



Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 2

Trabajo de Diploma para optar por título de Ingeniero en Ciencias Informáticas

Tema:

“Infraestructura para redes inalámbricas de Banda Ancha”

Autora:

Yenlys Guerra Dávila.

Tutor:

Ing. Orestes Rodríguez Morales.

Ciudad de la Habana,

2007, “Año del 49 Aniversario del Triunfo de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro ser autora de la presente tesis y reconocemos a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmo la presente a los _____ días del mes de _____ del año 2007.

Yenlys Guerra Dávila

Ing. Oretes Rodríguez Morales

Agradecimientos.

A mis padres por su determinación, entrega y apoyo durante todos estos años, a mis abuelos por ser el más perfecto ejemplo de amor, a mi hermana por siempre estar ahí cuando la necesito, a mis amigos los que han pasado y los que han quedado, porque todos han marcado mi vida de alguna forma.

A todas aquellas personas que me ayudaron e hicieron posible realizar este sueño de ser ingeniera y vencer todos los obstáculos que impone la vida en la universidad, lograrlo no fue fácil y solo gracias a la ayuda desinteresada de mucha gente se hizo realidad, mencionarlas a todas es imposible, pero no quiero que alguno de ellos al leer estas líneas se sienta omitido porque cada uno de mis logros va dedicado a ellos.

Agradezco al Ing. Orestes Rodríguez Morales quien con su inagotable capacidad de trabajo, dedicación, preocupación y condiciones personales ha hecho posible la presentación de este trabajo.

No quisiera dejar de mencionar a todos aquellos compañeros que durante cinco años me han ayudado tanto en lo personal como en lo profesional, a todos ellos

Muchas Gracias.....

Dedicatoria.

Dedico esta tesis con mucho amor y cariño a mis padres Ana, Valentín y Mato que siempre me han apoyado en los buenos y malos momentos de la vida, a mis hermanas de sangre María Celia, Yarenis , Maikelys que con su amor y cariño hacen que el transcurrir del día a día sea especial, a los hermanos que la vida me regaló Daisvet, Dainet, Jenny, Yisnier, Katty, Ani, Daya, Yuri, Iris y Leyany, a mis abuelas y a mis abuelos que aunque no se encuentren entre nosotros, siempre están presente en mi corazón, además dedico mi tesis a mis tíos, tías, primos, primas y demás familiares que siempre han depositado toda su confianza en mi. A la Universidad de Ciencias Informáticas, que ha sido la cuna en la cual empecé a crecer. No quisiera terminar esta dedicatoria sin mencionar a todos aquellos amigos que han logrado que mis días de estudiante fueran especiales Kirenia, Karenia, Yusila, Yanet, José Antonio, Denis, Karel y muchos más, pero mencionarlos se haría muy larga la lista, a todos ellos va también dedicada mi tesis.

Resumen.

Cuando se piensa en las tecnologías de redes inalámbricas, acuden a la mente tecnologías como Bluetooth, Wifi, WiMAX, MBWA, cada una con sus ventajas y desventajas. Las preguntas comunes que se les hacen a los clientes son: ¿Qué servicios necesitan?, ¿Con cuántos usuarios se cuentan?, ¿Si existe la posibilidad futura de que la red se expanda? Luego queda en manos de los proyectistas realizar varias opciones, donde el cliente podrá escoger el proyecto más económico si lo desea, aún cuando este no sea el más eficiente. Al pensar en esas ideas se hace necesario incursionar en el mundo de WiMAX, nombre comercial por el que se conoce al estándar 802.16x, donde ya tienen sus manos, firmas de gran renombre a nivel mundial como son: Intel, Fujitsu, Alcatel, Ericsson, Lucent, Motorola, Nortel, Alvarion, Siemens, etc. En nuestro país, este estándar no se conoce y los que lo conocen, saben muy poco de él. Por lo que en este trabajo se profundiza en el estándar, de modo que constituya fuente de información fundamental a la hora de implementar una infraestructura de banda ancha en nuestra Universidad o en áreas rurales del país, y sienta las bases de un anteproyecto para ofrecer las mejores alternativas para la implementación de este estándar en la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI), por lo que se dedica un capítulo para el análisis de la red interna de la UCI, con sus principales características. Otro capítulo está dedicado al estudio de **WiMAX**, alternativa con la cual en la actualidad, aunque el país no cuente con los recursos necesarios para llevar a cabo un proyecto tan ambicioso hay que tenerlo en cuenta para un futuro muy cercano. No se puede excluir aspectos tan importantes en las redes inalámbrica como la **calidad del servicio** (lo cual se garantiza mediante el empleo de varios mecanismos) y la **Seguridad** (la cual se avala mediante la utilización de diferentes protocolos). Este trabajo puede constituir un material de referencia para aquellos que se adentren más en estas materias y que apoyen el proyecto, por los servicios que pueden prestar y por el grado de actualización que tiene en cuanto a información y equipamiento.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1- “Redes Inalámbricas”	4
1.1 Evolución de las Redes Inalámbricas.....	4
1.1.1 WPAN.....	7
1.1.2 WLAN.....	9
1.1.3 WMAN.....	17
1.1.4 WWAN	18
1.2 Topologías inalámbricas	19
1.2.1 Topología de infraestructura	20
1.2.2 Topología Ad hoc.....	21
1.2.3 Redes mallas	22
1.2.4 Topología Punto a Punto.....	23
1.2.5 Topología punto a multipunto.....	23
Conclusiones del capítulo.	25
Capítulo 2 - “WiMAX”	26
2.1 Introducción al Estándar 802.16	26
2.2 Variantes del estándar IEEE 802.16	31
2.3 Capa Física y MAC de WiMAX.....	37
2.4 Propagación y Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM).....	46
2.4.1 Propagación NLOS y LOS.....	46
2.4.2 Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM).....	50
2.5 Aspectos importantes entre variantes.....	54
2.6 Calidad de servicios (QoS) en WiMAX.	59
2.7 Seguridad en WiMAX.	62
Conclusiones del Capítulo	65

Capítulo 3 “Caso de estudio”	67
3.1 Introducción.	67
3.2 Tópico geográfico de la Universidad de Ciencias Informáticas.	68
3.3 Red Ethernet en la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI).	69
3.4 Equipamiento.	71
3.5 Esquema de Solución.	79
Conclusiones del Capítulo.	82
Conclusiones y recomendaciones.	83
Referencias bibliográficas.	84
Bibliografía.	86
Glosario de términos y acrónimos.	91

Introducción

El desarrollo acelerado del mundo de hoy lleva consigo el perfeccionamiento de diferentes tecnologías inalámbricas que están constantemente interactuando y sujetas a cambios en dependencia de los nuevos avances de la ciencia y de las necesidades que la sociedad impone en el mundo de hoy.

La tecnología inalámbrica de banda ancha utilizada para ofrecer servicios de voz, videos y datos, revolucionará la vida de los usuarios permitiendo conectarse directamente con las personas y la información relevante mediante una conexión a alta velocidad desde cualquier parte.

La presencia tecnológica de banda ancha en el mercado, trae consigo la necesidad de integrar las mismas en las redes ya existentes de la forma más natural posible y sin que se vean afectados los usuarios finales. Sin embargo, para su integración es necesario realizar estudios del comportamiento actual y futuro que la red puede ofrecer.

En Cuba se quiere impulsar la conexión a través de redes inalámbricas mediante la utilización del estándar 802.16, conocido comercialmente como WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), es por ello que en estos momentos se están realizando pruebas acerca del nuevo estándar, al que le avizoran alcanzar grandes velocidades y distancias, cubriendo áreas de redes metropolitanas (MAN) y del cual en estos momentos no hay un gran conocimiento y los que lo conocen no saben mucho de él, por lo novedoso que es este estándar, en estos momentos solo se encuentra en fase de prueba en Cuba, aunque los más audaces ya están implementando esta tecnología para redes fijas (802.16d), por lo que se hace necesario realizar una investigación para posible implementación en la Universidad de Ciencias Informáticas, siendo este un estándar alternativo para la movilidad en lugares remotos.

WiMAX presenta varias modalidades, entre ellas podemos encontrar el fijo, portátil, móvil y el vehicular que permitirá mantener conectado el portátil, móvil, PDA o cualquier dispositivo electrónico con capacidad para recibir WiMAX, yendo a una velocidad de 250 Km. por hora. Red de transporte de alta velocidad y capacidad, que une los núcleos de población formando un auténtico sistema nervioso digital.

Es por ello que surge la necesidad de incursionar en los nuevos estándares inalámbricos que van desarrollándose y que nos brindan mayores beneficios. Por lo que **Nuestra situación problemática** es, ¿Cómo implementar una infraestructura de redes inalámbricas de banda ancha mediante la utilización del estándar 802.16?

Siendo el **Objetivo**, definir una Infraestructura para redes inalámbricas de banda ancha que contemple el estándar 802.16 para su implementación en la Universidad de Ciencias Informáticas.

El **Objeto de Investigación** se dirige a la Infraestructura para redes inalámbricas de banda ancha y el **Campo de Acción** a la aplicación del estándar, para el diseño de infraestructura para redes inalámbricas de banda ancha.

Por tal motivo, basado en las necesidades de ancho de banda y en las tendencias actuales, las **tareas desarrolladas** para dar cumplimiento a los objetivos de este Trabajo de Diploma son los siguientes:

- Investigar acerca del estándar WiMAX.
- Investigar acerca de esta tecnología en Cuba y el mundo.
- Investigar acerca de los beneficios, desventajas y los servicios de valor agregados que trae consigo la implementación de esta tecnología.
- Investigar sobre las técnicas de transmisión y modulaciones usadas a nivel físico en este estándar.
- Evaluar las técnicas y tecnologías más usadas en el mundo y en Cuba, atendiendo a las necesidades de nuestra institución.
- Proponer requerimientos tecnológicos y dar una propuesta real para la implementación de la misma en la Universidad.
- Realizar análisis de la red actual en la Universidad de Ciencias Informáticas(UCI) y su proyección futura, teniendo en cuenta el tráfico, cantidad de redes virtuales y características propias en la red de la UCI.
- Elaborar propuesta de implementación como una alternativa para los servicios en la Universidad.

Con este trabajo de diploma se pretende realizar un análisis detallado de este nuevo estándar, por lo que el mismo quedará estructurado en tres capítulos, donde el **Capítulo 1** abarca todo lo referente a la evolución de los estándares inalámbricos, señalando las redes en cuanto a conexión geográficas WPAN, WLAN, WMAN y WWAN, en el **Capítulo 2** se trata todo lo referente al estándar WiMAX y por último el **Capítulo 3** detallará el estudio de la red de la Universidad de las Ciencias Informáticas, así como la información del equipamiento que se propone para implementar la red inalámbrica de banda ancha en nuestra institución, para de esta forma llegar a una propuesta de implementación de este estándar inalámbrico.

IncurSIONAR en esta tecnología tan novedosa no ha sido un camino fácil. Los materiales de referencia que sirvieron de base para la confección de este documento están, en su gran mayoría, en inglés, además de no ser pocas las preguntas sin respuestas que se generan al estudiar un tema de tanta actualidad en el cuál se cuentan en el país con muy pocos entendidos en la materia. Es bueno destacar que en la elaboración de este material algunos términos empleados se mantuvieron en inglés ya que al traducirlos habría provocado que perdieran parte de la esencia de su contenido y en algunos aspectos dando lugar a la duda.

Capítulo 1- “Redes Inalámbricas”

1.1 Evolución de las Redes Inalámbricas.

Una de las tecnologías más prometedoras y discutidas en esta década es la de poder comunicar computadoras mediante tecnología inalámbricas. Las Redes Inalámbricas facilitan la operación en lugares donde la computadora no puede permanecer en un solo lugar. Existen dos amplias categorías de Redes Inalámbricas:

De Larga Distancia.- Utilizadas para transmitir la información en espacios que pueden variar desde una misma ciudad o hasta varios países circunvecinos.

De Corta Distancia.- Principalmente para redes corporativas cuyas oficinas se encuentran en uno o varios edificios que no se encuentran muy alejados entre sí, con velocidades del orden de 280 Kbps hasta los 2 Mbps. [9]

En los últimos años se ha producido un crecimiento espectacular en lo referente al desarrollo y aceptación de las comunicaciones móviles y en concreto de las redes inalámbricas.

La función principal de este tipo de redes es la de proporcionar conectividad y acceso a las tradicionales redes cableadas (Ethernet, Token Ring.), como si de una extensión de éstas últimas se tratara, pero con la flexibilidad y movilidad que ofrecen las comunicaciones inalámbricas.

El boom de Internet se ha expandido en la actualidad a otros mercados en un principio inimaginable como la telefonía celular. Dentro de muy poco tiempo el mismo monto de información que se accesa por una computadora personal se podrá hacer con un teléfono celular u algún otro dispositivo portátil. Para reducir los costos, asegurar la interoperabilidad y promover la adopción general de tecnologías inalámbricas, organizaciones como el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), el Grupo de trabajo de ingeniería de Internet (IETF), Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) están participando en varios grandes proyectos de estandarización.

Por ejemplo, los grupos de trabajo de IEEE están definiendo el modo en que la información se transfiere de un dispositivo a otro (si se utilizan ondas de radio o luz infrarroja, por ejemplo) y cómo y cuándo un medio de transmisión debe utilizarse para las comunicaciones. En el desarrollo de los estándares de interconexión inalámbrica, organizaciones como el IEEE se centran en la administración de energía, el ancho de banda, la seguridad y los aspectos que son únicos a la interconexión inalámbrica, ya que la globalización de las comunicaciones inalámbricas ha permitido el desarrollo de productos que muy pronto brindarán cambios en nuestras actividades. Nuevos y emergentes estándares inalámbricos tales como IEEE 802.11, IEEE 802.15, Bluetooth, HiperLAN/2, HomeRF, IEEE 802.16 y 802.20 en combinación con otras tecnologías no tan nuevas como la telefonía celular aunado con nuevos protocolos como el WAP permitirán la interconexión de las redes actuales e Internet a dispositivos móviles como teléfonos celulares, PDAs, radiolocalizadores (pagers) de dos vías y otros dispositivos portátiles.

Estas tecnologías inalámbricas utilizan técnicas avanzadas de modulación que permiten un gran nivel de seguridad así como resistencia a la interferencia de dispositivos electrónicos y a otros usuarios. Además, la mayoría de los usuarios podrán compartir una banda de frecuencia sin interferencia. Más aún, estas nuevas tecnologías utilizan bandas de frecuencias sin licencia, que permiten, el libre uso de la frecuencia.

En este capítulo vamos a describir cada una de las tecnologías de acceso a Internet en sus diversas categorías WAN, MAN, LAN y una última categoría en redes inalámbricas conocida como PAN (Personal Area Network).

Dentro de la consideración genérica de redes inalámbricas podemos encontrar distintas categorías en función del rango o alcance en que una tecnología presta un servicio:

- PAN *Personal Area Network*: Redes para interconexión de dispositivos personales (PDA's, portátiles...) a muy corto alcance (<10 metros), baja velocidad (<1 Mbps) y con necesidad de visión sin obstáculos.
- LAN *Local Area Network*: Redes para interconexión corporativa (oficinas, escuelas...) con cobertura de entorno a 100 metros y velocidad entre 2 y 54 Mbps.
- MAN *Metropolitan Area Network*: Redes usadas típicamente para interconexión de distintas oficinas de una misma empresa en el radio de una ciudad (aprox. 20 metros), cubriendo unas velocidades de hasta 150 Mbps.
- WAN *Wide Area Network*: Colección de redes conectadas a través de una subred con un área de cobertura que puede oscilar entre los 100 y los 1000 Kilómetros y unas velocidades entre 10 y 384 Kbps. [17]

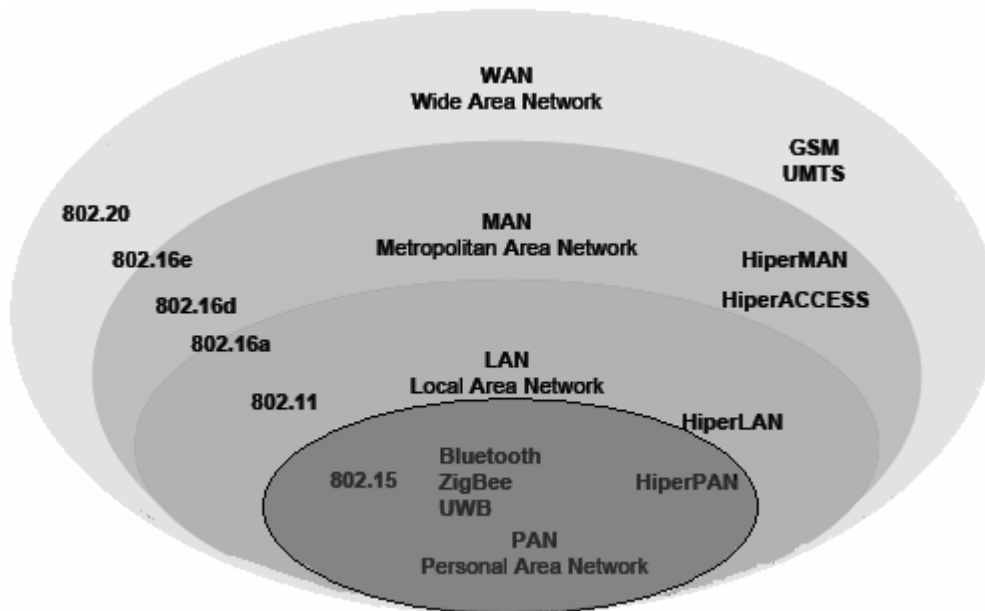


Figura 1: Muestra la evolución de las redes inalámbricas y sus estándares.

1.1.1 WPAN.

1.1.1.1 Definición de una Red de Área Personal Inalámbrica

La característica principal de una Red de Área Personal Inalámbrica es que enfocan sus sistemas de comunicaciones a un área típica de 10 metros a la redonda que envuelve a una persona o a algún dispositivo ya sea que esté en movimiento o no. A diferencia de las redes de área local (WLAN), una conexión hecha a través de una WPAN involucra una baja infraestructura o conexiones directas hacia el mundo exterior. Este tipo de tecnología también procura hacer un uso eficiente de recursos, por lo que se han diseñado protocolos simples y lo más óptimos para cada necesidad de comunicación y aplicación.

Las tecnologías WPAN permiten a los usuarios establecer comunicaciones inalámbricas ad hoc para dispositivos (como PDA, teléfonos celulares y equipos portátiles) que se utilizan dentro de un espacio operativo personal (POS). Un POS es el espacio que rodea a una persona, hasta una distancia de 10 metros. Interconectar dispositivos personales es diferente a conectar dispositivos computacionales.

Las soluciones típicas de conexión para dispositivos computacionales por ejemplo, una conexión WLAN para una computadora portátil (*notebook*) asocian al usuario del dispositivo con servicios de datos disponibles. Dicha situación es contrastante con la naturaleza personal e íntima de una conexión inalámbrica para los dispositivos asociados a usuarios particulares. El usuario es relacionado con los dispositivos electrónicos de su posesión o en su vecindad, en vez de a un lugar geométrico en particular o en alguna localidad de la red. El término red de área personal (PAN) se concibió para describir estos diferentes tipos de conexión en red. Una WPAN puede verse como una burbuja personal de comunicación alrededor de una persona. Dentro de dicha burbuja, que se mueve en la misma forma en que lo hace una persona, los dispositivos personales se pueden conectar entre ellos.

El esfuerzo del 802.15 WPAN™ se orienta al desarrollo de estándares para PAN (“*Personal Area Networks*”) o redes inalámbricas de corta distancia. Estas WPANs constituyen un esquema de red de bajo coste que permite conectar entre sí equipos informáticos, de comunicación portátil y móvil, como ordenadores, PDAs, periféricos, impresoras, ratones, micrófonos, auriculares, lectores de código de

barras, sensores, displays, localizadores, teléfonos móviles, pagers, y electrónica de consumo; permitiendo a estos dispositivos comunicarse e interoperar entre ellos sin interferencias.

Dentro de IEEE 802.15 encontramos cuatro grupos de trabajo cada uno de ellos con características e intereses específicos que generan estándares que satisfacen necesidades específicas de comunicación tales como:

- El grupo de trabajo **802.15.1** ha realizado un estándar basado en las especificaciones de la fundación Bluetooth. Este grupo de trabajo publicó el estándar IEEE 802.15.1 el 14 junio de 2002, compatible totalmente con la tecnología Bluetooth v1.1. En este estándar se definen las especificaciones de la capa física y MAC (medium access control) para las redes WPANs (Wireless PAN). Bluetooth es una tecnología inalámbrica que permite comunicaciones entre computadoras portátiles, PDAs (Personal Digital Assistants) y tienen QoS apropiado para aplicaciones de voz. Bluetooth SIG (Special Interest Group) esta formado por un grupo de compañías de diferentes áreas de la industria (e.g. telecomunicaciones, redes, computación) entre las que se encuentran 3Com, Ericsson, IBM, Intel, Agere, Microsoft, Motorola, Nokia, Toshiba, así como más de 100 asociados y otras compañías promotoras de la tecnología. El nuevo estándar permitirá una mayor validez y soporte en el mercado de las especificaciones de Bluetooth, además es un recurso adicional para aquellos que implementen dispositivos basados en esta tecnología
- El grupo de trabajo **802.15.2** que se basó en el desarrollando de un modelo de coexistencia entre las WLAN y WPAN, así como de los aparatos que las envuelven.
- El grupo de trabajo **802.15.3**. Está trabajando para establecer los estatus y publicar un estándar nuevo (publicado en junio de 2003) de alta velocidad (20 Mbits/s o mayores) para WPANs. Además de ofrecer una alta velocidad de transmisión, este nuevo estándar se está diseñando para consumir poca energía y ofrecer soluciones a bajos costos así como aplicaciones multimedia que requieren altos niveles de QoS.

- El grupo de trabajo T4 para el desarrollo IEEE **802.15.4**, investiga y desarrolla soluciones que requieren una baja transmisión de datos y con ello una duración en las baterías de meses e incluso de años así como una complejidad relativamente baja. Dicho grupo de trabajo ha publicado el estándar que lleva su nombre; IEEE 802.15.4.

1.1.2 WLAN

Las redes inalámbricas de área local se diferencian de las redes de área local tradicionales en que los terminales no están interconectados físicamente mediante un cable. El soporte físico del bus ha pasado de ser un cable a ir a través de las ondas. [18]

En sus inicios, las aplicaciones de las redes inalámbricas fueron confinadas a industrias y grandes almacenes. Hoy en día, las redes WLANs (*Wireless Local Area Network*, o red de área local inalámbrica) es un tipo de red de área local (LAN) que utiliza ondas de radio de alta frecuencia en lugar de cables para comunicar y transmitir datos y las cuales hoy en día han encontrado una gran variedad de escenarios de aplicación, tanto en **aplicaciones privadas**: escenario residencial, grandes redes corporativas, SoHo, PYMES, campus universitarios, entornos hospitalarios; como en **aplicaciones públicas**: tiendas, cafés, hoteles, aeropuertos, entornos rurales con carencias de otras tecnologías, cobertura de “*Hot-spots*”, acceso a Internet desde medios públicos de transporte y llegando incluso a conceptos como “hot cities”. Las WLANs típicamente consisten de computadoras portátiles [o de escritorio] que se conectan a dispositivos fijos llamados “puntos de acceso” (access points) vía señales de radiofrecuencia.



Figura 2: Muestra unos puntos de acceso y varios dispositivos conectados a el.

1.1.2.1 Entre los componentes que permiten configurar una WLAN podemos mencionar los siguientes:

- Terminales de Usuario o Clientes, dotados de una Tarjeta Interfaz de Red (NIC, “*Network Interface Card*”) que incluye un transceptor radio y la antena.
- Puntos de Acceso (“*Access Points*” o APs), que permiten enviar la información de la red cableada, por ejemplo Ethernet, hacia los Clientes por inalámbrica utilizando radiofrecuencia.
- Controlador de puntos de acceso necesario para despliegues que requieren varios APs por razones de cobertura y/o tráfico. Este último suele incorporar funcionalidad de AP, de cliente VPN (“*Virtual Private Networks*”), de cliente RADIUS (“*Remote Authentication Dial In User Service*”) para labores de autenticar y autorizar con un servidor AAA apropiado (Autenticación, Autorización y Accounting), de routing y de firewall.

La existencia en el mercado de dichos dispositivos capaces de interconectarse de forma barata y sencilla ha dado origen a una gran variedad de aplicaciones que sobrepasan ampliamente el ámbito de utilización en entornos empresariales para el que nacieron las WLAN.

1.1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTÁNDARES WLAN

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

Entre los principales estándares se encuentran:

- **IEEE 802.11:** Evolucionando hacia los de transmisión y los de extensión del mismo.
 - **Transmisión**
 - **IEEE 802.11:** Especificación para 1-2 Mbps en la banda de los 2.4 GHz, usando salto de frecuencias (FHSS) o secuencia directa (DSSS).
 - **IEEE 802.11a:** El estándar de alta velocidad que soporta velocidades de hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz. Extensión de 802.11 para proporcionar 54 Mbps usando OFDM
 - **IEEE 802.11b:** El estándar dominante de WLAN (conocido también como Wi-Fi) que soporta velocidades de hasta 11 Mbps en la banda de 2.4 GHz. Extensión de 802.11 para proporcionar 11 Mbps usando DSSS.
 - **IEEE 802.11g:** Extensión de 802.11 para proporcionar 20-54 Mbps usando DSSS y OFDM. Es compatible hacia atrás con 802.11b. Tiene mayor alcance y menor consumo de potencia que 802.11a.

- **Extensión**
 - **IEEE 802.11n:** Alto rendimiento de procesamiento (High Throughput)
 - **IEEE 802.11k:** Medida de radio del recurso de LANs inalámbricas (Radio Resource Measurement of Wireless LANs)
 - **IEEE 802.11m:** Igualdad del mantenimiento (Maintenance PAR)
 - **IEEE 802.11p:** Acceso inalámbrico en el ambiente de vehículos (Wireless Access in the Vehicular Environment)
 - **IEEE 802.11r:** El vagar rápido y rápido Handoff. Fast Roaming Fast Handoff
 - **IEEE 802.11s:** Acoplamiento de red malla (Mesh Networking)
 - **IEEE 802.11T:** Predicción del funcionamiento de la red inalámbrica (Wireless Performance Prediction)
 - **IEEE 802.11u:** Trabajo interno con las redes internas inalámbricas (Wireless Interworking With External Networks)
 - **IEEE 802.11v:** Administración de redes inalámbricas (Wireless Network Management)
 - **IEEE 802.11w:** Administración de marcos protegidos (Protected Management Frames)
 - **IEEE 802.11y:** La contención basada en un grupo de estudio del protocolo (Contention Based Protocol Study Group) [12]

- **HiperLAN2:** Estándar que compite con IEEE 802.11a al soportar velocidades de hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz.
- **HomeRF:** Estándar que compite con el IEEE 802.11b que soporta velocidades de hasta 10 Mbps en la banda de 2.4 GHz.

Estándar	Velocidad máxima	Interface de aire	Ancho de banda de canal	Frecuencia	Disponibilidad
802.11b	11 Mbps	DSSS	25 MHz	2.4 GHz	Ahora
802.11a	54 Mbps	OFDM	25 MHz	5.0 GHz	Ahora
802.11g	54 Mbps	OFDM/DSSS	25 MHz	2.4 GHz	Finales 2002
HomeRF 2	10 Mbps	FHSS	5 MHz	2.4 GHz	Ahora
HiperLAN 2	54 Mbps	OFDM	25 MHz	5.0 GHz	2003
5-UP	108 Mbps	OFDM	50 MHz	5.0 GHz	2003

Tabla 1 Principales estándares WLAN

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

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

Para reducir errores, el 802.11a y el 802.11b automáticamente reducen la velocidad de información de la capa física. Así por ejemplo, el 802.11b tiene tres velocidades de información (5.5, 2 y 1 Mbps) y el 802.11a tiene 7 (48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6 Mbps). La velocidad máxima permisible [ver tabla 1] sólo es disponible en un ambiente libre de interferencia, el cual logran al cambiar de canal en busca de una frecuencia más limpia, ya que los equipos de redes inalámbricas si se les configura pueden realizar esta función.

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

Sin bien, la banda de 5 GHz tiene muchas ventajas, también tiene sus problemas. Las diferentes frecuencias que utilizan ambos sistemas significan que los productos basados en 802.11a son no interoperables con los 802.11b. Esto significa que aunque no se interfieran entre sí, por estar en diferentes bandas de frecuencias, los dispositivos no pueden comunicarse entre ellos. Para evitar esto, la IEEE desarrolló un nuevo estándar conocido como 802.11g, el cual extenderá la velocidad y el intervalo de frecuencias del 802.11b para así hacerlo totalmente compatible con los sistemas anteriores. Sin embargo, no será más rápido que el estándar 802.11a y según políticas de los fabricantes han retardado el estándar 802.11g y se espera que sea ratificado hasta finales del 2002. La demora en la ratificación del 802.11g ha obligado a muchos fabricantes irse directamente por el 802.11a donde existe una gran variedad de fabricantes de chips [circuitos integrados] tales como Atheros, National Semiconductor, Resonext, Envara, inclusive Cisco Systems quien adquirió a Radiata, la primer compañía en desarrollar un prototipo en 802.11a en el 2000.

Como otro intento de permitir la interoperabilidad entre los dispositivos de bajas y altas velocidades, la compañía Atheros Communications, propuso unas mejoras a los estándares de WLANs de la IEEE y la ETSI. Este nuevo estándar conocido como 5-UP (5 GHz Unified Protocol) permitirá la comunicación entre dispositivos mediante un protocolo unificado a velocidades de hasta 108 Mbps.

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

Como se había visto anteriormente, la velocidad real en las WLANs está muy abajo que la especificada por las normas, ya que esta depende de diversos factores tales como el ambiente de interferencia, la distancia o área de cobertura, la potencia de transmisión, el tipo de modulación empleada, etc. La mayoría de las redes 802.11b pueden alcanzar oficialmente distancias hasta 100 metros en interiores. Con una mayor potencia se puede extender esa longitud, aunque en interiores al limitarse la potencia de transmisión, paredes y otros objetos pueden interferir la señal.

En la realidad una WLAN en ambientes exteriores en comunicación punto a punto pueden alcanzar varios kilómetros, mientras exista línea de vista y libre de interferencia. Bajo este esquema se utiliza el método conocido como DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) para transmitir datos entre los dos puntos. La comunicación se establece conectando en un lado un equipo conocido como Wireless Bridge [puente inalámbrico] y en el otro extremo un Access Point [punto de acceso], ambos equipos conectados directamente a una antena de espectro disperso.

La salida de estos equipos hacia la red local viene en ETHERNET con interface RJ45 por lo que se puede conectar directamente un concentrador [hub] o un conmutador de paquetes [switch], en donde se conectarán las computadoras de nuestra red.

HomeRF, otra tecnología más de WLANs

HomeRF es otra organización que ha desarrollado sus propios estándares para entrar de lleno al mundo de las redes inalámbricas. HomeRF ha sido desarrollado por el grupo de trabajo Home Radio Frequency, el cual está conformado por más de 50 compañías líderes en el ámbito mundial en las áreas de redes, periféricos, comunicaciones, software, semiconductores, etc. Este grupo fue fundado en marzo de 1988 para promover de manera masiva dispositivos de voz, datos y video alrededor de los hogares de manera inalámbrica. En el otoño del 2001, se anunció la formación un grupo de trabajo europeo de HomeRF enfocado hacia el mercado europeo. HomeRF es la tecnología que compite directamente con los productos de la IEEE 802.11b y Bluetooth en la banda de 2.4 GHz. La velocidad máxima de HomeRF es 10 Mbps, ideal para las aplicaciones caseras, aunque se manejan otras velocidades de 5, 1.6 y 0.8 Mbps. Según el grupo de trabajo, HomeRF es más, ofrece más seguridad, los dispositivos consumen menos potencia que los productos de las tecnologías contrincantes, además de permitir aplicaciones para telefonía y video. [19]

La tecnología HomeRF, basada en el protocolo de acceso compartido (Shared Wireless Access Protocol - SWAP), encamina sus pasos hacia la conectividad sin cables dentro del hogar. Los principales veladores de estos sistemas, se agrupan en torno al Consorcio que lleva su mismo nombre HomeRF, teniendo a Proxim (una filial de Intel) como el miembro que más empeño esta realizando en la implantación de dicho estándar. Además de la sombra de Intel, Compaq es otra de las firmas relevantes que apoya el desarrollo de producto HomeRF. El soporte a esta tecnología se materializa en que actualmente ambas significativas firmas poseen cada una de ellas un producto bajo esta novedosa configuración. Al igual que WECA o Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group), el HomeRF Working Group (HRFWG) es un grupo compañías encargadas de proporcionar y establecer un cierto orden en este océano tecnológico, obligando que los productos fabricados por las empresas integrantes de este grupo tengan una buena interoperatividad. Por si toda esta competitividad no fuera suficiente, el

Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI) es otra de las reconocidas organizaciones de estandarización, culpable, entre otros, de haber desarrollado el estándar GSM para la telefonía celular digital. También son responsables de haber llevado a cabo durante los años 1991 y 1996 el proyecto HyperLAN, en el cual su objetivo primordial este conseguir una tasa de transferencia mayor que la ofrecida por la especificación IEEE 802.11. Según los estudios realizados, HyperLAN incluía cuatro estándares diferentes, de los cuales el denominado Tipo 1, es el que verdaderamente se ajusta a las necesidades futuras de las WLAN, estimándose una velocidad de transmisión de 23,5 Mbps, notablemente superior a los 1 ó 2 Mbps de la normativa IEEE 802.11b. Actualmente, el ETSI dispone de la especificación LANHiper2 que mejora notablemente las características de sus antecesoras, ofreciendo una mayor velocidad de transmisión en la capa física de 54 Mbps para lo cual emplea el método de modulación OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing) y ofrece soporte QoS. Bajo esta especificación se ha formado un grupo de reconocidas firmas el HiperLAN2 Global Forum (H2GF), con la intención de sacar al mercado productos basados en ese competitivo estándar.

1.1.3 WMAN

La popularización de las redes de área local inalámbricas y su posible interconexión ha dado pie a que potencialmente se puedan crear redes inalámbricas, incluso móviles, de gran ancho de banda en amplias zonas urbanas dando lugar a redes metropolitanas. Una red de área metropolitana es la suma de muchas redes de área local interconectadas.

Las tecnologías WMAN permiten a los usuarios establecer conexiones inalámbricas entre varias ubicaciones dentro de un área metropolitana (por ejemplo, entre varios edificios de oficinas de una ciudad o en un campus universitario), sin el alto coste que supone la instalación de cables de fibra o cobre y el alquiler de las líneas. Además, puede servir como copia de seguridad para las redes con cable, en caso de que las líneas alquiladas principales para las redes con cable no estén disponibles, utiliza ondas de radio o luz infrarroja para transmitir los datos. Las redes de acceso inalámbrico de banda ancha, que proporcionan a los usuarios acceso de alta velocidad a Internet, tienen cada vez mayor demanda. Aunque se están utilizando diferentes tecnologías, como el servicio de distribución multipunto de canal múltiple (MMDS) y los servicios de distribución multipuntos locales (LMDS). [5]

Dentro de las Redes Metropolitanas se encuentra en estándar IEEE 802.16 (WiMax) el cual usa dos bandas de frecuencia 10-66 Ghz y la 2-11 Ghz, ambas licenciadas, estas son redes de gran ancho de banda para realizar conexiones punto-multipunto, estandarización de una tecnología llamada LMDS (Local Multipoint Distribution System), esfuerzo por estandarizar también MMDS (2,3 Ghz).

IEEE 802.16, es una especificación para las redes inalámbricas fijas de banda ancha de acceso metropolitano (MAN) que utilizan una arquitectura punto a multipunto. El estándar define el uso del ancho de banda entre las gamas de frecuencia con licencia 10GHz y 66GHz y sub 11GHz. 802.16 admite tasas de bits muy elevadas al cargar y descargar desde una estación base a una distancia de 50 km/30 millas, gestionando estos servicios como VoIP.

1.1.4 WWAN

Las redes del tipo WAN (Wide Area Network) son las redes inalámbricas de mayor alcance, así como las más utilizadas hoy día en la infraestructura de telefonía móvil, aunque también disponen de la capacidad de transmitir datos. Los servicios de próxima generación de telefonía móvil basados en las diversas tecnologías 3G mejorarán significativamente las comunicaciones WWAN.

Esta tecnología permite a los usuarios establecer conexiones inalámbricas a través de redes remotas públicas o privadas. Estas conexiones pueden mantenerse a través de áreas geográficas extensas, como ciudades o países, mediante el uso de antenas en varias ubicaciones o sistemas satélite que mantienen los proveedores de servicios inalámbricos. Las tecnologías WWAN actuales se conocen como sistemas de segunda generación (2G). Entre los sistemas 2G principales se incluyen Global System for Mobile Communications (GSM), Cellular Digital Packet Data (CDPD) y Code Division Multiple Access (CDMA). Los esfuerzos van encaminados a la transición desde redes 2G, algunas de las cuales tienen capacidades limitadas de movilidad y son incompatibles entre sí, a tecnologías de tercera generación (3G) que seguirían un estándar global y proporcionarían capacidades de movilidad internacional. La UIT está promoviendo activamente el desarrollo de una norma global para 3G. [5]

El 11 de diciembre de 2002, el IEEE Standard Board aprobó el establecimiento del grupo de trabajo IEEE 802.20 para el desarrollo de este tipo de redes.

La misión de IEEE 802.20 es desarrollar la especificación de las capas PHY (*“physical”* o física), control de acceso al medio MAC y la capa de control de vínculo lógico (LLC), de una interfaz con medio de propagación aire, basado en conmutación de paquetes y optimizado para el transporte IP que:

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

En los últimos años se ha popularizado el uso de nuevas tecnologías inalámbricas en redes, tanto para el acceso a usuarios finales como para segmentos de enlace, ofreciendo nuevas opciones que sustituyen los medios físicos tradicionales. Las mismas no requieren infraestructura física para dar conectividad al usuario, lo que representa una alternativa de rápida construcción, puesta en marcha y uso.

1.2 Topologías inalámbricas

Las redes inalámbricas han sido ampliamente utilizadas en años recientes para proveer acceso a Internet de alta velocidad a los usuarios. Las aplicaciones de las redes futuras de uso comercial, científico o militar necesitarán la utilización de diferentes tecnologías integradas para direccionar los requerimientos de escenarios específicos y de diferentes aplicaciones.

En las redes inalámbricas podemos encontrar distintos tipos de topologías, las de infraestructura, para las cuales se utilizan distintos términos, como administradas y no administradas, alojadas y par a par, las "ad hoc", las mallas, las de punto a punto y las de punto a multipunto.

1.2.1 Topología de infraestructura

Una topología de infraestructura es aquella que extiende una red con cable existente para incorporar dispositivos inalámbricos mediante una estación base, denominada punto de acceso. El punto de acceso une la red inalámbrica y la red con cable, y sirve de controlador central en estas redes, además de coordinar la transmisión y recepción de múltiples dispositivos inalámbricos dentro de una extensión específica; la extensión y el número de dispositivos dependen del estándar de conexión inalámbrica que se utilice y del producto. En la modalidad de infraestructura, puede haber varios puntos de acceso para dar cobertura a una zona grande o un único punto de acceso para una zona pequeña, ya sea un hogar o un edificio pequeño. [7]

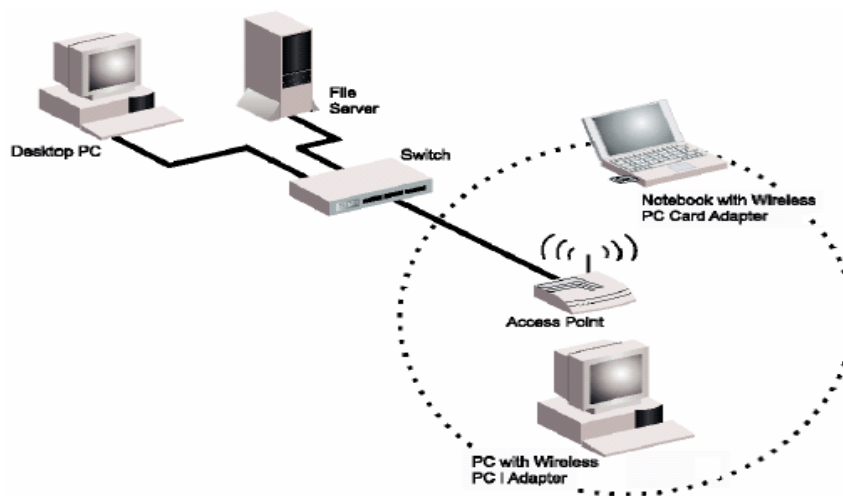


Figura 3: Red de la modalidad de infraestructura.

Las redes de infraestructura requieren de una mayor capacidad de transmisión debido a la comunicación multi-saltos, además ayudan a reducir las transmisiones inalámbricas, resultando menos interferencia y mayor capacidad, pero una dificultad de instalar redes inalámbricas de infraestructura es evitar las zonas muertas, es decir, las áreas sin cobertura, además, como todos los usuarios se conectan directamente a un punto de acceso y todos los paquetes son enviados por el mismo, ocasionan que la capacidad de la red y el área de cobertura sea limitada.

1.2.2 Topología Ad hoc.

En una topología ad hoc, los propios dispositivos inalámbricos crean la red y no existe ningún controlador central ni puntos de acceso. Cada dispositivo se comunica directamente con los demás dispositivos de la red, en lugar de pasar por un controlador central. Esta topología es práctica en lugares en los que pueden reunirse pequeños grupos de equipos que no necesitan acceso a otra red. Ejemplos de entornos en los que podrían utilizarse redes inalámbricas ad hoc serían un domicilio sin red con cable o una sala de conferencias donde los equipos se reúnen con regularidad para intercambiar ideas. [7]



Figura 4: Red ad hoc.

Por otro lado, una red ad hoc es una red distribuida en la cual los dispositivos establecen comunicaciones “par-a-par”. Las estaciones o nodos que forman una red Ad-Hoc pueden ser fijos o móviles, en el caso de redes ad hoc donde los nodos tienen movilidad se denominan redes móviles ad hoc (Manets). Por lo anterior existe la posibilidad de que los nodos no tengan comunicación directa entre ellos. Por lo tanto los nodos móviles deben ser capaces de comportarse como nodos enrutadores para poder establecer comunicación multi-saltos dentro de la Manet.

1.2.3 Redes mallas

Las redes inalámbricas de tipo malla se componen por dispositivos llamados Mesh Points (MPs) que pueden ser puntos de acceso o enrutadores de acceso (MAPs), estaciones móviles (MSTAs) con extensiones de funcionalidad distribuidos en un área geográfica y operando en modo ad hoc.

La implementación de la red inalámbrica de tipo malla introduce nuevos retos como los mecanismos para la conformación de topologías de mallas, protocolos de enrutamiento, balanceo de carga, mecanismos de seguridad, calidad de servicios, entre otros.

Las redes en malla ofrecen varias ventajas únicas en flexibilidad y redundancia. Los sistemas de doble, triple y cuádruple radios permiten extender la red inalámbrica de forma indefinida sin pérdidas de prestaciones, dedicando una de las radios para la comunicación con otros nodos y otra de las radios para servicio de conexión a la red inalámbrica de usuarios locales.

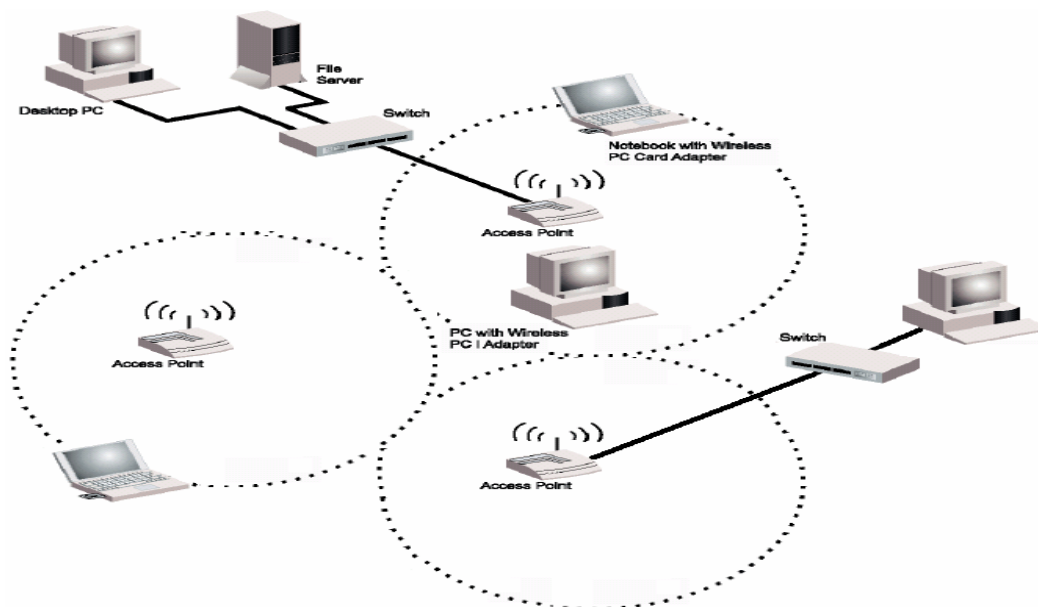


Figura 5: Estructura de una red malla.

1.2.4 Topología Punto a Punto.

Una red punto a punto es el modelo más simple de red inalámbrica, compuesta por dos radios y dos antenas de alta ganancia en comunicación directa entre ambas. Este tipo de enlaces se utilizan habitualmente conexiones dedicadas de alto rendimiento o enlaces de interconexión de alta capacidad. Este tipo de enlaces son fáciles de instalar, pero difíciles de crear con ellos una red grande. Es habitual su uso para enlaces punto a punto en cliente finales o para realizar el backhaul de redes.



Figura 6: Estructura de una red punto a punto.

1.2.5 Topología punto a multipunto.

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

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



Figura 7: Estructura de una red punto a multipunto.

Conclusiones del capítulo.

Dentro del enorme horizonte de las comunicaciones inalámbricas y la computación móvil, las redes inalámbricas van ganando adeptos como una tecnología madura y robusta que permite resolver varios de los inconvenientes del uso del cable como medio físico de enlace en las comunicaciones, muchas de ellas de vital importancia en el trabajo cotidiano. El presente capítulo introduce algunos conceptos relacionados con las redes inalámbricas, las cuales otorgan la libertad necesaria para trabajar prácticamente desde cualquier punto del planeta. No importa que el sistema inalámbrico esté accediendo al correo electrónico desde un aeropuerto o recibiendo instrucciones desde el despacho para realizar alguna tarea, lo realmente relevante de esta tecnología es la extremada efectividad que se logra al poder mantener una conexión de datos con una red desde cualquier remoto sitio del globo mundial y dentro de las cuales podemos encontrar las redes de área personal (WPAN) en la que podemos encontrar cuatro grupo de trabajos como el 802.15.1, 802.15.2, 802.15.3, 802.15.4, los cuales desarrollan estándares con características peculiares, las locales inalámbricas (WLAN) dentro de las que podemos encontrar diferentes estándares como 802.11b, 802.11a, 802.11g, HomeRF2, HiperLAN2, 5-UP, las redes de área metropolitanas (WMAN) en las cuales podemos encontrar el estándar 802.16 en todas sus variantes y por último las redes de área extensas (WWAN) dentro de las que se encuentra el estándar 802.20. Destacando características importantes de cada una de estas redes, así como los estándares que se encuentran relacionados a cada una de ellas. Como muestra del complejo pero apasionante campo de las redes sin cables, el mundo de los denominados datos inalámbricos incluyen enlaces fijos de microondas, redes LAN inalámbricas, datos sobre redes celulares, redes WAN inalámbricas, enlaces mediante satélites, redes de transmisión digital, redes con paginación de una y dos vías, rayos infrarrojos difusos, comunicaciones basadas en láser, Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y mucho más. Como se puede ver, una variada y extensa gama de tecnologías, muchas de las cuales son utilizadas con suma profusión por millones de usuarios en el transcurrir del día a día, sin saber cómo ni por qué la información ha llegado hasta ellos. Tampoco hay que olvidar los numerosos beneficios que aporta la utilización de los dispositivos inalámbricos, ya que gracias a ellos se logran realizar conexiones imposibles para otro tipo de medio, conexiones a un menor costo en muchos escenarios, conexiones más rápidas, redes que son más fáciles y rápidas de instalar y conexiones de datos para usuarios móviles. Como vemos, el panorama de las redes inalámbricas es casi tan extenso o más que el de las propias redes convencionales, a las que estamos más habituados.

Capítulo 2 - “WiMAX”.

2.1 Introducción al Estándar 802.16

El desarrollo de las telecomunicaciones se está orientando en los últimos años, a un uso intensivo de sistemas de banda ancha con altos niveles de calidad. Esto se viene haciendo mediante el desarrollo de tecnologías de alta capacidad de transmisión, entre los cuales podemos destacar el xDSL, la fibra óptica o el cable coaxial hasta el domicilio del abonado. Los cableados anteriormente indicados por lo general tienen alto costo de instalación, representando además dificultades en su construcción, instalación y puesta en servicio. Adicionalmente a esto, el desarrollo de estos medios de transmisión a zonas rurales y de preferente interés social, representan inversiones de muy difícil recuperación por las características propias de la demanda. Frente a esta situación y a otras limitaciones tecnológicas y topográficas se ha buscado alternativas inalámbricas que permitan un despliegue rápido de la infraestructura, mayor predictibilidad de la inversión hacia los lugares donde se instalan, así como menores costos de operación y mantenimiento. Dentro de este entorno es que se desarrolla el estándar inalámbrico IEEE 802.16 nombre que el IEEE asigna a redes con radios de acción de hasta 50 kilómetros. Esta tecnología funciona de forma muy parecida a WiFi, pero con tres ventajas básicas: mayor distancia, más usuarios y más ancho de banda, facilitando la creación de redes de área metropolitana (MAN). En la actualidad el estándar IEEE 802.16, conocido comercialmente como WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), ha tenido una gran aceptación en el mundo entero, ya que un gran número de países han decidido implementar este estándar por sus características. Su proliferación, estandarización e implantación en las redes inalámbricas, es una realidad por las ventajas y beneficios que presenta. Las instituciones quieren, cada vez más una red de comunicación que proporcione transferencias a grandes velocidades no sólo para datos, sino para vídeo y voz.

En nuestro país actualmente no hay implementada ninguna red con la tecnología WiMAX, pero se esta realizando un estudio para futura implementación tanto en zonas rurales de nuestro país, como en la Universidad de Ciencias Informáticas.

WIMAX se perfila como una estupenda oportunidad para ampliar los servicios de telecomunicaciones a nivel gubernamental, empresarial e institucional. Una universidad podrá proporcionar acceso a la red en todo su campus con una sola antena, a la suficiente altura y ubicación. Los gobiernos pueden respaldar los actuales esquemas de comunicación de datos por medios cableados, usando celdas WIMAX ubicadas de manera estratégica en zonas de acceso controlado. En el ámbito social, la combinación de WiFi, WIMAX y la telefonía por IP (VoIP2) permitirá el despliegue de más líneas de telecomunicaciones hacia zonas apartadas, con ancho de banda suficiente para la integración de servicios multimedia: voz, imagen y datos.

El estándar 802.16. WiMAX, es un estándar que nace para definir la red metropolitana de banda ancha inalámbrica (WMAN) y se refería a enlaces fijos de radio con visión directa (LoS) entre transmisor y receptor, pensada para cubrir la "última milla", utilizando eficientemente varias frecuencias dentro de la banda de 10 a 66 GHz.

El estándar IEEE 802.16 hace referencia a un sistema BWA (Broadband Wireless Access) de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance, escalable y que permite trabajar en bandas del espectro tanto "licenciado" como "no licenciado", servirá para llevar Internet a zonas que no la tienen. El servicio, tanto móvil como fijo, se proporciona empleando antenas sectoriales tradicionales o bien antenas adaptativas con modulaciones flexibles que permiten intercambiar ancho de banda por alcance.

Un aspecto importante de este estándar es que define un nivel MAC (Media Access Layer) que soporta múltiples enlaces físicos (PHY). Esto es esencial para que los fabricantes de equipos puedan diferenciar sus productos y ofrecer soluciones adaptadas a diferentes entornos de uso.

El estándar IEEE 802.16 se inspira en la estandarización de un producto comercial de Intel y Fujitsu. Hoy, más de 300 compañías participan en él, incluyendo algunos operadores y varios de los principales OEM: Alcatel, Ericsson, Lucent, Motorola, Nortel y Siemens, para nombrar solo algunos.

WIMAX es un sistema basado en el estándar IEEE 802.16 que permite la conexión inalámbrica de banda ancha teniendo una amplia área de cobertura. Existen dos variantes prácticas de este estándar; la IEEE

802.16d (IEEE 802.16-2004) y la IEEE 802.16e. Donde la primera es definida para sistemas inalámbricos fijos. Por ejemplo, WIMAX se constituye como alternativa a ser el Backbone (enlaces principales) para Redes de Distribución Wi-Fi y la segunda para acceso a móviles.

WIMAX ofrece enlaces como “backhaul” (punto a punto) de hasta 50 Km con una capacidad de 72 Mbps como enlace punto a punto con línea de vista (LOS) y ofrece rangos de no línea de vista (NLOS) de hasta 7 Km para una distribución punto multipunto.

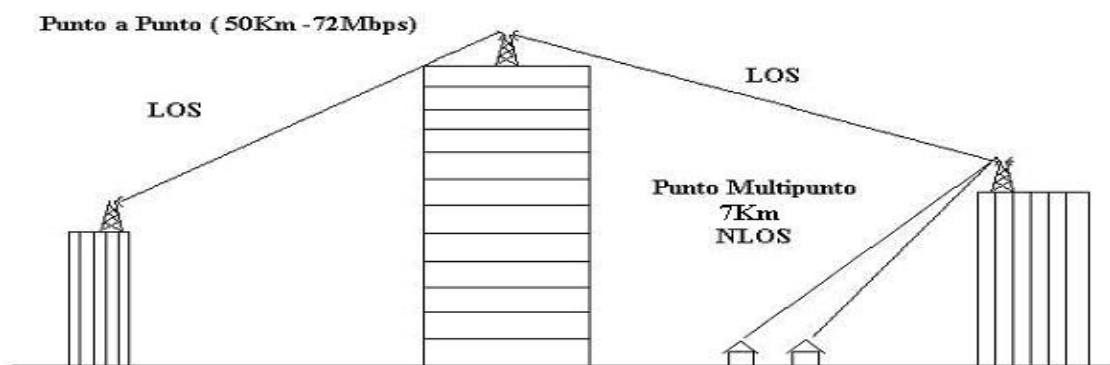


Figura 8: Gráfico que muestra un esquema de propagación con LOS y NLOS.

Actualmente WIMAX esta siendo desarrollado y promovido por el grupo de la industria WIMAX Forum, que es una organización conformada por alrededor de 250 industrias entre las que se encuentran fabricantes de chips, equipos de comunicaciones y prestadores de servicios. Su función es promover y certificar la compatibilidad e interoperatividad entre distintos equipos que utilizan esta tecnología.

2.1.1 Beneficios que se obtendrían al utilizar WiMAX

- Reducción del Coste y del Riesgo de Inversión
 - Múltiples fuentes/suministradores con garantía de interoperabilidad (WiMAX Certified™)
- Escalabilidad de equipamiento y capacidad
 - Canalizaciones flexibles:
 - Acomodación del espectro disponible (en bandas licenciadas y no licenciadas).
 - Incorporación de nuevos sectores para optimizar la capacidad por celda, permitiendo adaptarse al número de usuarios reales en cada momento.
 - Adecuación del protocolo MAC a un funcionamiento eficaz para cualquier número de abonados (desde uno hasta varias centenas).
 - Cobertura
 - Técnicas avanzadas (mesh, beam-forming, MIMO) para asegurar un funcionamiento correcto en condiciones NLOS
 - Su gran ganancia de sistema le permite solventar a mayores distancias los obstáculos típicos (vegetación, paredes, etc.)
- Calidad de Servicio
 - Capa MAC con TDMA dinámico (Grant/Request) para soportar eficazmente servicios sensibles al retardo, tales como voz y video.
 - Niveles de servicio diferenciados mediante asignación de ancho de banda bajo demanda: nx64, E1 para empresas, best effort para entornos residenciales.
- Interconexión de Puntos de Acceso Wi-Fi
 - WiMAX permite la interconectividad de los puntos de acceso de las zonas WiFi hacia la red troncal preservando sus características (bit rate, etc.).

2.1.2 Características de WiMAX

- Más alta productividad a rangos más distantes (hasta 50 km).
 - Mejor bits/segundo/HZ en distancias largas.
- Sistema escalable.
 - Fácil adición de canales maximiza las capacidades de las células.
 - Anchos de banda flexibles permiten usar espectros licenciados y exentos de licencia.
- Cobertura
 - Soporte de mallas basadas en estándares y antenas inteligentes.
 - Modulación adaptativa permite sacrificar ancho de banda a cambio de mayor rango de alcance.
- QoS (Quality of Service)
 - Grant/Request MAC permite vídeo y voz.
 - Servicios de nivel diferenciados: E1/T1 para negocios, mejor esfuerzo para uso doméstico.
- Coste y riesgo de investigación
 - El equipamiento interoperable permite a los operadores comprar equipamiento de más de un vendedor.
 - WiMAX-Certified

- Otra característica de WiMAX es que soporta las llamadas antenas inteligentes (smart antenas),

2.2 Variantes del estándar IEEE 802.16

A día de hoy, debemos considerar básicamente dos estándares de la familia: IEEE 802.16-2004(d) para “WiMAX Fijo” y el recientemente aprobado IEEE 802.16e para “WiMAX Móvil”. A continuación, mostraremos la progresión de este estándar.

2.2.1 Variante 802.16

La primera versión del estándar fue completada en el 2001. Esta versión de WIMAX considera un rango de espectro mayor a 10 GHz (especialmente de 10 a 66 GHz). Para este estándar la línea de vista era necesaria, y el multidireccionamiento utilizaba técnicas de multiplexación ortogonal por división de frecuencia (OFDM). Así se soportan canales con un ancho de banda mayor a 10 MHz. Este primer estándar consideró la prestación del servicio con las autorizaciones correspondientes (licencias), aunque se utilice un espectro libre de licencia. Además este primer estándar fue diseñado para conexiones punto a punto.

2.2.2 Variante de uso fijo 802.16a

La actualización de 802.16a, completada en enero del 2003, consideró el rango del espectro de frecuencia de 2 a 11 GHz. Utiliza rangos de frecuencia tanto licenciados como no licenciados, además incorpora la capacidad de no línea de vista (NLOS) y características de calidad de servicio (QoS). Esta versión da mayores capacidades a la capa de control de acceso al medio o MAC (medium access control). El estándar Europeo HiperMAN fue definido con un total de tres capas físicas (PHY) de apoyo. Se incorporó un soporte para FDD y TDD – proveyendo para ambas transmisión de datos duplex y half duplex en el caso donde FDD es usado. Son soportados protocolos como Ethernet, ATM e IP. Este estándar es para conexiones fijas de última milla punto a punto y punto multipunto.

2.2.3 Variante de uso fijo 802.16c

Este estándar se ocupó sobre todo del rango de 10 a 66 GHz. Sin embargo, también desarrolla otros aspectos como la evolución del funcionamiento, la prueba y ensayo de los posibles perfiles del sistema. Esto último es un elemento crucial en el juego de herramientas de WIMAX, porque pasa a constituir un gran acuerdo de opciones disponibles con 802.16 en general. La metodología de perfiles del sistema evoluciona para definir qué características podrían ser obligatorias y qué características opcionales. El intento era definir a los fabricantes los elementos obligatorios que se deben considerar para asegurar la interoperabilidad. Los elementos opcionales tales como diversos niveles de los protocolos de la seguridad incorporados permiten que los fabricantes distingan sus productos por precio, funcionalidad y el sector de mercado.

2.2.4 Variante de uso fijo (802.16d)

Las principales características de los protocolos para WIMAX fijos, mencionados en los puntos anteriores, se han incorporado en 802.16-2004, estándar este aprobado en junio del 2004 por el IEEE y que es el reemplazo del estándar IEEE 802.16a. Este estándar final soporta numerosos elementos obligatorios y opcionales. Teóricamente podría transmitir hasta para un rango de datos de 70Mbps en condiciones ideales, aunque el rendimiento real podría ser superior a 40Mbps.

Debe tenerse presente que para este estándar se tiene tres tipos de modulación para la capa PHY: modulación con una sola portadora, modulación con OFDM de 256 portadoras y de 2048 portadoras, pero el elegido es OFDM de 256 portadoras, debido a que en el proceso de cálculo para la sincronización se tiene menor complejidad respecto a la utilización del esquema de 2048 portadoras.

Este estándar puede ser al que se refirió como "fijo inalámbrico" porque usa una antena en la que se coloca en el lugar estratégico del suscriptor. La antena se ubica generalmente en el techo de una habitación o en el mástil, parecido a un plato de la televisión del satélite, 802.16-2004 del IEEE también se ocupa de instalaciones interiores, en cuyo caso no necesita ser tan robusto como al aire libre. El estándar 802.16-2004 es una solución inalámbrica para acceso a Internet de banda ancha que provee

una solución de clase interoperable de transportador para la última milla. WiMAX acceso fijo funciona desde 2.5-GHz autorizado, 3.5-GHz y 5.8-GHz exento de licencia. Esta tecnología provee una alternativa inalámbrica al módem cable y las líneas digitales de suscriptor de cualquier tipo (xDSL), es un estándar de transmisión inalámbrica de datos.

Proporciona accesos concurrentes en áreas de hasta 48 Km. de radio, utilizando tecnología portátil LMDS (Sistema de Distribución Local Multipunto), tiene buen alcance, puede transmitir aún con la línea de vista obstruida, no es muy atractivo en países desarrollados donde enfrenta numerosas competidores y un mercado saturado.

2.2.5 Variante móvil (802.16e)

Todavía es un estándar en desarrollo, IEEE 802.16e conserva las técnicas actualizadas en el Fixed WIMAX, a las cuales se agrega un soporte robusto para una banda ancha móvil. Mientras no este completamente fija, la tecnología está basada sobre la tecnología de OFDM. Esta técnica OFDM soporta 2K, 1K, 512 y 128 portadoras. De manera interesante, ambos estándares soportan el esquema de 256-portadoras elegido para IEEE 802.16-2004. El sistema de OFDM permite que las señales sean divididas en muchos subcanales de baja velocidad para aumentar la resistencia a la interferencia multidireccional. Por ejemplo, un canal de 20MHz es subdividido en 1000 canales, cada usuario individual podría permitirle un número dinámico de los subcanales basados en su distancia y necesidades de la celda (4, 64, 298, 312, 346, 610 y 944). Si está cercano, se podría utilizar una modulación tal como la modulación de la amplitud en cuadratura de 64 niveles (64-QAM).

El estándar del 802.16e del IEEE es una enmienda para la especificación de la base 802.16-2004 y le apunta al mercado móvil sumando portabilidad y habilidad para clientes móviles con IEEE. Los adaptadores del 802.16e para conectarse directamente al WiMAX enlazan en red del estándar. Se espera que el estándar 802.16e haya sido ratificado en 2005. El estándar del 802.16e usa Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA), lo cual es similar a OFDM en que divide en las subportadoras múltiples. OFDMA, sin embargo, se pasa un paso más allá para entonces agrupando subportadoras múltiples en subcanales. Una estación del cliente solo del suscriptor podría usar todos los

subcanales dentro del periodo de la transmisión, o los clientes múltiples podrían transmitir con cada uno usando una porción del número total de subcanales simultáneamente. El estándar 802.16e, permite movilidad hasta 80 km/h, pero a distancias muy reducidas del orden de unos 3 km. Inicialmente en las bandas de 2,3 y 2,5 GHz

El estándar Mobile WiMAX, IEEE 802.16e permite que los usuarios utilicen un terminal para recibir servicios de banda ancha inalámbrica en cualquier momento y en cualquier lugar. Tres tecnologías clave SOFDMA, MIMO y AAS facilitan los índices de rendimiento mejorado de WiMAX en tres áreas: Velocidad, resultados y capacidad. Los operadores pueden brindar a los usuarios servicios que requieren un mayor ancho de banda y QoS, como por ejemplo streaming media, VoIP, videoconferencia y juegos interactivos.

2.2.5.1 SOFDMA (Acceso de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Escalable).

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) se encuentra en la capa física de las capas inalámbricas de nueva generación. Basada en OFDM, OFDMA permite que muchos abonados accedan asignándole a cada uno un cierto número de subcarriers. También introduce la tecnología TDMA que asigna diferentes segmentos de tiempo a diferentes grupos de usuario. Todos los subcarriers OFDMA se dividen en diversos grupos de subcarriers en dominios de frecuencia, cada uno de los cuales se denomina subcanal. Un usuario puede ocupar uno o más subcanales. En ámbitos temporales, muchos equipos de usuario en un segmento de tiempo dado pueden transmitir datos simultáneamente a través de diferentes subcanales. Asimismo, el OFDMA presenta un mecanismo de asignación flexible que hace posible asignar subcarriers dinámicamente dependiendo del tráfico, mientras distintos modos de modulación y potencias de transmisión son aplicados en diferentes subcarriers lo que resulta en niveles más altos de utilización de espectro. Si bien es similar, el SOFDMA posee más ventajas que el OFDMA. El SOFDMA no modifica el ancho de los subcarriers por otros anchos de banda de canal y determina los números de subcarrier tomando una medición directa y proporcional del ancho de banda de canal. El ancho del carrier constante adquiere una utilización de espectro más alto en los canales anchos, reduce el costo de los canales angostos y mantiene la capacidad de interferencia anti-multi-path por medio de diferentes anchos de banda de canal, lo que es básicamente consistente con la capacidad de soporte de movilidad. El rango del ancho de banda dinámico que provee el SOFDMA es entre 1.25MHz-20MHz. En

caso de un ancho de banda de 10MHz, las tasas de downlink y uplink son de alrededor de 63Mbps y 28Mbps respectivamente.

2.2.5.2 MIMO (Sistema de multiples entradas y multiples salidas).

MIMO (Multiple-Input, Multiple-Output) se refiere específicamente a la forma como son manejadas las ondas de transmisión y recepción en antenas para dispositivos inalámbricos como enrutadores, 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 el multiplexeo espacial por tener las antenas físicamente separadas. MIMO presenta múltiples antenas tanto en los extremos de transmisión como de recepción con el fin de obtener altas tasas de datos y una calidad de transmisión mejorada.

En el core de MIMO, existe procesamiento de señal de tiempo y espacio. Específicamente, la distribución de múltiples antenas combina los ámbitos temporales y espaciales para el procesamiento de la señal. MIMO utiliza la tecnología de codificación de tiempo y espacio y términos de código de diseño de ambos ámbitos y transmite streams de bit de información de modo simultáneo de antenas múltiples cuando utiliza la naturaleza ortogonal de la secuencia de transmisión de antenas para obtener ganancias.

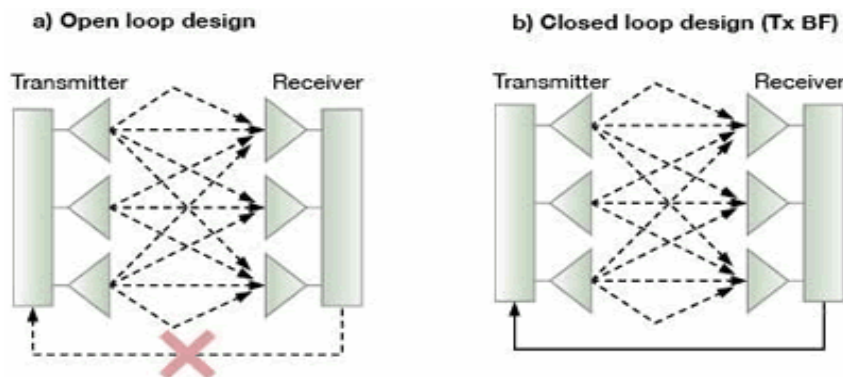


Figura 9: Tecnología MIMO.

2.2.5.3 AAS Sistema de antena Adaptativa

AAS (Adaptive Antenna System) presenta antenas múltiples para transmitir y recibir señales. Utiliza la tecnología de procesamiento de señal digital para rastrear la información espacial de cada abonado móvil y genera haces de onda direccionales de espacio que utilizan completamente las señales de los abonados al mismo tiempo que elimina señales de interferencia. En base a las diferentes posiciones espaciales de los abonados, el AAS puede transmitir y recibir las señales de cada abonado en el mismo canal para mejorar la utilización del espectro sin introducir una interferencia mutua significativa.

La transmisión de señal direccional en la transmisión de antena utiliza el AAS para eliminar la interferencia de transmisión de otros abonados en las mismas celdas y en celdas adyacentes. Sintetizando señales de espacio, el AAS mejora las ganancias y reduce la transmisión de las antenas en potencia de transmisión de estaciones móviles en direcciones especiales. Por lo tanto, la utilización de AAS permite a los operadores contar con una cobertura más amplia, reducir la utilización de estaciones base y mejorar la utilización de espectro, reduciendo así el OPEX. En el extremo de recepción de la antena, la síntesis de señales de espacio genera ganancias en la dirección esperada en el mapa direccional de la totalidad del banco de antenas. Por otro lado, en otras direcciones las ganancias son inferiores. Esto conduce a una proporción de ruido a señal más alto en términos de señales de recepción y forma un punto cero de espacio en la dirección de interferencia, suprimiendo así cualquier interferencia importante.

WiMAX Movilidad

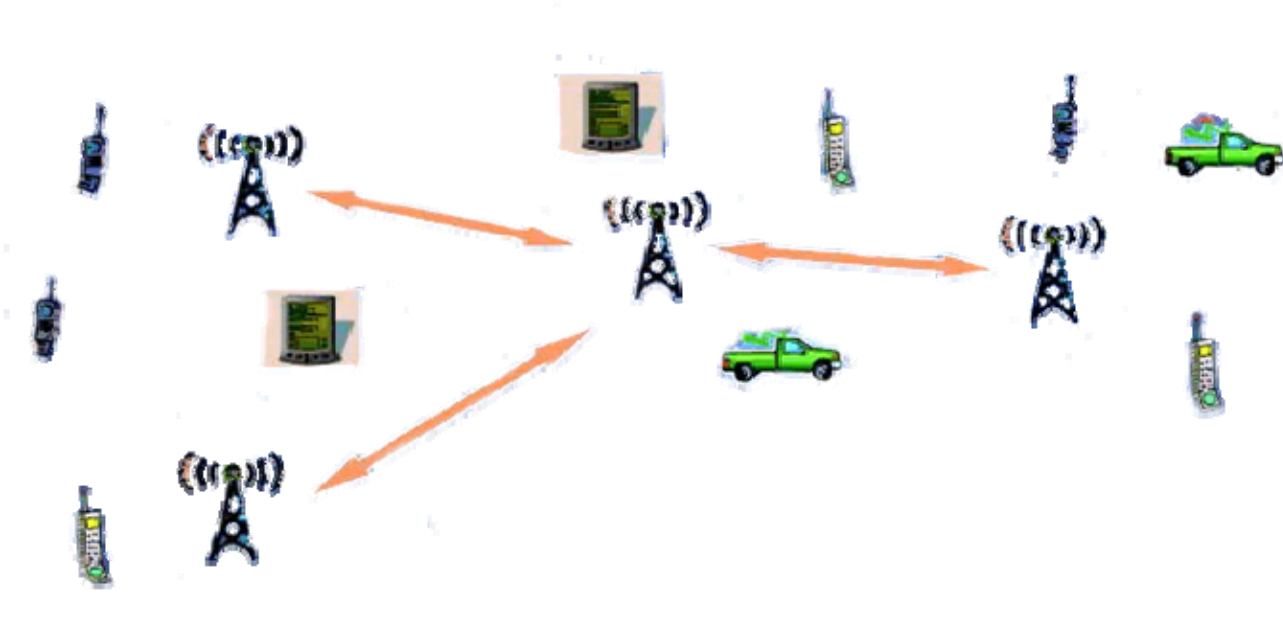


Figura 10: Red móvil.

2.3 Capa Física y MAC de WiMAX.

2.3.1 Descripción de la Capa Física (PHY)

En la capa física, el flujo de datos esta formado por una secuencia de ráfagas de igual longitud. Los modos de operación FDD y TDD, se consideran tanto como para Uplink (UL) y Downlink (DL).

En el modo FDD, las subrafagas de UL y DL, son transmitidas simultáneamente y sin interferencia, gracias a que estas son transmitidas a distintas frecuencias. En el modo TDD, las subrafagas de UL y DL son transmitidas de manera consecutiva. Puede usarse 0.5, 1 ó 2 milisegundos como tiempo de ráfaga. En este modo las posiciones de DL y UL pueden variar.

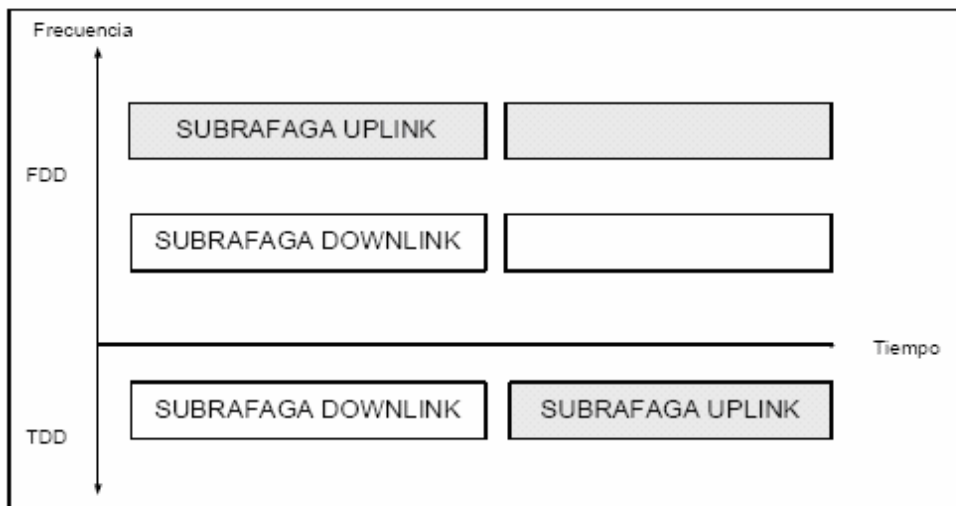


Figura 11: Muestra la secuencia de las ráfagas.

El estándar IEEE802.16 define tres diferentes especificaciones para la capa física (PHY) que pueden usar en conjunto con la capa MAC para dar una confiable conexión extremo a extremo. Estas son las siguientes:

- **WirelessMAN-SCa:** esta especificación considera una interfaz de aire apoyada en una única portadora modulada.
- **WirelessMAN-OFDM:** Esta especificación utiliza un esquema de multiplexación por división de frecuencia Ortogonal (OFDM) que comprende 256 portadoras. Para el múltiple acceso de diferentes estaciones abonadas (SS) empleando TDMA.
- **WirelessMAN-OFDMA:** utiliza el esquema OFDM de 2048 portadoras, el acceso de los múltiples usuarios se hace efectiva asignando un subconjunto de portadoras a cada receptor individual, de manera que este estándar es referido como acceso múltiple OFD (OFDMA). [14]

De estas, las dos últimas son las convenientes para usar en conexiones NLOS, debido a la simplicidad del proceso de ecualización para señales multiportadora. De las dos interfaces aéreas basadas en OFDM, la WirelessMAN-OFDM de 256 portadoras es favorable debido que en el proceso de cálculo de la transformada rápida de fourier (FFT) se tiene una baja relación o tasa entre el promedio y el nivel pico y

se tienen requerimientos menos estrictos para la sincronización de frecuencia, comparado con la otra OFDM.

Las 256 subportadoras están asignadas de la siguiente manera:

- 192 son usadas para datos del usuario
- 56 nulos por banda de guardia
- 8 usadas con símbolos pilotos permanentes

Para proporcionar robustez a los canales multidireccionales, se toman 8, 16, 32 o 64 muestras en ciclos prefijados, dependiendo del retraso de la difusión del canal. Una manera de asegurar la implementación global del estándar IEEE 802.16 ha sido el uso del canal de ancho de banda variable.

El ancho de banda del canal puede ser un entero múltiplo de 1.25MHz, 1.5MHz y 1.75MHz con un máximo de 20MHz. Esta opción de posibles distintos anchos de banda está siendo limitada a poca posibilidades por WIMAX Forum.

2.3.1.1 La capa física presenta las siguientes características:

Modulación adaptiva y codificación.- El estándar IEEE 802.16d presenta siete combinaciones de modulación y rangos de codificación que pueden ser usados para alcanzar varios niveles en la tasa de datos y en la robustez de la transmisión, dependiendo de las condiciones de canal y de interferencia. Utiliza un bloque de código concatenado Reed-Salomon (RS) externo, con un código convolucional interno. El código RS externo esta fijado por medio de un RS sistemático ($N = 255$, $K = 239$, $T = 8$) usando GF (28), y así agregar un 10 por ciento más. El código convolucional interno, tiene una longitud de 7, y un rango entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$. Esta interpolación también se utiliza para reducir el efecto de ráfaga de error.

Tipo de ID	Tipo de modulación	Codificación	Información bits/símbolo	Información de bits/símb OFDM	Tasa pico de dato a 5MHz (Mb/s)
0	BPSK	1/2	0.5	88	1.89
1	QPSK	1/2	1	184	3.95
2	QPSK	3/4	1.5	280	6.00
3	16QAM	1/2	2	376	8.06
4	16QAM	3/4	3	568	12.18
5	64QAM	2/3	4	760	16.30
6	64QAM	3/4	4.5	856	18.36

Figura 12: Características de la capa física.

Codificación Turbo una característica opcional del sistema, la cual aumenta la cobertura, a un costo de aumentar la latencia de decodificación y su complejidad. Los tipos de modulación permitidos para Uplink y Downlink son: BPSK, QPSK, QAM y 64-QAM. Además se conocen los preámbulos usados por el protocolo IEEE 802.16d, de tal manera que esto ayuda al receptor en la estimación del canal y con la sincronización. En el Downlink se tiene un largo preámbulo de dos símbolos OFDM, estos son enviados para el inicio de cada cuadro. En el Uplink un corto preámbulo de un símbolo OFDM es enviado por el SS al inicio de cada cuadro.

Códigos de bloque tiempo espacio. - STBCs (Space- time block code) es una característica opcional que se implementa en los downlinks con lo que se incrementa la diversidad. La aplicación de los códigos STBC Alamouti 2x1 o 2x2, no afectan el ancho de banda, de tal forma que proporcionan diversidad tanto en el tiempo y especialmente en el espacio. Al ser posible que el receptor contara con dos antenas, este hace una valorización de la señal transmitida teniendo como base la señal recibida, con esto y usando el código Alamouti, el desempeño de esta característica opcional será mejorado. También considera múltiples antenas receptoras, las que no requieren soporte adicional. En general, la diversidad del receptor es preferible para transmitir variedad, por lo que no es requerida una potencia adicional en el transmisor para diversos receptores

Sistema de antenas inteligentes.- Este protocolo presenta ciertas características que permiten el uso de sistemas con antenas inteligentes. En una comunicación punto a punto para la transmisión de uplink y downlink, se define una conexión entre la estación base (BS) y estación subscriptora (SS), y se le proporciona al SS un canal de realimentación a la BS. Los componentes reales e imaginarios del canal de respuesta para cada uno de las ráfagas directas y subportadoras específicas provistos por la BS. La BS puede especificar la resolución en frecuencia dominante para esta realimentación. El estándar permite que los SS proporcionen la respuesta del canal para cada 4to, 8vo, 16vo, 32vo o 62vo subportadora.

2.3.2 Descripción de la Capa MAC (Medium Access Control).

Esta es la otra capa característica del protocolo IEEE 802.16, fue diseñada para accesos a las aplicaciones PMP (Punto MultiPunto) de banda ancha de muy alta tasa de datos y con una distinta variedad de requerimientos de calidad de servicios (QoS), por lo que esta orientada a la conexión.

Permite que el mismo terminal sea compartido por múltiples usuarios. Lo que hace flexible a este sistema es que maneja algoritmos que permiten que cientos de usuarios finales puedan tener distintos requerimientos de ancho de banda y de latencia. Esta capa también se encarga de manejar la necesidad de tener muy alta tasa de bits, tanto para el uplink (hacia la BS) como para el downlink (desde la BS). El sistema ha sido diseñado para incluir multiplexación por división del tiempo (TDM) de voz y dato, protocolo de Internet (IP), y voz sobre IP (VoIP).

El protocolo IEEE 802.16, debe soportar los variados requerimientos del backhaul, como el modo de transferencia asíncrono (ATM) y protocolos de packet-based.

La capa MAC a su vez esta subdividida en tres subcapas: Convergencia, Parte Común y Seguridad. La principal de estas es la subcapa de Parte Común, es en ella donde se maneja el ancho de banda, se establece la conexión, y se establecen los protocolos de unidad de datos (PDUs). También se encarga de hacer el intercambio de la unidad de servicios de datos de la MAC (SDU) con la capa de convergencia. Esta subcapa se encuentra fuertemente ligada con la capa de seguridad.

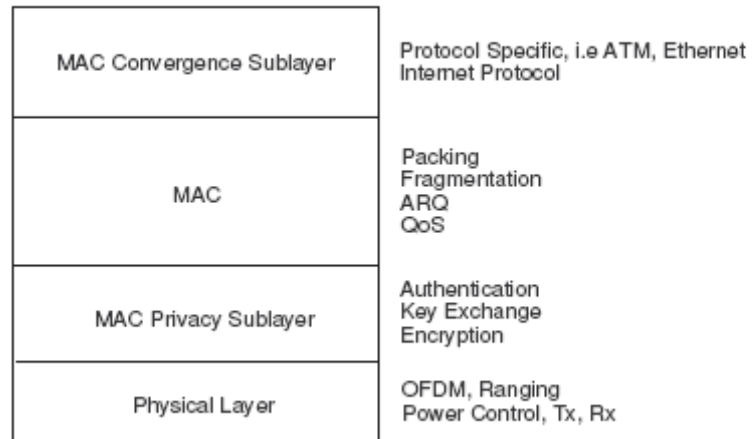


Figura 13: Muestra las diferentes subcapas de la capa MAC.

2.3.2.1 Subcapa de Convergencia.

La subcapa de convergencia (CS) es la encargada de adaptar las unidades de datos de protocolos de alto nivel al formato MAC SDU y viceversa. También se encarga de clasificar los SDUs de la MAC entrantes a las conexiones a las que pertenecen.

2.3.2.2 Subcapa de Seguridad.

La subcapa de seguridad es la encargada de la autenticación, establecimiento de llaves y encriptación. Es en ella donde se realiza el intercambio de los PDUs de la MAC con la capa física.

Esta subcapa ejecuta las siguientes dos tareas principales.

- Clasificación del paquete
- Supresión del jefe de la carga útil

2.3.2.2.1 Formato de la PDU de la MAC.

La PDU de la MAC es la unidad de datos que intercambia la capa MAC de la BS y la del SS. Consiste en una cabecera de MAC de longitud fija y una carga útil de longitud variable y un ciclo redundante de control (CRC). Dos formatos de cabecera son diferenciados por el escudo HT, una cabecera genérica y una cabecera de requerimiento de ancho de banda. Se utilizan tres tipos de subcabeceras de la MAC.

- 2 Subcabecera de gestión de concesión. Es usada por la SS para transportar la gestión de ancho de banda necesaria por su BS.
- 3 Subcabecera de fragmentación. Contiene información que indica la presencia y orientación en la carga útil de cualquier fragmento de SDU.
- 4 Subcabecera de empaque. Usada para indicar el empaquetamiento de múltiples SDUs en un único PDU.

Las cabeceras de gestión de concesión y de fragmentación pueden ser insertadas en el PDU de la MAC inmediatamente después de la cabecera genérica, y así indica el tipo de escudo. La subcabecera de empaque puede ser insertada después de cada SDU de la MAC y es indicada por el tipo de escudo.

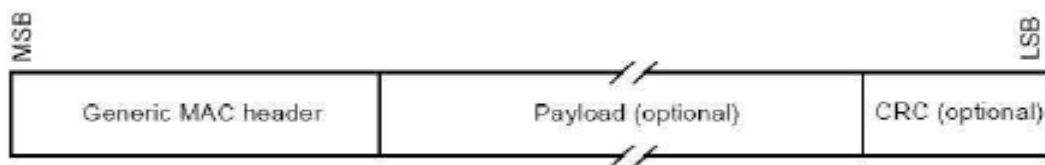


Figura 14: Muestra el formato de la PDU de la MAC.

2.3.2.2 Transmisión de los PDUs de la MAC.

La MAC del estándar IEEE 802.16, soporta varios protocolos de capas de alto nivel así como ATM o IP. Para maximizar el proceso haciéndolo flexible y eficaz, se incorporan los procesos de fragmentación y de empaque. El proceso de fragmentación es donde un SDU de MAC es dividido en fragmentos. Y el proceso de empaque es en el cual varios SDUs de la MAC son empaquetados en una sola carga útil de PDU de la MAC. Ambos procesos pueden ser usados tanto para downlink como para uplink. El estándar IEEE 802.16 permite el uso de ambos procesos simultáneamente para un eficiente uso del ancho de banda, y fue diseñado para poder soportar tanto FDD como TDD.

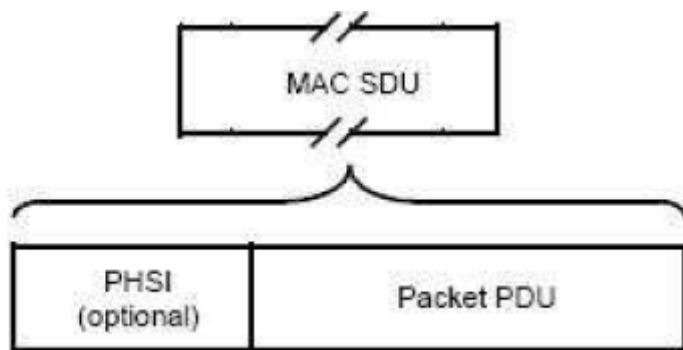


Figura 15: Muestra el formato SDU de la MAC.

2.3.2.3 Downlink

El downlink (DL) consiste en varias explosiones físicas de las diversas modulaciones/codificaciones y donde las explosiones se envían en robustez decreciente. Estas explosiones se tratan a diversas conexiones a través de los identificadores de la conexión (CID). Estos identificadores pueden identificar la explosión tratada a las estaciones individuales del suscriptor, los mensajes de difusión o los mensajes del multicast y han especificado valores, las explosiones de la interrogación del multicast tienen siempre un CID entre 65280-65533.

La MAC de la BS se encarga de crear un cuadro Downlink (subcuadro del TDD), empezando con un preámbulo que es usado para la sincronización y la estimación del canal. Una cabecera de cuadro de control (FCH) es transmitida después del preámbulo para el resto del cuadro. Esto es requerido debido a que la ráfaga es transmitida con diferentes esquemas de modulación y codificación. El FCH es seguido por una o múltiples ráfagas Downlink, de acuerdo de transmisión para la ráfaga de perfiles y consiste de un número entero de símbolos OFDM. La localización del perfil de la primera ráfaga de downlink es especificada en el cuadro prefijo del donwlink (DLFP), parte del FDH.

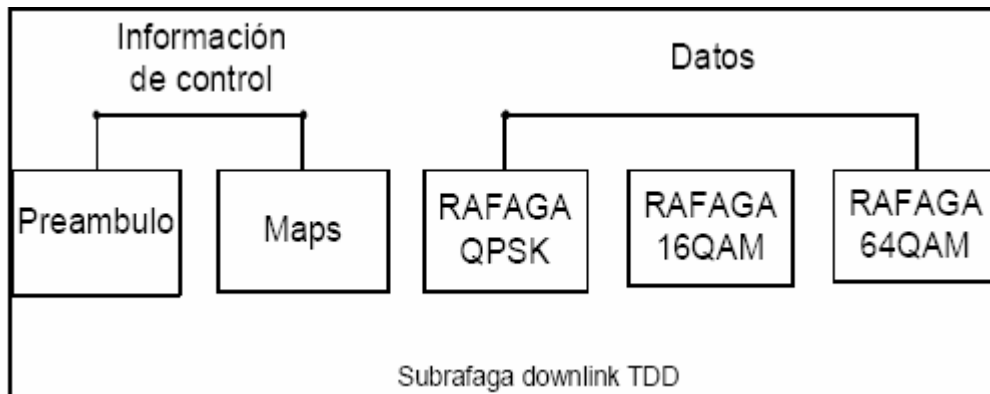


Figura 16: Muestra la estructura de la subráfaga downlink TDD.

La ráfaga de datos es transmitida en orden de decrecimiento de robustez para permitir que el SS reciba datos confiables antes de arriesgar un error de ráfaga que podría causar pérdida de sincronización. En el Downlink, una porción del TDM inmediatamente seguida del FCH es usada para UGS (unsolicited grand service), útil para aplicaciones constantes de tipo binario con estrictas restricciones de retardo como la VoIP.

2.3.2.4 Uplink

El uplink es compartido por las estaciones del suscriptor, donde cada estación del suscriptor utiliza su propia modulación y la codificación para transmitir a la estación base.

Las estaciones de abonado (SS) comparten el uplink hacia la BS bajo demanda. Dependiendo de la clase de servicio utilizada, la SS puede mantener los derechos de transmisión o el mismo puede ser garantizado por la BS luego de recibir el pedido por parte del usuario.

Una SS requiere ancho de banda uplink en la conexión. El ancho de banda es garantizado por la BS a la SS como un agregado de garantías en respuesta a requerimientos de conexión de SS.

El PHY uplink está basado en una combinación de TDMA y DAMA; en particular el canal de uplink está dividido en un número de time slots asignados para usuarios (registración, contención o tráfico de usuario) controlado por el MAC en el BS y puede variar a través del tiempo para óptimo desempeño.

El PHY uplink está basado en la transmisión burst TDMA. Cada burst está diseñado para transportar PDUs MAC de longitud variable. El transmisor aleatoriza los datos entrantes, los codifica en FEC, y mapea los bits codificados a QPSK, 16-QAM (opcional).

2.4 Propagación y Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM).

2.4.1 Propagación NLOS y LOS.

Mientras varias tecnologías disponibles actualmente para enlaces inalámbricos fijos de banda ancha pueden solamente proveer cobertura para línea de vista (LOS), la tecnología WiMAX ha sido optimizada para proveer una excelente cobertura sin línea de vista (NLOS). Esta tecnología permite la mejor cobertura de larga distancia hasta los 50 KM en condiciones LOS y celdas de radio típicas hasta los 8 Km dentro de condiciones NLOS.

El canal de radio de un sistema de comunicaciones inalámbrico es descrito a menudo como 'con línea de vista' (LOS) o 'sin línea de vista' (NLOS). En un enlace LOS, la señal viaja a través de un camino directo y sin obstrucciones desde el transmisor hasta el receptor. Un link LOS requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel esté libre de obstrucciones (ver Fig. 8). Si no se cumple este requerimiento

existirá una reducción significativa de la intensidad de señal. La zona de despeje de Fresnel requerida depende de la frecuencia de operación y de la distancia entre transmisor y localidades receptoras.

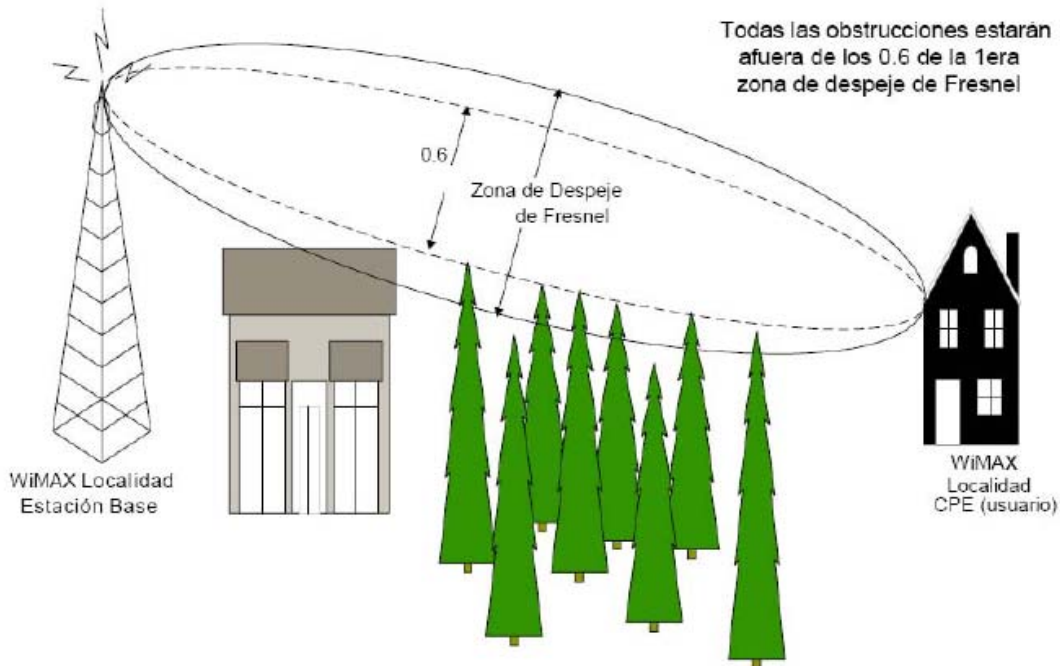


Figura 17: Zona de Fresnel LOS.

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

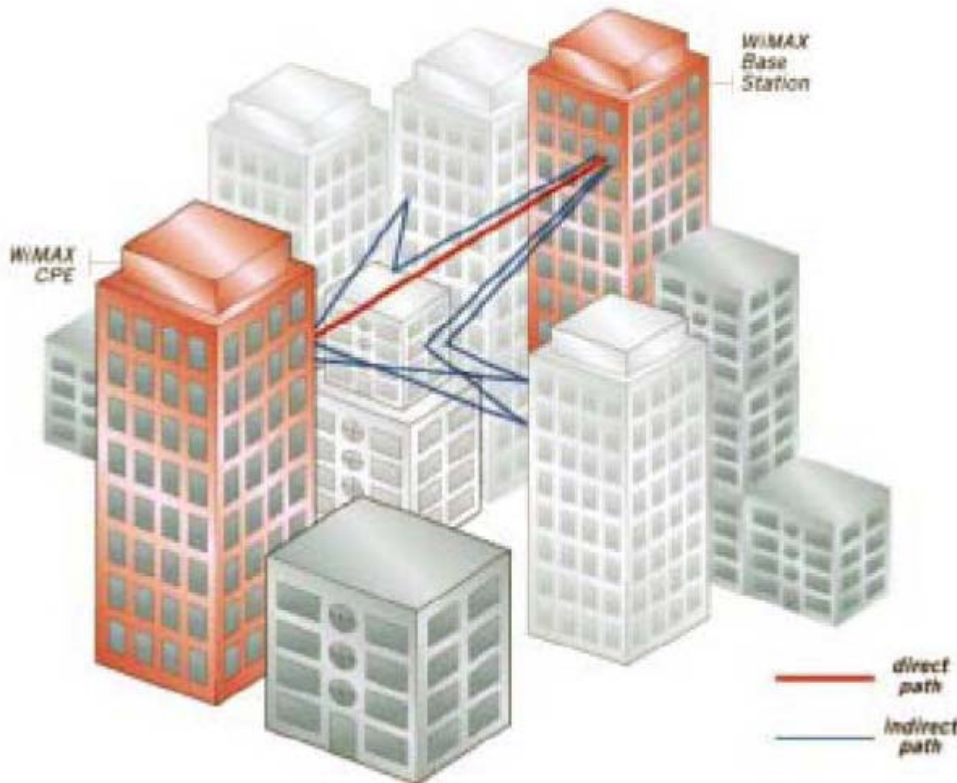


Figura 18: Zona de Fresnel NLOS.

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

La manera en que los sistemas de radio usan estas señales de múltiples caminos como una ventaja, es la llave para proveer servicio en aplicaciones NLOS. Un producto que meramente incrementa la potencia para penetrar obstrucciones (a veces llamado 'cerca a la línea de vista') no es una tecnología NLOS puesto que este enfoque todavía cuenta con un camino directo fuerte sin el uso directo de energía presente en señales indirectas. Ambas condiciones de cobertura, LOS y NLOS son gobernadas por las características de propagación del medio ambiente, la pérdida del camino y el presupuesto del enlace de radio.

Existen severas ventajas que hacen las aplicaciones NLOS muy deseables. Por ejemplo, proyectos muy estrictos y restricciones de altura de antenas que a menudo no permiten a la misma estar posicionada para LOS. Para despliegues celulares contiguos de gran escala, donde el re-uso de frecuencia es crítico, bajar la antena es ventajoso para disminuir la interferencia cocanal entre celdas adyacentes. Esto fuerza a menudo la operación de las radio bases en condiciones NLOS. Los sistemas LOS no pueden reducir la altura de antena porque haciéndolo puede impactar en la línea de vista directa del equipo de abonado (CPE) a la estación base.

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



Figura 19: Ubicación del equipo de abonado (CPE) para condición NLOS.

La tecnología NLOS y las funciones ampliadas en WiMAX hacen posible el uso de equipo de abonado (CPE) en interiores. Esto posee dos desafíos principales; primariamente la superación de las pérdidas de penetración por edificio y secundariamente, la cobertura de distancias razonables con la mínima potencia de transmisión y ganancia de antena que son usualmente asociadas a los equipos de interior de abonado. WiMAX hace esto posible y la cobertura NLOS puede ser además mejorada mediante la influencia de algunas de las capacidades opcionales de WiMAX. [16]

2.4.2 Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM).

Un avance que ayudó al desarrollo del protocolo IEEE 802.16, fue la multiplexación por división de frecuencias ortogonales, OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). La modulación OFDM presenta muchos beneficios que no presentan otras modulaciones previas a esta, y permite que las redes inalámbricas transmitan eficientemente en relativos pequeños anchos de banda.

Este sistema de modulación consiste en enviar la información no sobre una única portadora, sino sobre un múltiplex de muchas portadoras “adecuadamente espaciadas” en frecuencia, repartiendo la información entre todas ellas, de forma que aunque la velocidad de modulación del conjunto sea muy elevada, la de cada portadora individual es pequeña, simplificando el problema de propagación multitrayecto.

Esta modulación se caracteriza por dividir la señal de banda ancha en un número de señales de banda reducida. La OFDM es un caso especial de la modulación multiportadora (MCM), en donde múltiples datos son transmitidos de manera paralela utilizando diferentes subportadoras con banda de frecuencias traslapadas ortogonalmente. En OFDM la información se divide en varias bandas de frecuencia (o subbandas) utilizando un mapeo a números complejos (símbolos), con el cual se generan $\sim N$ bandas o símbolos para ser transmitidos. La transmisión en paralelo se usa para esparcir los símbolos en todo el espectro disponible. De esta manera, los símbolos son ligeramente afectados con la presencia del ruido. Los símbolos (o subbandas) se esparcen ortogonalmente en el tiempo utilizando la IDFT (Transformada Discreta de Fourier Inversa) o IFFT (Transformada Rápida de Fourier Inversa)

En una modulación FDM convencional, los canales adyacentes se encuentran muy separados usando una banda de guarda. Para que los canales se puedan traslapar, se debe de reducir la interferencia entre los subcanales adyacentes, por lo que se requiere la ortogonalidad. Que dos frecuencias sean ortogonales, significa que ellas son armónicas, es decir que las frecuencias siguientes son múltiplos de la frecuencia fundamental. Por ejemplo, Supongamos que N es el número total de portadoras del sistema,

f_0 es la frecuencia fundamental de ellas, y T es el período de símbolo de cada flujo de datos. Entonces, las frecuencias de las $N-1$ portadoras restantes vienen dadas por la relación:

$$f_k = f_0 + k/T, \text{ con } k = 1, 2, \dots, N-1.$$

Las subportadoras son datos modulados usando:

__ BPSK (BiPhase Shift Keying)- Es una forma de desplazamiento de fase, en la cual dos bits se modulan inmediatamente, seleccionando uno de cuatro grados posibles de los desplazamientos de fase del portador 0, 90, 180, 270 grados.

__ QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Es una forma de modulación en la que la señal se envía en cuatro fases, 45, 135, 225, y 315 grados, y el cambio de fase de un símbolo al siguiente codifica dos bits por símbolo. Una de sus principales ventajas es que ofrece la misma eficiencia de potencia, utilizando la mitad de ancho de banda.

__ 16-QAM.- Es una modulación digital en la que se tienen 4 fases y 4 amplitudes, de esta manera es como se tiene 16 símbolos.

__ 64-QAM.- Al igual que la 16-QAM, esta es una modulación digital en la que se tienen 4 fases y en este caso 16 amplitudes. De esta manera es como se obtienen 64 símbolos.

En la respuesta espectral máxima de cada subportadora el resto de respuestas espectrales de subportadoras son idénticamente cero. Después de la modulación de datos los símbolos son alimentados a través de un proceso de conversión paralelo serie. A cada símbolo PSK o QAM es asignado una subportadora y una implementación DFT inverso (IDFT) para generar una señal de dominio en el tiempo.

Sin embargo, si la extensión del retraso es mayor que la duración de los símbolos, la multidireccionalidad puede afectar el funcionamiento. Un tiempo de guarda es introducido para eliminar la interferencia ínter simbólica (ISI) causada por la extensión de retraso. Como regla, el tiempo de guarda es 2 a 4 veces mayor que la extensión de retraso esperada. Para reducir la interferencia entre portadoras, ICI, los símbolos de OFDM son cíclicamente extendidos en un intervalo de guarda. Como el retardo es menor

que el tiempo de guarda, este ciclo extendido asegura que un símbolo OFDM pueda tener un número entero de ciclos en el intervalo DFT.

Una característica del OFDM, es el superar los problemas de propagación que presenta el NLOS. Las señales OFDM tienen la ventaja de ser capaces de operar con retardos de la propagación en los entornos NLOS. Además de tener la capacidad de poder operar con un retardo de ensanchamiento más grande en el ambiente NLOS. Una ventaja muy importante es que es más sencillo modular señales portadoras individuales OFDM que modular una simple portadora ensanchada.

Lo que diferencia al OFDM de otros procedimientos de multiplexación en frecuencia es la ortogonalidad, pues el “espaciamiento adecuado” entre portadoras es un espaciamento óptimo. Este espaciamento consiste en que la separación espectral entre portadoras consecutivas es siempre la misma e igual al inverso del periodo de símbolo, de forma que la señal OFDM se puede expresar, en notación compleja, como:

$$s(t) = \sum_{i=-N/2}^{N/2-1} d_i \cdot \exp \left[j2\pi \left(f_c + \frac{i}{T} \right) t \right]$$

Donde:

- f_c es la frecuencia central.
- T es el periodo de símbolo.
- d_i es el símbolo que lleva la información en su amplitud y fase.
- $s(t)$ es la señal OFDM en el tiempo.

Al sistema de modulación se le denomina ortogonal porque en el proceso de desmodulación las portadoras no se interfieren entre sí. Este proceso se representa mediante la siguiente ecuación:

$$\int_0^T s(t) \cdot \exp\left[-j2\pi\left(f_c + \frac{k}{T}\right)t\right] dt = d_k \cdot T$$

Si se examina la ecuación $s(t)$, se comprueba que una señal OFDM es la transformada inversa de Fourier de los coeficientes d_k , y, en consecuencia, los coeficientes son la transformada directa de $s(t)$. Por consiguiente, la acción de modular y demodular todas las portadoras a la vez de una señal OFDM consiste básicamente en aplicar los algoritmos de la transformada rápida de Fourier, muy conocidos y fáciles de implementar en los procesadores digitales. [4]

La ortogonalidad también proporciona otra ventaja añadida: un mecanismo para eliminar, o reducir tanto como se quiera, el problema de la interferencia por propagación multitrayecto. Este mecanismo consiste en ampliar la duración correspondiente al periodo símbolo mediante un tiempo de guarda superior al máximo retardo diferencial entre los trayectos significativos. Durante la ampliación temporal se repite, o amplía, parte del propio símbolo, por lo cual se conoce a la ampliación como extensión cíclica.

En lo que se refiere a la modulación de las portadoras, el símbolo d_k de la ecuación $s(t)$, en un múltiplex OFDM cada portadora se modula con una información diferente, aunque, por facilidad de implementación, el sistema de modulación suele ser el mismo para todas ellas, como QPSK o n2-QAM. Además, se suelen reservar algunas portadoras para transmitir información de sincronismo y equalización espectral, o bien para establecer canales de servicio.

2.4.2.1 Parámetros de la modulación OFDM.

- ✓ 256 portadoras OFDM (200 usadas)
- ✓ Pilotos: 8 fijas(-84,-60,-36,12,12,36,60,84)
- ✓ Portadoras Guarda: 28 izquierda, 27 derecha
- ✓ BW Canal: 1.5 –28 MHz
 - Variable espaciado portadora $Df = \text{frecuencia muestra } F_s / 256$
 - Variable tiempo símbolo útil: $T_s = T_b + T_g$ ($T_g = G T_b$)
- ✓ G puede variar entre: $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{32}$
- ✓ Modulación Portadora: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM [8]

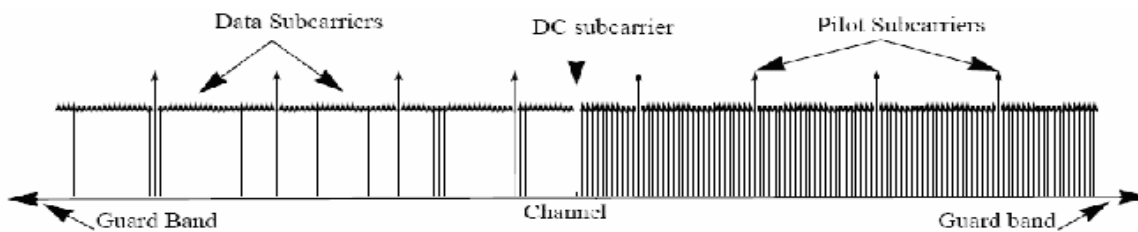


Figura 20: Muestra una descripción de la frecuencia OFDM.

2.5 Aspectos importantes entre variantes.

2.5.1 Incompatibilidad entre Variantes

Las versiones fija y móvil de WiMax no son compatibles porque utilizan esquemas de acceso al medio diferentes, aunque ambos están basados en OFDM

802.16d usa TDMA

802.16e usa OFDMA

OFDM/TDMA vs. OFDMA

OFDM/TDMA en "16d"

Un usuario a la vez
Multiacceso con subcanalización es opcional
Viable sólo para fijo

OFDMA en "16e"

Multiacceso con subcanalización es estándar
Intercambio entre S/N y velocidad Viable para CPE interiores, portátiles o móviles

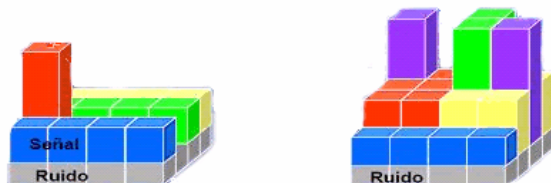


Figura 21: Muestra incompatibilidad.

Aspectos	802.16	802.16-2004 (802.16d)	802.16e
Completado	Dic. 2001	Julio 2004	7 Dic. 2005
Frecuencias	10 - 66 GHz	2 - 11 GHz (3,5 y 5,8 GHz)	2 - 6 GHz (2,3 y 2,5 GHz)
Condiciones	LOS	NLOS	NLOS
Caudal	32 a 134 Mb/s con canales de 28 MHz	Hasta 75 Mb/s con canales de 20 MHz	Hasta 15 Mb/s con canales de 5 MHz
Modulación típica	QPSK, 16 QAM y 64 QAM	OFDM 256	OFDMA 2048
Movilidad	Fijo	Fijo y Portable	Móvil y roaming
Anchura de canal	20, 25 y 28 MHz	Seleccionable entre 1,25 y 20 MHz, con hasta 16 sub-canales lógicos	Como en 802.16-2004
Radio típico de celdas	1,6 a 5 Km	5 a 8 Km. Hasta 50 Km según altura de torre, ganancia de antena y poder de emisión	1,6 a 5 Km

Tabla 2: Comparación de tecnologías.

2.5.2 Mejoras de 802.16-2004 y 802.16e

- 1 802.16-2004 utiliza frecuencias más bajas, lo cual permite funcionar sin visión directa y usar bandas sin licencia (2,4 y 5 GHz). Además usa técnicas de modulación más robustas que mejoran la inmunidad frente a interferencias
- 2 802.16e incorpora nuevas técnicas de ajuste de la potencia de la señal y codificación de la información que mejoran el rendimiento. Esto permite la movilidad, el uso de equipo en interiores.
- 3 802.16e será la alternativa de acceso a Internet de alta capacidad por parte de los ISPs. Puede actuar como complemento de Wi-Fi o reemplazarlo completamente

2.5.3 Características avanzadas de 802.16-2004 y 802.16e

- Tecnología OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Similar a los bins de ADSL
- Modulación adaptativa: ajusta la modulación en función de la relación señal/ruido percibida en cada momento (como en RADSL). Permite obtener el máximo rendimiento de cada situación
- Técnicas de corrección de errores: Códigos Reed-Solomon e Interleaving. Además protocolos de retransmisión (ARQ, Automatic Repeat Request)
- Sub Canalización: en el sentido ascendente el emisor decide si usa todas las portadoras a baja potencia (corto alcance) o solo unas pocas con mucha potencia (gran alcance)
- Antenas direccionales adaptativas: permiten concentrar el haz que se emite o recibe, mejorando la ganancia y reduciendo la interferencia
- Antenas diversidad: mejoran el rendimiento en entornos sin visión directa, donde la mayor parte de la señal proviene de reflexiones

2.5.3.1 Modulación adaptativa.

La modulación adaptativa permite al sistema WiMAX ajustar el sistema de modulación dependiendo de la condición de relación señal/ruido (SNR) del enlace de radio. Cuando el enlace de radio tiene alta calidad, es usado el esquema de modulación más alto, dando al sistema mayor capacidad. Durante fade

de señal, el sistema WiMAX puede cambiarse a un esquema de modulación menor para mantener la calidad de conexión y estabilidad del enlace. Esta característica permite al sistema superar el fading de tiempo selectivo. La característica clave de la modulación adaptativa es que esta incrementa el rango sobre el cual puede ser usado un esquema de modulación superior, como situación opuesta a tener un esquema fijo diseñado para la condición de peor caso.

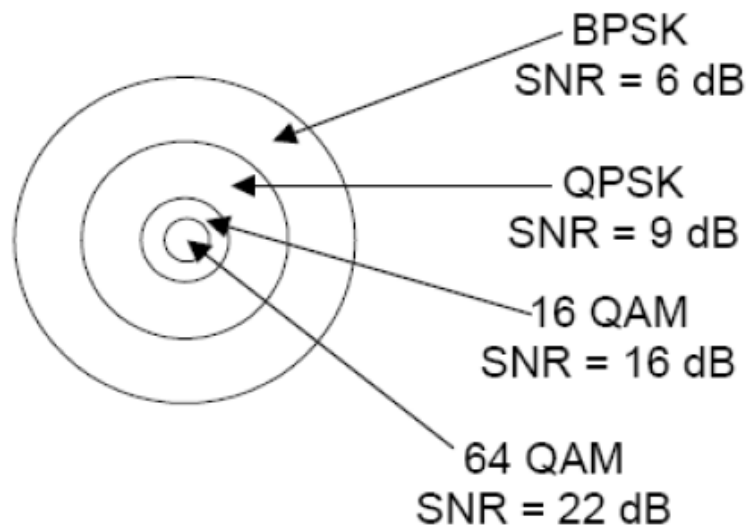


Figura 22: Muestra radio de celda relativo para modulación adaptativa.

2.5.3.2 SubCanalización

La subcanalización en el enlace ascendente es una opción dentro de WiMAX. Sin la subcanalización, las restricciones regulatorias y la necesidad de costo efectivo en el equipo de abonado, típicamente causan que el presupuesto de enlace sea asimétrico, causando que el rango del sistema sea limitado en el enlace de subida. La sub-canalización permite que el presupuesto de enlace sea balanceado tal que las ganancias del sistema de enlace ascendente y descendente sean similares. La sub-canalización concentra la potencia transmitida en algunas portadoras OFDM, incrementando la ganancia del sistema, pudiendo esto ser usado tanto para extender el alcance del mismo, superar las pérdidas de penetración de construcciones y/o reducir el consumo de potencia del equipo de abonado. El uso de sub-canalización

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

2.5.3.3 Antenas direccionales.

Las antenas direccionales incrementan el margen de fade mediante la adición de mayor ganancia. Esto incrementa la disponibilidad del enlace, demostrado en comparaciones del factor K para antenas omnidireccionales Vs. direccionales. La dispersión de retardo es reducida en antenas direccionales en las estaciones base y equipos de abonados. El patrón de antena suprime cualquier señal multi-trayecto que arriba en los lóbulos laterales. La efectividad de estos métodos fue probada y demostrada en despliegues exitosos, en los cuales el servicio operaba bajo un fading NLOS significativo. Los sistemas de antenas adaptativas (AAS) son una parte opcional del estándar 802.16. Estas tienen la propiedad de dirigir su foco a una particular dirección o direcciones. Esto significa que durante la transmisión, la señal puede ser limitada a la dirección requerida del receptor, como un reflector. Recíprocamente durante la recepción, el ASS puede ser hecho para enfocar solamente en la dirección desde la cual viene la señal deseada. También poseen la propiedad de supresión de interferencia co-canal de otras localidades. Los sistemas de antena adaptativas son consideradas para un desarrollo futuro que podrá, eventualmente, mejorar el re-uso del espectro y la capacidad de la red WiMAX

2.5.3.4 Diversidad de Transmisión/Recepción

Las antenas de diversidad son usadas para tomar ventaja de las señales multi-trayecto y reflexiones que ocurren en condiciones NLOS. La diversidad es opcional en WiMAX. El algoritmo de diversidad ofrecido por WiMAX en el transmisor y receptor incrementa la habilidad del sistema. La opción de diversidad en WiMAX Tx utiliza codificación de tiempo espacial para proporcionar independencia de la fuente de transmisión, esto reduce el requerimiento de margen de fade y combate la interferencia. Para diversidad en recepción, existen varias técnicas de combinación para mejorar la disponibilidad del sistema. Por ejemplo, la combinación de relación máxima (MRC) toma ventaja de dos cadenas de recepción

separadas para ayudar a superar el fading y reducir las pérdidas de trayecto. La diversidad ha demostrado ser una herramienta efectiva para la propagación NLOS.

2.6 Calidad de servicios (QoS) en WiMAX.

Las aplicaciones actuales de redes, tales como el comercio electrónico y la multimedia, exigen gran ancho de banda y tiempos de respuestas mínimos. Cuando los datos de una aplicación entran en una red que soporte calidad de servicio, ésta mediante un protocolo de reservación de la cantidad de ancho de banda necesario, para la aplicación, hasta que ya no quede más ancho de banda. Las aplicaciones que necesitan mucha velocidad como las videoconferencias, pueden perderse en el diluvio de tráfico de menos requisitos en la red. Los administradores de sistemas acaban encontrándose con la red congestionada, respuestas lentas y pérdidas de paquetes. La solución a estos problemas no es la simple adición de más ancho de banda en la red, ya que no es fácil predecir cuáles serán las aplicaciones que se usarán en unos meses y cuánto ancho de banda utilizarán. Es necesario incorporar la Calidad de Servicio (QoS) para conseguir un control de la red más eficiente.

Se define QoS como *"conjunto de características tanto cuantitativas como cualitativas de un sistema distribuido, necesarias para alcanzar las funcionalidades requeridas por una aplicación o servicio"*. La funcionalidad de una aplicación incluye tanto la presentación de la información como la satisfacción general del usuario. Normalmente, la calidad de servicio es expresada por medio de parámetros negociables y las necesidades de los clientes dependerán del tipo de aplicación que generen y que pueden variar durante la transmisión o tiempo de conexión. La idea básica de QoS se fundamenta en que la situación actual de ofrecerle a un cliente servicios que no estén diferenciados de acuerdo a sus requerimientos no satisface a la comunidad de usuarios. Esta comunidad está compuesta por una amplia variedad de clientes donde cada uno tiene sus propias exigencias.

En este estándar la calidad de servicios se basa en la reserva del ancho de banda y para ello se definen algunos mecanismos los cuales son:

- **UGS** Servicio de subvención no solicitado (Unsolicited Grant Service), que está orientado a servicios con requerimientos estrictos de temporización como E1, Voz, VoIP. Para este servicio se definen unos parámetros de QoS obligatorios como son Maximum Sustained Traffic Rate, Maximum Latency, Jitter y Request/Transmission policy.
- **rtPS** Servicio de encuesta en tiempo real (Real Time Polling Service): está orientado a tráfico de tiempo real con tasa de transmisión variable, como en el caso de video MPEG. Los parámetros obligatorios de QoS para este servicio son Maximum Sustained Traffic Rate, Minimum Reserved Traffic Rate, Maximum Latency y Request/Transmission policy.
- **ertPS** Servicio extendido de encuesta en tiempo real (Extended Real Time Polling Service) está pensado para aplicaciones como Voz-IP con detección de actividad. Los parámetros son: minimum reserved rate, Maximum Sustained Traffic Rate, Maximum Latency Tolerance, Jitter, Traffic Priority
- **nrtPS** Servicio de encuesta en tiempo no real (Non-Real Time Polling Service) está diseñado para soportar flujos de datos tolerantes a retardos, de tamaño variable, pero con un ancho de banda mínimo requerido, como es el caso de FTP (Protocolo de Transferencia de Archivos) de alta velocidad. Los parámetros de QoS requeridos por este servicio son: Minimum Reserved Traffic Rate, Maximum Sustained Traffic Rate, Traffic Priority y Request/Transmission Policy.
- **BE** El servicio del mejor esfuerzo (Best Effort) está diseñado para servicios sin requerimientos mínimos de ancho de banda. Los parámetros de QoS obligatorios son: Maximum Sustained Traffic Rate, Traffic Priority y Request/Transmission Policy

Dependiendo de la QoS asignada a un usuario, será el procedimiento que éste ejecute en la capa MAC para poder transmitir sus paquetes hacia la BS. Los tres métodos para poder transmitir datos hacia la BS son:

- Por solicitudes: es el mecanismo que utiliza un nodo para indicar a la BS que necesita BW (ancho de banda) para transmitir. Las solicitudes se pueden enviar en un encabezado de BW o en forma de *piggyback2*.
- Por reservaciones: es cuando un nodo transmite datos en ranuras reservadas de antemano por la BS
- Por consulta: es el proceso mediante el cual, la BS asigna BW a los nodos para uso exclusivo de peticiones de BW. Estas asignaciones pueden direccionarse a un nodo específico (unicast) o a un grupo de nodos (multicast) en cuyo caso, los nodos involucrados deberán entrar en contención para mandar sus requerimientos de BW.

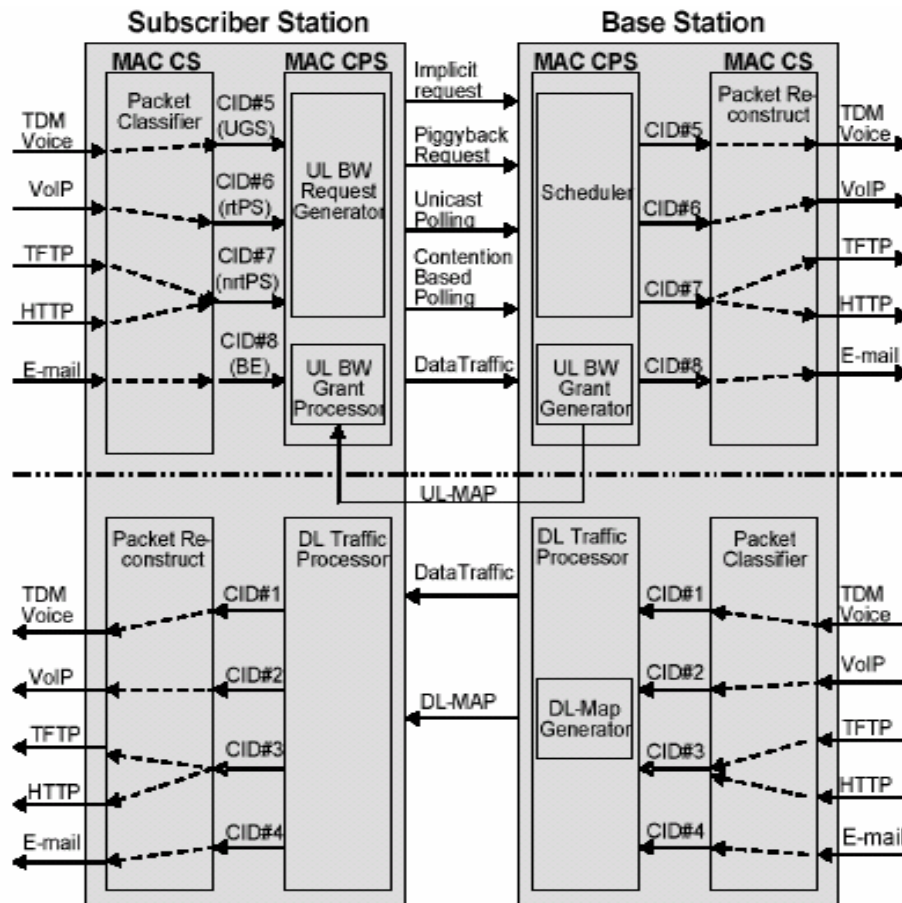


Figura 23: Gráfico que muestra los mecanismos de QoS.

2.7 Seguridad en WiMAX.

Las dudas sobre la seguridad han sido el principal freno tanto para los operadores como para los usuarios empresariales a la hora de realizar grandes inversiones en el sector inalámbrico.

Como cualquier otra red de comunicación al servicio de empresas y usuarios individuales que desean mantener su información segura, los sistemas WiMAX necesitan aplicar medidas para asegurar la privacidad de sus usuarios finales y prevenir del acceso a información confidencial o sensible a personas que no están autorizadas.

En una red inalámbrica es sumamente importante que la información que viaja a través de ésta se encuentre cifrada con un algoritmo suficientemente fuerte, debido a las condiciones del medio, ya que un usuario con la capacidad de conectarse a la red podría interceptar el tráfico de ésta y por lo tanto vulnerarla fácilmente, si es que no se tiene un algoritmo de cifrado lo suficientemente robusto.

Es por este motivo que el algoritmo utilizado en este tipo de tecnologías debe ser lo más fuerte posible. Esto es lo que llevó a que el Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos (IEEE) y el WiMAX Forum trabajaran en la definición de un entorno de seguridad robusto y consolidado en el estándar 802.16x, que ofrezca plena confianza a los usuarios, además de proporcionar servicios seguros de vídeo, datos y voz de banda ancha a empresas y particulares. El cual es brindado por VeriSign proveedor líder de servicios de infraestructura inteligente para redes de telecomunicaciones e Internet, esta empresa permite la incorporación de certificados digitales con el estándar X.509 en todos los dispositivos de hardware con certificación de WiMAX

El estándar WiMAX requiere de las mejores características de seguridad en su clase, lograda gracias a la adopción de las mejores tecnologías disponibles actualmente. Las características de seguridad son independientes al tipo de operador (ILEC – Portador local del intercambio del titular. Incumbent Local Exchange Carrier- o CLEC - Portador local competitivo del intercambio Competitive Local Exchange Carrier-) y a la topología de la red de acceso. En este sentido, el estándar aborda las cuatro áreas principales a tener en cuenta: cómo prevenir el uso clandestino de la conexión wireless; denegación de

servicios para unidades robadas o utilizadas de forma fraudulenta; suministrar servicios sólo a los usuarios finales específicos; y cumplir con la Gestión de Acceso Seguro.[13]

La seguridad WiMAX soporta dos estándares de encriptación de calidad, DES3 y AES, que es considerado tecnología de vanguardia. Básicamente, todo el tráfico en redes WiMAX debe ser encriptado empleando el Counter Mode con Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol (CCMP) que utilizan AES para transmisiones seguras y autenticación de la integración de datos. Por su parte, la autenticación end-to-end de la metodología PKM-EAP (Protocolo de Autenticación Extensible) está utilizada de acuerdo con el estándar TLS de encriptación de clave pública que define un proceso de seguridad dedicada en la estación base para los principiantes. Del mismo modo, también hay unos requerimientos de encriptación mínimos para el tráfico, así como para la autenticación end-to-end. Para garantizar el suministro de servicios sólo para los usuarios finales específicos se utiliza la autenticación, basada en certificados digitales X.509. La autenticación se incluye en la capa de control de acceso a los medios y proporciona a cada usuario 802.16 su propio certificado, más otro para el fabricante, permitiendo a la estación base autorizar al usuario final.

Por lo que respecta a la seguridad, el estándar 802.16 realiza una autenticación con certificados x.509 usando DES en modo CBC, además de que permite cifrado de los datos mediante los algoritmos Triple DES (128 bits) y RSA (1024 bits).

El estándar x.509, se refiere a los formatos para certificados de llaves públicas y algoritmos de validación de la ruta de los certificados. Este tipo de documentos es una parte esencial de la estructura de PKI y su función es obtener los datos de identificación del titular de la llave pública.

El uso de certificados de llaves públicas permite a los usuarios tener la confianza de que las llaves públicas que reciben para el cifrado de toda la información, por medio del algoritmo RSA, son de un titular legítimo y que por lo tanto al comenzar a enviar información cifrada, efectivamente la comunicación únicamente será entre usuarios auténticos de la red.

El estándar define un proceso de seguridad enfocado directamente a la estación central. También se manejan algunas exigencias mínimas de cifrado para el tráfico y para la autenticación punto a punto,

estándares que son adaptados de la especificación de interfaz del servicio de datos sobre cable y el protocolo de seguridad.

2.7.1 CCMP

El CCMP (modo contrario con protocolo del código de la autenticación del mensaje de encadenamiento del bloque de la cifra). Es complementario del TKIP y representa un nuevo método de encriptación basado en AES (Advanced Encryption Standards), cifrado simétrico que utiliza bloques de 128 bits, con el algoritmo CBC-MAC.

Utiliza un IV de 48 bits llamado Número de Paquete (PN) utilizado a lo largo del proceso de cifrado, junto con la información para inicializar el cifrado AES para calcular el MIC y la encriptación de la trama.

En el proceso de encriptación utiliza la misma llave temporal tanto para calcular el MIC como para la encriptación del paquete, haciéndolo todo ello de forma paralela. El MIC se calcula a partir de un IV formado por el PN y datos extraídos de la cabecera de la trama. El IV se convierte en un bloque AES, y su salida a través de la operación XOR conformará el siguiente bloque AES.

2.7.1.1 Criptografía de CCMP

CCMP se basa sobre el modo CCM del algoritmo del cifrado de AES.

CCMP utiliza 128 llaves del pedacito, con un vector de la inicialización de 48 pedacitos (iv) para juega de nuevo la detección.

2.7.1.2 Los componentes de CCMP

- El componente contrario del modo (CM) de CCMP es el algoritmo que proporciona aislamiento de datos.
- El componente del código de la autenticación del mensaje de encadenamiento del bloque de la cifra (CBC-MAC) de CCMP proporciona integridad y la autenticación de datos.[2]

2.7.2 DES

El DES (estándar de cifrado de datos), fue desarrollado por IBM y basado sobre la cifra anterior de Lucifer de IBM, utiliza una llave de 56 pedacitos. Este tamaño dominante es vulnerable a un ataque de la fuerza bruta usando tecnología actual.

2.7.2.1 DES triple

Una variante de DES, DES triple, proporciona seguridad perceptiblemente realzada ejecutando el algoritmo del DES de la base tres veces en una fila. Tiene el efecto de hacer el cifrado del DES mucho más difícil a la fuerza bruta. Triple-DES se estima para ser 2 a los 56.os tiempos más difíciles de romperse que el DES. El DES triple se puede todavía considerar un algoritmo seguro del cifrado. El DES triple también se escribe como 3-DES o 3DES. [3]

2.7.3 AES (estándar avanzado del cifrado)

El NSA ha aprobado 128 el pedacito AES para el uso hasta nivel SECRETO y 192 el pedacito AES para el uso hasta nivel SECRETO SUPERIOR.

AES se basa sobre el algoritmo de Rijndael, que fue inventado por Joan Daemen y Vincent Rijmen. AES especifica tres longitudes dominantes aprobadas: 128 pedacitos, 192 pedacitos y 256 pedacitos. [1]

Conclusiones del Capítulo

El costo y complejidad asociado con la infraestructura telefónica y cableado tradicional ha resultado en un vacío significativo de cobertura de banda ancha en todas las geografías internacionales. Tempranos intentos de usar tecnología inalámbrica para llenar estos vacíos de cobertura han involucrado a un número de soluciones propietarias para acceso de banda ancha inalámbrica que han fragmentado el mercado sin proveer economías de escala significantes.

En el mundo de hoy la proliferación, estandarización e implantación en las redes inalámbricas, es una realidad por las ventajas y beneficios que presenta. Las instituciones quieren, cada vez más una red de comunicación que proporcione transferencias a grandes velocidades no sólo para datos, sino para vídeo y voz. Una solución a este problema es mediante la implementación de WiMAX, red (Triple play) y además estándar diseñado para proveer acceso inalámbrico de última milla en redes MAN, como ventaja añadida, no requiere de torres donde exista enlaces del tipo LOS sino únicamente del despliegue de estaciones base (BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a unas 200 estaciones suscriptoras (SS) que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos. Su instalación es muy sencilla y rápida (culminando el proceso en dos horas) y su precio competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico como Wi-Fi: entre 5.000 euros y 25.000 euros.

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

Capítulo 3 “Caso de estudio”

3.1 Introducción.

En los capítulos anteriores se realizó un modesto estudio de la arquitectura para redes de banda ancha donde se abordaron tópicos de gran importancia y de gran novedad en el mundo de hoy en las redes inalámbricas. Se trataron tecnologías como WiMAX, así como de los mecanismos para brindar QoS con la mejor eficiencia posible y una mejor seguridad aplicado diferentes protocolos.

En este capítulo se realiza un análisis de lo que constituye el objeto de estudio para la aplicación del estándar abordado en este trabajo, donde se realiza una propuesta para proporcionar servicios de banda ancha que me posibiliten el Acceso a Internet de Alta Velocidad, Voz (VoIP), Transmisión de Datos (VPN IP, Línea Dedicada) y transmisión de video en la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI), además de ser el primer paso para constituir lo que será una ciberinfraestructura que dará servicios a muchas de las áreas rurales de nuestro país, de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas.

El enlace, utilizando el estándar especificado en el capítulo anterior, nos posibilitaría un mayor crecimiento de las conexiones, además de resolver los problemas con la telefonía que hoy presenta nuestra Universidad y sienta las bases para la futura implementación de WiMAX móvil.

3.2 Tópico geográfico de la Universidad de Ciencias Informáticas.

La UCI constituye un importante centro docente en la Ciudad de la Habana que tiene el objetivo de formar ingenieros informáticos, especialistas en el diseño de software y en programación a alto nivel y brinda posibilidades de superación profesional para especialistas en las ramas de la informática.

Esta universidad cuenta con una extensa área que esta dividida en diferentes subáreas que representan las zonas docentes en la que podemos encontrar entre todos sus docentes un total de 154 aulas y 145 laboratorios, zonas residenciales en las que se hallan un total de 134 edificios ocupados por un total de 10015 estudiantes, infraestructura productiva, complejos de comedores, áreas recreativas y otras áreas que se encuentran aún en reserva para el futuro crecimiento de esta institución.

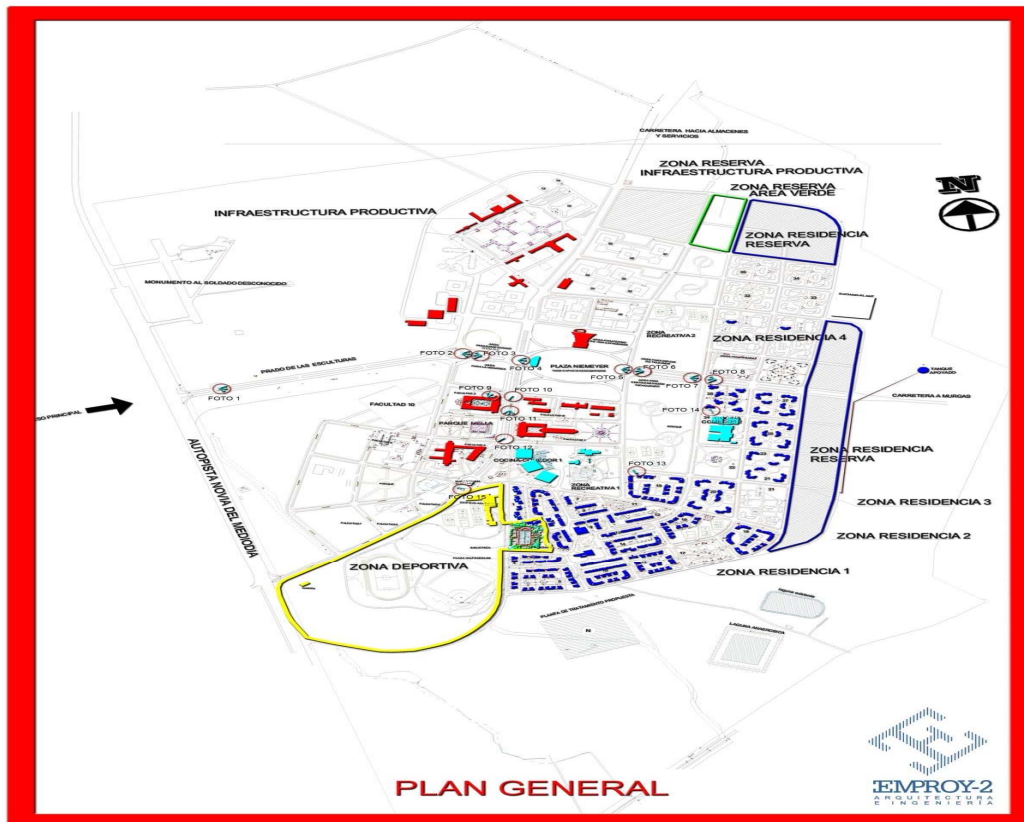


Figura 24: Mapa de la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI).

3.3 Red Ethernet en la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI).

La universidad cuenta con una infraestructura de red compuesta por un nodo principal que ofrece los servicios de red a velocidades por el backbone de 10 GbE y 1GbE hacia diferentes áreas que se encuentran distribuidos en la UCI y las cuales están compuestas por:

Área de Rectorado: Un Switch L3 al que se conectan tres conmutadores que tienen conectadas oficinas y aulas que pertenecen a esta área y el cual se conecta al nodo central mediante una conexión de 1 GbE.

Área de Docencia: Un Switch L3 al que se conecta 4 Switch L3, donde cada uno soporta la conexión de un docente y este Switch L3 principal esta conectado al nodo central mediante una conexión de 10 GbE, además de tener un Switch L3 conectado directamente al nodo central, mediante una conexión de 1 GbE, el cual soporta las conexiones de un docente, estos docentes están compuestos por Laboratorios y aulas.

Área de Residencia: Un Switch L3 que está conectado al nodo central mediante una conexión de 10 GbE y el que soporta la conexión de 3 Switch L3 que se conectan a el a través de una conexión a 1 GbE y los que soportan conexiones de los edificios de la beca a 100 Mb.

Área de Parque tecnológico: Un Switch L3 que se conecta al nodo central mediante una conexión a 10 GbE y el cual soporta la conexión de tres módulos.

El nodo central también tiene conectado 8 servidores, entre los que podemos encontrar servidor de archivo, de correo electrónico, Web, FTP, Proxy, de Base de Datos, Directorios y de Administración.

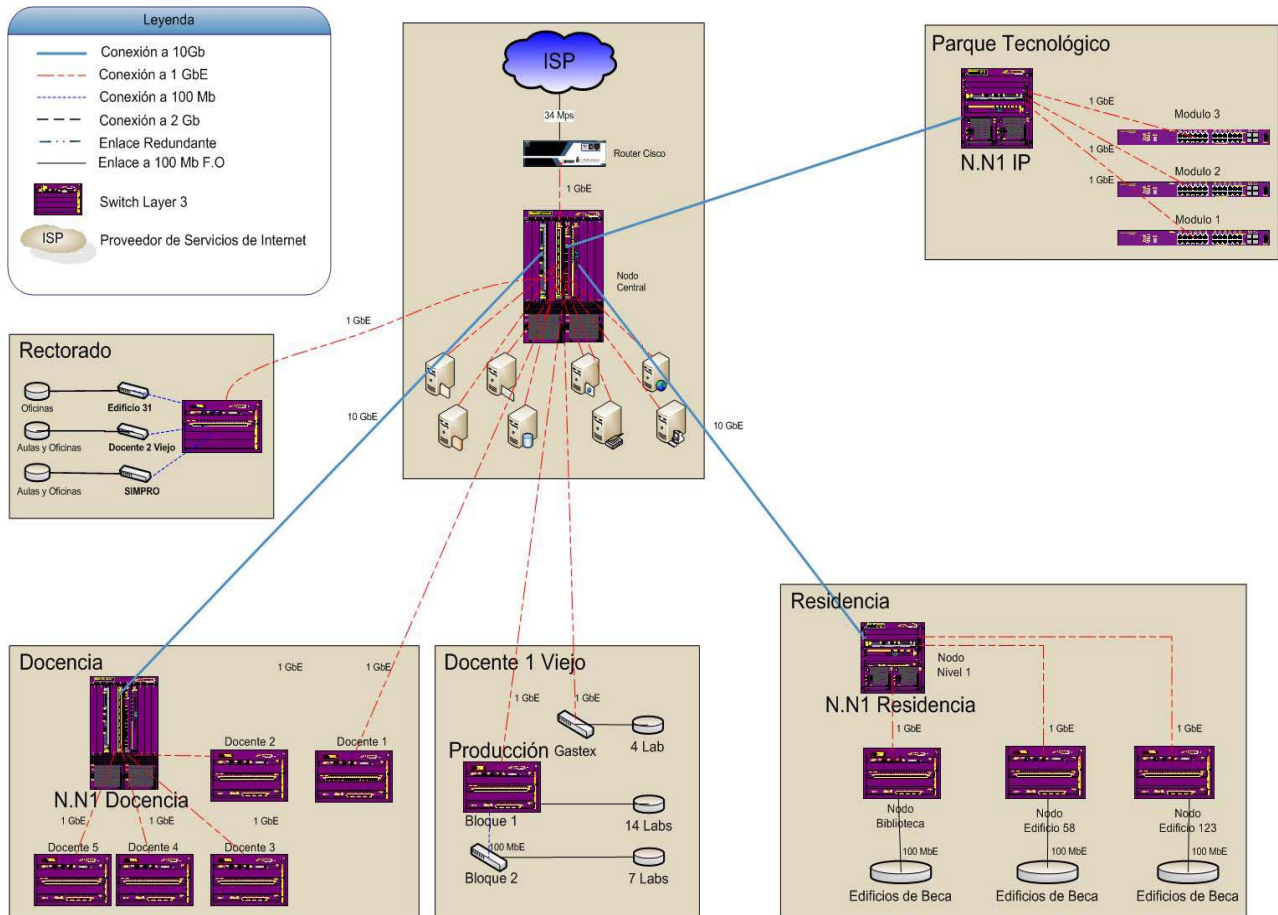


Figura 25: Infraestructura actual de la Universidad de Ciencias Informáticas.

El equipamiento instalado en la red actual de la UCI es de la firma Extremes networks en su gran totalidad aunque en algunas partes de la red emplean algunos dispositivos de otras firmas prestigiosas como Allied, Telesyn, SMC, Accton, Zysell y Planet. Debido al crecimiento que sufrirá esta institución en los próximos meses en cuanto a usuarios en la red, ya que se estima que la cifra del claustro para poder impartir las materias del plan de estudio ascienda, y con ello los servicios que esta red brindará, hace posible que existan planes para su migración a WiMAX desde el backbone central hacia los nodos principales que existirán. Esta expansión se prevé que sea con equipamiento de la firma Alvarion.

3.4 Equipamiento.

En este tópico se señalan algunos de los productos para el estándar 802.16d, que dieron paso de forma física a la implementación en redes metropolitanas. Citando el primer ejemplo, Intel introdujo el chip PRO/Wireless 5116 conocido en principio como Rosedale y que ha sido incorporado en muchos de los equipos WiMAX, RedLine el equipamiento RedMAX, Aperto Network incorpora la tecnología PacketMAX y Alvarion que ha incorporado el chip de Intel a su equipamiento BreezeMAX PRO.

Las razones que han llevado a la industria mundial a embarcarse en el desarrollo de WiMAX se basan en las necesidades de mayor velocidad, la aparición de aplicaciones demandantes de un gran ancho de banda y el aumento del tráfico de aplicaciones multimediales desde voz sobre IP (VoIP) hasta transmisión de video y datos a altas velocidades. Los principales beneficios de la implantación de la tecnología WiMAX son la fácil instalación, gran cobertura, flexibilidad y estandarización.

Familia BreezeMAX de Alvarion.

BreezeMAX es la plataforma WiMAX de Alvarion, diseñada desde el origen para soportar aplicaciones móviles WiMAX, portables, nómadas y fijas. Se desarrolló para soportar las necesidades presentes, permitiendo desplegar a los proveedores de servicio en red escalable y flexible optimizada para cumplir sus necesidades de red y dar servicios a los abonados en cualquier momento del crecimiento de la red.

Esta solución BreezeMAX, además de ser la solución de mayor implantación mundial, cumplió satisfactoriamente el 100% de los tests de interoperabilidad definidos por el WiMAX Forum y cuenta con más de 150 despliegues en 30 países. Todos sus productos operan en la banda de 3.5 GHz FDD y utilizan el chip Intel® PRO/Wireless 5116 de banda ancha.

Alvarion ha sido el primer fabricante del mercado en desplegar un sistema a nivel comercial desde 2004. Con una cuota en el mercado WiMAX superior al 80% logrando satisfacer los requerimientos más inmediatos de los clientes. [6]

El diseño tipo carrier class de BreezeMAX soporta velocidades de banda ancha con calidad de servicio (QoS) para permitir a los operadores ofrecer servicios de banda ancha “triple play” a miles de abonados desde una única estación base.



Figura 26: Familia de BreezeMAX.

BreezeMAX provee inmejorables rendimientos en aplicaciones de datos banda-ancha, voz (VoIP) y video (IP), eliminando la degradación habitual del tráfico de datos, comúnmente encontrada en sistemas similares al incrementar la proporción de paquetes pequeños en el total de los paquetes transferidos. BreezeMAX provee un sobresaliente radio de cobertura, tanto al implementarse en condiciones de línea visual (LOS) como bajo condiciones de línea de vista restringida (NLOS).

BreezeMAX ofrece alta granularidad de implementación, logrando que los niveles de inversión acompañen al crecimiento de la demanda por servicios. BreezeMAX se presenta en configuraciones múltiples de Nodo Central Multipunto, entre las que se destacan la Micro-Estación Base, ideal para implementaciones con baja densidad de remotos por estación Multi-Punto y la configuración Macro-Shelf, adecuada para escenarios con alta concentración de demanda. La disponibilidad de sectorizaciones múltiples de 60°, 90°, 120° y 360° permite aun mayor flexibilidad en la configuración del Nodo Central MultiPunto.

3.4.1 Entre las características principales del sistema BreezeMAX se destacan:

- Operación en bandas licenciadas 2.3GHz, 2.5GHz, 3.3GHz, 3.4GHz a 3.6GHz
- Selección por software de ancho de banda de portadora (3.5MHz, 5MHz, 7MHz y 10MHz). Capacidad efectiva neta (FTP) por portadora de hasta 18Mbps agregado. El sistema permite configurar por software la asimetría (up-link vs. Down-link) de tráfico de cada portadora
- Tecnología de radio OFDM 256 FFT acorde con IEEE 802-2004 (WiMAX “d”) y IEEE 802-2005 (WiMAX “e”) implementa modulación adaptiva multi-nivel. Provee alta capacidad y alto rendimiento bajo condiciones de línea de vista restringida (NLOS). Permite reducir, en casos hasta eliminar, costos de implementación en mástiles/torres, tanto en nodo central como en clientes remotos. El sistema BreezeMAX no requiere de accesorios adicionales tales como reflectores externos o unidades GPS
- Sobresaliente radio de alcance permite alcanzar y en casos sobrepasar los 50Km de cobertura (LOS). Mecanismo automático de control de potencia de transmisión (ATPC). Sensibilidad de -98dBm (modulación nivel 1) y -80dBm (modulación nivel 8). BreezeMAX se ofrece con antenas integradas o preparado para implementar antenas externas
- Pleno soporte de VLANs (IEEE 802.1Q & QinQ) y calidad de servicio de nivel 2 (IEEE802.16-2004 y IEEE802.1P), nivel 3 (IEEE 802.16-2005, IP TOS y DSCP) y nivel 4 (puertos UDP y TCP)
- Pleno soporte a aplicaciones en tiempo real (VoIP y video IP). Opciones con DRAP: protocolo de control de acceso para VoIP
- Amplia gama de Terminales Remotos (CPE), con características de prestaciones y costos acorde a las necesidades del mercado residencial masivo y corporativo. Distintos modelos de Terminales Remotos de instalación en interiores (indoor) o exteriores (indoor/outdoor), permiten traficar hasta 2Mbps o 10Mbps (FTP neto simétrico), ampliando las capacidades del Terminal Remoto por ampliaciones de software
- Seguridad informática multi-nivel. Selección por software de encriptación WEP 64Bit y 128Bit (no requiere de licencia adicional)
- Robusta construcción mecánica para instalación en exteriores. Opción de unidades de alimentación para instalación en exteriores con rango de temperatura extendido y/o preparado para alimentación por paneles solares

- Simpleza en despliegue y configuración. Cableado UTP CAT-5 (Ethernet RJ-45) en todo interfaz del sistema. Alimentación tipo Power-over-Ethernet. Mecanismos de Autodiscovery, DHCP cliente, Leds de alineación integrados en terminales y otros permiten una rápida y sencilla implementación por personal poco calificado
- Software básico de configuración y gestión (BreezeLITE) incluido en el costo de los equipos

3.4.2 BreezeMAX Macro Base Station

La estación base BreezeMAX macro es un estante alto del cPCI 8U que cabe en el estándar 19" o en los estantes de ETSI. La estación base contiene un módulo de red y de radio, poderoso módulo de abastecimiento y de alimentación. Todos los módulos son intercambiamente calientes y la alta disponibilidad se puede proporcionar con esquemas de redundancia múltiples. Soporta técnicas para antena inteligente, incluyendo la codificación del tiempo de espacio (STC), diversidad de polarización y máxima combinación de proporción (MRC). [10]



Figura 27: BreezeMAX Macro.

Especificaciones técnicas.

Radio y Módem.

- ✓ Bandas de frecuencia : 1.5GHz; 2.3GHz WCS; 2.5GHz BRS ; 3.3 - 3.8GHz ; 5 GHz
- ✓ Capa física: OFDM 256 FFT con uplink OFDMA y soportes futuro de SOFDMA para WiMAX movable.
- ✓ Modo duplex : FDD / TDD
- ✓ Modulación sostenida : 64QAM to BPSK (8 niveles adaptativos)
- ✓ Ancho de banda del canal : 1.75MHz, 3.5MHz, 5MHz, 7MHz, 10 MHz
- ✓ Ancho de banda multi carrier (vía IF Mux): 14 MHz
- ✓ Potencia máxima de salida : 34dBm
- ✓ Tipo de antena : 60°, 90°, 120°, Omni
- ✓ Polarización de la antena : Vertical y Horizontal

Datos y establecimiento de una red.

- ✓ Interfaz de red : 10/100/1000 Base-T, E1/T1
- ✓ Soporte de VLAN : IEEE 802.1Q
- ✓ Clasificación del tráfico : Layer 2 IEEE 802.1p, IP DiffServ Code Points DSCP
- ✓ Calidad de servicio : Best Effort, Non-Real-Time, Real-Time, Continuous Grant
- ✓ Diversidad de esquemas: Downlink: 2 ramas STC (space time coding) and diversidad de la polarización Uplink: 2nd / 4th diversidad de la orden MRC (maximum ratio combining)
- ✓ FEC: Concatenated convolution coding and Reed Solomon; Rate: 1/2, 2/3, 3/4

3.4.2 BreezeMAX PRO CPE

BreezeMAX PRO preparado para equipos de cliente (CPE) usa multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), funcionalidad para avanzada tecnología sin línea de visión directa (NLOS) y permite a operadores ofrecer servicios de banda ancha de voz IP y datos. El diseño carrier-class soporta velocidades de ancho de banda y calidad de servicios (QoS) para permitirle a los portadores ofrecer multiples servicios a los millares de suscriptores en una sola estación base.

Características distintivas:

- ✓ Integrado por la interfaz de banda ancha PRO / Wireless 5116 de Intel.
- ✓ Funcionalidad de operación NLOS.
- ✓ Rendimiento de procesamiento neto de 10 Mbps por CPE
- ✓ Interfaces para dato, voz y Wifi
- ✓ Simple Carrier-class manejado por el protocolo de administración de red.
- ✓ Administración SNMP.
- ✓ Opciones de antenas multiples.
- ✓ Utiliza el protocolo de la asignación de recurso dinámico (DRAP) para servicios de calidad de voz.



Figura 28: BreezeMAX CPE PRO.

Especificaciones técnicas.

Radio.

- ✓ Frecuencia: 3.3 GHz: UL:3316-3350MHz DL: 3366-3400.0MHz and UL:3376-3400MHz
DL: 3300-3324MHz
UL: 3399.5-3500.0MHz DL: 3499.5-3600.0MHz 3.6 GHz: UL: 3600-3700.0MHz DL: 3700-3800.0MH
- ✓ Método de acceso al radio: TDMA FDD
- ✓ Ancho de banda del canal: 1.75MHz, 3.5MHz
- ✓ Resolución central de frecuencia: 125KHz
- ✓ Potencia máxima de salida: 20dBm± 1dB
- ✓ Modulación: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
- ✓ Antena: 17 dBi typical, 18 o AZ x 18 o EL, vertical/horizontal polarización, obediente
- ✓ con EN 302 085, V1.2.2 Rango 1
- ✓ Puerto de antena: 50 ohm

Comunicación de datos.

- ✓ Datos: IEEE 802.3 CSMA/CD
- ✓ Interfaz de aire: IEEE 802.16-2004
- ✓ Soporte de VLAN: IEEE 802.1Q
- ✓ Clasificación de tráfico : Layer 2 IEEE 802.1p, IP DiffServ Code Points DCSP

Características eléctricas.

- ✓ Fuente de energía: 100–240 VAC, 50-60 Hz
- ✓ Consumo de energía (max): 16.5W

Físico y ambiental.

- ✓ Dimensiones: 30.5x30.5x7.5 (2.4Kg)
- ✓ Temperatura de funcionamiento: -40°C hasta 55°C
- ✓ Humedad de funcionamiento: 5%-95% no condensando, protección de tiempo.

Estándares y regulaciones.

- ✓ Radio: ETSI EN 301 021 V.1.6.1, ETSI EN 301 753 V.1.1.1
- ✓ EMC: ETSI EN 301 489-1
- ✓ Seguridad: EN 60950 (CE) , CB, IEC 60 950 US/C (TUV)
- ✓ Ambiental : ETS 300 019 part 2-1 T 1.2 & part 2-2 T 2.3, part 2-4 T 4.1E [11]

3.4.3 Chip de Intel “Rosedale”

El chip "Intel® PRO/Wireless 5116 broadband interface" conocido como 'Rosedale', es un componente 802.16-2004 altamente integrado para equipo inalámbrico económico.

El nuevo chip Rosedale fue diseñado con un alto nivel de integración, en un esfuerzo por modernizar el proceso de diseño y reducir el costo del equipo para las premisas de los clientes. Rosedale incluirá los estándares 802.16-2004 MAC y OFDM PHY, un 10/100 MAC integrado, procesamiento de seguridad en línea y una interfaz controladora TDM que permite a aplicaciones como la retransmisión de datos y voz por Internet de banda ancha.

Rasgos destacados

Modem

- ✓ 256 OFDM PHY con soporte de ancho de banda del canal de 10 MHz.
- ✓ Modos duplex TDD y H/FDD.
- ✓ Concatenación Reed-Solomon.
- ✓ Modulación Adaptativa (BPSK, QPSK, QAM16, QAM64)
- ✓ Ayuda realizada del presupuesto del acoplamiento
 - Recibe la codificación del tiempo del espacio
 - Sub-Canalización Uplink
 - Medida de calidad del canal SNR, RSSI

3.5 Esquema de Solución.

La solución propuesta para derribar las barreras y superar dificultades citadas anteriormente produciendo un salto de brecha que asegure a la Universidad el acceso universal a la sociedad del conocimiento, requiere de una Estación Base BreezeMax y 200 BreezeMax CPE PRO. La estación base será ubicada en el nodo central dándole cobertura a toda la Universidad y se ubicara un BreezeMax CPE PRO en cada edificio y docente de tal manera que se le de cobertura a toda la UCI. Además de necesitar de equipos terminales que me permitan poder recibir la señal WiMAX, para esto se propone el Chip de Intel, al que se le dio el nombre de Rosedale, y el cual cuesta 45 dólares (35 euros) y está diseñado para que potentes dispositivos reciban señales Wimax en las casas de los usuarios.



Figura 29: Ubicación de la estación base y CPE.

Ventajas de la solución.

Esta propuesta es considerada la más económica en el sentido del equipamiento a comprar y es la alternativa mas probable a llevar a cabo comparándolo con el costo que implicaría una inversión con tecnología WiMAX. BreezeMAX es una tecnología que provee un sobresaliente radio de cobertura, tanto al implementarse en condiciones de línea visual (LOS) como bajo condiciones de línea de vista restringida (NLOS). BreezeMax es una tecnología de velocidad extremadamente alta y con bajo retardo que puede transportar cualquier tipo de tráfico incluyendo aplicaciones de voz, datos y video, además ofrece a las conexiones una calidad de servicio (QoS) garantizada.

En la tabla siguiente se muestra los precios en el mercado del equipamiento a implementar y los costos de la inversión final.

Costo de los equipos e inversión inicial

Equipo	Precio	Cantidad	Total
Base Station	\$ 50 000.00	1	\$ 50 000.00
Outdoor CPE	\$ 200.00	200	\$ 40 000.00
			\$ 90 000.00

Conclusiones del Capítulo.

Mediante este capítulo se logra llevar a la práctica la propuesta para la conexión de redes inalámbricas a través del estándar especificado en capítulos anteriores, además de que es una posibilidad nueva de interconexión a valorar económicamente sobre todo en lugares rurales donde se desee dar servicios de Voz y Acceso de Banda Ancha y no se disponga de infraestructura telefónica.

Recordando siempre que cada lugar lleva una solución específica a valorar económicamente y que por tanto esta no es más que otra alternativa viable que permite brindar interesantes soluciones.

Sin duda alguna WiMAX es la oportunidad que tenemos para lograr la universalidad del acceso a Internet en beneficio de nuestra educación y de las futuras generaciones.

Conclusiones y recomendaciones.

Si se tiene en cuenta las redes inalámbricas evolucionan rápidamente debido a la gran cantidad de usuarios conectados en red, si a eso se suma el incremento del número de servicios que se brindan a través de la red y el número de usuarios que los utilizan, se aprecia que obviamente las redes cableadas van siendo desplazadas por las inalámbricas, aunque aún le quedan muchos años de vida. Debido a la gran demanda de ancho de banda, tiempos de retardos mínimos, calidad de servicio en las transmisiones de datos y la creciente necesidad de transmisiones de voz, vídeo, videoconferencia, datos y multimedia, se ha pasado a formar una infraestructura para redes de gran ancho de banda que responda a la necesidad de cada usuario. Con la elaboración de este trabajo de Diploma se ha logrado profundizar los conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera y más específicamente en el tercer y cuarto año donde se estudiaron los aspectos fundamentales de redes, los cuales fueron llevados a la práctica mediante la recopilación de información muy valiosa de un tema tan novedoso como el de redes de gran ancho de banda. Se cumplió una correcta metodología de investigación, ya que se realizó un trabajo muy serio en la determinación del equipamiento a emplear, pensando en las necesidades de ancho de banda y altas velocidades que exigen el futuro inmediato.

Se recomienda implementar el estándar, pensando en la posibilidad real de brindar servicios de gran demanda de ancho de banda, como son la transmisión de videoconferencias en tiempo real y la transmisión de voz y vídeo así como grandes volúmenes de información.

Se recomienda a sí mismo, que este documento quede como material de consulta para aquellos que se inicien en este novedoso tema de redes inalámbricas.

Con la realización del trabajo de Diploma elaborado, se cumplen los objetivos planteados para la tesis, profundizando en el análisis del estándar: WIMAX, y esencialmente en el estudio de las peculiaridades y aplicaciones del estándar, se lograron mostrar las posibilidades de los servicios que brinda, así como los protocolos que implementa y sus principales características, se realizó un análisis de la tecnología a emplear en la implementación de este estándar, ofreciendo un trabajo novedoso y actualizado acerca del empleo de las redes inalámbricas y las posibilidades de su instalación, inicialmente en la universidad y posteriormente, cuando las condiciones materiales lo permitan, en todas las áreas rurales del país.

Referencias bibliográficas.

- [1] . "¿Cuál es AES (Rijndael)?" from <http://www.tech-faq.com/lang/es/aes-advanced-encryption-standard-rijndael.shtml>.

- [2] . "¿Cuál es CCMP (modo contrario con protocolo del código de la autenticación del mensaje de encadenamiento del bloque de la cifra)?" from <http://www.tech-faq.com/lang/es/ccmp-cipher-block-chaining-message-authentication-code-protocol.shtml>.

- [3] . "¿Cuál es DES?" from <http://www.tech-faq.com/lang/es/des-data-encryption-standard.shtml>.

- [4] . "Nuevas tecnologías radio."

- [5] (01/21/2005). "Introducción a las redes inalámbricas."

- [6] (05/07/2006). "La Solución BreezeMAX de Alvarion Obtiene la Certificación WiMAX Forum™ y permite servicios de banda ancha "triple play". ."

- [7] (20 de febrero de 2002). "Tecnologías para redes LAN inalámbricas y Windows XP." from <http://www.microsoft.com/latam/windowsxp/pro/biblioteca/planning/wirelesslan/intro.asp#top>.

- [8] Agelet, F. A. (2006). "WIMAX 802.16."

- [9] AGUIRRE, J. E. "Redes Inlámbricas." from <http://www.monografias.com/trabajos/redesinalam/redesinalam.shtml>.

- [10] Alvarion "BreezeMAX Family Data Sheet."

- [11] Alvarion "BreezeMAX™ PRO CPE."
- [12] Engineers, T. I. o. E. a. E. (2007). "SUMMARY REPORT OF THE JAN 2007 MEETING OF IEEE 802.11."
- [13] Forado, R. "SEGURIDAD EN REDES WIMAX." from http://www.borrmart.es/articulo_redseguridad.php?id=1088&numero=23.
- [14] González, I. G. R. (2006). "Redes Inalámbricas de Banda Ancha."
- [15] Intel. (2005). "Intel® PRO/Wireless 5116 Broadband Interface." from www.intel.com/netcomms/technologies/wimax.
- [16] KAEN, I. L. (2005). "TRABAJO FINAL INTEGRADOR POSTGRADO INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES."
- [17] NAP, G. (2004). "La situación de las Tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes ("Wi-Fi")."
- [18] Robles, G. "Wireless MAN."
- [19] Martínez, E. (2002). "Estándares WLAN." from <http://www.eveliux.com/articulos/estandareswlan.html>.

Bibliografía.

"¿Cuál es AES (Rijndael)?" from <http://www.tech-faq.com/lang/es/aes-advanced-encryption-standard-rijndael.shtml>.

"¿Cuál es CCMP (modo contrario con protocolo del código de la autenticación del mensaje de encadenamiento del bloque de la cifra)?" from <http://www.tech-faq.com/lang/es/ccmp-cipher-block-chaining-message-authentication-code-protocol.shtml>.

"¿Cuál es DES?" from <http://www.tech-faq.com/lang/es/des-data-encryption-standard.shtml>.

"La situación de las Tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes ("Wi-Fi") Colegio."

"Nuevas tecnologías radio."

(01/21/2005). "Introducción a las redes inalámbricas."

(05/07/2006). "La Solución BreezeMAX de Alvarion Obtiene la Certificación WiMAX Forum™ y permite servicios de banda ancha "triple play". "

(20 de febrero de 2002). "Tecnologías para redes LAN inalámbricas y Windows XP." from <http://www.microsoft.com/latam/windowsxp/pro/biblioteca/planning/wirelesslan/intro.asp#top>.

Agelet, F. A. (2006). "WIMAX 802.16."

Aguilar, F. S. (02/0/2004). "Tipos de Redes." from http://www.eveliux.com/fundatel/menu_telecom.html.

AGUIRRE, J. E. "Redes Inlámbricas." from <http://www.monografias.com/trabajos/redesinalam/redesinalam.shtml>.

Alvarion "BreezeMAX Family Data Sheet."

Alvarion "BreezeMAX™ PRO CPE."

Contreras, G. (09/09/2004). "El futuro es inalámbrico y se llama WiMAX." from <http://www.imatica.org>.

Cruz, M. G. (Abril2007). "Tecnología para impulsar Mobile WiMAX." from <http://www.software.net.mx/desarrolladores/minegocio/apoyos/Huawei.htm>.

Cruz, S. J. I. d. I. "Principales estándares Inalámbricos."

Dammander, M. C. L. A. (April 6, 2006). "WiMAX - A Study of Mobility and a MAC-layer Implementation in GloMoSim."

De Wikipedia, I. e. I. (2007). "WiMAX." from <http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>.

Engineers, T. I. o. E. a. E. (2007). "SUMMARY REPORT OF THE JAN 2007 MEETING OF IEEE 802.11."

Estela. (2006). "Movilidad de Plataformas Transparentes a Través de Redes Inalámbricas." from http://www.intel.com/espanol/update/contents/revista0905_2.htm.

Fernández, R. A. (01/07/2006). "WiMAX Un nuevo horizonte en las comunicaciones inalámbricas." from <http://WiMAX/Unnuevohorizonteenlascomunicacionesinalámbricas.htm>

Fernando E. Hardasmal1, L. F. M., José de la Plaza3 (2005). WIMAX, POSIBLE SOLUCIÓN DE COMUNICACIONES DE BANDA ANCHA EN ENTORNOS RURALES. eSalud. Vol.2 5.

Forado, R. "SEGURIDAD EN REDES WIMAX." from http://www.bormart.es/articulo_redseguridad.php?id=1088&numero=23.

González, I. G. R. (2006). "Redes Inalámbricas de Banda Ancha."

González, L. C. F. (2005). "WiMAX: APLICACIONES Y PERSPECTIVA."

Gonzalo, L. (2005). "WiMAX 802.16 Soluciones S/R para aplicaciones de banda ancha."

Gonzalo, L. (2005). "WiMAX."

Hay muchas realidades, pero para las tecnologías sólo hay un destino ¿Cuál es el de WiMAX?

Huidobro, J. M. "WiMAX. ¿El sustituto de Wi-Fi?"

Intel. (2005). "Intel® PRO/Wireless 5116 Broadband Interface." from
www.intel.com/netcomms/technologies/wimax.

KAEN, I. L. (2005). "TRABAJO FINAL INTEGRADOR POSTGRADO INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES."

Leigh, V. A. P. "Redes Inalámbricas ", from <http://REDESINALAMBRICAS.htm>

LEONARDO BETANCUR AGUDELO, J. E. S. C., ROBERTO CARLOS HINCAPIÉ. "PLANEACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS BASADAS EN LA TECNOLOGÍA WIMAX CON LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN ICS TELECOM."

Leony, D. "802.16/WiMAX."

Lucas, J. N. "Redes Inalámbricas: Wimax."

MARCANO, D. (Noviembre 2005). "WiMAX."

- Martínez, E. (2002). "Estándares WLAN." from <http://www.eveliux.com/articulos/estandareswlan.html>.
- Mishan, L. (2006). "WiMAX Services."
- Moya, A. R. "Redes Inalámbricas Universitarias."
- Muñiz, I. (03/Febrero/2005). "WIMAX: El Nuevo Acceso Inalámbrico a Internet".
- NAP, G. (2004). "La situación de las Tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes ("Wi-Fi")."
- Paola Redes Inalámbricas: 21.
- Perú, A. (2001). "DEL WLL AL WIMAX, UNA EXPERIENCIA COMERCIAL."
- Pietrosemoli, E. (5/22/2006). "Introducción a lasTecnologíasInalámbricas."
- Ramírez, A. J. C. (Enero, 2006). "Redes inalámbricas de área personal - WPAN."
- Robles, G. "Wireless MAN."
- Rubi, D. I. G. (2006). "Protocolo de Seguridad en Wimax." from <http://www.seguridad.unam.mx/plan-becarios/main.dsc?doc=1&op=26>.
- Sur, C. (2005). "BBC MUNDO - PRODUCTOS Y SERVICIOS." from <http://BBCMundo.com>.
- Tele-Semana. (Jueves 26 de agosto de 2004). "ESPECIAL WiMAX 802.16 PROCESO DE ESTANDARIZACIÓN

V. Rangel Licea, J. E. C. G., J. Gómez Castellanos y J. Reyes García "Diseño de procedimientos handoff en redes inalámbricas de banda ancha basado en el protocolo IEEE 802.16."

Wikipedia. "WiMAX."

Wikipedia.(2006)."Estación base." from
http://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_base.

WirelessMAN™, I. "The 802.16 WirelessMAN™ MAC: It's Done, but What Is It?" from
<http://WirelessMAN.org>.

Glosario de términos y acrónimos.

AP	Access Point. Punto de acceso en redes WLAN.
AAA	Authentication, Authorization and Accounting. Autenticación, autorización y contabilidad.
AAS	Adaptive Antenna System. Sistema de antena Adaptativa
ATM	Asynchronous Transfer Mode. Modo de transferencia asíncrono (MTA). Tecnología de transferencia de datos a alta velocidad, basada en el empleo de paquetes (células) de tamaño fijo y pequeño, lo que supuestamente lo hace muy adecuado para manejar tipos de tráfico muy heterogéneo (voz, vídeo, datos genéricos, etc.)
BWA	Mobile Broadband Wireless Access. Acceso inalámbrico móvil de banda ancha.
Bluetooth SIG	Bluetooth Special Interest Group. Grupo de promoción de la tecnología Bluetooth (www.bluetooth.org).
CDPD	Cellular Digital Packet Data. Paquete de datos de celulares digitales.
CDMA	Code Division Multiple Access. Acceso múltiple por división en código.
CPE	Customer Premises Equipment. Equipos de cliente. Se refiere a los equipos que es necesario instalar en el domicilio del cliente, como son, por ejemplo, los routers, los módems, etc.

DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum. Técnica de espectro ensanchado con expansión del código mediante secuencia directa.
ETSI	European Telecommunication Standards Institute. Instituto Europeo de Estandarización de Telecomunicaciones.
EAP	Extensible Authentication Protocol. Protocolo de autenticación extensible. Protocolo de seguridad para redes que permite mecanismos de autenticación múltiples, dependiendo del sistema operativo empleado.
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum. Técnica de espectro ensanchado con expansión del código mediante salto en frecuencia.
FDD	Frequency Division Duplex. Técnica de duplexado por división en frecuencia. Es la empleada en el estándar WCDMA FD-CDMA.
FFT	Fast Fourier Transform. Transformada rápida de Fourier.
GSM	Global System for Mobile communications. Sistema global de comunicaciones móviles. Las siglas inicialmente se referían al grupo encargado de su definición y estandarización (Groupe Spéciale Mobile, en francés).
GPS	Global Positioning System. Sistema mundial de determinación de posición. Red de satélites desarrollada por el Departamento de Defensa de EE.UU. para la provisión de un servicio de localización global.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos (www.ieee.org).

IETF	Internet Engineering Task Force. Foro de definición de los protocolos de Internet (www.ietf.org).
IP	Internet Protocol. Uno de los protocolos del conjunto TCP/IP para comunicaciones de datos (www.ietf.org/ip).
LAN	Local Area Network. Redes de área local.
LMDS	Local Multipoint Distribution System. Sistema de distribución local multipunto. Tecnología de banda ancha multiservicio (voz, datos, vídeo) para bucle de usuario inalámbrico en la banda de 25 GHz y superior, dependiendo de las condiciones de la licencia correspondiente. Requiere de una visión directa entre transmisor y receptor.
LLC	Logical Link Control. Control de enlace lógico. Capa del modelo lógico de protocolos donde se engloban todos los mecanismos de gestión de un enlace lógico entre un nodo de una red y la propia red.
LOS	Line-of-Sight. Línea de vista.
MAN	Metropolitan Area Network. Redes de area metropolitanas.
MMDS	Microwave Multipoint Distribution Systems. Sistema de distribución multipunto en microondas. Es análogo a la tecnología LMDS, pero en bandas de frecuencias inferiores (3 GHz).
MIMO	Multiple Input Multiple Output. Sistema de múltiples entradas y múltiples salidas. Se refiere comúnmente a los sistemas de antenas con gestión inteligente de trayectos múltiples.

- MAC** Medium Access Control. Control de acceso al medio. Capa del modelo lógico de protocolos donde se engloban todos los mecanismos de gestión de acceso de los diferentes nodos de una red con acceso múltiple a un mismo medio (radio, cable).
- NIC** Network Interface Card. Una tarjeta de interfaz de red.
- NLOS** No Line-of-Sight. Sin visión directa. Término que indica la situación relativa de un transmisor y un receptor entre los que no hay visión óptica directa, y por lo cual a frecuencias radioeléctricas elevadas se produce una alta atenuación en el enlace.
- OFDM** Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Multiplexado por división ortogonal en frecuencia.
- PHY** Physical Layer. Capa física.
- PAN** Personal Area Network. Redes de area personal.
- PDU** Protocol Data Unit. Unidad de datos de protocolo.
- POS** Personal Operating Space. Espacio operativo personal.
- PKI** Public Key Infrastructure. Infraestructura de clave pública. Sistema formado por los servicios que hacen posible el soporte de la aplicación de firmas digitales y cifrado de la información.
- QoS** Quality of Service. Calidad de Servicio. Término genérico para definir el conjunto de parámetros que definen el tipo y la calidad del servicio proporcionado.
- RADIUS** Remote Authentication Dial-In User Service. Servicio de autenticación remota para usuarios de acceso telefónico.
- SDU** Service Data Unit. Unidad de datos de servicio.

- SOHO** Solar and Heliospheric Observatory es una sonda espacial lanzada el 2 de diciembre de 1995 para estudiar el sol.
- SWAP** Shared Wireless Access Protocol. Protocolo de acceso a redes inalámbricas compartidas.
- SOFDMA** Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access. Acceso de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Escalable.
- TDMA** Time Division Multiple Access. Acceso múltiple por división en el tiempo.
- TDD** Time Division Duplex. Técnica de duplexado por división en el tiempo. Es la empleada en el estándar TD-CDMA.
- TDM** Time Division Multiplexing. Multiplexación por división en el tiempo.
- UIT** Unión Internacional de Telecomunicaciones. Acrónimo en castellano de la ITU (www.itu.int).
- VPN** Virtual Private Network. Red privada virtual.
- VoIP** Voz sobre IP. Tecnología de transmisión de voz a través de redes IP.
- WECA** Wireless Ethernet Compatibility Alliance. Alianza de Compatibilidad Ethernet Inalámbrica.
- WLAN** Wireless Local Area Network. Red inalámbrica de área local.
- WMAN** Wireless MAN. Red MAN inalámbrica.
- WPAN** Wireless PAN. Red PAN inalámbrica.

- WiMAX** Tecnología para el bucle de usuario inalámbrico de banda ancha basada en el estándar IEEE 802.16. Sello de compatibilidad con las pruebas de certificación en interoperabilidad de dicha tecnología (ver « www.wimaxforum.org »).
- WAN** Wide Area Network. Red de área extensa. Red de datos constituida entre nodos situados en emplazamientos distantes y unidos entre sí por líneas de comunicación.
- WWAN** Wireless Wide Area Network. Redes amplias inalámbricas
- WiFi** Wireless Fidelity. Sello de cumplimiento para implementaciones de sistemas WLAN (IEEE 802.11) según las normas de interoperabilidad definidas por la alianza WiFi (www.wi-fi.org).
- 2G** Segunda generación de comunicaciones móviles. La principal diferencia respecto de la primera generación fue la digitalización completa de la red.
- 3G** Tercera generación de comunicaciones móviles. Denominación genérica para referirse a las redes móviles digitales posteriores a los primeros sistemas digitales. Generalmente engloba las redes consideradas bajo el paraguas del IMT-2000 (www.itu.int), aunque el término 3G es anterior.