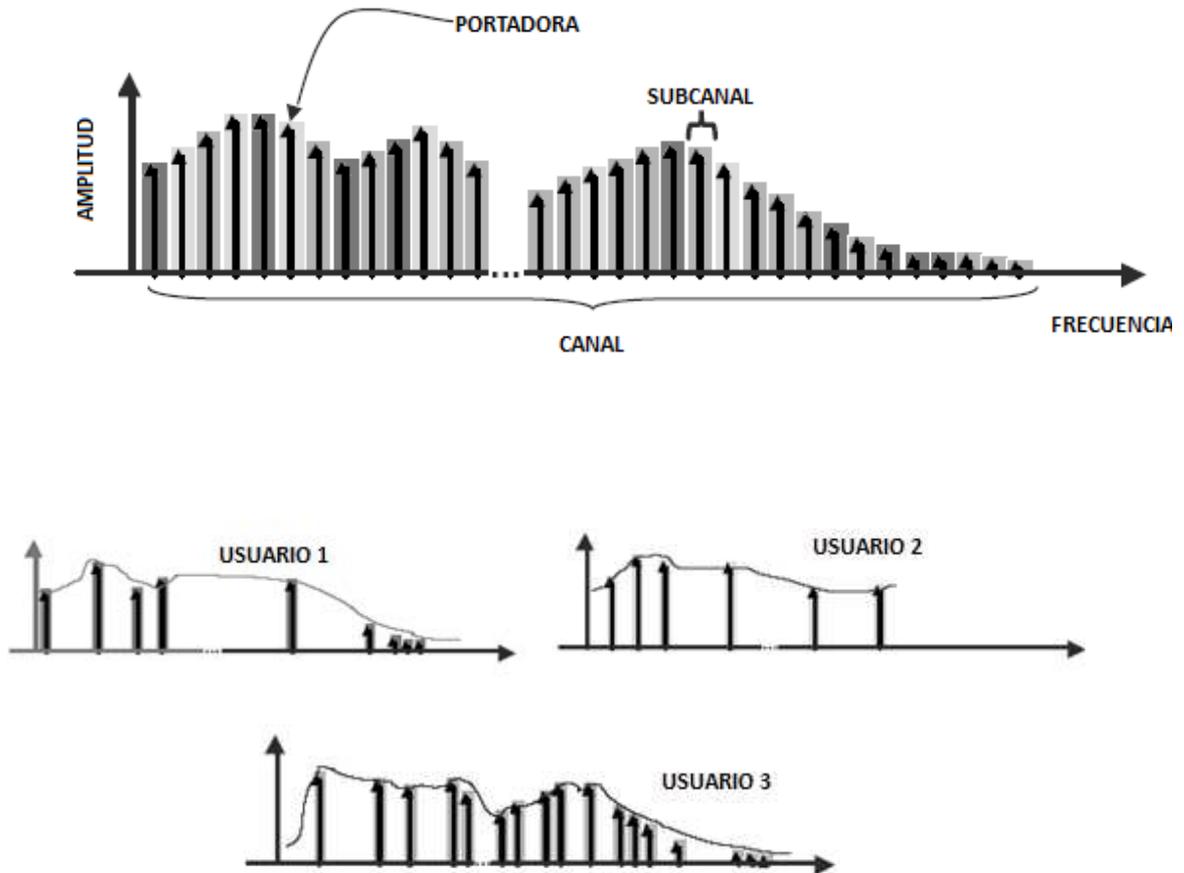


Figura 2.2. OFDMA.

El estándar 802.16-2004 del IEEE mejora la entrega de última milla en varios aspectos cruciales:

- La interferencia del multicamino
- El retraso difundido
- La robustez

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

La interferencia del multicamino y retraso mejora la actuación en situaciones donde no hay una línea de vista directo entre la estación base y la estación del suscriptor.

El Control de Acceso a Medios emergente del 802.16-2004 es optimizado para enlaces de gran distancia porque es diseñado para tolerar retrasos más largos y variaciones de retraso. La especificación 802.16 acomoda mensajes de la gestión de Control de Acceso a Medios que permiten a la estación base interrogar a los suscriptores, pero introduciendo un cierto retraso temporal. Un equipo WiMAX que opere en bandas de frecuencia exentas de licencia usará duplicación por división de tiempo TDD. Un equipo funcionando dentro de bandas de frecuencia autorizadas usará ya sea TDD o duplicación por división de frecuencia FDD.

El estándar del 802.16-2004 del IEEE usa OFDM para la optimización de servicios inalámbricos de datos. Los sistemas basados en los estándares emergentes del 802.16-2004 del IEEE son el OFDM base sólo estandarizado, el área metropolitana inalámbrico en red WMAN plataformas. En caso de 802.16-2004, la señal OFDM está dividida en 256 transportadores en lugar de 64 al igual que con el estándar 802.11. Como previamente se ha indicado, un mayor número de subportadoras en la misma banda da como resultado subportadoras más estrechas.

Mientras la mayoría de las tecnologías inalámbricas disponibles en la actualidad pueden proporcionar solamente cobertura con visión directa (LoS) entre transmisor y receptor, WiMAX puede proporcionar realmente dos formas de servicios inalámbricos ya que las técnicas empleadas en la capa física, 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 donde 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 50 Km.) para LoS y se puede usar en celdas del orden de 5Km para condiciones NLoS. La conexión LoS es más fuerte y más estable, así que puede enviar muchos datos con pocos errores.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

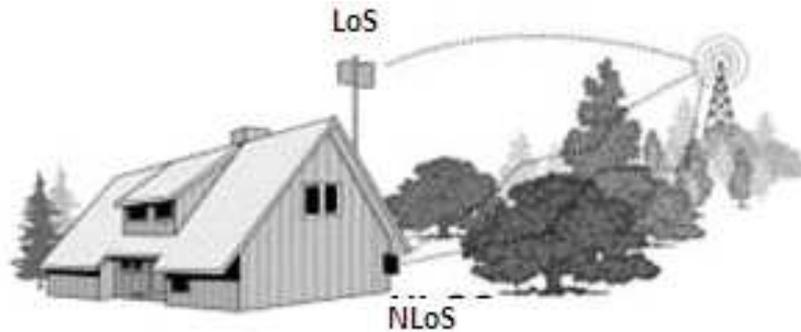


Figura 2.3. LoS y NLoS.

WiMAX se puede utilizar en una red inalámbrica de área metropolitana (WMAN) para conectar hot spots de IEEE 802.11 (Wi-Fi) con el Internet y para proporcionar una extensión inalámbrica al cable y el DSL para el acceso de banda ancha de última-milla. IEEE 802.16 proporciona hasta 50 kilómetros (31 MI) de rango lineal al área de servicio y no prohíbe a usuarios conectividad sin visión directa a una estación base (BS). La tecnología también proporciona tasas de datos compartidos de hasta 70 Mbps, que es suficiente para apoyar simultáneamente más de 60 negocios con conectividad de tipo E1/T1, o más de mil hogares con conectividad DSL de 1 Mbps. El estándar original IEEE 802.16, especifica a WiMAX en un rango de 10 - 66 GHz. El 802.16a agregó soporte para el rango de 2 – 11 GHz, cuya mayor parte son no licenciadas internacionalmente, y solamente muy pocas todavía requieren de licencias locales. La mayoría del interés comercial estará probablemente en el estándar 802.16a, en comparación con frecuencias licenciadas. La especificación de WiMAX mejora sobre muchas de las limitaciones del estándar de Wi-Fi proporcionando ancho de banda y encriptación más fuerte crecientes. También apunta a proporcionar conectividad entre los puntos finales de red sin visión directa en algunas circunstancias.

2.5. Foro WiMAX

En 2001, se creó el Foro WiMAX para promover el estándar y para ayudar a asegurar la compatibilidad y la interoperabilidad de los equipos a través de múltiples fabricantes aproximadamente 300 compañías incluyendo Intel (principal impulsor), Nokia, Motorola, Alcatel

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

Ericsson, Lucent, etc. Es un grupo no lucrativo de la industria que establece los estándares para la tecnología emergente. La meta del foro WiMAX es acelerar la introducción de dispositivos de banda ancha estándar en el mercado con los productos certificados del foro completamente interoperable con WiMAX que soporte aplicaciones del área metropolitana fija, portable, y de banda ancha móviles. La certificación significa que un dispositivo de WiMAX cumple con los estándares de IEEE 802.16.



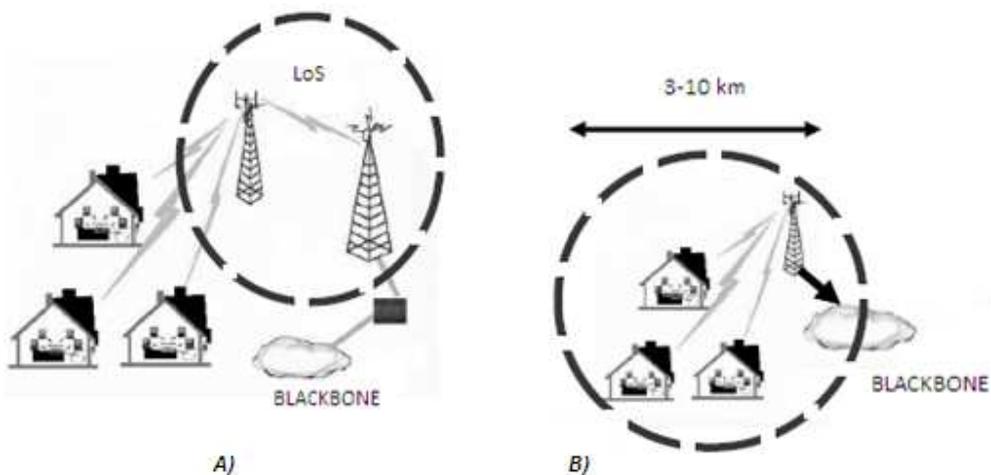
Figura 2.4. Foro WiMax

2.6. Modos de operación de WiMAX.

Enlaces dedicados de alta capacidad (backhaul): 2-66 GHz, 30-50 Km, LoS.

Acceso de banda ancha fija: 2-66 GHz, 3-10 Km, 40 Mbps, LoS y NLoS.

Acceso de banda ancha móvil: 2-3 GHz, 3Km, 120 Km/h.



**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

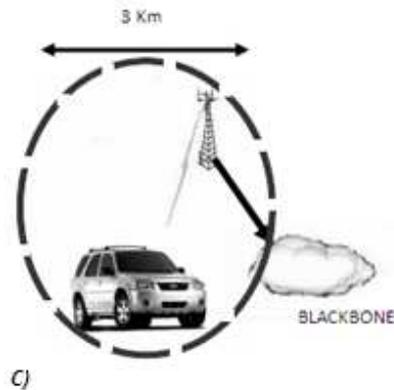


Figura 2.5 A) Para alta capacidad; B) Banda ancha fija; C) Banda ancha móvil.

2.7. Topología de red.

El despliegue de red de WiMAX se puede hacer basó en tres topologías.

2.7.1. De punto a punto.

Las redes inalámbricas fijas de punto a punto se despliegan comúnmente para ofrecer acoplamientos dedicados de alta velocidad entre los nodos de alta densidad en una red. Tales sistemas son rentables y se pueden desplegar fácilmente. Por otra parte, como una parte grande del costo de la red inalámbrica no se contrae hasta que el equipo de premisas de cliente (CPE) esté instalado, el operador del servicio en red puede medir el tiempo de gastos en inversión de capital para coincidir con la firma de nuevos clientes. Los sistemas de punto a punto (P-P) proporcionan una solución eficaz de la ultima-milla para el prestatario de servicios soportado y se pueden utilizar por proveedores de servicios competitivos para entregar servicios directamente a los usuarios finales. Las ventajas pueden ser resumidas como sigue:

- Reducción de los costos de la entrada y del despliegue.
- Facilidad y velocidad del despliegue (los sistemas se pueden desplegar rápidamente con la interrupción mínima a la comunidad y al ambiente).
- Rápida realización del rédito (como resultado del despliegue rápido).

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

- Demanda basada en la construcción de afuera (la arquitectura escalable que emplea los estándares industriales abiertos asegurando servicios y áreas de la cobertura se puede ampliar fácilmente como autorizaciones de la demanda de cliente).
- El cambio del costo de los componentes fijos a los variables.
- Mantenimiento rentable de la red, la gestión y los gastos de operación.



Figura 2.6. WiMAX punto a punto.

2.7.2. Punto a multipunto.

Punto a multipunto es un concepto en el cual suscriptores múltiples pueden tener acceso a la misma plataforma de radio, utilizando un método de multiplexación y de espera. Avances más recientes en una tecnología punto a multipunto ofrecen a proveedores de servicios un método de proporcionar el acceso local de gran capacidad que es menos costoso que una solución del cable metálico, más rápida de desplegar que el cable y capaz de ofrecer una combinación de usos.

Las puestas en práctica Punto a multipunto (P-MP) están emergiendo en varias bandas sobre 20 GHz, hasta cerca de 40 GHz. Éstos consisten en un concentrador o hub con completa multiplexación por división de tiempo (TDM) o una estación base usando las antenas sectoriales y TDMA.

La mayoría de los sistemas del P-MP utilizan un método simple de la modulación, como QPSK, pero los métodos de alto nivel de la modulación también se utilizan en algunos sistemas, como 64 QAM (modulación de amplitud de cuadratura). Hay una compensación entre el método de la modulación, la tolerancia de interferencia y la longitud de acoplamiento. Capacidades de sistema más avanzadas del P-MP, incluyendo incluso métodos de alto nivel de la modulación.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

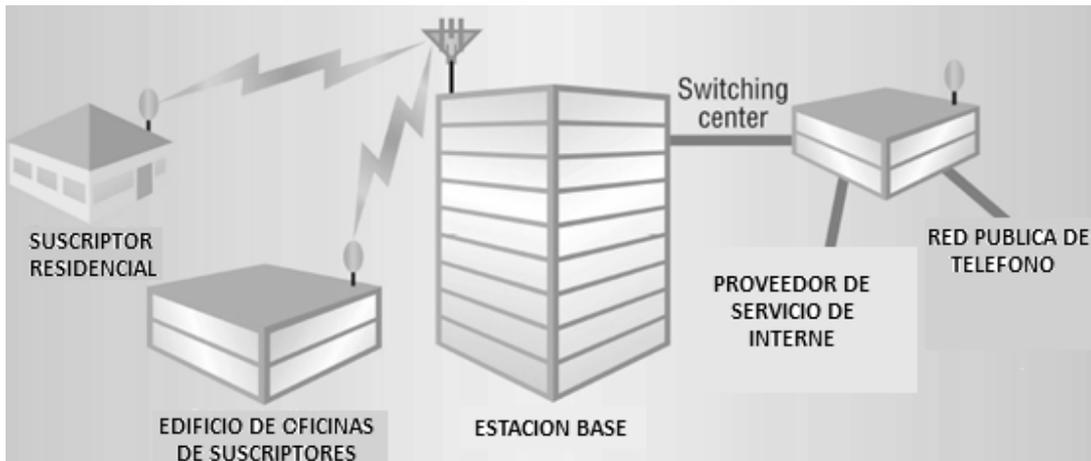


Figura 2.7. Despliegue WiMAX punto a multipunto.

2.7.3. Malla.

El enrutamiento de la malla es una nueva, autoajustable y autoregenerable topología que prolonga el rango, reduce interferencia, mejora seguridad y funcionamiento, y baja costos requiriendo pocos puntos de acceso. Cada dispositivo transmite solamente bastante energía para alcanzar los dispositivos adyacentes en lugar de otros lejanos. Se mejora el funcionamiento porque allí se mejora la atenuación sobre distancia, y la seguridad puesto que las señales no se transmiten muy lejos.

Una red (punto a punto) ad hoc es una red de área local independiente no conectada con una infraestructura atada con alambre y donde todas las estaciones están conectadas directamente una con otra (llamado una topología de malla). Configurando las estaciones base WiMAX en modo ad hoc se utiliza para establecer una red donde no existe la infraestructura inalámbrica. Pues las mismas estaciones base actúan como backhaul, esto hizo popular la aplicación proporcionando un número sustancial de usuarios.

Las topologías de malla proporcionan una arquitectura flexible, eficaz, confiable, económica, y portable que pueda mover datos entre los nodos eficientemente mientras mantienen en balance el tráfico a lo largo de la red. La malla también tiene futuro en el despliegue de redes inalámbricas de área extensa.

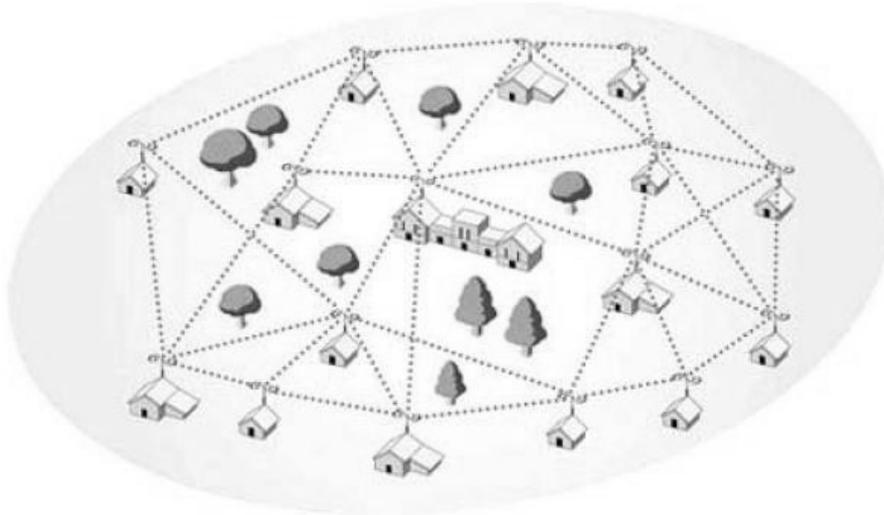


Figura 2.8. Red en malla.

Redes en malla.

Las redes de malla son redes de datos inalámbricas integradas por dos o más nodos autónomos y auto-organizados. Los nodos son similares a los receptores inalámbricos tradicionales del transmisor (relacionados con una tarjeta de la estación base o de la red inalámbrica) pero tienen inteligencia adicional que les permiten actuar como mini-routers para la red. Los nodos están instalados a través de un área extensa (tal como una colonia o un campus de escuela). Cada nodo entonces transmite una señal de energía baja capaz de alcanzar nodos vecinos, que alternadamente transmite la señal al nodo siguiente, con un proceso que es repetido hasta que los datos lleguen a su destino. Agregando la capacidad para cada nodo a los paquetes de la ruta a otros nodos en la red, las mallas pueden prolongar el rango de tecnologías inalámbricas como WiMAX o Wi-Fi y pueden proporcionar cobertura barata a un área geográfica usando la infraestructura mínima disponible de backhaul.

Las conexiones entre los nodos se hacen a pedido y los paquetes se enrutan a través de la red que usa las tablas de enrutamiento predeterminadas (enrutamiento dinámico) o que usa las rutas generadas a pedido por la red (enrutamiento reactivo). Las redes de malla correctamente configuradas deben ser autoregenerables si va un nodo abajo, los nodos restantes en la red pueden configurar de nuevo sus rutas para trabajar alrededor de la falta.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

Las redes de malla también aumentan proporcionalmente, un proyecto puede comenzar con algunos nodos y después aumentar proporcionalmente un solo nodo a la vez. La red de malla se basa en la topología multi-hop, que tiene muchas ventajas así como pocas desventajas.

2.7.4. Topología Multi-hop.

Hasta este punto, los sistemas inalámbricos se han discutido como consistir en estaciones base o los puntos de acceso que alimentan una colección de sistemas de extremo. Pero los sistemas inalámbricos más complejos hacen sensatez también. Por ejemplo, en vez de alimentar una estación base 802.16 directamente con una fibra, una malla de otra estación base 802.16 se puede utilizar como alimentación. Un sistema multi-hop 802.16, anteriormente mencionada hace una selección de canal cuidadosa de las autorizaciones, de modo que la señal del alimentador de la primera estación base no interfiera con la señal de la distribución enviada de la estación base del extremo, sin embargo tal sistema pudo evitar la considerable construcción de mallas de fibra en áreas escasamente pobladas.

En la arquitectura de malla, si va el nodo más cercano se pierde o si ocurre interferencia localizada, la red continúa funcionando; los datos se enrutan simplemente a lo largo de una trayectoria alterna. También las redes multi-hop utilizan el ancho de banda disponible eficientemente. En una red multi-hop, muchos dispositivos pueden conectarse con la red al mismo tiempo con diversos nodos, sin existir necesariamente degradación del sistema. Los rangos de transmisión más cortos en una red multi-hop limitan la interferencia, permite flujos de datos espaciales separados. Para desplegar una red multi-hop productivamente, sin embargo, los proveedores de servicios necesitan una base de suscriptores inicial grande.

2.8. Capa MAC.

El protocolo de MAC de IEEE 802.16 fue diseñado para apoyar usos punto a multipunto de BW. Trata la necesidad de índices binarios muy altos, enlace ascendente (UL) y descendentes (DL). Los algoritmos del acceso y de la asignación del ancho de banda deben acomodar centenares de terminales por canal, con los terminales que se pueden compartir por los usuarios finales múltiples.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

Los servicios requeridos por estos usuarios finales varían, e incluyen voz y datos de la herencia TDM, conectividad del Internet Protocol (IP), y Voz-sobre-IP packetized (VoIP). Las subcapas de la convergencia se utilizan para trazar el tráfico de transporte de capa específico al MAC que sea bastante flexible para llevar cualquier tipo de tráfico eficientemente. A través de características tales como la supresión del header de la carga útil (payload), empaquetamiento, y la fragmentación, la convergencia de las subcapas y el MAC trabajan juntos para llevar tráfico de forma que sea a menudo más eficiente que el mecanismo de transporte original. La eficacia del transporte también se aborda en el interfaz entre el MAC y la capa de PHY. Como, la modulación y los esquemas de codificación se especifican en un perfil que se pueda ajustar a cada estación de suscriptor SS (Suscriptor Station) adaptativo según cada ráfaga. El mecanismo de Entrega-entrega se diseña para ser escalable, eficiente, y autocorrectivo.

El sistema de acceso 802.16 no pierde eficacia cuando se presan múltiples conexiones por terminal, existe múltiples niveles de QoS por terminal, y una gran cantidad de usuarios estadístico multiplexados. Se aprovecha una gran variedad de mecanismos de petición, balanceando la estabilidad del acceso sin conexión con la eficacia del acceso. Junto con la tarea fundamental de asignar ancho de banda y de transportar datos, el MAC incluye una subcapa de aislamiento que proporcione la autenticación del acceso y de la conexión de red para evitar el hurto del servicio, e intercambio y encriptación del código para el aislamiento de datos. Para prestar un ambiente físico más exigente y diversos requisitos de servicio en las frecuencias entre 2 y 11 GHz. La capa MAC del estándar es orientada a la conexión y transporte de información de protocolos de capas superiores que no sean orientados a la conexión. Se compone de una subcapa superior de convergencia que adapta la información de protocolos de red a las unidades de datos de la capa MAC inferior. La subcapa de convergencia está especificada para recibir datos de redes basadas en IP y ATM, pero el estándar permite la inclusión futura de más tipos de datos. La subcapa común de la capa MAC provee los servicios de clasificación, empaquetamiento y fragmentación de los paquetes recibidos. La clasificación se da en función de flujos de conexión, descritos por medio de un Connection Identifier o CID. Éste determina completamente las condiciones de la comunicación como capacidad, modulación y codificación utilizadas, tiempos de transmisión asignados en la trama de datos y puede contar con mecanismos adicionales de verificación de errores.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

La capa MAC es responsable del proceso de entrada del nodo a la red, registro del usuario y solicitud del ancho de banda necesario para la comunicación.

Detalles de la capa del MAC.

El MAC incluye las subcapas de servicio-especifico de la convergencia que interconectan a capas más altas sobre la subcapa común del corazón del MAC de la base que realiza las funciones dominantes del MAC. Debajo de la parte común de la subcapa, se localiza la subcapa de aislamiento.

2.8.1. Subcapas de Servicio específico de convergencia.

El estándar 802.16 de IEEE define dos subcapas de servicio específico generales de convergencia para trazar servicios a y desde conexiones 802.16 del MAC. La subcapa de convergencia de ATM se define para los servicios de ATM, y la subcapa de convergencia del paquete se define para trazar servicios del paquete tales como IPv4, IPv6, Ethernet, y red de área local virtual (VLAN). La tarea primaria de la subcapa es clasificar las 'unidades de servicio de datos' (SDU) a la conexión apropiada del MAC, preservar o permitir QoS, y permitir la asignación del ancho de banda. El trazado toma varias formas dependiendo del tipo de servicio. Además de estas funciones básicas, las subcapas de convergencia pueden también realizar funciones más sofisticadas tales como supresión y reconstrucción del header de la carga útil para realzar eficacia del enlace aéreo.

2.8.2. Subcapa común.

El MAC 802.16 se diseña con una estación base central (BS) que maneja sectores independientes múltiples simultáneamente. En el enlace descendente, los datos al SS se multiplexan en la manera de TDM. El Enlace ascendente se comparte entre SS en la manera de TDMA. El MAC 802.16 es una conexión orientada. Todos los servicios, incluyendo servicios inherentes a la conexión, se mapean a una conexión. Esto proporciona un mecanismo para pedir ancho de banda, asociar QoS y parámetros de tráfico, transportar y encaminar datos a la subcapa apropiada de convergencia, y el resto de las acciones asociadas a los términos contractuales del servicio. Las conexiones se referencian con conexiones identificadores 16-b y pueden requerir la disponibilidad continua del ancho de banda o del ancho de banda en demanda. Cada SS tiene una dirección MAC del estándar 48-b que sirve principalmente como identificador del equipo porque las direcciones primarias usadas durante la

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

operación son los identificadores de la conexión. Sobre incorporar la red, los SS se asignan tres conexiones de gestión en cada dirección, que reflejan los tres diversos requisitos de QoS usados por diversos niveles de la gestión. El primero de éstos es la conexión básica, que se utiliza para transferencias cortas, el MAC de tiempo crítico y de los mensajes del control de enlace por radio (RLC).

La conexión primaria de control se utiliza para transferir mensajes más grandes, mayor tolerancia al retraso tales como los usados para la disposición de la autenticación y de la conexión. La conexión secundaria de control se utiliza para la transferencia de los mensajes estándar de control tales como el Protocolo de Configuración de Anfitrión Dinámico (DHCP), Trivial File Transfer Protocol (TFTP), y Simple Network Management Protocol (SNMP). El MAC reserva las conexiones adicionales para otros propósitos. Una conexión es reservada para el acceso inicial basado en contención. Otro es reservado para las transmisiones de la difusión en el enlace descendente tan bien como para la votación basada en contención difusión de la señalización de las necesidades de la ancho de banda de los SS. Las conexiones adicionales son reservadas para el multicast, broadcast. Un SS puede dar instrucciones para ensamblar a los grupos de elección del multicast asociados a estas conexiones de la elección.

2.8.3. Formatos de la PDU del MAC.

La PDU (Protocol Data Unit, Unidad de Datos de Protocolo) del MAC es la unidad de datos intercambiada entre las capas del MAC de las BS y sus SS. Una PDU del MAC consiste en un header de longitud fija del MAC, una carga útil de longitud variable, y un control por redundancia cíclica (CRC) opcional. Dos formatos de header, distinguidos por el campo HT, se definen: el header genérico (Figura 3.5) y el header de petición de ancho de banda. A excepción del ancho de banda que no contiene ninguna carga útil, el PDU del MAC tiene mensajes de control del MAC o datos de la subcapa de convergencia.

2.8.3.1. Tipos de subheader del MAC:

1. Un subheader de gestión de la concesión, usado por los SS para transportar la gestión del ancho de banda necesario a sus BS.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
 APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

2. Un subheader de fragmentación, indicando la presencia y la orientación dentro de la carga útil de cualesquiera fragmentos del SDU

3. El subheader de empaquetado (packing), usado para indicar el empaquetado de SDUs múltiple en una sola PDU

Inmediatamente después del header genérico, la gestión de la concesión y los subheaders de fragmentación se puede insertar en el PDU del MAC si es indicado en el tipo de campo. El subheader del empaquetado se puede insertar antes de cada MAC SDU si es demostrado por el tipo campo.

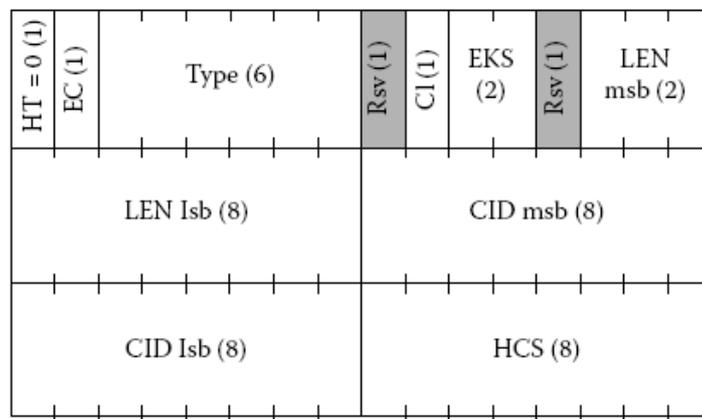


Figura 2.9. Header genérico para el PDU del MAC

2.9. Soporte de PHY y estructura del Frame.

El MAC del IEEE 802.16 soporta TDD (time division duplex) y FDD (frequency división dúplex). Los enlaces descendentes de ráfaga (FDD o TDD) permiten el uso de técnicas y capacidades robustas avanzadas, tales como perfil adaptativo de ráfaga del nivel suscriptor y sistemas avanzados de la antena. El MAC construye el subframe del DL que comienza con una sección de control del frame que contiene los mensajes de DL-MAP (mapeo de enlace descendente) y de UL-MAP (mapeo de enlace descendente). Éstos indican transiciones de PHY en el enlace descendente, tan bien como las asignaciones del ancho de banda y los perfiles de ráfaga en enlace ascendente. El DL-MAP es siempre aplicable al frame actual y es siempre por lo menos dos bloques de FEC de largo. Para dar un plazo de

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

tiempo de transformación adecuado, la primera transición de PHY se expresa en el primer bloque de FEC. En sistemas TDD y FDD, el UL-MAP proporciona las asignaciones que comienzan no más adelante que el frame siguiente del DL. El UL-MAP puede, sin embargo, comenzar a asignar en el frame actual mientras se observen los tiempos de transformación y la latencia de ida y vuelta.

2.10. Control de radio enlace (RLC).

La tecnología avanzada de los 802.16 PHY requiere RLC igualmente avanzado, particularmente la capacidad del PHY para cambiar a partir de un perfil de ráfaga a otro. El RLC debe gestionar esta capacidad así como las funciones tradicionales de RLC de control y de alcance de energía. El RLC comienza con la difusión periódica de las BS de los perfiles de ráfaga que se han elegido para enlace ascendente y enlace descendente. Entre los varios perfiles de ráfaga usados en un canal, uno particularmente se elige basado en un número de factores tales como capacidades de la región y del equipo bajo lluvia. Los perfiles de ráfaga para el enlace descendente cada uno se marcan con una etiqueta con un código de uso del intervalo del enlace descendente (DIUC), y éstos para el enlace ascendente se marcan con etiqueta una con código de uso del intervalo del enlace ascendente (UIUC). Durante el acceso inicial, los SS realizan la energía inicial que nivela y que se extiende usando los mensajes de 'alcance del requerimiento' (RNG-REQ) transmitidos en ventanas iniciales de mantenimiento. Los ajustes a los SS transmiten avance del tiempo, así como ajustes de energía, se regresa a los SS en mensajes de alcance de respuesta (RNG-RSP).

En condiciones ambientales más ásperas, tales como lluvia, pueden forzar los SS a pedir un perfil más robusto de ráfaga. Alternativamente, en tiempo excepcionalmente bueno puede permitir a los SS funcionar temporalmente con un perfil más eficiente de ráfaga. El RLC continúa adaptando la UL actual de los SS y el perfil de ráfaga de DL, esforzándose siempre en alcanzar un equilibrio entre la robustez y eficacia. Porque las BS están en gestión y supervisan directamente la calidad de señal de la UL, el protocolo para cambiar el perfil de la ráfaga de la UL para los SS está dado simplemente por las BS que especifican solamente el UIUC asociado del perfil.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

En el enlace descendente, los SS son la entidad que supervisa la calidad de la señal de recepción, y por lo tanto saben cuándo su perfil de la ráfaga del DL debe cambiar. Las BS, sin embargo, son la entidad en la gestión del cambio.

2.11. Capa física.

10-66 GHz.

En el diseño de la especificación de PHY para 10 a 66 GHz, la propagación de la visión (LOS) se ha juzgado una necesidad práctica. Dada esta condición, la modulación única de la portadora se podía seleccionar fácilmente a ser empleado en el interfaz de aire señalado WMAN-SC. Sin embargo, sigue habiendo muchos desafíos fundamentales de diseño. Debido a una arquitectura point-to-multipoint, las BS transmiten básicamente una señal de TDM, con el suscriptor individual colocan franjas horarias asignadas secuencialmente. El acceso en la dirección de la UL está dado por TDMA. Después de discusiones extensas sobre la duplexación, se ha seleccionado un diseño de ráfaga que permite TDD (en el cuál enlace ascendente y el enlace descendente comparten un canal pero no transmiten simultáneamente) y FDD (enlace ascendente y el enlace descendente funciona sobre canales separados, a veces simultáneamente) que se dirigirá en una manera similar. El soporte para las estaciones semidúplex del suscriptor de FDD, que pueden ser menos costosas porque no transmiten y no reciben simultáneamente, se ha agregado a expensas de una cierta complejidad leve. Las alternativas de TDD y de FDD apoyan los perfiles adaptativos de la ráfaga en los cuales las opciones de modulación y de codificación se pueden asignar dinámicamente en ráfaga por ráfaga base.

2-11 GHz.

Las bandas 2-11 GHz licenciadas y no licenciadas se tratan en el proyecto 802.16a del IEEE. Esto especifica actualmente, que se implementen sistemas que cumplan una de tres especificaciones del interfaz de aire, que puede proporcionar interoperabilidad. El diseño de la capa física de 2-11 GHz es conducido por la necesidad de la operación NLoS para aplicaciones residenciales ya que es posible que no exista una línea de vista clara a la antena de BS, posiblemente debido a la obstrucción por los árboles. Las tres interfaces de aire de 2-11 GHz incluidos en 802.16a y las especificaciones son:

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

- Las aplicaciones WirelessMAN-SC2 al formato de modulación de solo portadora.
- WirelessMAN-OFDM utiliza OFDM con 256 puntos de transformación. Tiene acceso por TDMA. Este interfaz de aire es obligatorio para las bandas no licenciadas.
- WirelessMAN-OFDMA utiliza OFDMA con 2048 puntos de transformación. En este sistema, el acceso múltiple es proporcionado por un subconjunto de las portadoras múltiples a los receptores individuales. Debido a los requisitos de la propagación, se requiere el uso de los sistemas avanzados de antena.

2.11.1. Detalles de la capa física (PHY).

La especificación de PHY definida para 10 a 66 GHz usa ráfaga de modulación de solo portadora con la ráfaga adaptativa que perfilaba en qué parámetros de la transmisión, incluyendo los esquemas de la modulación y de codificación, se pueden ajustar individualmente a cada SS sobre una base del frame por frame. Se definen TDD y las variantes de la ráfaga FDD. Los anchos de banda del canal de 20 o 25 MHz (asignación típica de los E.E.U.U.) o de 28 MHz (asignación europea típica) se especifican, junto con el pulso tomado de la raíz del coseno cuadrado de Nyquist que forma con un factor de descarga roll-off de 0.25. La distribución aleatoria se realiza para las transiciones espectrales del bit que forman y que aseguran para la recuperación de reloj. El FEC utiliza el Reed-Solomon GF (256) con tamaño de bloque variable y se apropia de capacidades error-corrección. Esto se junta con un código circunvolucional de bloque interno para transmitir datos críticos robustos, por ejemplo gestión del frame y accesos iniciales.

Las opciones de FEC se juntan con modulación de cuadratura de fase (QPSK), de 16 estados QAM, (16-QAM) y 64 estados, QAM (64-QAM); forman perfiles de ráfaga de robustez y de eficacia diversas. Si el bloque pasado de FEC no se llena, ese bloque puede ser acortado. La disminución en enlace ascendente y en enlace descendente es gestionada por las BS e implícitamente comunica en el mapeo del enlace ascendente (UL-MAP) y en el mapeo del enlace descendente (DL-MAP). El sistema utiliza un frame de 0.5, 1, o 2 mS dividido en ranuras físicas con el fin de asignar ancho de banda y la identificación de las transiciones de PHY. Una ranura física se define por ser cuatro símbolos de QAM. En la variante de TDD del PHY, el subframe de la UL sigue al subframe del DL en la misma frecuencia portadora. En la variante de FDD, los subframes de la UL y del DL son coincidentes en tiempo pero las frecuencias están separadas. El subframe del DL comienza con una sección de gestión del frame que

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

contenga el DL-MAP para el frame actual del DL, así como el UL-MAP por un tiempo especificado en el futuro. El mapeo del DL especifica cuando las transiciones de PHY (modulación y los cambios de FEC) ocurren dentro del subframe del DL. El subframe del DL contiene típicamente una porción de TDM inmediatamente después de la sección de gestión del frame. Los datos del DL se transmiten a cada SS usando un perfil negociado de la ráfaga. Los datos se transmiten en orden de disminución de la robustez para permitir que las SS reciban sus datos antes de ser presentadas con un perfil de la ráfaga que podría hacerlas perder la sincronización con el enlace descendente.

En sistemas de FDD, la porción de TDM se puede seguir por un segmento de TDMA que incluya un preámbulo adicional al principio de cada nuevo perfil de la ráfaga. Esta característica permite un mejor soporte de SS semidúplex. En un sistema eficientemente programado de FDD con muchos SS semidúplex, algo puede perder sincronía. Debido a su naturaleza semidúplex, esta SS puede perder la sincronización con el enlace descendente. El preámbulo de TDMA permite que recuperen la sincronización.

Debido a la dinámica del ancho de banda demanda una variedad de servicios que puedan ser activos, la mezcla y la duración de los perfiles de la ráfaga y la presencia o la ausencia de una porción de TDMA varía dinámicamente de frame a frame. Porque indican al receptor SS implícito en los headers del MAC algo en el DL-MAP, el SS escucha todas las porciones de los subframes del DL que son capaces de ser recibidos. Para SS full-duplex, esto significa la recepción de todos los perfiles de ráfaga de robustez igual o mayor que han negociado con las BS. Diferente del enlace descendente, el UL-MAP concede ancho de banda al SS específico. El SS transmite en su asignación dada usando el perfil de la ráfaga especificado por el UIUC en la entrada de UL-MAP que le concede ancho de banda. El subframe de la UL puede también contener las asignaciones basadas en contención para el acceso y la difusión iniciales de sistema o peticiones multicast del ancho de banda. Las oportunidades de entrada para el acceso inicial del sistema se clasifican para dar un plazo del tiempo adicional del protector para SS que no han resuelto los avances del tiempo de transmisión necesarios para compensar el retardo ida-vuelta a las BS.

Entre el PHY y el MAC esta una subcapa de convergencia de transmisión (TC). Esta capa realiza la transformación del PDU DEL MAC de longitud variable en los bloques de longitud fija de FEC (más posiblemente un bloque acortado en el extremo) de cada ráfaga. La capa del TC tiene una PDU

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

clasificada para caber en el bloque de FEC que es llenado actualmente (Figura 3.6). Comienza con un indicador que muestra donde comienza el header siguiente de la PDU del MAC dentro del bloque de FEC. El formato de la PDU del TC permite la resincronización a la PDU siguiente del MAC en caso que el bloque anterior de FEC tuviera errores irre recuperables. Sin la capa del TC, los SS o las BS de recepción podrían potencialmente perder el resto entero de una ráfaga cuando ocurre un error de bit irre recuperable

Las especificaciones para la capa física (PHY), la capa de acceso al medio (MAC), y la capa que ofrece el servicio de convergencia entre subcapas (CS) para el transporte de IP, Ethernet y ATM.

2.11.2. Características de la capa física.

2.11.2.1. WirelessMAN SC

Se trata de la versión realizada para línea de visión directa (LOS) en la banda de frecuencias de 10 a 66 GHz. Esta versión está enfocada para aplicaciones con flexibilidad de configuración, puesto que las antenas transmisora y receptora deben tener vista directa (LOS) entre ellas, una razón por la que la antena receptora debe situarse en lugares altos.

2.11.2.2. WirelessMAN Sca

Versión para frecuencias inferiores a 11 GHz. Comprende un conjunto de funcionalidades para soportar operaciones sin línea de vista directa (NLOS) como por ejemplo: modulación adaptativa, estimación y ecualización de canal, múltiples esquemas de codificación, sistemas de antenas adaptativas, técnicas de diversidad en transmisión, control de potencia y ARQ (Automatic Repeat Request).

2.11.2.3. WirelessMAN-OFDM – 256 FFT

Proyectada para operaciones sin línea de vista directa (NLOS) en bandas de frecuencias inferiores a 11 GHz. Utiliza como base la modulación ortogonal (OFDM). Además de las funcionalidades propias del estándar WirelessMAN Sca, esta versión soporta topologías de red tipo malla (mesh) y subcanalización en el enlace up link, que representa una gran herramienta para la optimización en la cobertura del sistema.

2.11.2.4. WirelessMAN-OFDMA – 2048 FFT

Soporta operaciones NLOS en bandas de frecuencias inferiores a 11 GHz, y se basa en el esquema de múltiple acceso denominado OFDMA. Se trata de una extensión de la técnica OFDM para permitir el compartimiento del canal por múltiples usuarios. Con 2048 puntos de transformación. En este sistema, el acceso múltiple es proporcionado por un subconjunto de las portadoras múltiples a los receptores individuales.

2.12. Escalabilidad.

La escalabilidad es una característica dominante del MAC porque se prevé que los BS tendrán una gran variedad de configuraciones físicas, extendiéndose del BS 'pico' a los 'macro' sistemas. En este contexto, un pico BS se puede desplegar montado en un poste con una pequeña, de un solo sector y una sencilla antena omnidireccional, quizás con ancho de banda limitado y restricciones de energía y calor, y conforme a temperaturas al aire libre. En el otro extremo, un BS puede ser montado en una gran estructura metálica, apoyando a sectores múltiples, contando con muchas antenas, y teniendo un gabinete ambientalmente controlado o un pequeño edificio, con una torre de antena grande conectada con él. Como tal, debe ser posible que la puesta en práctica del software del MAC sea usable con la amplia gama de los niveles de funcionamiento posibles. El sistema se debe ejecutar a tales escalas teniendo un funcionamiento de manera fiable.

2.13. Portabilidad.

La portabilidad es una característica dominante de la puesta en práctica de la arquitectura del MAC de Intel por razones similares. La amplia gama de los puntos del funcionamiento y de precio probablemente que se asociarán a los BS de WiMAX crea la necesidad de elegir fácilmente diversos procesadores basados en energía, precio, calor, y medida de funcionamiento. El diseño de la arquitectura del MAC de Intel toma esta característica como meta fundamental, proporcionando un MAC completo y robusto, mientras que al mismo tiempo permite que sea llevado aun más allá a

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

través de la gama de arquitecturas del procesador de fines generales de Intel, incluyendo el Pentium M, el Pentium 4, Xeon, XScale, y Celeron.

2.13.1. Soporte de la gestión de movilidad.

La arquitectura escalará del acceso fijo a los panoramas completamente móviles de la operación con la evolución escalable de la infraestructura, soportando un estado de latencia bajo (< 100 milisegundos) y entregas virtualmente con cero pérdidas de paquetes a la velocidad de movilidad de 120 km/hr o superiores.

Debido al curso del desarrollo y al soporte de la industria para el nuevo estándar llevó al desarrollo de una versión móvil de IEEE 802.16 (conocido como WiMAX móvil). Esta versión se basa en la enmienda 802.16e y proporciona soporte para handoff y roaming. Esta nueva enmienda apunta a mantener clientes móviles conectados con una MAN y a soportar dispositivos portables desde teléfonos móviles inteligentes a notebooks y computadoras portátiles. IEEE 802.16e puede también utilizar la red para proporcionar los servicios de red fijos. Los perfiles móviles de WiMAX cubren los anchos de banda de los canales de 5, 7, 8.75, y 10 MHz para las asignaciones mundiales autorizadas del espectro en las bandas de frecuencia de 2.3, 2.5, 3.3, y 3.5 GHz.

Las soluciones de la gestión de movilidad se pueden clasificar en dos categorías soluciones de la gestión del macro movilidad y de micro movilidad. La primera categoría refiere al movimiento de las estaciones móviles (MS) entre dos dominios de la red, mientras que en el segundo caso las MS se mueve entre dos subredes dentro del mismo dominio de la red.

En un sistema de WiMAX móvil, en el cual las MS se está moviendo dentro del sector de las BS, la duración de la batería y el handoff son criterios esenciales para los usos móviles. Para ampliar la vida de la batería para los dispositivos móviles, el sistema se diseña para apoyar el ahorro de energía. La operación de modo de sueño para el ahorro de energía es una de las características más importantes para ampliar la duración de la batería para la MS. Además de reducir al mínimo uso de la energía de las MS, el modo de sueño disminuye el uso de los recursos del interfaz de aire de las BS. En el período del sueño, consideran al MS inasequible al servicio BS. La puesta en práctica del modo de sueño es opcional para el MS y obligatoria para las BS.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

La enmienda 802.16e define dos modos operacionales para el MS al registrarse con el servicio BS: modo de sueño y modo activo. En el modo activo, el MS está disponible para el servicio BS y puede enviar o recibir datos. Consideran al MS inasequible al servicio BS durante el modo de sueño. Bajo operación en modo de sueño, el MS duerme inicialmente para un intervalo fijo llamado ventana de sueño. El tamaño máximo inicial de la ventana se negocia entre el MS y las BS. Después de despertar, si el MS encuentra que no hay tráfico protegido del DL destinado a él de las BS, después dobla el tamaño de la ventana del sueño hasta el tamaño máximo de la ventana del sueño. Por una parte, si el MS tiene paquetes para enviar en el canal de UL, puede despertar prematuramente para prepararse para la transmisión en enlace ascendente (por ejemplo, petición de ancho de banda) y entonces puede transmitir sus paquetes pendientes en los time slots asignados por las BS. Cuando el MS entra en el modo de sueño, las BS no transmiten datos al MS, que puede ponerse en apagado o realizar otras operaciones que no requieran la conexión con las BS.

Para manejar el uso de la energía en un más modo eficaz, el estándar de IEEE 802.16e también define el modo ocioso. En este modo, el MS está periódicamente disponible para recibir mensajería del tráfico de difusión del DL sin la necesidad de colocarse con BS específicas mientras que el MS atraviesa un ambiente de la ruta aérea poblado por BSs múltiple. Este modo permite que el MS conserve energía y recursos restringiendo su actividad a la exploración en los intervalos discretos y elimina así el requisito activo para la operación de handover y otras operaciones normales. En el lado de las BS y de la red, el modo ocioso proporciona un método simple y oportuno para alertar al MS al tráfico pendiente del DL dirigido al MS y elimina así el interfaz de aire y el tráfico de handover de la red de MS esencialmente inactivo.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

Durante el pre registro de handover, el blanco de la BS se selecciona y se pre registra con el MS. Sin embargo, la conexión a la BS actualmente en servicio se mantiene y los paquetes se pueden intercambiar durante la fase de pre registro. En handover real, el MS lanza el servicio BS y reasocia con el blanco de la BS.

El MS o las BS pueden comenzar el proceso de handover, que consiste en varias etapas, comenzando con reelección de la célula seguido por una decisión para realizar el handover. Después de esto, el MS se sincroniza al enlace descendente de las BS seleccionada y realiza el alcance de handover seguido por la terminación del contacto del MS como paso final en el proceso de handover. La cancelación de handover se puede hacer por el MS en cualquier momento (véase la Figura 2.11)

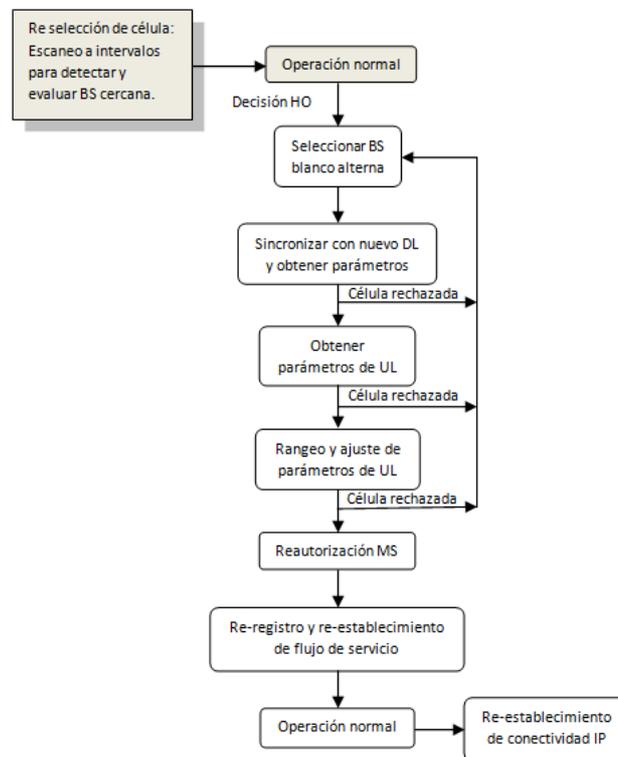


Figura 2.11. Proceso de handover.

En el primer paso, la reelección de la célula, el MS adquiere la información sobre el BS vecino desde el mensaje de advertencia. El MS entonces selecciona una BS como blanco de handover. El servicio BS puede programar intervalos de exploración o intervalos de sueño para conducir a la reelección de la

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

célula activa. Una entrega comienza cuando un MS decide emigrar del servicio de una BS a una BS seleccionada. Esta decisión puede originarse en el MS, el servicio BS, o el backbone de la red. El servicio BS puede notificar los objetivos potenciales BS o enviarles la información del MS sobre la red de backbone para apresurar la entrega.

Una vez que se selecciona la BS, el MS debe sincronizarse con la transmisión del enlace descendente de la BS seleccionada. Durante esta fase, el MS recibe los parámetros de la transmisión del DL y de la UL. Si el MS recibió previamente la información sobre estas BS (con la adquisición de la topología de red), la longitud de este proceso puede ser acortada. Después del paso de la sincronización, el MS necesita realizar el alcance inicial o el alcance de handover. El alcance es un procedimiento por el que el MS reciba los parámetros correctos de la transmisión, tales como compensación de tiempo y nivel de energía. La BS seleccionada puede adquirir la información del MS de la BS en servicio o de la red de backbone. Dependiendo del conocimiento de la BS seleccionada sobre el MS, algunas partes del proceso del reingreso de la red pueden ser omitidas. El paso final en el handover es la terminación del contacto del MS. La BS en servicio termina todas las conexiones que pertenecen al MS; es decir la información en la coleta, el estado de petición de repetición automática (ARQ), los contadores, los contadores de tiempo, etc., todo es desechado.

El MS puede cancelar el proceso de handover en cualquier momento y reasumir la operación normal con la BS en servicio. La única condición es que el proceso de la cancelación debe ocurrir antes de la expiración del intervalo del recurso-conservar-tiempo después de la transmisión del mensaje de la indicación de handover (MOB-HO-IND).

2.14. OFDMA.

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal) es un esquema de multiplexación de múltiple-acceso estrechamente vinculado a OFDM. Como OFDM, OFDMA trabaja subdividiendo ancho de banda en subportadoras múltiples de la frecuencia. En OFDM, la secuencia de datos de entrada se divide en varios substreams paralelos de tasa de datos reducida, y se modula (Transformada Inversa Rápida de Fourier o IFFT) y se transmite cada substream en una subportadora ortogonal separada. OFDMA toma una medida de las

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

secuencias de datos futuros, de la multiplexación de usuarios múltiples sobre los subcanales del DL y abastecimiento del acceso múltiple de la UL por medio de los subcanales de la UL. El OFDMA usado en 802.16e se basa en el modelo escalable de OFDM. Consecuentemente, WiMAX móvil puede utilizar anchuras de banda variables; todo lo que usted necesita hacer es ajustar el tamaño de FFT mientras que fija el espaciamiento de la frecuencia de la subportadora en 10.94 KHz. Para ahora, WiMAX móvil soporta 5 MHz y 10 MHz en sistemas extensos. La revisión siguiente de la especificación permite anchos de banda de 7 MHz y de 8.75 MHz usando 7.81 KHz y 9.77 KHz para el espaciamiento.

OFDMA utiliza las subportadoras de datos para la transmisión de datos, subportadoras experimentales para los propósitos de la valoración y de la sincronización, y subportadoras de la falta de información para las bandas de protección. OFDMA agrupa (datos y piloto) en subportadoras activas en los subconjuntos llamados subcanales. La unidad mínima del recurso de frecuencia-tiempo de subcanalización es una ranura, que es igual a 48 tonos de los datos (subportadoras). Hay dos tipos de permutaciones de la subportadora para el subcanalización: diversos y contiguos. La permutación diversa dibuja subportadoras pseudoaleatoria para formar un subcanal. Esto proporciona diversidad de frecuencia y hace un promedio de interferencia intercelular. La permutación contigua agrupa un bloque de subportadoras contiguas para formar un subcanal. Sin embargo, cuando está formado, el subcanal es acepta modulación y codificación adaptativos (AMC) para upload y download. El AMC permite diversidad multiusos permitiendo que los usuarios elijan el subcanal con una respuesta de frecuencia óptima. La diversidad es más adecuada para los usos móviles, mientras que los trabajos contiguos son mejores para las situaciones fijas, portables (moviéndose a partir de un sitio fijo a otro sitio fijo), y de baja movilidad.

1.15. Servicios sobre WiMAX.

Con la evolución de servicios de voz, los servicios de datos de banda ancha están emigrando rápidamente de un solo proveedor de conexión fija, a un ambiente de múltiples proveedores, ofrecimiento inalámbrico. La promesa de la banda ancha inalámbrica es que, sin importar donde se

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

localiza un suscriptor o las capacidades actuales del prestador de servicios soportado con cable metálico, los servicios de datos de banda ancha están fácilmente disponibles sobre el aire.

Una tecnología de entrega inalámbrica que hace esto posible y práctico es WiMAX. Su protocolo subyacente del MAC, prestado sustantivamente de los datos de la industria cableada sobre el estándar (DOCSIS-Data Over Cable Service Interface Specifications), ofrece a los Proveedores de Servicios de Internet Inalámbricos (WISP) la capacidad de manejar el QoS exacto al suscriptor individual y el uso en tiempo real. Estos medios son entrega casi sin defectos al suscriptor desde los datos del IP. Para los WISP, significa la capacidad de ofrecer servicios de alta calidad, servicios tales como VoIP, vídeo stream, video juego, y servicios comerciales. La capa del MAC de WiMAX incluye un planificador de tráfico que sea responsable de hacerlo con los soportes lógico inalterable situados en las BS. Las tecnologías inalámbricas de banda ancha anteriores ofrecieron solamente capacidades gruesas de la priorización. WiMAX, sin embargo, basado en el estándar de IEEE 802.16, ofrece un menú de técnicas de gestión de QoS que están disponibles para que las aplicaciones pidan QoS determinado por parámetros, definidos por la asignación exacta del ancho de banda, latencia y jitter a cada flujo específico de servicio. Dentro de este marco, los elementos de red externos, actuando a nombre de usos y de políticas del prestador de servicios, pueden dirigir el planificador de tráfico en las BS con respecto a formar el tráfico.

2.16. La calidad de servicio (QoS).

WiMAX QoS depende crucialmente de las capas 1 y 2 de 802.16, como éstas gobiernan el importantísimo radio acceso de BS/usuario terminal en un ambiente intrínsecamente difícil comparado, por ejemplo, a una red de banda ancha del cable metálico. Porque las formas de d/e de 802.16 son dirigidos a diferentes usos (terminales fijos y terminales móviles, respectivamente) allí hay diferencias significativas en tecnología entre ellos. Particularmente, 802.16d utiliza OFDM o ODM para mayor velocidad, y 802.16e utiliza OFDMA u ODMA. Las capacidades de estas tecnologías tienen un impacto directo en los servicios y QoS del usuario final. Dos características básicas son un interfaz de radio que utiliza la modulación adaptativa para adecuar el funcionamiento a las condiciones prevaletientes del canal del usuario, y técnicas de OFDM para reducir el impacto de interferencia de

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

trayectoria múltiple. Esto hace WiMAX conveniente para ambientes cercanos y NLoS tales como zonas urbanas.

Otra característica importante es el MAC 802.16, que, si procede, puede ofrecer QoS determinista. Esto es crucial porque lo hace práctico para ofrecer servicios tales como voz y servicios tipo T1/E1. La revisión 802.16e fue importante sobre todo porque introdujo la nueva capa física basada en OFDMA pero con permutaciones variables de la subportadora a partir del 128 a 2048 portadores. Esto a veces se llama OFDMA escalable (SOFDMA) porque el número de subportadoras escalaría típicamente con el ancho de banda del canal. La capacidad de conversión a escala del ancho de banda es una de las ventajas más importantes de OFDMA.

2.17. Seguridad.

La arquitectura soportará la autorización de la estación del suscriptor (SS), fuerte autenticación de usuario basada en una variedad de autenticación mecanismos tales como nombre de usuario / contraseña, certificados X.509, Suscriptor Identity Module (SIM), Universal SIM (USIM) y la prestación de servicios tales como la integridad de los datos, protección de reproducción de datos, confidencialidad de datos, y no-rechazo utilizando las máximas longitudes de clave admisible en virtud de las regulaciones de exportación mundial.

CAPÍTULO 3. WIMAX ENFOQUE PRÁCTICO, RIU FES ARAGÓN.

3.1 Red Inalámbrica Universitaria

3.1.1. ¿Qué es la RIU?

La Red Inalámbrica Universitaria (RIU) es la red que permite la navegación por la Internet con el uso de dispositivos móviles como Laptops, a través de la Ciudad Universitaria.

Este servicio se ofrece a los alumnos, investigadores y académicos de la UNAM que cuenten con dispositivos compatibles en tecnología para su conexión con la RIU. Asimismo, los investigadores, académicos y estudiantes que nos visitan de otras universidades también pueden hacer uso de la RIU.

3.1.2. Su objetivo

La RIU tiene por objetivo proveer acceso a la Internet y sus aplicaciones a través del campus universitario como complemento a la RedUNAM, permitiendo así movilidad y mayor flexibilidad a sus usuarios.

3.1.3. Su alcance

Este proyecto de la red inalámbrica está planteado para dar cobertura inicialmente a las escuelas, facultades, institutos y centros de investigación, bibliotecas, recintos culturales y áreas de congregación de estudiantes e investigadores universitarios en la Ciudad Universitaria e irá creciendo conforme la demanda lo solicite.

3.1.4. Sus servicios

La RIU permite el acceso a sus usuarios para la navegación por la Internet y la consulta de correo electrónico. Los servicios ofrecidos para su utilización son:

1. Acceso a la red para navegación por Internet.
2. Acceso a la red para consulta de correo electrónico bajo interfases web.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

- Cuentas de acceso y uso de la RIU para investigadores, estudiantes y académicos universitarios y visitantes.
- Asesoría para la conexión y configuración de dispositivos móviles.

3.1.5. Su cobertura

Por su cobertura, la RIU da servicio convenientemente en las áreas de mayor afluencia de estudiantes, académicos e investigadores universitarios, entre las que se incluyen espacios abiertos como:

3. Centro Cultural Universitario
4. Las Islas (Entre Rectoría y Torre II de Humanidades)
5. Camino Verde
6. Alberca Olímpica
7. Zona de la Investigación Científica

Las dependencias universitarias que contarán con cobertura de la RIU se muestran en la siguiente tabla.

Biblioteca Central	Facultad de Química
Biblioteca Nacional	Instituto de Astronomía
Centro de Ciencias de la Atmósfera	Instituto de Biología
Centro de Ecología	Instituto de Ciencias Nucleares
Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras	Instituto de Fisiología Celular
Centro de Enseñanza para Extranjeros	Instituto de Geofísica

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
 APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

Centro Coordinador y Difusor de Estudios Latinoamericanos	Instituto de Geografía
Centro de Investigación sobre América del Norte	Instituto de Geología
Centro de Investigación Interdisciplinario en Ciencias y Humanidades	Instituto de Investigación en Matemáticas Aplicadas y Sistemas
Centro Universitario de Investigaciones Bibliotecológicas	Instituto de Investigación en Materiales
Coordinación de la Investigación Científica	Instituto de Investigaciones Antropológicas
Dirección General de Servicios de Cómputo Académico	Instituto de Investigaciones Biomédicas
Escuela Nacional de Trabajo Social	Instituto de Investigaciones Económicas
Facultad de Arquitectura	Instituto de Investigaciones Estéticas
Facultad de Ciencias	Instituto de Investigaciones Históricas
Facultad de Ciencias Políticas	Instituto de Investigaciones Jurídicas
Facultad de Contaduría y Administración	Instituto de Investigaciones Sociales
Facultad de Derecho	Instituto de Matemáticas
Facultad de Economía	Instituto de Química
Facultad de Filosofía y Letras	Jardín Botánico
Facultad de Ingeniería	Torre de Ingeniería
Facultad de Medicina	Torre de Rectoría

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	Torre II Humanidades
Facultad de Odontología	Unidad de Seminarios
Facultad de Psicología	Universum

La Facultad de Estudios Superiores Aragón cuenta con los siguientes puntos de acceso:

1. Explanada Edificio de Gobierno
2. Explanada A1 Servicios Escolares
3. Biblioteca Aula Magna Javier Barros
4. Explanada de Posgrado A12
5. Explanada de Derecho A12
6. Explanada del Centro de Computo
7. Explanada L3 Laboratorio Eléctrica
8. Explanada Principal A4
9. Biblioteca Sala de Consulta
10. Biblioteca Sala de Estudios
11. Biblioteca Sala 7
12. Biblioteca Primer Piso Sala de Estudio
13. Biblioteca Primer Piso Sala 2
14. Explanada A3
15. Edificio de Gobierno Piso 3

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**



Figura 3.1. Localización de los puntos de acceso en la FES Aragón.

3.1.6. Infraestructura.

La red está compuesta por diversos Puntos de Acceso (APs por sus siglas en inglés), mismos que complementan a la red alamburada RedUNAM para extender la conectividad de la misma.

Cada una de las dependencias universitarias estará provista con un número de APs que cubrirán áreas como aulas, pasillos, bibliotecas, cafeterías, etc.

Los APs cuentan con una administración, control y monitoreo de forma centralizada y por sus características no pueden ser activados en otra red que no sea compatible con la marca de equipo de control central, el cual es específico para este fin.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

En cuanto a comunicación los APs soportan los estándares 802.11 a, b y g. Para seguridad la red soporta el protocolo WPA. Los sistemas operativos de las laptops y otros dispositivos soportados por la RIU son:

- Windows XP
- Windows Vista
- Macintosh
- Linux.
- Además en agendas personales (PDA) Windows Mobile.

3.2. Desventajas de Wi-Fi

Anteriormente se ha hecho una explicación bastante detallada de Wi-Fi (estándar 802.11), ahora detallaremos las principales limitaciones de este estándar:

- Alcance (limitado a “los últimos 30 m”).
- Necesita una red de backhaul para unir los APs entre sí o con una red principal.
- Esta, hoy por hoy, para la RIU es alámbrica.
- Hay aplicaciones de Wi-Fi con antenas direccionales y alcance más largo, pero su uso está restringido (calidad, cuestiones regulatorias).
- QoS (no hay mecanismos de garantía de QoS).
- Seguridad (puede no ser seguro).
- Interferencia (usa generalmente la banda no licenciada, que empieza a saturarse).
- Tiene velocidad y capacidad limitadas.

3.3. Cualidades de WiMAX.

3.3.1. ¿Por qué WiMAX?

WiMAX puede satisfacer una variedad de necesidades de acceso. Los usos potenciales incluyen capacidades de banda ancha más accesible a los suscriptores, el relleno abre en el cable, DSL y T1, Wi-Fi y backhaul celular, proporcionando el acceso de los últimos 100 metros a la red de fibra y a dar a proveedores de servicios otra opción rentable para soportar servicios de banda ancha.

Como WiMAX puede soportar muchas soluciones de ancho de banda donde los despliegues grandes del espectro (es decir > 10 MHz) se desean apalancar a la infraestructura existente, manteniendo bajos costos, mientras que la entrega del ancho de banda necesitó soportar un rango completo de alto valor, como los servicios de multimedia. Además, WiMAX puede interoperar con una gran cantidad de tipos de redes por lo que puede proveer servicio donde la infraestructura existente no es suficiente o se requiere ampliar el rango de servicios.

WiMAX puede proporcionar la capacidad de cobertura y la calidad de servicio a una amplia área de usos que se extienden desde VoIP al streaming de video en tiempo real y aplicaciones en no tiempo real asegurándose que los suscriptores consigan el funcionamiento que esperan para todos los tipos de comunicaciones.

WiMAX, es una tecnología de banda ancha inalámbrica basada en IP que puede ser integrados junto con una amplia zona de la tercera generación (3G) de móviles a redes inalámbricas y redes alámbricas, lo que le permite formar parte de una gran integración en cualquier momento para cualquier solución de acceso de banda ancha. WiMAX también se ve muy atractivo debido a algunas características impresionantes como se menciona más adelante.

3.3.2. Características dominantes.

Arquitectura centralmente coordinada.

- Seguridad, encriptación, y autenticación del servicio.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

Interfaz de radio robusto que trabaja en condiciones NLOS.

- Soporta OFDM en la capa PHY para interiores, autoinstalación de los usuarios finales.

Servicios del IP De alta velocidad.

- Optimizado para entregar los servicios (netos) de 110 Mbit/s (en 3.5 MHz).
- Hasta 3550 Mbit/s (red) con canales grandes (1420 MHz).

IP QoS de 2ª generación.

- Los soportes jerárquicos tiempo real y garantía de QoS basado en el suministro de servicios.

3.3.3. Funcionamiento de WiMAX.

WiMAX ha sido diseñada para hacer frente a los desafíos asociados con los tradicionales despliegues de acceso por cable y acceso inalámbrico. Una red WiMAX cuenta con un número de estaciones de base y las antenas de comunicación inalámbrica a una gran parte mayor número de dispositivos cliente (o las estaciones de abonado).

WiMAX funciona muy similar a una WLAN (o Wi-Fi), que no es más que una red Ethernet de área local (LAN) inalámbrica que se utiliza en lugar de cables para conectar. Sin embargo WiMAX elimina las limitaciones de rango y capacidad de las WLAN porque está diseñado para funcionar a distancias de hasta 50 km y crear redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN). Esto significa que es una tecnología compleja y tiene que ocuparse de cuestiones de importancia para los portadores y los proveedores de servicios, tales como la calidad de servicio (QoS) y garantías de fiabilidad.

Una red de WiMAX tiene un número de estaciones base y de antenas asociadas que comunican por radio a un número mucho más grande de dispositivos del cliente (o de estaciones de suscriptor). La MAN de WiMAX es esquemáticamente similar a la disposición de múltiples punto a multipunto de una red celular. Gira alrededor de las estaciones base estratégicamente colocadas, altamente elevadas que emiten señales al CPE dentro de sus radios. La especificación original 802.16 pavimentó la manera de cómo se daría la cobertura fija del acceso inalámbrico, que requiere una antena (externa o interna) en el punto de acceso del cliente. Sin embargo, esta cobertura fija pronto se

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

terminará de desarrollar para incorporar las antenas en el interior para que se dé la movilidad del estándar 802.16e.

Una estación base de WiMAX puede estar conectada con las redes públicas usando fibra óptica, cable, un acoplamiento de microonda o cualquier otra conectividad de punto a punto de alta velocidad referidos como backhaul. Las estaciones base de WiMAX se conectan directamente al Internet o utilizan los acoplamientos de WiMAX a otras estaciones base que así se conectaron. En otros casos como el acoplamiento de las redes en malla (mesh), acoplamiento punto a multipunto de WiMAX a otras estaciones base se utiliza como backhaul. WiMAX debe utilizar idealmente las antenas de punto a punto como un backhaul para conectar sitios agregados del suscriptor de uno a otro y con las estaciones base a través de distancias largas.

Cada estación base sirve las SS (también llamadas equipo de premisa de cliente por razones obvias) usando la conectividad de múltiples puntos NLOS o LOS referida como de última milla. La estación base proporciona cobertura inalámbrica sobre un área llamada 'célula'. El radio máximo de una célula es teóricamente 50 kilómetros (dependiendo de la banda de frecuencia elegida), sin embargo, los despliegues típicos utilizan células de radios a partir de 3 a 10 kilómetros. WiMAX debe utilizar antenas punto a multipunto NLOS para conectar a suscriptores residenciales o de pequeños negocios con la estación base.

Como con las redes móviles celulares convencionales, las antenas de la BS pueden ser omnidireccionales, dando una forma circular a la célula, o direccional para dar una gama de formas lineales o sectoriales para el uso de punto a punto o para aumentar la capacidad de la red con eficacia dividiendo las células grandes en varias áreas sectoriales más pequeñas, logrando esto con la utilización de antenas inteligentes.

La estación del suscriptor típicamente se construye (negocio o residencia) usando su LAN alámbrica o inalámbrica. Las SS son inicialmente hechas y montadas en modo antena/tranceptor(transmisor-receptor) tal como una WLAN está conectada. Pero los clientes futuros (ya en otros países existe tal tecnología) dependiendo de las bandas de frecuencia usadas serán a menudo integrados en los dispositivos del usuario final, tales como notebooks y dispositivos móviles, tales como PDAs y smart phones.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

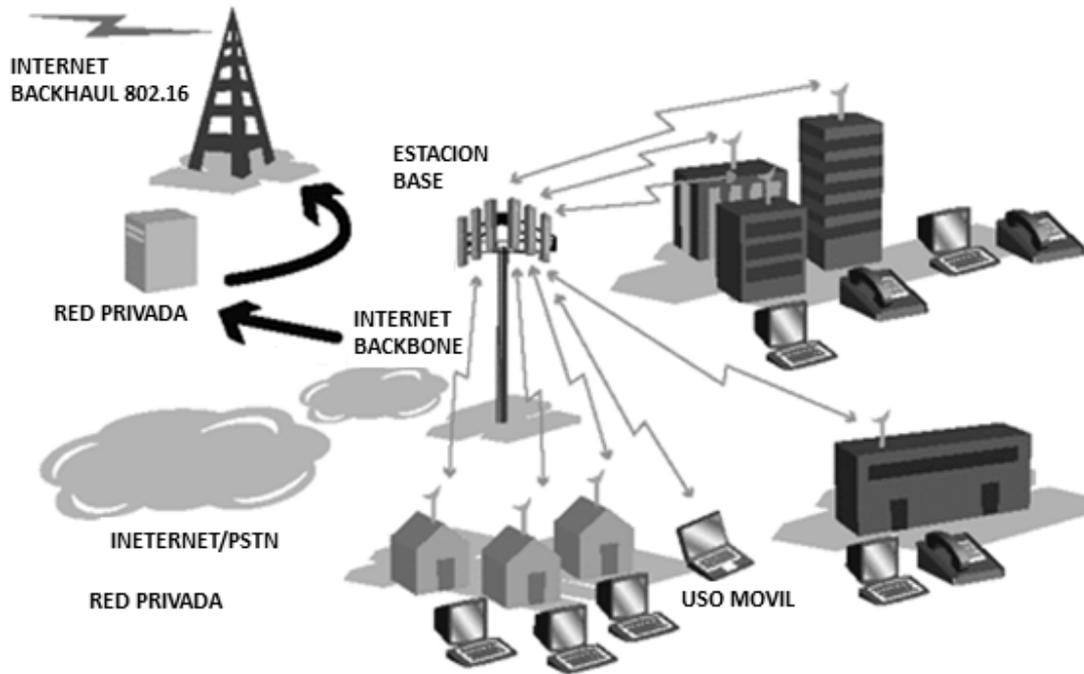


Figura 3.2. WiMAX: Una solución para las necesidades múltiples.

3.3.4. Tecnología robusta.

Mucho esfuerzo ha supuesto la fabricación de la tecnología inalámbrica robusta y flexible así que trabajará bien en una gama de diversos ambientes en todo el mundo. Ésta era un área de trabajo importante en el desarrollo de la versión 802.16a. Por ejemplo, puede soportar los efectos de reflexiones de radio múltiples (o de ecos) de edificios y otros obstáculos en la trayectoria de transmisión, un problema grave en ambientes urbanizados.

Los diversos tamaños del canal y métodos de proporcionar comunicaciones de dos vías se apoyan de modo que la tecnología pueda acomodar diversos requisitos reguladores y técnicos nacionales. Y, de manera importante, WiMAX soporta los sistemas de antenas inteligentes, que están llegando a ser rápidamente menos costosos y son muy eficaces en la reducción de los efectos de interferencia de radio y de la energía inalámbrica necesaria. Esto ha hecho que se reduzca el uso de cuatro antenas en la estación base a solo una. Cada uno de las cuatro antenas transmite y recibe la misma señal de datos, pero en horas levemente diversas. Por el tratamiento de señales empleado, la mejor señal

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

puede ser extraída siempre. Para conseguir el mismo funcionamiento con una sola antena, utiliza MIMO (Multiple Inputs Multiple Outputs).



Figura 3.3. WiMAX, completa solución Ethernet inalámbrica.

MIMO es el acrónimo en inglés de Multiple-input Multiple-output (Múltiple entrada múltiple salida).

Se refiere específicamente a la forma como son manejadas las ondas de transmisión y recepción en antenas para dispositivos inalámbricos. En el formato de transmisión inalámbrica tradicional la señal se ve afectada por reflexiones, lo que ocasiona degradación o corrupción de la misma y por lo tanto pérdida de datos.

MIMO aprovecha fenómenos físicos como la propagación multicamino para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error. En breves palabras MIMO aumenta la eficiencia espectral de un sistema de comunicación inalámbrica por medio de la utilización del dominio espacial.

Durante los últimos años la tecnología MIMO ha sido aclamada en las comunicaciones inalámbricas ya que aumenta significativamente la tasa de transferencia de información utilizando diferentes canales en la transmisión de datos o la multiplexación espacial por tener antenas físicamente separadas.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

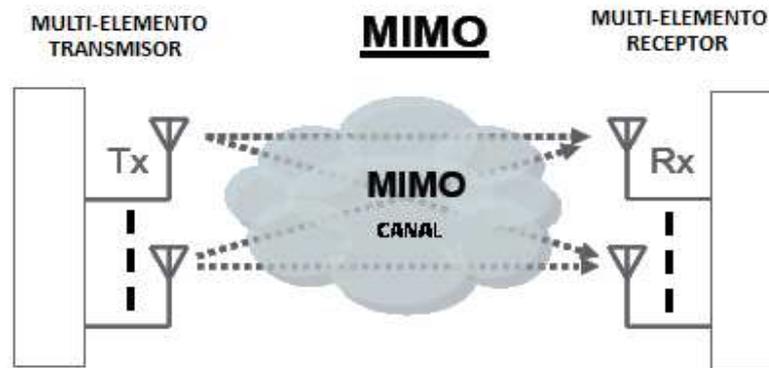


Figura 3.4. Distintas versiones de la tecnología MIMO.

- MIMO: Multiple input multiple output; este es el caso en el que tanto transmisor como receptor poseen varias antenas.
- MISO: Multiple input Single output; en el caso de varias antenas de emisión pero únicamente una en el receptor.
- SIMO: Single input multiple output; en el caso de una única antena de emisión y varias antenas en el receptor.

Este conjunto de antenas es usado en función de la tecnología dentro de MIMO que se vaya a usar. Principalmente hay tres categorías de tecnología MIMO:

- Beamforming: Consiste en la formación de una onda de señal reforzada mediante el desfase en distintas antenas. Sus principales ventajas son una mayor ganancia de señal además de una menor atenuación con la distancia. Gracias a la ausencia de dispersión el beamforming da lugar a un patrón bien definido pero direccional. En este tipo de transmisiones se hace necesario el uso de dominios de beamforming, sobre todo en el caso de múltiples antenas de transmisión. Hay que tener en cuenta que el beamforming requiere el conocimiento previo del canal a utilizar en el transmisor.
- Spatial multiplexing (multiplexación espacial): Consiste en la multiplexación de una señal de mayor ancho de banda en señales de menor ancho de banda iguales transmitidas desde distintas antenas. Si estas señales llegan con la suficiente separación en el tiempo a el receptor este es capaz

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

de distinguirlas creando así múltiples canales en anchos de banda mínimos. Esta es una muy buena técnica para aumentar la tasa de transmisión, sobre todo en entornos hostiles a nivel de relación señal ruido. Únicamente esta limitado por el número de antenas disponibles tanto en receptor como en transmisor. No requiere el conocimiento previo del canal en el transmisor o receptor. Para este tipo de transmisiones es obligatoria una configuración de antenas MIMO.

- **Diversidad de código:** Son una serie de técnicas que se emplean en medios en los que por alguna razón solo se puede emplear un único canal, codificando la transmisión mediante espaciado en el tiempo y la diversidad de señales disponibles dando lugar a el código espacio-tiempo. La emisión desde varias antenas basándose en principios de ortogonalidad es aprovechada para aumentar la diversidad de la señal.

La multiplexación espacial puede ser combinada con el Beamforming cuando el canal es conocido en el transmisor o combinado con la diversidad de código cuando no es así. La distancia física entre las antenas ha de ser grande en la estación base para así permitir múltiples longitudes de onda. El espaciado de las antenas en el receptor tiene que ser de al menos 0,3 veces la longitud de onda para poder distinguir las señales con claridad.

3.3.5. Compensaciones flexibles.

WiMAX proporciona gran flexibilidad a los proveedores de servicios, pues puede seleccionar de un parámetro múltiple lo que desea para entregar el servicio apropiado dependiendo de la necesidad del cliente.

WiMAX funciona en un radio de acción de hasta 30 millas (50 Km) y proporciona un índice de datos de hasta 70 Mbps, pero no al mismo tiempo. Una unidad inalámbricas del suscriptor cerca de una estación base y al recibir una señal fuerte puede utilizar un esquema eficiente de modulación, tal como 64QAM, y consigue una tasa de datos alta. Una unidad más lejos, sin embargo, pudo requerir un esquema más robusto como 16QAM, que, siendo menos eficiente, proporcionará una tasa más baja, pero por lo menos mantiene la unidad conectada. Además, el método de modulación puede cambiar en tiempo real, de manera individual e incluso para un solo usuario. Un sistema 802.16a puede proporcionar así continuamente las tasas de datos más altas para las condiciones que existen.

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

WiMAX también proporciona compensaciones útiles entre la anchura del canal y el número de usuarios. De manera diferente a los canales de Wi-Fi (ancho fijo), los canales de 20 MHz de WiMAX pueden variar en anchura a partir de 1.5 a 20 MHz. Los operadores inalámbricos con pocos suscriptores en un área pueden comenzar con un canal estrecho y entonces agregar los canales o utilizar un canal más ancho mientras que adquieren a clientes adicionales. Semejantemente, pueden utilizar un canal estrecho para proporcionar el acceso inalámbrico de banda ancha a algunos clientes rurales y a un canal ancho para proporcionar el equivalente de una conexión T1 a clientes 'empresa' múltiples, simultáneamente. Las anchuras flexibles del canal ofrecen otras ventajas, también, entre ellas la capacidad de cumplir requisitos de agencias reguladoras en diversos países. Por ejemplo, un operador inalámbrico en Europa con 14 MHz del ancho de banda en la banda de 3.5 GHz puede establecer anchos de banda del canal de 7 o 3.5 MHz, que 802.16a permite. También, en bandas licenciadas (WiMAX tiene espectro en bandas licenciadas y no licenciadas), las anchuras flexibles del canal previenen la pérdida de ancho de banda adquirida. Un operador que ha pagado 14 MHz del ancho de banda no querrá un sistema que requiera anchos del canal de, por ejemplo, 6 MHz, que perderían espectro.

3.4. Redes de WiMAX.

802.16 fueron diseñados originalmente para proporcionar una conectividad de banda ancha flexible, rentable, basada en un estándar de última milla para completar los boquetes de la cobertura de banda ancha que no son servidos actualmente por las soluciones alámbricas tales como cables o DSL, las versiones desarrolladas del estándar están apuntando a crear nuevas formas de servicios de banda ancha con alta velocidad y movilidad.

WiMAX es una tecnología basada en el IEEE 802.16 para permitir la entrega de acceso de banda ancha inalámbrico de última milla como alternativa al cable y al DSL. WiMAX provee servicio fijo, nómada, portable y conectividad de banda ancha inalámbrica móvil sin la necesidad de visión directa a una estación base. El diseño de red de WiMAX se basa en los principios principales siguientes:

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

- Espectro - capaz de ser desplegado en espectros licenciados y no licenciados.
- Topologías – soporta diferentes topologías de radio acceso a red ('Radio Access Network', RAN)
- Interworking - independientemente de la arquitectura de RAN, es posible trabajar con Wi-Fi, las redes 3GPP y 3GPP2 y la red existente de la base del operador de IP (DSL, cable, 3G) vía los interfaces basados en IP que no son específicos del dominio del operador.
- Conectividad IP – Soporta redes mixtas de IPv4 e IPv6 que interconecta con clientes y servidores de aplicaciones.
- Gestión de movilidad – Posibilidad para ampliar el acceso fijo a la movilidad y a la entrega de servicios de banda ancha de multimedia.

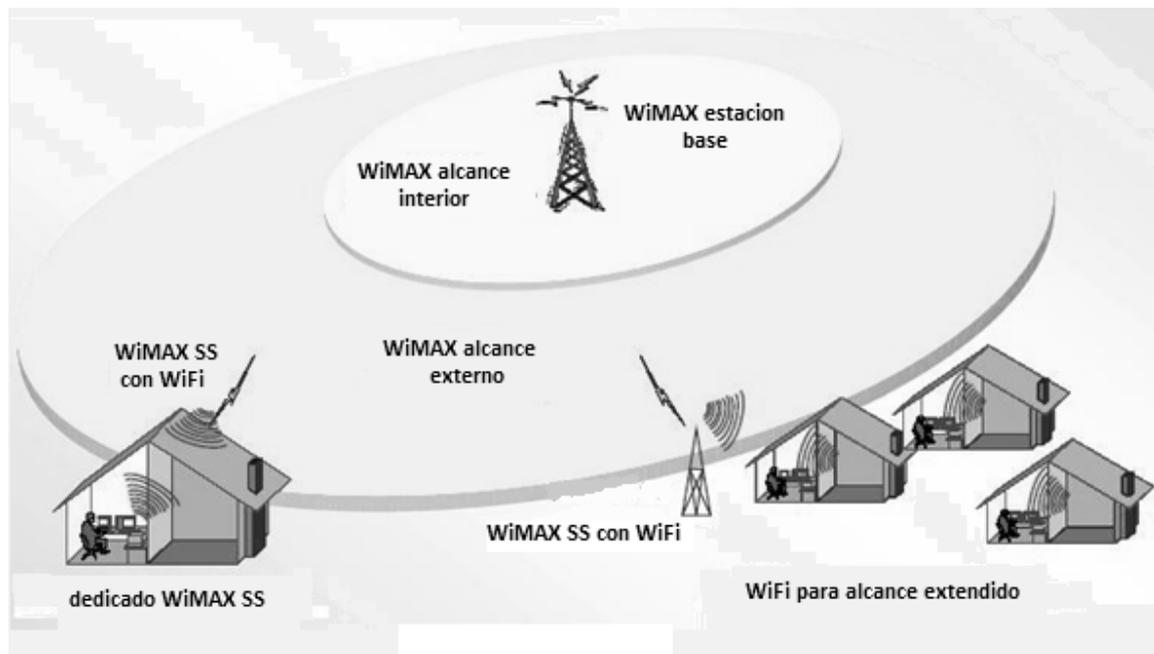


Figura 3.5. Cobertura de WiMAX con diversos tipos de los SS.

3.4.1. Tipos de WiMAX.

La familia de estándares de WiMAX, como ya se menciona, trata dos tipos de modelos de uso: un modelo de uso fijo (IEEE 802.16-2004) y un modelo portable (802.16e). La característica básica, que los distingue es la velocidad en tierra a la cual los sistemas se diseñan para funcionar. De acuerdo con

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

el acceso inalámbrico la movilidad puede ser dividido en cuatro clases es decir inmóviles (0 kilómetros por hora), peatón (hasta 10 kilómetros por hora), de vehículos (se subclasificó como 100 kilómetros por hora típicos, y hasta 500 kilómetros por hora de alta velocidad).

El sistema inalámbrico de acceso móvil es el que puede dirigirse a la clase de vehículos, mientras que el fijo se refiere al uso inmóvil e incluso peatonal.

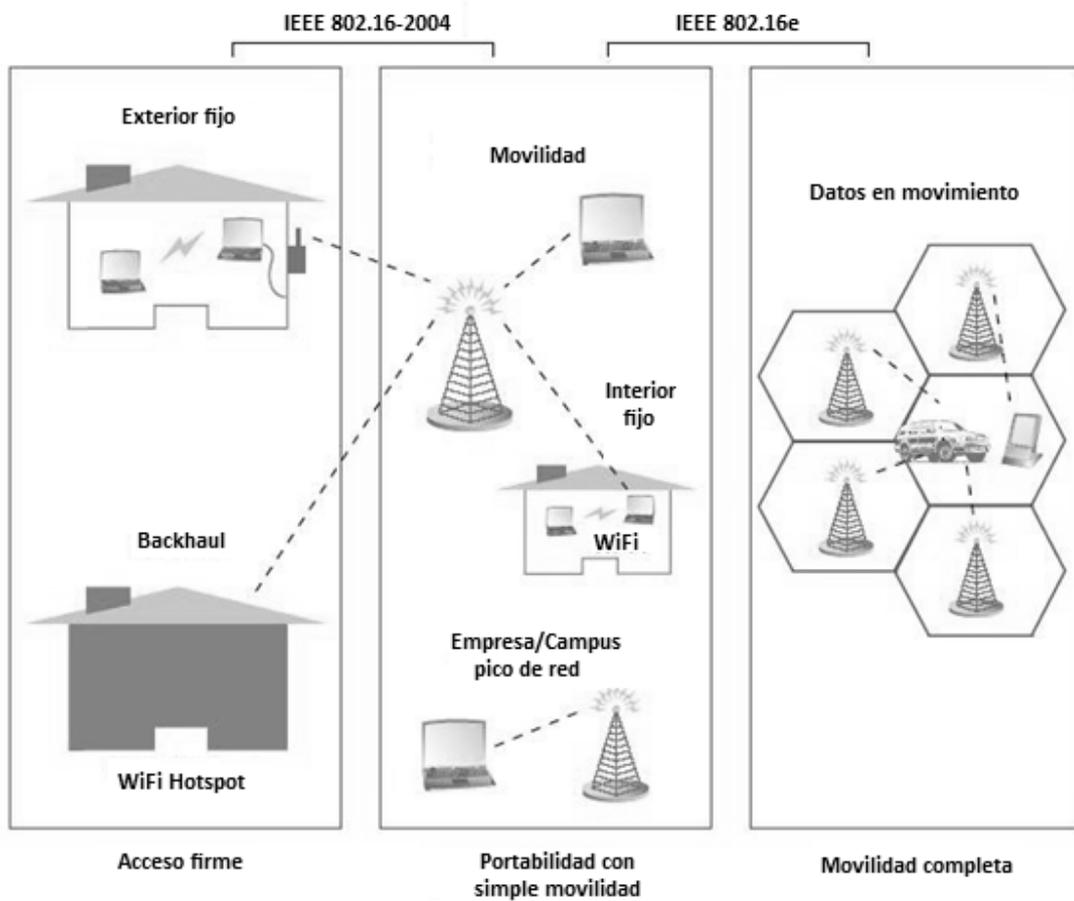


Figura 3.6. Tipos de WiMAX.

3.5. Construyendo los bloques de WiMAX.

Los componentes básicos de un sistema WiMAX son la estación del suscriptor (SS) (conocida de otra manera como el CPE) y la estación base (BS). Las BS y uno o más SS pueden formar una célula con una estructura punto a multipunto (P2MP). En el aire, la actividad de los controles de las BS dentro de la célula, incluyendo el acceso al medio por SS, las asignaciones para alcanzar la calidad de servicio (QoS) y la admisión a la red basada en mecanismos de seguridad de la red.

Los sistemas basados en 802.16 utilizan a menudo la antena fija en el sitio de la estación del suscriptor. La antena se monta a la azotea o a un alero. Las provisiones tales como sistemas de antena adaptativa (AAS) y la canalización secundaria también son soportadas opcionalmente por el estándar para el presupuesto del acoplamiento requerido para la instalación de interior. El subcomité de IEEE 802.16e trabaja en la extensión del estándar a los requerimientos para la movilidad y el soporte para los terminales de los SS.

Las BS utilizan típicamente antenas sectoriales/direccionales u omnidireccionales. Los SS fijos utilizan típicamente una antena direccional mientras que los SS móviles o portables utilizan generalmente una antena omnidireccional. Un BS múltiple se puede configurar para formar una red inalámbrica celular. Cuando la división de frecuencia ortogonal que multiplexa (OFDM) se utiliza, el radio de la célula puede alcanzar idealmente hasta 30 millas, no obstante éste requiere un ambiente favorable del canal y solamente la tasa de datos más baja puede ser alcanzada. Los tamaños de célula prácticos tienen generalmente un pequeño radio de alrededor 5 millas (10 Km) o menos. El estándar 802.16 también se puede utilizar en una topología de punto a punto (P2P) o de malla, usando pares de antenas direccionales. Esto se puede utilizar para aumentar el alcance efectivo del sistema en relación con qué se puede alcanzar en modo de P2MP.

3.5.1. La estación base de WiMAX

Una estación base de WiMAX consiste en electrónica de interior y una torre de WiMAX. Típicamente, una estación base puede cubrir hasta 6 millas de radio (teóricamente, una estación base puede cubrir el radio del metro de hasta 50 Km o 30 millas, no obstante las consideraciones prácticas lo limitan a

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

cerca de 10 kilómetros o a 6 millas). Cualquier nodo inalámbrico dentro del área de la cobertura podría tener acceso a Internet. Las estaciones base de WiMAX utilizarían la capa del MAC definida en el estándar con interfaz común que hace a las redes interoperables y le asignaría el enlace ascendente y ancho de banda de enlace descendente a los suscriptores según sus necesidades, sobre una base esencialmente en tiempo real.

Cada estación base proporciona cobertura inalámbricas sobre un área llamada una célula. El radio máximo de una célula es teóricamente 50 kilómetros (dependiendo de la banda de frecuencia elegida), no obstante los despliegues típicos utilizarán las células de radios a partir del 3 a 10 kilómetros.

Como con las redes móviles celulares convencionales, las antenas de la BS pueden ser omni direccionales, dando una forma circular de la célula, o direccional para dar una gama de formas lineares o sectoriales para el uso de punto a punto o para aumentar la capacidad de la red con eficacia dividiendo las células grandes en varias áreas sectoriales más pequeñas.

Las estaciones base de WiMAX pueden extenderse de unidades que soportan solamente algunas SS a unidades que soportan millares de SS y proporciona muchas características de la clase de portadora. Cualquier número de suscriptor coloca soportes de una estación base, este último deben manejar una variedad de funciones que no se requieran en el equipo del suscriptor. Algunas estaciones base deben soportar capacidades sofisticadas de la antena y ejecutar la reutilización eficiente de la frecuencia. Consecuentemente, las estaciones base de WiMAX tendrán muchas diversas configuraciones. En el lado del hardware, este equipo utilizará típicamente los microprocesadores disponibles y los componentes discretos de radiofrecuencia (RF).

Inicialmente, los factores de forma serán muy similares a los de los sistemas inalámbricos de banda ancha propietarios de hoy. Los sectores de la BS serán quizás el tamaño del extremo apilado de tres o cuatro ordenadores portátiles a terminar, y pesan de la orden de 40 a 60 libras.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

3.5.1.1. Tipos de estaciones base.

Hay probable mucha variación en el equipo de la BS, adaptado al panorama del despliegue. Los diseños de la BS varían en costo, funcionamiento y tamaño físico, pero se pueden dividir ampliamente en dos categorías: Micro y macro.

El soporte micro de las estaciones soporta solo solamente una sola radio y tiene un menor costo y funcionamiento. El costo va en el orden de algunos miles de dólares. Carecen de capacidades de extensión, mejores suited a los acoplamientos de punto a punto o a las redes comerciales con una pequeña cantidad de SS. Las estaciones base micro integran generalmente toda o una porción radio, mientras que las antenas son externas para el montaje al aire libre. Estas soluciones de bajo costo estarán para uso rural, de campus, de interior, y los despliegues de soporte. Utilizarán un solo portador de RF, y soportan células micro y pico.

Las estaciones base macro se asemejan a las usadas en redes celulares con costos de millones de dólares. Para soportar capacidades más altas, estos diseños utilizan sectores múltiples. Porque funcionan independientemente, cada sector requiere una banda dedicada, y un MAC de radio, bajo. Para soportar la extensión, el uso de las estaciones macro diseños basados en chasis. Las radios se pueden montar en una torre a cierta distancia, en este caso la estación base macro integra solamente funciones digitales. Estas estaciones base de tipo celular se utilizarán para zonas de alta densidad urbana, suburbana, alta tasa de usuarios, negocios y despliegues residenciales.

3.5.2. Receptor de WiMAX.

Un receptor de WiMAX, que también se refiere como equipo de premisa de cliente (CPE), puede tener una antena separada (es decir la electrónica y la antena del receptor son módulos separados) o podría ser una caja independiente o una tarjeta de PCMCIA que se sienta en su ordenador portátil o computadora. El acceso a la estación base de WiMAX es similar a tener acceso un punto de acceso inalámbrico en una red Wi-Fi, pero la cobertura es mayor. Hasta ahora uno de los impedimentos más grandes a la aceptación extensa de BWA ha sido el costo del equipo de premisa de cliente (CPE). Éste es no sólo el costo del CPE sí mismo, pero también los costos de la instalación. Dependiendo del usuario final WiMAX tiene disposición de tres diversos tipos de CPE:

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
 APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

- Un módem atado a una antena externa del tejado.
- Un módem con una antena de interior.
- Antena integrada como una integración adicional en el microprocesador que posibilita su implantación en diferentes CPE, puede ser integrado en las laptops, los teléfonos y otros dispositivos.

Un sistema genérico del suscriptor de WiMAX incluye un procesador de control, una unidad del MAC, un procesador de la banda baja (BBP), y partes frontales análogas del RF. Esas partes frontales colocan 802.16X en una banda licenciada o no licenciada específica.

3.5.3. Mecanismo de trabajo.

El mecanismo básico de la conexión entre el suscriptor y la estación base en una red de WiMAX es como se indica a continuación.

SS.	El SS entra en área de servicio de las BS.
BS.	Difusión de DL-MAP: Campo de la sincronización de Phy, identificación del operador, identificación del sector, longitud de mensaje del MAPA.
SS.	Exploraciones de los SS para el canal del DL: DL Sincronizado.
SS.	Obtenga los parámetros de la UL.
BS.	Difusión de DCD: Energía de las BS, tipo de PHY, perfil de la explosión del DL, tipo de la modulación, FEC, sincronización de Phy.
BS.	BSID Difusión de UCD: Campo de la sincronización de PHY, BSID, especificaciones de Phy.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
 APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

SS.	Extendiéndose y ajuste los parámetros.
BS.	Gama-Pida: el DL pedido de burst (ráfaga) del perfil, MAC address de los SS, anomalías de alcance, SS difundió capacidades.
BS.	Gama-Respuesta: Midiendo el tiempo ajuste, nivel de energía ajustan, ajuste compensado de Freq, estado de alcance, invalidación del freq del DL, invalidación del freq de la UL, perfil de la explosión, MAC address de los SS, CID. SS. Negocie las capacidades básicas.
BS.	Los SS A.C.-Piden: CID, parámetros soportados, asignaciones de PHY de la anchura de banda soportadas.
BS.	A.C.-Respuesta de los SS: CID, parámetros soportados, asignaciones de PHY de la anchura de banda soportadas.
SS.	Registro con las BS.
BS.	Registro-Pida: CID, código desmenuzado de Auth del mensaje, versión del IP, identificación del vendedor, capacidad del CS, parámetros de ARQ.
BS.	Registro-Respuesta: CID, Ok/Not, tuple de HMAC, versión del IP, identificación del vendedor, capacidad del CS, parámetros de ARQ.
SS.	Establezca la conectividad del IP. BS. DHCP-Pida: Tipo del H/W = Ethernet, MAC address, parámetros pedidos: Subnet mask, compensación de tiempo.
BS.	Opción del ranurador, opción del Timeserver, identificador de la clase del vendedor.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
 APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

SS.	Establezca ToD. BS. DHCP-Pida: IP address, nombre de servidor del aprovisionamiento de TFTP, compensación de tiempo, lista de ranuradores.
BS.	Petición/respuesta de ToD.
SS.	Parámetros operacionales de la transferencia.
BS.	Archivo de configuración de TFTP (archivo de configuración binario de los SS de la transferencia directa).
BS.	TFTP terminan: CID.
BS.	TFTP RSP: CID, OK/Not. SS. Establezca las conexiones disposición.
BS.	DSA-Pida (SS o BS iniciados): Mantenga los parámetros del flujo, codificaciones del parámetro del CS (802.3, 802.1p, 1q, ATM).
BS.	DSA-(Respuesta): CID, identificación de transacción, código de la confirmación, parámetros del flujo del servicio, codificaciones de los parámetros del CS, sistema del error del flujo del servicio. Operacional. Cuadro 7 - Mecanismo de trabajo para la conexión de WiMAX.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

3.6. Arquitectura.

La arquitectura y el uso de WiMAX es una evolución de dos etapas: inicialmente combinar el acceso fijo con portabilidad y el escalamiento hasta desarrollar la movilidad completa. El marco se basa en varios principios de la base:

- Soporte para diversas topologías RAN. Los interfaces bien definidos para permitir una arquitectura 802.16 RAN independiente mientras que permiten la integración con Wi-Fi, las redes 3GPP3 y 3GPP2.
- Apalancamiento abierto, Internet Engineering Task Force (IETF) tecnologías definidas IP para construir redes 802.16 de acceso all IP (todo IP) escalables usando equipo disponible común.
- Soporte para clientes IPv4 e IPv6 y servidores de aplicaciones; uso de recomendación de IPv6 en la infraestructura.

El marco de la arquitectura se basa en los requisitos siguientes:

Aplicabilidad. La arquitectura será aplicable a despliegues licenciados y exentos de licencia de 802.16.

Categoría de servicio. La arquitectura, especialmente la RAN, se adecuada para su adopción por todos los tipos de operador, los ejemplos de que fueron mencionados anteriormente.

Armonización / Interworking: La arquitectura se prestan sí a la integración existente con un núcleo IP operador de red (por ejemplo, DSL, cable, o 3G) a través de interfaces que son basadas en IP, y no del operador de dominio específicos. Esto permite la reutilización de software de cliente móvil a través de operador dominios.

Provisión y gestión.

La arquitectura tendrá en cuenta una variedad de provisión online y offline del cliente, la matrícula, y sistemas de gestión basados en abierto, en líneas generales de la industria.

Conectividad IP y Servicios.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

La arquitectura soportará una combinación de IPv4 e IPv6 con criterios de valoración y de comunicación y una variedad de la norma de propiedad intelectual en contexto con sistemas de gestión. La arquitectura soportará una amplia gama de TCP y UDP en tiempo real y aplicaciones de tiempo no real.

3.7. Características técnicas y fabricantes de equipos WiMAX.

Como ya hemos mencionado, una red WiMAX se compone fundamentalmente de dos sistemas, la estación base (BS) y la estación del suscriptor (SS).

3.7.1. Estaciones base.

Hoy día existen una gran cantidad de fabricantes de estaciones base o torres WiMAX, las hay para la solución fija y la solución móvil de WiMAX o combinaciones de ambos, ya que WiMAX permite que exista interoperabilidad, incluso, entre los diferentes estándares soportados. Una torre de este tipo, cuenta con dos principales dispositivos, la electrónica interna de la torre y las antenas,

Uno de los principales fabricantes de electrónica de estaciones base es Alvarion y los equipos que ofrecen reciben el nombre de BreezeMAX, cuyas características son las siguientes:

Disponibles comercialmente desde mediados de 2004, implementada por más de 150 operadores en más de 30 países, BreezeMAX es la más avanzada, solución WiMAX comercial de campo demostrado y los primeros en ofrecer CPE powered con Intel PRO/Wireless 5116 interfaz banda ancha WiMAX chip.

Construido basado en el estándar IEEE 802.16-2004, el BreezeMAX admite servicios fijos, nómades y portátiles con una ruta clara para la emergente industria móvil de WiMAX basada en el IEEE 802.16e estándar. BreezeMAX está diseñado para una variedad de frecuencias en las bandas tanto con licencia como no licenciadas de 2GHz a 6GHz del espectro y opera en modos dúplex FDD y TDD .

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN



Figura 3.7. Equipo BreezeMAX de Alvarion.

El sistema, con sensibilidad excelente y líder de la tecnología de radio OFDM, robusto para operar en condiciones de canal adverso y enlaces sin línea de visión. Con radios de alta potencia que admiten diversidad y técnicas de antena inteligente, BreezeMAX permite la utilización de CPE interiores autos instalables en ambos entornos densos urbanos y suburbanos.

Los CPE BreezeMAX son soportados por Intel WiMAX Connection 2250 interface chip y ofrece servicios de acceso de banda ancha a una amplia gama de clientes, incluyendo residencial, la SOHO, la PYME, las grandes empresas y clientes multi locatarios.

Destaca:

- Plataforma de WiMAX
- Pruebas de campo por más de 150 operadores
- Desplegados en más de 30 países
- Servicios fijos, portátiles y móviles
- Autónomos instalación CPE
- Arquitectura modular escalable de estación base
- Amplia variedad de frecuencias: 2 – 6 GHz
- FDD/TDD y modo dual
- Servicio de múltiples con QoS
- Mejor rendimiento de NLOS y de la cobertura

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

- Adecuado para residencial, empresarial, MDU/MTU, Backhaul de zona activa
- Triple play: voz, datos y servicios multimedia.

También existen fabricantes que ofrecen la solución completa, como Airspan, quien ofrece tres familias de estación base de WiMAX; HiperMAX, MacroMAX y MicroMAX. Estos todos soportan perfiles móviles y fijos WiMAX a través de diferentes bandas de frecuencia y tienen tipos de implementación adecuada para características individuales como podemos ver a continuación:

HiperMAX - muy flexible WiMAX estación de base para los servicios de alta disponibilidad.

HiperMAX es una estación base de celda macros de modo dual (802.16 d y 802.16e) con una arquitectura interior/al aire libre de División diseñada para admitir varias técnicas de antena inteligente transceptor. Es una solución de estación de base optimizada para el apoyo a los servicios de WiMAX de alta disponibilidad a través de diversos niveles de redundancia de elemento del sistema. HiperMAX presenta las siguientes características:

- Software plenamente actualizable, definido, capas PHY y MAC soporte simultáneo para WiMAX móvil (SOFDMA) y WiMAX fijo (OFDM)
- Completamente digital, puede operar en hasta 3 km.
- Transmisión multicanal y recepción diversa.
- Configuraciones MIMO de 2 x 2 y 4x2
- 4 o 8 canales de sistemas inteligentes de antena (SAS)
- Soporte para perfiles FDD y TDD



Figura 3.8. Antena WiMAX 3.5 GHz, 10.5dB.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**



Figura 3.9. Equipos de Hiberbanda



Figura 3.10. Implementación de HiperMAX de Airspan

MacroMAX - estaciones de base de WiMAX celda macros integrado.

MacroMAX es que una familia de modo único (802.16 d o 802.16e) altamente el integrada de estaciones de base de celda macros con embalaje todo-en-uno de los componentes de RF y banda base. MacroMAX incluye transceivers integrados de RF dobles a la diversidad de canal de dos de apoyo y MIMO. Está disponible como un todo de la solución al aire libre para aplicaciones de WiMAX móvil minimizar el espacio físico y el operador OPEX y la una solución interior todos para aplicaciones de WiMAX fijos.

MicroMAX - integrada estaciones de base de WiMAX micro-celda.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

MicroMAX es que una familia de modo único (802.16 d o 802.16e) altamente el integrada de estaciones de base de micro-celda con todo-en-uno al aire libre embalaje de los componentes de RF y banda base. Para aplicaciones de WiMAX móvil, MicroMAXe incluye transceivers integrados de RF dobles para apoyar la MIMO de dos canales. Rendimiento optimizado variantes para implementaciones de rooftop de alta densidad y costo optimizadas variantes de baja densidad/implementaciones rurales disponibles en una variedad de las bandas de frecuencia.



MicroMAXd

Figura 3.11. MicroMAXd de Airspan.

Existen varios fabricantes más de este tipo de tecnología que soportan las dos soluciones de WiMAX como son: Redline Communications, Proxim Wireless, Aperto Networks, SR Telecom, solo por mencionar algunas.

Otro de los fabricantes importantes es Motorola que presenta una gama completa de soluciones, denominada Motorola wi4 WiMAX, esta solución lleva la industria a la versatilidad. Soluciones de servicio de acceso a banda ancha, reemplazo de la línea de voz, acceso a datos móviles o comunicaciones móviles, está completa cartera de Motorola ofrece los productos y servicios para satisfacer sus objetivos únicos. Tenemos productos en todos los niveles que habilitar tiempo rápido a ingresos y altos beneficios. Esta versatilidad única está diseñada para ofrecer a un conjunto diverso de clientes una amplia gama de modelos de negocio. Con Motorola wi4 WiMAX, tiene todas las opciones necesarias para hacer un éxito del negocio de WiMAX.

Dentro de las soluciones para BS tenemos los equipos denominados WAP. WAP 400 PA de Motorola ofrece ventajas de rendimiento y costo de WiMAX 802.16e. Con diseño altamente integrado y

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

flexible, así como capacidades mejoradas de RF, la WAP 400 es una solución ideal para aplicaciones de servicios fijos y móviles. La 400 WAP demuestra el aumento de gran capacidad en condiciones de la alta dispersión tales como los ambientes urbanos aumentar la capacidad de sistema por casi el doble. Diseño de la WAP 400 ofrece opciones de despliegue flexible en cimas de techo, montajes de Polo, torres de agua y más. Esto resulta en un ahorro considerable en costos de funcionamiento y el sitio.

Alto rendimiento

La 400 WAP, con técnicas de antena diversas, se basa en una interfaz S-OFDMA, el rendimiento de latencia baja y arquitectura basada en IP. Ganancia de sistema reforzado compatible con capacidades de antena de diversidad MIMO permite gran penetración interior así como soporte a la movilidad de células.

Aplicación fija y móvil

El punto de acceso WAP 400 proporciona conexiones de banda ancha inalámbrica NLOS, fijo y móvil. Emparejado con un núcleo común de IP, el punto de acceso WAP 400 soporta handovers inter-tecnología perfectos.

Se espera que el punto de acceso de WAP 400 entregue un procesamiento de 12 Mbps por sector y un radio máximo de la célula superior a 5 kilómetros considerando unidades de suscriptor internas (funcionamiento en 2.5 GHz con 10 MHz de anchura de canal). La cobertura puede extender sobre 20 kilómetros cuando son unidades de suscriptor en exteriores. Características:

- MIMO. Dinámica de cambio MIMO A & B
- Electrónica integrada. Torre de fibra superior, cero-huella, delgada
- Electrónica distribuida. Alta potencia
- Antena inteligente. Beamforming, MRT, EBF
- Elementos de antena. Recepción de transmisión 2, 2
- Ajuste perfecto. Condiciones de dispersión alta, requisito de enlace ascendente alto



Figura 3.12. Equipo WEP 400 de Motorola.

3.7.2. Estaciones de suscriptor.

Una SS se compone básicamente por un CPE (Customer Premises Equipment, 'Equipo local del cliente') que va incorporado de manera externa o interna al equipo final del cliente, que puede ser una PC, una laptop, un PDA o un smart phone.

Dentro de los equipos CPE WiMAX externos tenemos una gran cantidad de fabricantes, dentro de los más importantes y mejores en el mercado encontramos a Airspan, Motorola y algunas de las soluciones que ofrecen son las siguientes:

Airspan ofrece USB MiMAX, el USB MiMAX es el primer producto en la familia de dispositivos y complementos MiMAX de MIMO Mobile WiMAX.

MiMAX USB puede utilizarse con cualquier dispositivo compatible con USB 2.0, incluyendo portátiles, UMPC o PC. El dispositivo es completamente plug-and-play y puede ser utilizado por cualquier usuario final. La interfaz USB garantiza compatibilidad con cualquier Mac y con Windows.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**



Figura 3.13. MiMAX USB de Airspan.

Con el fin de proporcionar cierta itinerancia global a través de frecuencia de múltiples bandas, el USB MiMAX proporciona operación de WiMAX que establece los niveles de normas de rendimiento de tamaño para la industria de WiMAX.

El USB MiMAX ofrece un gran rendimiento de RF a pesar del tamaño pequeño entrega hasta +22dBm en la antena. Ofrece un sorprendente rendimiento de hasta 33Mbps (en un canal de 10 MHz TDD en enlace ascendente).

Motorola cuenta con varios productos que son compatibles con la tecnología WiMAX (llamados Motowi) que permite un mayor alcance de conectividad inalámbrica, más velocidad a un menor costo:

CPEi 750: Módem de banda ancha y conexiones inalámbricas para escritorio, compatible con la tecnología Wave 2, el estándar WiMAX 802.16e. Soporta aplicaciones multimedia que requieren banda ancha. Incluye un puerto de datos y dos puertos VoIP/ATA. Disponible en dos versiones una de 2.5GHz y otra de 3.5GHz, función "plug and play".

PC PCCw200: Frecuencias 2.5 y 3.5 Ghz, conectividad móvil de banda ancha con soporte multimedia.

USB w 100: WiMAX USB w 100 Wi4 de Motorola adaptador que permite a los usuarios finales conectar el móvil de banda ancha WiMAX en sus portátiles mediante el USB. Este dispositivo compacto se conecta fácilmente a cualquier puerto USB para ofrecer conectividad flexible, de alta velocidad de acceso de banda ancha inalámbrica móvil o nómada. Ahora los usuarios finales ya no se

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

limitan al cable o DSL para conectividad de banda ancha de alta velocidad. Puede experimentar el mismo acceso fácil y fiable a velocidades de banda ancha sobre la marcha – en interiores y al aire libre, en casa o en la oficina. Este dispositivo rentable complementa de cartera creciente 's Motorola Wave 2 de dispositivos WiMAX.



Figura 3.14. USB w 100 de Motorola.

Sin duda estos equipos externos para la conexión entre las BS y los SS en una red WiMAX son una gran noticia, pero siempre tienen la complicación de ser externos, precisamente. Es por eso que la industria que apoya a WiMAX impulsa la creación de CPE que sea interno y que se incluya en equipos como laptops del modo que ahora se incluye Wi-Fi.

De hecho, actualmente existen varios fabricantes que han anunciado laptops con receptores WiMAX integrados a sus equipos, entre estos tenemos:

- Acer
- Lenovo
- Toshiba
- Sony
- Dell
- Panasonic

Lo que complementa el uso de esta tecnología y allana el camino para su pronta popularización.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

3.8. Implementación de WiMAX en la FES Aragón.

Dos escenarios son posibles para la implementación de WiMAX:

1. En sustitución de la red cableada de backhaul.
2. En sustitución de la red inalámbrica actualmente existente (Wi-Fi).

El primer escenario presenta una posibilidad que resulta muy poco viable, ya que representaría el cambio de la red cableada que soporta a Wi-Fi por una red inalámbrica basada en el estándar 802.16d punto a punto que remplace el backhaul existente. Esto no representaría una gran ventaja, ya que no ofrece grandes mejoras a menos que se presentara una ampliación a la red o un cambio en su infraestructura, lo que no parece posible actualmente.

El segundo escenario tiene mayores posibilidades. Como se menciona al inicio del capítulo, la RIU funciona mediante la utilización del estándar 802.11. Este estándar presenta varias desventajas respecto al estándar 802.16, como se muestra en la siguiente tabla:

	802.11	802.16
Velocidad binaria	54 Mbit/s	70 Mbit/s
Alcance	~100m	40 km
Cobertura	Optimizada para espacios internos en línea de vista (LOS)	Optimizada para espacio exterior sin línea de vista (NLOS)
Seguridad	802.11i	Triple DES, RSA
QoS	Ninguna	Controlada centralmente
Niveles de servicio	Ninguno	Niveles múltiples soportan requerimientos diferenciados de ancho de banda
Banda	Generalmente no licenciada	Generalmente licenciada
Usuarios por radio-base	Muy pocos	Muchísimos
Canales	Tres	Cinco (de 20 MHz)

REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX. APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN

Es decir, en términos generales, la tecnología de WiMAX presenta muy claras ventajas respecto a la tecnología de Wi-Fi, y viene a resolver muchos de los inconvenientes que presenta Wi-Fi.

Para la implementación de esta tecnología en la FES Aragón, proponemos el sistema (ya mencionado en el apartado de fabricantes) WAP 400 de Motorola.

3.8.1. Implementación: sistema Motorola WAP 400.

El punto de acceso WAP 400 de Motorola con técnicas diversas de antena entrega las ventajas de WiMAX. Ofreciendo un diseño altamente integrado y flexible tan bien como capacidades realizadas del RF, el punto de acceso WAP 400 es una solución ideal para los usos fijos y móviles.

De acuerdo a los estándares 802.16e, los puntos de acceso 400 de la serie WAP proporcionan el acceso inalámbrico de banda ancha de alto rendimiento en espectro de 2.3, 2.5 y 3.5 GHz. El sistema trata la necesidad seguridad de la clase del portador, de la redundancia, y de las características de QoS para voz, datos, y los despliegues robustos de movilidad.

Las técnicas de antena permiten la realización de MIMO que realza la cobertura avanzada de cobertura y la capacidad de sistemas WiMAX y soporta usos completos de movilidad. El sistema de WiMAX con el punto de acceso WAP incluye los elementos siguientes:

- Módulos diversos de RF
- Unidad de control base
- Sincronización del sitio de la antena de GPS
- Interfaz de banda ancha del regreso de Todo-IP
- Operaciones de portal y gestión de herramientas de software

Punto de acceso de WAP 400.

El punto de acceso de WAP 400 consiste en dos subsistemas importantes: los módulos y la unidad de control base (BCU) de RF. Los módulos de RF, ofrecen diversidad, contienen una sección dual de RF de la antena que realice toda la radio transmisión y reciba el proceso para entregar la banda base que señala al BCU. Integrando el RF que procesa en una torre alta, la necesidad del cable coaxial pesado del RF se elimina. En lugar, el módulo del RF utiliza una conexión simple de fibra y un cable de

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

transmisión para la conectividad al BCU. La sección de RF de dos antenas es una unidad reemplazable en el terreno solo autónoma (FRU).

El BCU puede residir en la parte inferior de la torre de antena o de las localizaciones más oportunas basadas en la selección del operador. El BCU contiene las ranuras hot-pluggable para que hasta dos coordinadores de la red y hasta cuatro tableros del módem soporten una configuración del sitio de cuatro sectores. Además, el BCU contiene a un tablero de entrada-salida de la alarma, los ventiladores y calefacción, y el sistema de distribución de la energía para el sitio entero. La solución del punto de acceso de WAP 400 se diseña para la configuración de cuatro sectores con cuatro módulos del RF apoyados por una sola unidad de control base. La reutilización de la frecuencia soportados por los sistema de punto de acceso de WAP 400 para la gestión eficaz del espectro y de canal con un plan de frecuencia $N=2$.

Ventajas del diseño de sistema.

Alta ejecución. Se basan en el estándar de tecnología IEEE 802.16e-2005, y se beneficiarán de las características tales como el interfaz espectral eficiente de S-OFDMA, el funcionamiento bajo de estado latente, y la arquitectura basada en IP. El aumento de sistema realizado apoyado por MIMO permite la penetración de interior fuerte así como el soporte como celular para las aplicaciones de movilidad. Además, las capacidades de QoS, los rasgos de seguridad, y las opciones de la redundancia hacen de la plataforma de punto de acceso WAP 400 una solución verdadera.

Uso fijo y móvil. El punto de acceso de WAP 400 proporciona conexiones de banda ancha inalámbrico NLOS, fijas y móviles. Apareado con una base común IP, el punto de acceso WAP 400 apoyará handovers inconsútiles de inter-tecnología.

Facilidad de la instalación y de la gestión. La filosofía de diseño de Motorola para la lista de productos de WiMAX se centra en la facilidad de la instalación, de la gestión y de la operación. Las características del punto de acceso WAP 400, cero huella de los sitios base con un diseño para exterior y opciones flexibles de montaje para los módulos de RF y la unidad de control base. El software simple de las operaciones y de la gestión permite para la configuración, autenticación y actualización.

Módulos del RF.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

El módulo del RF es una unidad autónoma y consiste en dos formaciones del transmisor, dos formaciones del receptor, dos filtros del duplexor, dos elementos de la antena, interfaces ópticos redundantes de fibra y convertidor de la corriente continua. Los módulos del RF están contruidos en amortiguador de onda para proteger la alimentación entrante de energía contra la unidad de distribución de energía de BCU. El módulo de RF hace salir una energía de watt por cada uno de los dos elementos de la antena.

Para los ambientes severos de interferencia, los filtros opcionales se pueden introducir al módulo de RF para mejorar la mitigación de interferencia. La arquitectura integrada de RF elimina la necesidad de cables coaxiales pesados de RF de ser funcionado entre el BCU y el módulo de RF. Un cable óptico simple de fibra con la opción de la redundancia y una alimentación estándar de la energía son las únicas conexiones requeridas del BCU al módulo de RF en lo alto de la torre. Los cables coaxiales tradicionales de RF experimentan pérdida de trayectoria significativa y aumentan los requisitos de energía del sistema existiendo la degradación de la señal. Quitando la necesidad del cableado coaxial pesado de RF, los requisitos de energía para el punto de acceso WAP 400 se reducen cerca del doble.

El requisito de energía reducida alternadamente reduce el número de elementos de energía activa requeridos por el sistema y ofrece la ventaja agregada de la confiabilidad mejorada del equipo. Además, la colocación de los elementos y de los disipadores de calor activos de RF dentro del módulo integrado de RF apoya más con eficacia la disipación de calor y facilita los requisitos de enfriamiento de la unidad de control base. Una mejor gestión de la disipación de calor elimina la necesidad de propiedades inmobiliarias y del aire acondicionado dedicados para el BCU dando por resultado la facilidad de las ventajas de la instalación y de los costos. WAP 400 se diseña para apoyar a hasta 256 usuarios activos por el sector (ejemplo: 256 usuarios activos de $x 4=1024$ para la configuración de cuatro sectores). Además, hasta 3000 usuarios pueden ser apoyados a través del sitio como combinación de usuarios activos, ociosos, y durmientes.



Figura 3.15. Modulo de RF.

Unidad de control base.

La unidad de control base (BCU) realiza el proceso de la banda base, la sincronización del sitio, la distribución de energía, y la interconexión de la red. Además, la unidad recibe el nivel del software del sitio y proporciona las interfaces para el regreso del sitio. La unidad de control base incluye los componentes siguientes:

Tarjeta del coordinador de la red.

La tarjeta del coordinador de la red es una tarjeta de proceso digital que contiene una plataforma del microprocesador para el software del nivel del sitio, un circuito de la referencia de la frecuencia/sincronización, un interruptor de Ethernet, y los interfaces para las alarmas del regreso y del sitio. El gabinete de BCU contiene las ranuras para dos tarjetas del coordinador de la red.

Tarjeta del módem.

La tarjeta del módem es una tarjeta digital de la banda base que contiene los microprocesadores del anfitrión, DSPs, y un FPGA para el proceso de ejecución del MAC 802.16e y de PHY. La tarjeta del módem permite las mejoras del software solamente para las modificaciones de la capa de PHY y del

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

MAC. El BCU incluye cuatro ranuras para tarjeta del módem con la configuración típica que requiere una tarjeta del módem por sector. Alternativamente, una tarjeta del módem se puede configurar para apoyar dos sectores usando una configuración troncal.

Tarjeta de alarma.

La tarjeta de alarma proporciona las entradas y las salidas del control de relevadores, entradas de la alarma del gabinete, información de la alarma del cliente, de la identificación de la fuente de alimentación, capa 1 conmutando para el backhaul de Ethernet y energía y las señales de interfaz a una referencia del oscilador de alta estabilidad (HSO).

Fuente de alimentación. El BCU contiene las ranuras para tres unidades de la fuente de alimentación principal. Dos fuentes de alimentación se requieren para soportar un sitio completamente poblado, con una tercera unidad opcional para permitir redundancia de $N + 1$.



Figura 3.16. Unidad de control base.

Punto de acceso WAP 400. Especificaciones del sistema.

Las especificaciones del sistema se detallan en la siguiente tabla:

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
 APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

Aplicación	Fija y móvil (opcional)
Sitio Base Arquitectura	Activo RF cabezas con antenas integradas y de alta velocidad de las conexiones digitales a la Unidad de Control de Base sobre la fibra
Bandas de frecuencia	2,3 GHz (2,300 - 2,400 GHz), 2,5 GHz (2,495 - 2,690 GHz), 3,5 GHz (3,400 - 3,600 GHz)
Ancho de banda de canal	de 2,3 GHz: 5 o 10 MHz, 2,5 GHz: 5 o 10 MHz, 3.5 GHz: 5 o 7 MHz
Interface de Aire	IEEE 802.16e-2005 (S-OFDMA)
Modo Duplex	TDD
Dispositivos del suscriptor	256 dispositivos de los suscriptor activos por sector; 3000 abonado a través de dispositivos de base de sitio
Reuso de frecuencias	4 sectores: N = 2 recomendado; Otras configuraciones de apoyo
Dimensiones físicas:	
Modulo RF	712 x 178 x 229 mm; 16 Kg
Unidad de control	788 x 508 x 483 mm; 68 Kg
Modulación y codificación	QPSK, 16 QAM Y 64 QAM
Potencia de salida máxima de transmisión	2000 mW (2 x 1000mW potencia de salida de antena por elemento)
Potencia de entrada	-48 VDC, 27 VDC, 88-240 VAC
QoS	De subvención de servicios no solicitados (UGS), en tiempo real de

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

	servicios de sondeo (rtPS), extensión en tiempo real el servicio de sondeo (ertPS), no en tiempo real de servicios de sondeo (nrtPS) y mejor esfuerzo (BE)
Seguridad	Autenticación EAP; MCP-AES 128bit de datos para autenticación y encriptación; PKMv2 protocolo de gestión de claves
Elementos de antena	2

Analizando las características del sistema WAP 400 y comparándolo con otros sistemas, las ventajas que este presenta son superiores a los equipos comparados y aun mejores a la red actualmente en uso.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

CONCLUSIONES.

WiMAX se impone poco a poco como una tecnología de comunicación inalámbrica de banda ancha capaz de superar las carencias de Wi-Fi. Con el soporte de movilidad en la especificación IEEE 802.11e, se abre todo un mundo de nuevas posibilidades.

Gracias a su estandarización por IEEE en enero de 2003 en la norma IEEE 802.16, WiMAX ha sentado las bases para la interoperatividad en el mercado de acceso inalámbrico de banda ancha. Se trata de una tecnología gestada durante la evolución de la familia de estándares Wi-Fi pero que supera con creces a todos sus predecesores en lo que a ancho de banda, prestaciones y cobertura se refiere. Mientras que Wi-Fi ha sido pensado para proporcionar cobertura sobre áreas relativamente pequeñas, como oficinas o hotspots, WiMAX ofrece alrededor de 70 Mbps a distancias de hasta 48 kilómetros a muchos usuarios desde una única estación base. Además, puede funcionar tanto en bandas licenciadas como no licenciadas, lo que abre enormemente el abanico de sus posibles aplicaciones, y al introducir importantes mejoras en prestaciones NLoS, resulta una tecnología apta para entornos donde existan obstáculos, como árboles o edificios.

Todas estas prestaciones y ventajas convierten a WiMAX en una alternativa atractiva tanto por su rendimiento como por su bajo costo, no sólo en la empresa, sino también en el segmento de operadores. Con un ancho de banda máximo teórico de 75 Mbps en la versión fija (802.16d), aprobada en septiembre de 2004, la tecnología permite distribuir servicios de banda ancha con la calidad habitualmente requerida para soportar las aplicaciones empresariales más exigentes y sensibles a latencia, como voz sobre IP o videoconferencia. En el hogar, representa un medio idóneo para integrar en un único enlace el suministro de servicios "triple play" (voz, vídeo, datos e, incluso, televisión).

En una aplicación tipo campus, como es el caso de la FES Aragón, WiMAX puede sustituir todas las antenas de cada uno de los puntos de acceso de la red Wi-Fi existente con una sola antena de WiMAX colocada en una ubicación que le permita dar acceso a toda la facultad con mucha mayor calidad, velocidad y seguridad.

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

GLOSARIO.

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line (Suscriptor digital de línea asimétrica).

AP: Access Point (Punto de acceso).

ATDD: Adaptive Time Division Duplexing (Duplexación adaptativa por división de tiempo).

ATM: Asynchronous Transfer Mode (Modo de transferencia asíncrono).

Backbone: Es la infraestructura de la transmisión de datos en una red o un conjunto de ellas en internet. Nivel más alto en una red jerárquica.

Backhaul: (Red de retorno) Conexión de baja, media o alta velocidad que conecta a computadoras u otros equipos de telecomunicaciones encargados de hacer circular la información.

BPSK: Binary Phase Shift Keying (Modulación por cambio de fase).

BS: Base Station (Estación base).

BW: Bandwidth (Ancho de banda).

BWA: Broadband Wireless Access (Acceso inalámbrico de banda ancha).

CDMA: Code Division Multiple Access (Acceso múltiple por división de código).

CPE: Customer Premises Equipment (Equipo local del cliente).

DES: Data Encryption Standard (Estándar de encriptación de datos).

DL: Downlink (Enlace descendente).

DSL: Digital Subscriber Line (Suscriptor digital de línea).

FDD: Frequency Division Duplex (Duplexación por división de frecuencia).

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

GSM: Global System for Mobile Communication (Sistema Global para comunicaciones móviles).

Handoff: es el proceso de cambiar el canal (frecuencia la franja horaria, la difusión de código, o una combinación de ellos) se asocia con la conexión actual, mientras una llamada está en progreso.

Handover: Se denomina Handover al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente.

Host: Un host o anfitrión es un ordenador que funciona como el punto de inicio y final de las transferencias de datos. Más comúnmente descrito como el lugar donde reside un sitio web. Un host de Internet tiene una dirección de Internet única (dirección IP) y un nombre de dominio único o nombre de host.

Hotspots: Un hotspot es una zona de cobertura Wi-Fi, en el que un punto de acceso o varios proveen servicios de red.

Hub: hub o concentrador es un equipo de redes que permite conectar entre sí otros equipos y retransmite los paquetes que recibe desde cualquiera de ellos a todos los demás.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica).

IP: Internet Protocol (Protocolos de Internet).

LLC: Logic Link Control (Control de Enlace Lógico)

LOS: Line-of-sight (En línea de vista).

MAC: Medium Access Control (Control de acceso al medio).

MIMO: Multiple Input Multiple Output (Múltiples entradas múltiples salidas).

MS: Mobil Station (Estación móvil).

NLOS: Non-line-of-sight (Sin línea de vista).

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación ortogonal de división de frecuencia).

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal).

OSI: Open System Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos).

PCMCIA: Personal Computer Memory Card International Association (Asociación internacional de tarjetas de memoria para PC).

PDU: Protocol Data Unit (Unidad de Datos de Protocolo).

PHY: Capa física.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation (Modulación por amplitud de cuadratura).

QoS: Quality of Service (Calidad de servicio).

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por cuadratura de fase).

RAN: Radio Access Network (Red de radio acceso).

RS: Repeat Station (Estación repetidora).

RSA: es un algoritmo asimétrico cifrador de bloques, que utiliza una clave pública, la cual se distribuye (en forma autenticada preferentemente), y otra privada, la cual es guardada en secreto por su propietario.

SDU: Service Data Unit (Unidad de Datos de Servicio).

SOFDMA: Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso múltiple escalable por división de frecuencia ortogonal).

SS: Subscriber Station (Estación de suscriptor).

TDD: Time Division Duplex (Duplexación por división de tiempo).

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

TDMA: Time Division Multiple Access (Acceso múltiple por división de tiempo).

UL: Uplink (Enlace ascendente).

UTP: Unshielded Twisted Pair (Par trenzado no apantallado).

WEP: Wired Equivalent Privacy (Privacidad Equivalente a Cableado).

Wi-Fi: Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica).

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas).

WPA: Wi-Fi Protect Access (Acceso Wi-Fi).

**REDES INALÁMBRICAS: DE WI-FI A WIMAX.
APLICACIÓN A LA RIU DE LA FES ARAGÓN**

FUENTES BIBLIOGRAFICAS.

- Carballar Jose A. Wi-Fi. Como construir una red inalámbrica. 2ª Edición. Alfaomega Ra-Ma. México. 2005.
- Deepak Pareek. A to Z of WIMAX. The complete reference. Resource4Business. EUA. 2005.
- Deepak Pareek. WiMAX Taking wireless to the MAX. Auerbach Publications. EUA. 2006.
- Ford Merilee, H. Kim Lew. Tecnologías de interconectividad de redes. Prentice Hall. México. 1998.
- Huidobro Maya José M., Millar Tejedor, Roldan Martínez. Tecnologías de telecomunicaciones. Alfaomega 1ª Edición. Mexico.2006.
- Yan Zhang, Hsiao-Hwa Chen. Mobile WIMAX. Auerbach Publications. EUA. 2008.
- <http://digitales.itam.mx/Cursos/TecEmer/TrabajosDeAlumnos/WIMAX.pdf>
- <http://latinpartners.alvarion.com/products/breezemax/>
- <http://motorola.motowi4solutions.com>
- <http://wirelessman.org>
- www.irit.fr
- www.motorola.com
- www.riu.unam.mx
- www.scribd.com
- www.slideshare.net/hysung/wifi-vs-wimax
- www.wimaxforum.org
- www.wimaxmaps.org