

WiMAX:

solución para poblaciones rurales sin servicios telefónicos

Versión de la ponencia del mismo título presentada en el III Seminario Internacional de Telecomunicaciones que sesionó durante la XII Convención y Exposición Internacional, Informática, La Habana, 2007.

Por Ing. Ebenezer Leyva Machín, Grupo de Investigación y Desarrollo, Planeamiento Operativo, Unidad de Negocios Red, ETECSA
ebenezer.leiva@etecsa.cu

Introducción

El acceso inalámbrico es una alternativa al acceso cableado, permite rapidez en el despliegue y la posibilidad de brindar servicios de voz y datos a un usuario que se encuentre en cualquier lugar, dentro del área geográfica de cobertura.

WiMAX —*Worldwide Interoperability for Microwave Access*— es un sistema de radio punto a multipunto que brinda servicios inalámbricos de banda ancha basados en IP. El desarrollo de esta tecnología está enmarcado dentro de los estándares del IEEE —*Institute of Electrical and Electronics Engineers*— y cronológicamente ha evolucionado de la manera siguiente:

En el año 2001, se estableció el estándar IEEE 802.16, interfaz aéreo para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha fijos, que operaba en frecuencias entre 10 y 66 GHz con velocidades de 120 Mbit/s.

En el 2002, se realiza una enmienda agregándosele al estándar las letras b/c con interoperabilidad y especificaciones de certificaciones.

En el 2003, evoluciona el estándar adicionándole la (a). El 802.16a permite operar en frecuencias entre 2-11 GHz, que soporta NLOS —*Non-Line-of Sight*—, con tres nuevas capas físicas: capa de simple portadora, capa de 256 FFT —*Fast Fourier Transform*— OFDM —*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*— y capa de 2048 FFT OFDMA —*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*—, con ancho de banda de canal variable de 1,25 a 20 MHz.

En julio de 2004, se revisa el estándar y surge el 802.16d, ahora publicado bajo el nombre de IEEE 802.16-2004. Este reemplaza al 802.16 —a, b/c, y d—, e, incluye, toda la tecnología en el documento, cambios en la parte de OFDM como soporte de MIMO —*Multiple Input Multiple Output*—, cambios en preámbulo y en las portadoras pilotos, así como en la sub-canalización en OFDMA.

El 15 de diciembre del 2005 fue ratificado por el IEEE el 802.16e

para la aplicación de esta tecnología con movilidad, trabajando en <6 GHz con NLOS, OFDM, hasta 5 km, con número de portadoras flexible 128, 256, 512, 1024, 2048, hasta 10 MHz BW y hasta 15 Mbps que incluye a WiBro, versión Surcoreana del estándar IEEE802.16e.

Por otra parte, según el Censo de Población y Vivienda de 2002, en Cuba existían 886 comunidades de más de 300 habitantes sin servicios telefónicos. El entorno rural de estos sitios, privados de infraestructura de comunicaciones, dispersos y distantes a nodos de comunicaciones, propicia que sea una solución inalámbrica la utilizada principalmente; y debido a que ETECSA tiene el compromiso de ofrecer solución de comunicación a estos sitios antes del 2008, dio respuesta en el 2005 a 295 comunidades con un nuevo servicio denominado Telefonía Fija Alternativa (TFA). Este es un servicio en moneda nacional que utiliza terminales telefónicos de mesa conectados a la red celular. Como esta red está

diseñada para tráfico generado por abonado muy inferior a los de la telefonía fija, los TFA brindan servicio con tráfico regulado. De aquí la esencia de este trabajo, pues el paso del tiempo impone una solución que disponga de una infraestructura que pueda asumir tráfico de red fija.

WiMAX, nombre comercial de los productos del estándar 802.16, al presentar mejores características que los sistemas inalámbricos convencionales, se convierte en una alternativa para dar servicio a la mayoría de esas poblaciones con más de 300 habitantes sin servicio telefónico en el país.

Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema es Punto a Multipunto con una Estación Base —del inglés *Base Station* (BS)— que maneja simultáneamente múltiples sectores independientes. La BS está formada por unidades *indoor*, cable coaxial para unir —*indoor* con *outdoor*— en frecuencia intermedia, unidad *outdoor* y antena sectorial. (Ver Figura 1).

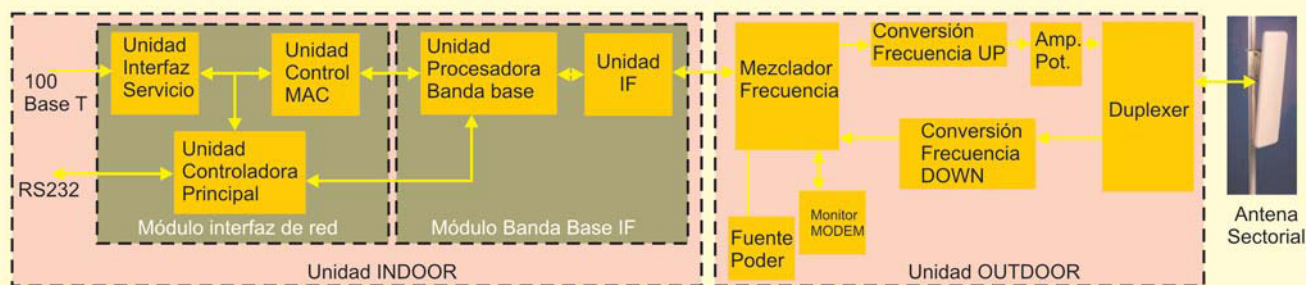


Figura 1 Diagrama en bloque de las diferentes unidades de WiMAX

Las unidades instaladas en el lado del cliente (CPE) presentan el mismo diagrama en bloque al estar formadas por una unidad *outdoor* con antena incorporada y una unidad *indoor*.

Características de la tecnología WiMAX

Esta nueva tecnología ha incorporado a su estándar las mejores características de diferentes sistemas tradicionales y ha logrado mejoras en su rendimiento gracias a la utilización de técnicas de Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonal (OFDM), factor determinante para lograr enlaces de radio sin línea de vista (NLOS). En estos enlaces la señal que llega al receptor tiene que vencer obstáculos asociados a la reflexión, dispersión y difracción de la señal transmitida (ver Figura 2).

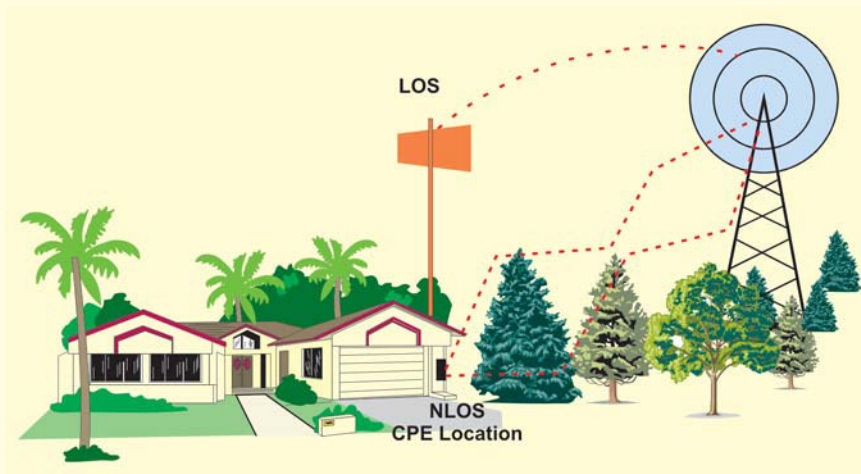


Figura 2 Ubicación CPE (enlace NLOS)

La tecnología WiMAX soluciona los problemas resultantes de las condiciones NLOS con la utilización de:

- ♦ Tecnología OFDM
- ♦ Sub-canalización
- ♦ Antenas direccionales

- ♦ Diversidad de transmisión/recepción
- ♦ Modulación adaptativa
- ♦ Técnicas de corrección de errores

- ♦ Control de potencia

La **tecnología OFDM** es una técnica de transmisión que data del 1970; pero, debido a que requiere grandes capacidades de procesamiento de señal, no era viable en ese tiempo. Sus productos comerciales aparecieron a mediados del 2002.

Para un ancho de banda determinado aumenta considerablemente la cantidad de portadoras en OFDM comparado con FDM, como puede observarse en la figura 3.

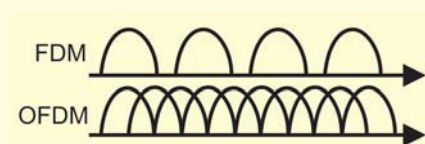


Figura 3 Señales OFDM y FDM en el dominio de la frecuencia

OFDM se basa en dividir el canal de comunicación en el dominio de la frecuencia en varios canales más pequeños, en cada uno de estos se transmite una subportadora.

La información que se envía es multiplexada en las subportadoras y se transmite en forma paralela.

Un bloque de N símbolos que son transmitidos serialmente en T_s segundos cada uno, se convierte en un bloque de N símbolos en paralelo que se transmiten en $T = N \cdot T_s$ segundos cada uno. Los símbolos tienen entonces una duración N veces mayor que permiten, así, reducir la interferencia ínter símbolo (ver Figura 4).

La **sub-canalización** en subida es opcional dentro de WiMAX, permite su uso, que el presupuesto del enlace sea balanceado de tal forma que las ganancias del sistema sean similares en ambos enlaces, subida y ba-

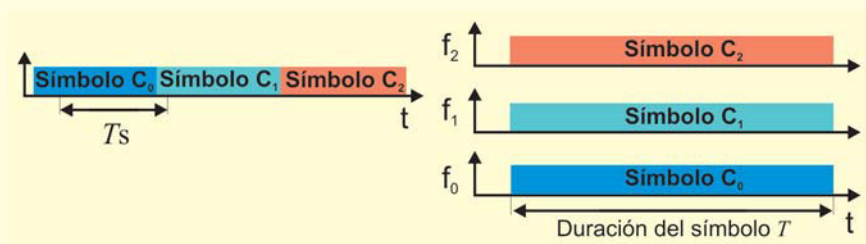


Figura 4 Transformación de los símbolos

jada. El CPE utiliza menos portadoras OFDM pero al mismo nivel que la estación base.

La utilización de **antenas direccionales** permite incrementar el margen de *fading* al adicionar más ganancia.

Chanel Bandwidth	Modulation & Code Rate						
	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 1/2	64QAM 2/3	64QAM 3/4
1,25 MHz	1,04	1,56	2,08	3,12	3,12	4,16	4,68
1,75 MHz	1,45	2,18	2,91	4,36	4,36	5,82	6,55
3,5 MHz	2,91	4,36	5,82	8,73	8,73	11,64	13,09
5,0 MHz	4,16	6,23	8,32	12,47	12,47	16,62	18,70
7,0 MHz	5,82	8,73	11,64	17,45	17,45	23,27	26,18
10,0 MHz	8,31	12,47	16,62	24,94	24,94	33,25	37,40
20,0 MHz	16,62	24,94	33,25	49,87	49,87	66,49	74,81

Tabla 1 Velocidades típicas (Mbps). Fuente: Sargeant, Paul (ver Bibliografía).

La **diversidad de transmisión/recepción** es una característica opcional en WiMAX, sin embargo, su utilización da buenos resultados frente a las condiciones NLOS de señales reflejadas y multitrayectorias.

Otra característica importante es la **modulación adaptativa** acorde con la relación señal a ruido con cada terminal de usuario independiente. De esta forma, los ubicados a distancias menores pueden utilizar una modulación eficiente; y los más lejanos, una menos eficiente pero robusta.

En la tabla 1 pueden verse las velocidades en Mbps para los distintos anchos de banda de canal, utilizados en WiMAX y previstos para su uso.

Las **técnicas de corrección de errores** han sido incorporadas a WiMAX para reducir los requerimientos de la relación señal a ruido del sistema.

Con la utilización del **control de potencia transmitida** se logra un nivel parejo en la recepción de la estación base, independiente de la distancia a que se encuentren ubicados los usuarios.

Tipos de servicios soportados

WiMAX garantiza una calidad de servicio extremo-extremo, que permite 4 tipos de prestaciones:

1. *Unsolicited Grant Service* (UGS) —Servicio Garantizado no Solicitado—. La estación base asigna periódicamente un espacio disponible

en el enlace ascendente para cada conexión de este tipo que se haya establecido. Se utiliza para proporcionar enlaces E1/T1.

2. *Real-time Polling Service* (rtPS) —Servicio con Sondeo en Tiempo Real—. Diseñado para el soporte de conexiones en tiempo real que generan paquetes de tamaño variable según intervalos de tiempos constantes. Se utiliza en VoIP, *streaming* de audio y video.

3. *Non-real-time Polling Service* (nrtPS) —Servicio con Sondeo en Tiempo Diferido—. Diseñado para el soporte de conexiones que no presentan requisitos de tiempo real. Se utiliza en servicios que requieran anchos de banda grandes, pero que son tolerantes a retardos grandes, como servicios ftp.

4. *Best Effort Service* —Servicio Mejor Esfuerzo—. Pensado para el tráfico de mejor esfuerzo, como podría ser el acceso a Internet. No se garantiza ni ancho de banda ni retardo.

Coberturas típicas de WiMAX

WiMAX utiliza el espectro por regiones que aparece en la Figura 5. Se muestran también las coberturas típicas para las frecuencias de nuestra región y cómo la banda de 3,5 GHz presenta buenas coberturas típicas.

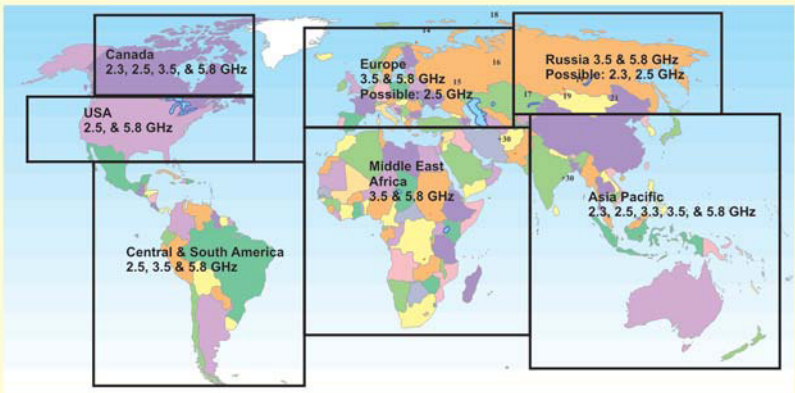


Figura 5 Espectro por regiones. Fuente: Sargeant, Paul (ver Bibliografía).

BandaGHz	LOSkm	NLOSkm
2,5	18-20	9-10
3,5	12-14	6-7
5,8	7-8	3-4

Tabla 2 Coberturas típicas. Fuente: Prado, Eduardo (ver Bibliografía).

Por otro lado, el MIC —Ministerio de la Informática y las Comunicaciones de Cuba— tiene regulado esta banda bajo el amparo de la Resolución No. 102/2002 para el desarrollo de los sistemas inalámbricos, que limita su empleo a aquellas entidades que posean una concesión, como es el caso de ETECSA.

La repartición del espectro en la banda de 3,5 GHz quedó dividida por bloques de 25 MHz con acceso *duplex* por división en frecuencias como se muestra en la tabla 3.

Combinación de bloques	Transmisión estación terminal	Transmisión estación central
A	3400 a 3425 MHz	3500 a 3525 MHz
B	3425 a 3450 MHz	3525 a 3550 MHz
C	3450 a 3475 MHz	3550 a 3575 MHz
D	3475 a 3500 MHz	3575 a 3600 MHz

Tabla 3 Bloques de frecuencia Resolución 102/2002

El trabajo en la banda de 3,5 GHz nos permite utilizar sistemas que empleen esquemas de duplexado FDD —*Frequency Division Duplex* /Duplexado por División de Frecuencia— o TDD —*Time Division Duplex*/Duplexado por División en el Tiempo—. Por todo lo anterior, se piensa que esta debe ser la banda de frecuencia a utilizar en los equipos que se adquieran, y más si se tiene el precedente que, en esa misma banda, se realizaron pruebas que permitieron distancias de cobertura de 32 km.

Desarrollo propuesto

Como se refirió anteriormente según el censo del 2002, existían 886 comunidades con más de 300 habitantes sin servicios telefónicos en el país. Estas poblaciones están ubicadas en 13 provincias: Pinar del Río, La Habana, Matanzas, Villa Clara, Cienfuegos, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas, Granma, Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo. De ellas, Villa Clara es la provincia que tiene menor cantidad de comunidades sin servicio telefónico, 17 en total, y la de mayor cantidad es Granma con 237.

Si se considera como radio de cubrimiento de una Estación Base (BS) 28 km, se cubriría un área de 2463 km cuadrados. Si se instala 40 BS, cubre 98520 km cuadrados y con 50 BS, 123150 km cuadrados, suficientes para dar solución a las comunidades sin servicios. Si cada BS cuenta con 3 sectores de 120 grados, para el caso de 40 BS, se necesitarán 120 sectores y 150 sectores para 50 BS.

Un sector WiMAX con una canalización de 5 MHz permite velocidades de 16 Mbps y un tráfico de 81 erlang. Esto representa que pueden instalarse hasta 27 CPE por sector manejando cada uno 3 erlang —30 teléfonos a 100 mE— y servicio de Internet con un MIR de 256 Kbps en bajada y 64 Kbps en subida.

Para 40 BS – 120 sectores x 27 CPE, nos da un total de 3240 CPE —se aproxima a 3000 CPE— y, para 50 BS – 150 sectores x 27 CPE, nos da un total de 4050 CPE —aproximado a 4000 CPE— que proporcionan 120000 líneas telefónicas, sin instalar ninguna central telefónica, solamente con la asignación de numeraciones libres en cada territorio, para adquirir IAD —*Dispositivo de Acceso Integrado*— de 32 líneas *Foreign Exchange Station* (FXS) —que su precio está en el orden de los cientos— para ser registrados en el *Softswitch*.

Dado que ETECSA cuenta con una plataforma de VoIP, con un *Softswitch* y un *Gateway* troncal enlazado con Águila y Luz como interfaz del núcleo NGN —*Next Generation Networks*— con la PSTN —*Public Switched Telephone Network*—, la instalación de 120000 líneas para dar respuesta de comunicación a las comunidades de más de 300 habitantes sin servicio telefónico presenta un excelente costo-beneficio.

El costo de cada uno de los 50 sitios es de aproximadamente 58 mil para un total de 2,9 millones y cada CPE cuesta aproximadamente \$1200,00 para un total de 4,8 millones que sumado a las BS da un total de 7,7 millones. Debido a que las predicciones en relación con los costos de los CPE refieren que, en 4 años, sus precios estarán en el orden de los \$ 60 a \$ 100, debe extenderse esta tecnología inicialmente por las provincias con menos poblaciones sin servicio telefónico —La Habana, Matanzas, Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spíritus—. Luego, debe irse incrementando el número de provincias a medida que vayan disminuyendo los precios, de forma tal que el costo total de la inversión sea satisfactorio.

El ahorro que representaría ejecutar el proyecto con los precios que se predicen —4000 CPE por \$ 100— sería de \$ 400 mil y, suponiendo que se mantenga el precio en las BS —seguro bajarán también—, daría un total de 3,3 millones que produciría un ahorro de 4,4 millones —cifra a tener en cuenta, sin dudas—.

Como se ha expresado, la propuesta consiste en aprovechar las características de esta tecnología como transporte IP —*Internet Protocol*— combinándola con la utilización de la plataforma NGN instalada —plataforma de VoIP con un *Softswitch* y un *Gateway Troncal* TGW enlazado con Águila y Luz como interfaz del núcleo NGN con la PSTN—. En la Figura 6 puede observarse la forma de implementación de las zonas WiMAX que deben ser conectadas a la nube IP, que ETECSA tiene en plan para el desarrollo futuro de la NGN en el país. En cada territorio donde se efectúe un expansión WiMAX, se requiere la instalación de un mini TGW para enrutar las llamadas que van a quedar dentro del territorio, y evitar, de esta forma, tráficos por la red de paquetes con retornos por la red TDM.

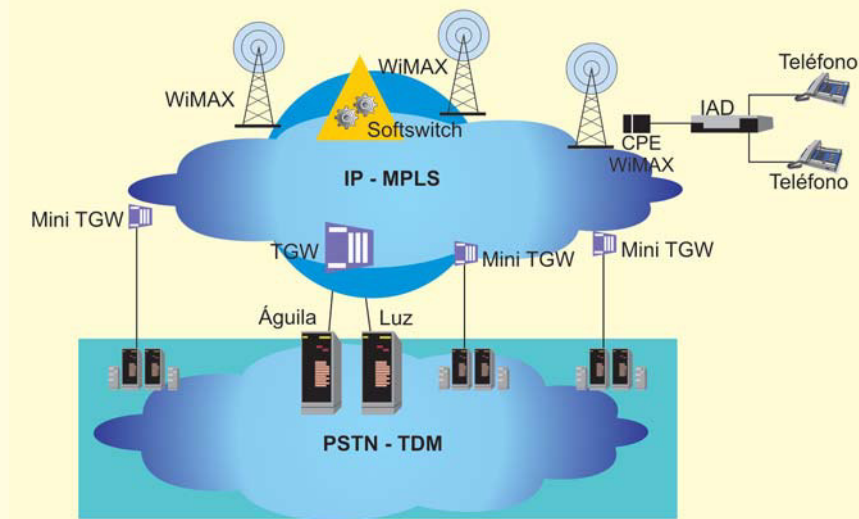


Figura 6 Diagrama de implementación de zonas WiMAX

Ejemplo de solución en la Provincia La Habana

En La Habana las comunidades de más de 300 habitantes sin servicio telefónico se encuentran alrededor de Artemisa y Güines (figura 7), y en la figura 8 donde fueron ubicadas las mismas —triángulos verdes—, los círculos rojos son escuelas contempladas para Batalla de Ideas.



Figura 7 Mapa con BS en Artemisa

En consecuencia, las Estaciones Bases deben ser ubicadas en estos dos sitios. Como se ha expresado con la utilización de WiMAX es posible la solución de la mayoría de las comunidades, pues en la BS de Artemisa hay tres comunidades que están cerca de Cabañas que, debido a alturas existentes en línea con Artemisa, seguramente presentarán obstrucción.

Por otro lado, en la BS de Güines no se logra cubrir dos comunidades pertenecientes a Santa Cruz del Norte. Para implementar esta solución en La Habana, se requiere la instalación en



Figura 8 Mapa con BS en Güines

Bauta de un mini TGW que será interfaz entre la nube IP y su Central. Además se necesita tener punto de presencia de la nube IP en Artemisa y Güines para conectar ambas zonas WiMAX a la misma. De forma similar será la implementación en el resto de las provincias.

Conclusiones

1.-WiMAX puede ser una solución para la mayoría de las comunidades de más de 300 habitantes sin servicio telefónicos en el país, con un costo beneficio satisfactorio, dado la existencia de una plataforma de VoIP instalada por ETECSA.

2.-WiMAX permite el diseño de una red de acceso inalámbrica con manejos de tráfico de telefonía fija, que favorecen la sustitución de las soluciones, dada por la red celular mediante los TFA.

3.- La expansión de WiMAX, en la medida que los precios de estos productos bajen —como se predice—, representa un ahorro considerable del orden de 4 millones. 

Bibliografía

Prado, Eduardo. "Dimensionamiento de Redes WiMAX". (En línea). Disponible en: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswimax>. (Consulta: septiembre/2006).

Rodríguez Gavilán, Agnerys. "Telefonía Fija Alternativa acelera expansión de las comunicaciones". (En línea). *Juventud Rebelde* (feb. 22, 2006). Disponible en http://www.jrebelde.cubaweb.cu/2006/enero-marzo/feb-22/cuba_telefonia.html. (Consulta: septiembre/2006).

Sargeant, Paul. "The Promise of WiMAX". (En línea). Disponible en: www.motorola.com/networkoperators/pdfs/Wi4-the-promise-article.pdf. (Consulta: septiembre/2006).

"WiMAX's Technology for LOS and NLOS Environments". Disponible en <http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf> (Consulta: septiembre/2006).