

Tecnología WIMAX Sistema de Comunicación RF para Largo Alcance

J. Martínez-Castillo^{1,2}, C. A. Vega-Lebrun² y Eliseo Ortiz Valdez²

¹Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología, Universidad Veracruzana, Calzada Ruiz-Cortines #455, Boca del Río, Ver, México.

²Dirección General de Investigación y Posgrado, Universidad Cristóbal Colón, Carretera La Boticaria s/n Km. 1.5. Colonia Militar, Veracruz, Veracruz.

jaimartinez@uv.mx

Resúmen

Los diversos sistemas de redes de computadoras que trabajan en las altas frecuencias y manejan datos con una alta velocidad, capacidad y demanda, a través del no uso de cables, considerando los cambios tecnológicos de la micro y nanotecnología han evolucionado y contribuido de una manera impresionante en los últimos años. Una nueva tendencia en redes de computadoras inalámbricas (IEEE 802.16-WiMAX) de fácil implementación y mantenimiento es presentada. Las ventajas que presenta IEEE 802.16-WiMAX son: que todo se encuentra sobre un mismo plano terrestre de largo alcance (>30 KMS) con línea de vista, diferentes frecuencias de operación (>2.4 GHz), comunicación de red multiusuario y bajo costo en los equipos e infraestructura comparado con los sistemas complejos (satelitales y fibra óptica).

1. Introducción

Los sistemas de comunicaciones inalámbricos o de RF (RF-Radio Frequency, por sus siglas en inglés) han emigrado hacia un mundo de múltiples estándares y servicios con frecuencias de operación desde las bandas de 0.9/1.8/1.9 GHz para servicios GSM (GSM-Global System for Mobile Communications, de sus siglas en inglés), la banda de 1.5 GHz para servicios GPS (GPS-Global Position System, por sus siglas en inglés) y las bandas de 0.915/2.4/3.5/5.2/5.7/5.8 GHz para servicios RFID (RFID-Radio Frequency Identification Systems, de sus siglas en inglés), WPAN (WPAN-Wireless Personal Area Network, por sus siglas en inglés), WLAN (WLAN-Wireless Local Area Network, por sus siglas en inglés) y WMAN (WMAN-Wireless Metropolitan Area Network, de sus siglas en inglés), [1,2,3,4,5,6], como son clasificadas en la figura 1. Esta amplia variedad de frecuencias ocasiona que los sistemas de comunicaciones para RF trabajen en diferentes bandas de comunicación, donde se considera y utiliza la diversidad de los procesos tecnológicos de fabricación. Actualmente, los procesos de fabricación

que funcionan a muy altas frecuencias son: arseniuro de galio (GaAs) y germanio (Ge). Estos procesos de fabricación presentan mayor rango de operación en frecuencia que los basados en tecnologías de silicio-germanio (Si-Ge) y silicio (CMOS-BiCMOS). Sin embargo, los procesos en Si-Ge y CMOS se encuentran compitiendo fuertemente con los GaAs y Ge, debido a su bajo costo, su disminución en área y la compatibilidad entre ellos.

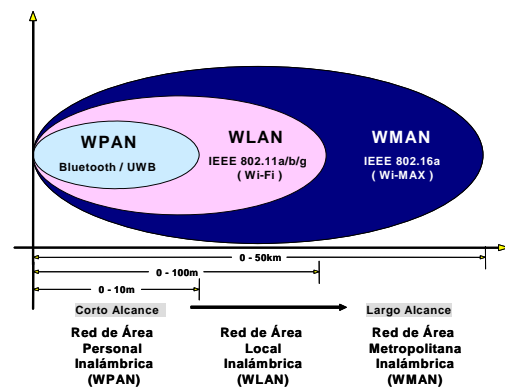


Figura 1. Aplicación de servicios inalámbricos.

En la figura 2 [1], se presenta una fracción de las bandas de operación en frecuencia de los diferentes procesos tecnológicos de fabricación que actualmente se utilizan en los diversos sistemas de comunicaciones inalámbricos.

FRECUENCIAS		TECNOLOGÍAS		
300-3000 MHz	UHF	CMOS	BiCMOS BJT	GaAs
3-30 GHz	SHF			
30-300 GHz	EHF			

Fig. 2. Designación de bandas de frecuencias para TX/RX de sistemas de RF.

Debido a lo anterior y a la alta demanda de capacidad de canales de comunicaciones para el manejo de la información se aprovecha el hecho del desarrollo tecnológico basado en silicio con el fin de satisfacer las demandas de los usuarios porque estos sistemas son más económicos comercialmente. En los front-end de transmisión y recepción, las etapas críticas a diseñar son las etapas analógicas de salida y entrada que transmiten y reciben la señal, respectivamente. Por esta razón, las etapas analógicas, deben ser cuidadosamente diseñadas, dado que operan a frecuencias más elevadas con respecto a las otras etapas del sistema, por lo que hacen que consuman más potencia y sean de mayor área comparadas con las etapas digitales. Debido a las razones anteriores y a la alta demanda de los canales en los sistemas de comunicaciones de RF se han creado propuestas de nuevos estándares para formar redes mediante de acceso inalámbrico: WiFi y WiMAX. WiFi es una red de área local inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.11a/b/g, la cual trabaja a una frecuencia de 2.4 GHz en la banda Industrial, Científica y Médica (ISM) cuenta con una tasa de transmisión de datos de 5 hasta 11Mbps proporcionando coberturas menores a los 100 metros. WiFi es utilizada en topología Ad-Hoc como de infraestructura para la conexión de los dispositivos. Aunque la tecnología de redes WiFi ha mejorado en el manejo de la información presenta algunas desventajas: Dentro del diseño de las redes inalámbricas WiFi, refiriéndose al alcance, se cuenta con una cobertura limitada. Esta cobertura limitada por WiFi se vera superada por la tecnología WiMAX. Movilidad limitada esto impide el uso de las comunicaciones en lugares inalcanzables por las infraestructuras por conexión alámbrica y hasta ese punto también limitada para la tecnología inalámbrica. La banda de frecuencia de 2.4 GHz en la que operan las redes WiFi es no lícitada, es decir, es una banda libre de comunicación, por lo que, no se pueden evitar las interferencias que generan los sistemas que hacen uso de la misma banda de frecuencia. Actualmente, existen en el mercado de las telecomunicaciones una infinidad de productos electrónicos que manejan la frecuencia de 2.4 GHz y que son utilizados en el sector social, industrial y educativo. Debido a lo anterior y la conexión de múltiples usuarios remotos el ancho de banda se ve afectado y limitado dado que este se encuentra dividido por el número de conexiones. Y la seguridad de WiFi presenta múltiples vulnerabilidades dado que el algoritmo WEP para encriptar los datos no es el óptimo [14]. Por todas las razones anteriores, surge la necesidad de creación de nuevas tecnologías multiusuarios con largos alcances de comunicación, es por lo que WiMAX es una nueva tendencia para las demandas de los usuarios debido a las bondades que presenta. En esta investigación se presenta, describe y se concluye con el sistema de red inalámbrico WiMAX.

2. WiMAX

En 1999, el comité IEEE 802 (el mismo que fijó los estándares para Wi-Fi) designo un equipo de trabajo con el fin de desarrollar un nuevo estándar para aplicaciones de acceso inalámbrico de banda ancha (BWA-Broadband Wireless Access, por sus siglas en inglés), el IEEE 802.16 [7]. Posteriormente, otra asociación industrial, el forum de Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (WiMAX-Worldwide Interoperability for Microwave Access, de sus siglas en inglés), fundada en 2003, promovió el estándar IEEE 802.16 además de definir las especificaciones de interoperabilidad entre productos de distintas compañías [7,8]. Por lo que, las redes IEEE 802.16 son denominadas, frecuentemente, como redes WiMAX. Las redes WiMAX es la comercialización del estándar IEEE 802.16 y destinadas a proporcionar servicios inalámbricos de datos a muy alta velocidad [9,10] sobre un área extensa equivalente a una red de área metropolitana (MAN-Metropolitan Area Network, por sus siglas en inglés) [9-11]. WiMAX es capaz de cubrir un área equivalente al de una MAN en donde se podrían interconectar dispositivos de manera inalámbrica y compartir información a alta velocidad (70 Mbps), hasta 50 Km cuando los dispositivos son fijos y máximo 15 Km si los dispositivos son móviles. WiMAX es una alternativa para las conexiones de usuarios por cable módem o cualquier tipo de línea de suscriptor digital (xDSL- por sus siglas en inglés) [8]. El estándar 802.16 original, publicado en octubre de 2001 [7,10], especifica la operación entre 10-66 GHz [7,9,10] con línea de vista (LOS-Line of Sight, de sus siglas en inglés) entre la estación base (BS-Base Station, por sus siglas en inglés) y las estaciones de los clientes suscriptores (SS-Subscriber Station, de sus siglas en inglés) (CPE-Customer Premise Equipment, por sus siglas en inglés) [7]. En enero del 2003, fue introducido el estándar IEEE 802.16a para proporcionar especificaciones adicionales a la capa física (PHY-Physical Layer, de sus siglas en inglés) para la banda de frecuencias 2-11 GHz [7,9,10] y así permitir la operación sin línea de vista (NLOS-Non Line of Sight, por sus siglas en inglés) y contar con un mayor número de clientes de manera más económica [7]. Los modos de operación LOS y NLOS pueden ser observados en la figura 3. El estándar 802.16e, definido en la frecuencias de 2-6 GHz, fue ratificado en diciembre de 2005 [7], permitiendo la actualización de sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha fijos a suministrar servicios móviles a velocidades vehiculares [7,8,10]. Las bandas que se tienen como objetivo para el desarrollo de WiMAX son: 2.4 GHz [9], 3.5 GHz (banda libre en muchos países excepto Estados Unidos) y 5.8 GHz [8,9]. Finalmente los estándares 802.16 se encuentran definidos como: A) IEEE 802.16a entre 2-11 GHz (LOS) para comunicación entre antenas. B) IEEE

802.16b entre 5-6 GHz con QoS. C) IEEE 802.16c entre 10-66 GHz. D) IEEE 802.16d y 802.16e entre 2-6 GHz (NLOS) para distribución a suscriptores fijos y móviles, respectivamente.

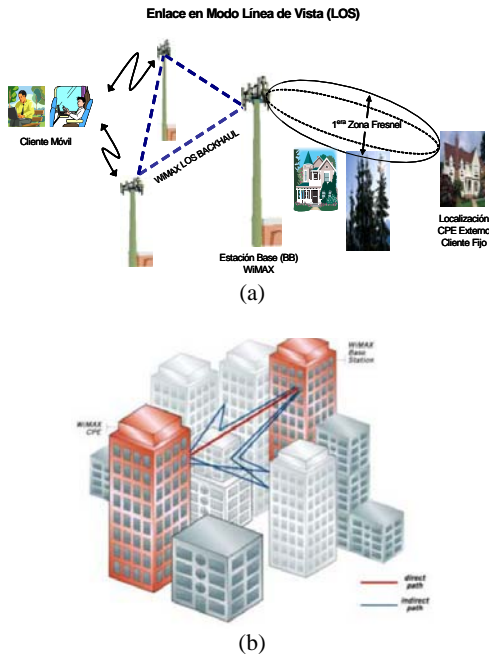


Fig. 3. Modos WiMAX, a) operación en Línea de vista y b) operación sin línea de vista [12].

La tabla 1 muestra los rangos de frecuencias para distribución a suscriptores y clientes móviles. Donde el Foro WiMAX ha propuesto y regulado para el uso de WiMAX así como algunas características importantes de cada uno de ellos. Características que WiMAX considera son: protocolo de acceso que no permite colisión de datos (no hay pérdida de ancho de banda a causa de la retransmisión), ancho de banda disponible de manera eficiente, comunicación coordinada por una estación base, conectividad de usuarios mejorada, alta calidad de servicios, soporte total para servicios de WMAN, operación robusta en clase portadora [8], acceso inalámbrico de banda ancha hasta 50 Km para estaciones fijas y de 5 a 15 Km para estaciones móviles [11] y funcionamiento a muy altas velocidades de transmisión (en la figura 1 se puede observar una comparación entre las distintas tecnologías inalámbricas en cuanto a cobertura y velocidad de transmisión). En la figura 4, se muestra que en la banda de 10-66 GHz, se pueden utilizar anchos de banda de 20, 25 o 28 MHz. Por otro lado, en la banda de 2-11 GHz, se ha definido un ancho de banda de canal variable que puede ser un múltiplo entero de 1.25, 1.5 y 1.75 MHz, pero no mayor a 28 MHz [7]. Esta flexibilidad del canal es crucial para la planeación de celdas, sobre todo en el espectro de

frecuencias licitado [8]. De acuerdo al estándar 802.16, es importante revisar las capas física y de acceso al medio, ya que en ellas radican el funcionamiento de la tecnología WiMAX. En la capa PHY, el IEEE 802.16 soporta cuatro especificaciones para las bandas bajo licencia. Éstas son: 1.- Wireless-MAN-SC (WMAN-SC-WMAN Single Carrier, por sus siglas en inglés) que está basada en una modulación de portadora sencilla y requiere LOS; 2.- SCA utiliza un formato de modulación de portadora sencilla especial diseñado para operación NLOS [7,10]; 3.- OFDM (OFDM-Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), se vale del multiplexado por división de frecuencia ortogonal con 256 portadoras [7,8]; y 4.- OFDMA (OFDMA-Orthogonal Frequency-Division Multiple Access), ocupa acceso de multiplexado por división de frecuencia ortogonal con un total de 2048 portadoras [7,10]. Para bandas libres, el estándar, además de estas cuatro especificaciones también soporta otra especificación PHY: Wireless high-speed unlicensed MAN (del acrónimo WirelessHUMAN) [10].

Tabla 1. Rangos de frecuencias utilizados para WiMAX fijo y móvil [14].

	Índices de bandas	Banda de frecuencia (GHz)	Ancho de banda (MHz)	Tamaño OFDM FFT	Duplexión
WiMAX Fijo	1	3.5	3.5	256	FDD
			7	256	FDD
			7	256	TDD
	2	5.8	256	TDD	
WiMAX Móvil	1	2.3-2.4	5	512	TDD
			10	1,024	TDD
			8.75	1,024	TDD
	2	2.305-2.320 2.345-2.360	3.5	512	TDD
			5	512	TDD
			10	1,024	TDD
	3	2.496-2.69	5	512	TDD
			10	1,024	TDD
			5	512	TDD
	4	3.3-3.4	7	1,024	TDD
			10	1,024	TDD
			5	512	TDD
	5	3.4-3.8 3.4-3.6 3.6-3.8	7	1,024	TDD
			10	1,024	TDD
			5	512	TDD

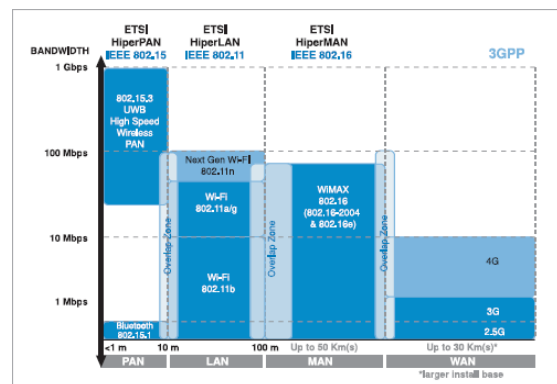
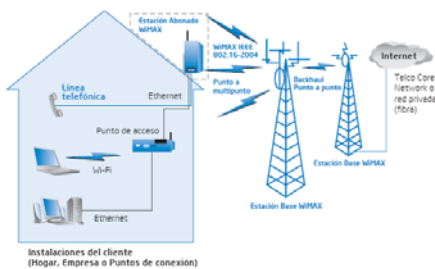


Fig. 4. Velocidades de transmisión y cobertura de tecnologías inalámbricas.

Para soportar usuarios múltiples, el estándar IEEE 802.16 trabaja tanto con time-division duplex (del inglés TDD) como con frequency-division duplex (del inglés FDD) [8,10]. Pueden ser seleccionados diferentes niveles de esquemas de modulación dependiendo de las condiciones del canal, incluyendo BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quaternary Phase Shift Keying), QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation) y 64-QAM. Además, se permiten sistemas de antena adaptativa inteligente (AAS) para mejorar la eficiencia espectral del sistema [7].

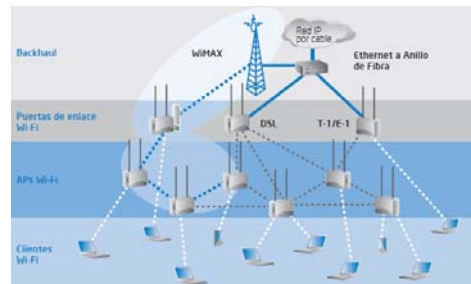
En la capa de control de acceso al medio (MAC), IEEE 802.16, existen dos modos de conexión para WiMAX: punto a multipunto (PMP) y malla, [7,10,12,13]. El creador de la red establece una BS que será la que proporcione el acceso a la red y a donde se conecten directamente todos los SS's. La red es organizada en forma de celdas celulares para ambos modos. El modo PMP es como el mecanismo de conexión de la telefonía celular donde existe una BS hacia donde los teléfonos celulares se comunican para entrar a la red telefónica, si el usuario se aleja de la red de cobertura, entonces su teléfono no tendrá señal para comunicarse; también, si el usuario desea comunicarse con otro dentro de la red celular, su llamada pasará siempre por la BS. Los canales están divididos en canales de subida (de SS a BS) y canales de bajada (de BS a SS), ambos canales son compartidos entre las SS's. El modo PMP requiere que todas las SS's se encuentren dentro del rango de transmisión y con LOS hacia la BS [10]. Por el otro lado, en el modo de malla se puede formar una red ad hoc con todos los nodos actuando como routers retransmisores en adición a sus roles de emisor y receptor [7,10,12,13]. La ventaja de este modo es si la conexión se pierde entre un par de SS's, ambos tendrán conexión por medio del acceso a otro SS con el que tengan conexión; de esta manera, cada SS tendrá, al menos, dos conexiones hacia dos SS's diferentes. El modo de malla presenta una conexión redundante entre los usuarios y de esta manera garantiza la conexión dentro de la red. En la figura 5, se presentan los esquemas de los modos punto a multipunto y mallas propuestas para la tecnología WiMAX [13].



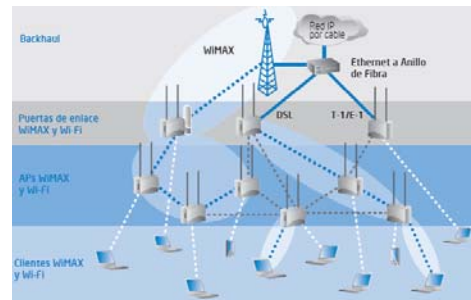
a) Topología de red WiMAX.



b) Backhaul de WiMAX para una malla Wi-Fi.



c) Opción intra-malla backhaul.



d) Opción de conexión para SS's.

Fig. 5. Esquemas modales propuestos para la tecnología WiMAX [13].

3. Conclusiones

La situación actual e introducción de la tecnología WiMAX (IEEE 802.16), como un sistema de comunicación multiusuario basado en la RF, como una primera faceta, fue presentada. Las bondades que ofrecen los desarrollos de la micro y nanoelectrónica basados en silicio y que son aplicados a las comunicaciones inalámbricas para un largo alcance hacen posible una comunicación, de manera rápida y efectiva, entre las zonas rurales y las urbanas dado que IEEE 802.16 WiMAX proporciona mecanismos basados en mallas y redes inalámbricas de área extensa y de muy alta velocidad. Por lo que, los costos de servicios de internet, de voz y datos se verán disminuidos debido a la implementación y uso de la tecnología WiMAX.

4. Referencias

- [1] Sierra P. Manuel y Fernández J. J. Luis, *Electrónica de Comunicaciones*, Pearson Educación, S. A. 2003.
- [2] Thomas H. Lee, *The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits*, Cambridge University Press, 2004.
- [3] R. Jacob Baker, *CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation*, Second Edition, Wiley-IEEE Press, 2004.
- [4] C.Toumazou, G. Moschytz and B.Gilbert, *Trade-Offs in Analog Circuit Design*, The Designers' Companion, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [5] Alan Bensky, *Short-Range Wireless Communication: Fundamentals of RF System Design and Application*, Elsevier, 2004.
- [6] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, John Wiley & Sons, 2003.
- [7] Qiang Ni, Alexey Vinel, Yang Xiao, Andrey Turlikov y Tao Jiang, "Investigation of Bandwidth Request Mechanisms under Point-to-Multipoint Mode of WiMAX Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 45, No. 5, Mayo, 2007.
- [8] "Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solution," Intel Corporation. 2004.
- [9] Shridar Mubaraq Mishra, Robert W. Brodersen, Stephan ten Brink y Ravishankar Mahadevappa, "Detect and Avoid: An Ultra-Wideband/WiMAX Coexistence Mechanism," *IEEE Communications Magazine*. Vol. 45. No. 6. Junio, 2007. pp. 68-75.
- [10] Kejie Lu, Yi Qian y Hsiao-Hwa Chen, "A Secure and Service-Oriented Network Control Framework for WiMAX Networks," *IEEE Communications Magazine*. Vol. 45. No. 5. Mayo, 2007. pp. 124-130.
- [11] E. Kyriacou, M. S. Pattichis, C. S. Pattichis, A. Panayides y A. Pitsillides, "m-Health e-Emergency Systems: Current Status and Future Directions," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 49, No. 1, Febrero, 2007.
- [12] WiMAX Forum, *WiMAX's Technical Advantage for Coverage in LOS and NLOS Conditions*, Aug, 2004.
<http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf>
- [13] Intel Corp., *WiFi y WiMAX*, Intel Solutions, De qué manera Entender Wi-Fi y WiMAX como Soluciones de Acceso para Áreas Metropolitanas, 2004,
http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp03_espanhol.pdf
- [14] C. Maigre Pérez, S. Vidal Beltran y J. L. López Bonilla, "WiMAX, Acceso Inalámbrico de Alta Velocidad", Reunión de Otoño, ROC&C'2007.