

UNIVERSIDAD CENTRAL “Marta Abreu” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



**ACCESO INALAMBRICO DE BANDA ANCHA
PROPUESTA PARA CUBA**

Tesis presentada en opción al título académico de
Master en Telemática

Autor: Ing. Fernando Fonseca Martín.
Tutor: Dr. Pedro Arco Ríos.

Villa Clara. 2004
Cuba

A mis niños y mi esposa

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los que han hecho posible la realización de este trabajo:

A mi esposa, por su preocupación, comprensión y apoyo.

A mis compañeros de trabajo por haberme soportado en estos meses.

A mis compañeros de maestría por la amistad forjada.

A Cotes por el apoyo y facilidades que me concedió.

A mi tutor Pedro Arco por su ayuda en la confección de este trabajo.

RESÚMEN

Desarrollar una infraestructura de acceso que satisfaga las necesidades de conectividad y servicios de banda ancha, es uno de los objetivos estratégicos que cualquier nación debe plantearse hoy, pues el empleo y aplicación masiva de las nuevas tecnologías van de la mano del desarrollo socio-económico. Las inversiones en infraestructura tienen un costo, pero el costo social de no hacerlas es mucho mayor.

Carecemos de una infraestructura de acceso que satisfaga las demandas de conectividad y servicios de banda ancha que las empresas y la sociedad necesitan. La red de cables es insuficiente y tiene gran deterioro. En este contexto introducir en Cuba las tecnologías de acceso inalámbrico de banda ancha (BWA) se torna estratégico y hacia allí se dirige el objetivo fundamental del presente trabajo como solución viable, rápida y efectiva que permita el despliegue de servicios de banda ancha en Cuba y garantice la conectividad que demanda la sociedad y la economía.

En el trabajo se estudian las diferentes tecnologías BWA existentes, prestando especial interés a los más recientes estándares aprobados. Se analizan algunos de los productos BWA disponibles en el mercado y se estudia la factibilidad de su introducción en el país desde el punto de vista de la infraestructura de red de datos con que cuenta ETECSA, el marco regulatorio, el mercado de clientes potenciales y se hacen además algunas consideraciones sobre el equipamiento. Finalmente se proponen algunas de las aplicaciones que podrían tener los sistemas BWA en Cuba.

El trabajo concluye con la proposición de la introducción a corto plazo de los sistemas BWA en nuestra red y se hacen algunas recomendaciones para ello.

INDICE

Introducción.....	1
Capítulo 1. Redes Inalámbricas de Acceso de Banda Ancha	6
1.1 El Acceso de Banda Ancha.....	6
1.2 Redes de Acceso Inalámbricas.....	11
1.2.1 Sistemas móviles	14
1.2.2 Sistemas portátiles.....	17
1.2.3 Sistemas fijos.....	21
Capítulo 2. Tecnologías de Acceso Fijo Inalámbrico de Banda Ancha	25
2.1 Sistema multicanal de distribución multipunto (MMDS)	25
2.2 Sistema Local de Distribución Multipunto (LMDS)	30
2.3 Estándares para Sistemas de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha	34
2.3.1 IEEE 802.16.....	37
2.3.2 IEEE 802.16a.....	46
2.3.3 ETSI HiperAccess.....	48
2.3.4 ETSI HiperMAN	49
2.4 WIMAX.....	49
2.5 Fabricantes y Productos	51
2.5.1 Alcatel	52
2.5.2 Ericsson	55
ZTE corporation	58
2.5.3 Redline.....	61
Capítulo 3. Propuesta de introducción de las tecnologías BWA en Cuba.	62
3.1 Cuba y el acceso de banda ancha: situación actual.	62
3.2 Consideraciones para la introducción de las tecnologías BWA en Cuba....	64
3.2.1 Consideraciones estratégicas y mercado.	65
3.2.2 Consideraciones sobre el entorno regulatorio.....	67
3.2.3 Consideraciones sobre la Infraestructura de la red.....	68
3.2.4 Consideraciones sobre el equipamiento a adquirir.	69
3.3 Aplicaciones de los sistemas BWA en Cuba.....	70
Conclusiones.....	75
Referencias	78
Glosario de siglas y términos	84
Anexos	88
Anexo A: Bandas de frecuencias para sistemas BWA	89
Anexo B: Disposiciones para el empleo de la banda de frecuencias de 3,4 a 3,6 GHz en Cuba.....	90

Introducción

El desarrollo de redes de acceso de banda ancha es una de las necesidades tecnológicas del siglo XXI, para dar respuesta a la demanda creciente a escala mundial de anchos de bandas cada vez mayores.

Nuestro país no escapa a este fenómeno. El sector empresarial y turístico demandan cada día conexiones a mayores anchos de banda, así como servicios de banda ancha, limitados hoy por la carencia de la infraestructura de acceso necesaria. La sociedad cubana vive además un proceso de informatización, necesario para la modernización de la gestión del gobierno, el desarrollo de la educación y la salud pública, por lo que se vislumbra un crecimiento en la demanda de ancho de banda en nuestro país en los próximos años.

Estratégicamente ETECSA debe estar preparada para satisfacer la demanda de acceso de banda ancha en el país, por lo que desde ahora debe buscar las alternativas más factibles para el despliegue rápido las redes de acceso de banda ancha.

El acceso mediante fibra óptica aunque garantiza las más altas velocidades de datos, resulta muy cara para el usuario residencial y la pequeña y mediana empresa, por otra parte su despliegue toma mucho tiempo y conlleva a la ejecución de costosas obras civiles.

Actualmente las operadoras telefónicas están brindando servicios de banda ancha utilizando los pares de cobre mediante la tecnología ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), la cual al contar con la infraestructura de cable de cobre existente permite un despliegue mucho más rápido y barato que la fibra aunque las velocidades de datos que se logran son menores que esta. ETECSA ha comenzado a dar los primeros pasos para la comercialización de 7000 líneas ADSL en los próximos años.

El acceso vía radio siempre ha resultado atractivo para las operadoras telefónicas, en especial para los países subdesarrollados, con deficiente infraestructura de cables, por sus palpables ventajas en cuanto a costos, flexibilidad, escalabilidad y tiempo de implementación.

La implementación en Cuba por ETECSA de los sistemas de acceso fijo inalámbrico, conocidos como BWA (Broadband Wireless Access), podría ser una alternativa para el desarrollo e implementación de redes de acceso de banda ancha en el país. Soluciones de este tipo podrían ser aplicadas tanto en áreas urbanas y suburbanas, como en áreas rurales, fundamentalmente donde exista una pobre infraestructura de cables de cobre.

BWA engloba una serie de tecnologías de acceso inalámbrico fijo de banda ancha, donde se incluyen los sistemas MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) , LMDS (Local Multipoint Distribution System) y los más recientes estándares IEEE 802.16/802.16a y ETSI HiperAccess/HiperMAN aún en desarrollo en el mundo y poco estudiados en nuestro país.

ETECSA cuenta con experiencia en la implementación, operación y mantenimiento de sistemas digitales de acceso inalámbrico fijo de banda estrecha (WLL A9800, WLL MGW); gracias a los cuales se ha hecho posible desplegar el servicio telefónico básico, de forma rápida y económica en lugares de difícil acceso y con pobre infraestructura de cables, tanto en zonas urbanas, suburbanas como rurales. Por lo que estaría en condiciones de asimilar estas tecnologías.

El objetivo fundamental de este trabajo es proponer la implementación de sistemas BWA en nuestro país, como solución viable, rápida y efectiva que permita el despliegue de servicios de banda ancha en Cuba. Además se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el estado actual del desarrollo de las redes inalámbricas de banda ancha en el mundo.

- Caracterizar los sistemas BWA, como alternativa inalámbrica de acceso de banda ancha.
- Estudiar los más recientes estándares internacionales aprobados sobre el tema.
- Analizar la factibilidad de la implementación en Cuba de los sistemas BWA.
- Evaluar los proveedores y productos disponibles en el mercado para la implementación de los sistemas BWA en Cuba.
- Proponer la introducción de los sistemas BWA como solución de acceso de banda ancha en Cuba.

Para alcanzar estos objetivos se realizó una revisión técnica y bibliográfica a través de la búsqueda automatizada de información, la cual permitió seleccionar las fuentes primarias y secundarias que sustentan esta tesis y conocer el estado de desarrollo de las redes de acceso de banda ancha inalámbricas en el mundo y la caracterización de los sistemas BWA.

En el proyecto se da respuesta a las siguientes interrogantes:

¿Cuál es el estado actual de las redes de acceso de banda ancha en el mundo?

¿En que consisten las tecnologías BWA? ¿Cuáles son sus ventajas, desventajas y aplicaciones?

¿Es factible, dada las condiciones actuales de Cuba la implementación de los sistemas BWA, como alternativa inalámbrica de acceso de banda ancha?

¿Qué características deben cumplir el producto BWA más conveniente para su implementación en el país?

Los resultados alcanzados con este trabajo tienen una gran importancia tanto desde el punto de vista práctico como metodológico.

El presente trabajo podrá influir en las acciones que tome la empresa en el futuro para introducir los sistemas BWA como alternativa de acceso de banda ancha y en la determinación de las opciones más adecuadas para su implementación en nuestro país; además de convertirse en referencia para futuros trabajos sobre el desarrollo e implementación de la tecnología BWA en Cuba.

La introducción en Cuba de las tecnologías BWA, tendrá un gran impacto social y económico, al contribuir a la informatización de la sociedad, garantizando la conectividad y los servicios de banda ancha; colocando a las empresas, centros educacionales y asistenciales cubanos al nivel de sus homólogas del mundo desarrollado en cuanto a acceso a la información y servicios de banda ancha.

Este informe consta de tres capítulos. En el primero de ellos se da una breve caracterización de las soluciones de acceso de banda ancha por cables de cobre, se exponen las ventajas de las redes acceso inalámbricas frente a las cableadas, se ofrece una panorámica de la evolución de las redes GSM hacia UMTS y del desarrollo alcanzado por las redes WLAN. Finalmente se hace una caracterización muy general de los sistemas de acceso fijos inalámbricos de banda ancha.

El segundo capítulo se dedica a realizar un estudio más profundo de las tecnologías que se engloban dentro de la denominación BWA. Aquí se abordan las tecnologías MMDS, LMDS y se presta especial atención a los más recientes estándares internacionales aprobados. Prosigue el capítulo haciendo alusión a la alianza WiMAX y su impacto en la adopción de los estándares. Al finalizar el mismo se exponen algunos de los productos BWA que son ofrecidos por proveedores que ya han penetrado el mercado cubano en otras esferas de las telecomunicaciones.

El capítulo 3 se ha dejado para exponer algunas consideraciones a fin de realizar los análisis de factibilidad de la introducción de los sistemas BWA en Cuba. Se

analiza la demanda existente para el despliegue de los servicios de banda ancha, la conveniencia estratégica de su introducción, las condiciones de las redes de ETECSA para asimilar sin traumatismos la introducción de esta nueva tecnología, así como el entorno regulatorio y algunas consideraciones sobre el equipamiento. Finalmente se exponen algunas de las aplicaciones que podrían tener los sistemas BWA en Cuba.

En las conclusiones se hacen algunas recomendaciones, dirigidas a dar continuidad al trabajo y posibilitar el despliegue práctico de los sistemas de acceso inalámbricos de banda ancha en el país.

Capítulo 1. Redes Inalámbricas de Acceso de Banda Ancha

1.1 El Acceso de Banda Ancha

Las necesidades de acceso de banda ancha están creciendo aceleradamente. La convergencia de voz, datos y video están incrementando la necesidad de una mayor velocidad. Cada día el contenido de las aplicaciones sobre Internet es más rico en facilidades y más intenso en datos. Las nuevas aplicaciones de usuarios están más orientadas a gráficos que a caracteres. Han aparecido aplicaciones de flujos de datos, como la difusión de audio y video que implican una entrega constante de tráfico unidireccional y se espera en el futuro cercano la mensajería instantánea de voz, texto y video.

Esto exige mucho más de las redes de acceso, las cuales deben sufrir profundas transformaciones encaminadas a la convergencia en una misma red de múltiples servicios, ofrecidos tradicionalmente por diferentes redes. Las nuevas redes de acceso requieren de mayores anchos de bandas, soporte de QoS (Calidad de Servicio) y de ingeniería de tráfico a través de ATM (Asynchronous Transfer Mode) y de IP/MPLS (Internet Protocol / Multiprotocol Label Switching).

Actualmente, la telefonía móvil e Internet captan el mayor interés dentro del mundo de las telecomunicaciones y la informática, y prueba de ello es el crecimiento experimentado en el número de usuarios que optan por utilizar estos dos servicios. Así, Internet crece a un ritmo superior al 100% anual mientras que la telefonía móvil lo hace a un ritmo entre el 40-60%, cifras espectaculares frente al crecimiento de la telefonía fija que no supera, en los países más avanzados, el 5 ó 10% [1].

El 10% de los usuarios de Internet a escala mundial, dispone de una conexión de banda ancha. El líder mundial en la utilización de estas tecnologías es la República de Corea, donde el 57.4% de los hogares tiene acceso a Internet y más

del 93% de los usuarios se conectan utilizando tecnologías de acceso de banda ancha [2].

El termino banda ancha es un termino bastante controvertido, ya que no existe hasta el presente una única definición del mismo. A menudo se asocia la banda ancha en términos de velocidad de transmisión o de un conjunto de servicios específicos.

La recomendación I.113 del Sector de Normalización de UIT define un servicio o sistema de banda ancha como aquel que requiere canales de transmisión capaces de soportar velocidades superiores a la velocidad de acceso primario RDSI, es decir a velocidades mayores de 1.5 Mbps o 2 Mbps, pero hay quienes prefieren una definición cualitativa para la banda ancha, que se centre más en aspectos subjetivos, que en la velocidad [3]. Considerando una tecnología de banda ancha, si:

- soporta las principales aplicaciones multimedia,
- los usuarios la perciben rápida o por lo menos con retardos no significativos,
- la conexión es “always on” y la tarificación está más en función del volumen de datos transmitidos que del tiempo de conexión.

Pero el hecho cierto es que cada servicio requiere de anchos de bandas diferentes. El grupo BRAN (Broadband Radio Access Networks) de la ETSI estudió los requerimientos de ancho de banda de los usuarios para los diferentes servicios de banda ancha. El BRAN concluyó que para soportar aplicaciones de video se requieren velocidades de datos de entre 1.5 Mbit/s a 6 Mbit/s, que para la navegación en la Web es suficiente 2 Mbit/s, que las necesidades de acceso a una LAN corporativa podrían satisfacerse a 10 Mbit/s y que es necesario hasta 25 Mbit/s

para interconectar redes LAN. Como resultado del análisis de este grupo, el estándar inalámbrico HiperAccess¹ de ETSI provee hasta 25 Mbit/s por usuario final.

En la Tabla 1 se puede apreciar las tasas de bits, promedios y pico necesarias para algunos de los servicios, mas demandados hoy.

Tabla 1. Velocidad requerida por servicio [4]

Servicio	Velocidad promedio	Velocidad pico
Video conferencia	384 kbps a 2 Mbps	384 kbps a 2 Mbps
Video bajo demanda	3 Mbps (típica)	6 Mbps
Juegos de computadora	10 kbps	25 Mbps
POTS	64 kbps	64 kbps
RDSI	144 kbps	144 kbps
Internet	10 kbps	25 Mbps
LAN Remota	10 kbps	25 Mbps
Voz comprimida	10 kbps	100 kbps

En general es bastante difícil definir el límite inferior de velocidad para considerar un sistema de acceso como de banda ancha. Pero la demanda de los servicios impone sus reglas. Muchos consideran que a partir de los 384 kbps esta este límite, pues con tal velocidad es posible la videoconferencia; pero el acceso a Internet es el servicio más demandado y para este se considera que la banda ancha se corresponde con una velocidad igual o superior a 256kbps [2] Esta última es la velocidad límite considerada en el presente trabajo, al hacer referencia a los sistemas de acceso de banda ancha.

En los países económicamente más desarrollados se pueden distinguir los siguientes segmentos significativos de mercado [5] :

- Residencial básico: Demanda fundamentalmente servicios de voz y TV, con una creciente demanda de acceso a Internet, con velocidades no muy elevadas.

¹ Estándar Europeo para los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha a frecuencias

- Residencial alto: Hace mayor uso de Internet y requiere velocidades de acceso superiores a las del usuario residencial básico.
- SOHO (Small Office, Home Office): Responde al perfil típico del teletrabajador o pequeña empresa familiar. Demanda una línea múltiple y conexión permanente a Internet.
- PYME (Pequeñas y medianas empresas): Es el sector más amplio del mercado y esta ávido por mejorar su infraestructura de comunicaciones y la conexión a Internet. Demanda conexión a las redes de Datos, interconexión de LAN y servicios de videoconferencia.
- Gran Empresa: Empresas con cientos o miles de trabajadores para las cuales las comunicaciones son muy importantes. Demanda de comunicaciones internas y redes privadas de gran ancho de banda.

Numerosas son las alternativas para el despliegue de las redes de acceso de banda ancha. Sin dudas las tecnologías basadas en fibras ópticas, son las que posibilitan mayores anchos de banda, pero su alto costo en las redes de acceso, han limitado su despliegue en esta área. A escala mundial, las redes de acceso de banda ancha están capitalizadas por la tecnología DSL (Digital Subscriber Line), el cable-módem y las tecnologías inalámbricas.

Las tecnologías DSL son actualmente la primera opción a escala mundial para la conexión a la banda ancha, ya que esta tecnología utiliza el par trenzado de cobre, como medio físico, para acceder a toda clase de servicios multimedia. Los módem DSL logran elevar la velocidad de transmisión de datos por el par de cobre, en el orden de los Mbps, mediante el empleo de modernas técnicas de modulación y codificación. La velocidad que soporta un acceso DSL, disminuye en función del calibre del par y la distancia entre la central local y el abonado. DSL aunque es una variante económica para el despliegue de la red de acceso de banda ancha, en

superiores a 11GHz

entornos urbanos y donde existe infraestructura de cables, esta limitado por la distancia a menos de 6Km. En entornos rurales, ya no es una opción muy atractiva, puesto que la distancia del abonado a la central puede ser superior a los límites que impone esta técnica [6].

El Cable-módem, por su parte, constituye en los EE.UU. la primera opción para la conexión de banda ancha y segunda mundialmente a DSL. La red de Cable es una red multipunto que puede llegar a tener una extensión de hasta 40 Km, empleando como medio físico la fibra en la alimentación y el coaxial en la distribución. La infraestructura de la red de cable es muy costosa. El cable-módem tiene como característica que el ancho de banda disponible (30 a 40 Mbps por canal de 6 MHz) se comparte entre todos los abonados que acceden simultáneamente a los servicios de la red [7]. La opción de suministrar servicios de voz, datos e Internet por cable-módem es económica sólo en los centros urbanos donde ya existen redes de distribución de televisión por cable.

Las redes inalámbricas tienen inherentemente una gran ventaja sobre las redes cableadas y es el hecho de que sólo estas redes pueden soportar la movilidad de los terminales. Esta es una de las razones por las que han tenido en los últimos años un amplio despliegue en todo el mundo. Por otra parte el acceso de banda ancha mediante tecnologías BWA (Broadband Wireless Access) es una alternativa clara a las redes DSL y a las redes de Cable, ya que pueden ofrecer los mismos servicios que estas, pero con la ventaja clara de la reducción de los costos de infraestructura, operación, mantenimiento y tiempo de despliegue.

Las redes BWA constituyen hoy, después de DSL y Cable-módem la tercera opción tecnología para el despliegue de las redes de acceso de banda ancha. La reciente aprobación de estándares para BWA y su adopción por la industria, promete llevar la Banda Ancha hacia zonas hasta ahora marginadas.

Estas razones nos llevan a estudiar más a fondo las redes de acceso inalámbricas y en particular las BWA.

1.2 Redes de Acceso Inalámbricas

El empleo de las tecnologías inalámbricas en el bucle de abonado para brindar servicios multimedia y acceso tiene grandes ventajas frente a las alternativas cableadas, especialmente cuando se requiere de la movilidad de los terminales y cuando no existe o es deficiente la infraestructura de cables.

Entre las ventajas de las redes inalámbricas [5] tenemos:

- Bajo costo: Una red de acceso inalámbrica, en general, cuesta menos que una equivalente cableada, ya que su infraestructura es sencilla y no se invierte en obras civiles (postes, zanjas, registros, tendido de cables, etc.).
- Baja inversión inicial: Se invierte sólo lo estrictamente necesario para desplegar las estaciones bases y un mínimo de equipos de abonados.
- Rapidez de despliegue: Se despliegan y entran en operación en mucho menos tiempo que las redes cableadas, ya que su infraestructura es incomparablemente mucho más sencilla y las obras a realizar son menores.
- Crecimiento adaptado a la demanda: Luego del despliegue inicial, el crecimiento se produce a partir de la demanda de los clientes con la instalación de los CPE (Customer Premises Equipment) de los mismos, sin variar en nada la infraestructura, hasta que el sistema alcanza su plena capacidad de diseño.
- Bajo costo de mantenimiento: Al no existir planta exterior, los costos de mantenimiento son mucho menores que en los sistemas cableados.
- Rápida recuperación de la inversión: Proporcionan al operador de la red un rápido retorno de la inversión.

Las redes inalámbricas pueden ser clasificadas según: el ancho de banda ofrecido al usuario, su alcance territorial, y la movilidad del servicio, entre otros.

Atendiendo al ancho de banda ofrecido al usuario, se considera una red inalámbrica de banda ancha, si permite accesos por usuario a 256 kbps o superior.

Por el alcance de la red se clasifican como:

- WPAN - Redes inalámbricas de área personal: Permiten la conexión inalámbrica de equipos y periféricos, en un ambiente interior y tiene un alcance del orden de los metros.
- WLAN - Redes inalámbricas de área local: Alcance limitado a no mucho más de 150 m.
- WMAN - Redes inalámbricas de área metropolitana: Redes con alcance metropolitano (decenas de kilómetros).
- WWAN - Redes inalámbricas de área amplia: Su alcance es mucho más extenso que el de las redes metropolitanas.

Atendiendo a la movilidad del servicio:

- Fijos: El terminal de usuario soporta servicios sólo en un lugar.
- Portátiles: Dentro del área de servicio pueden ser utilizados en cualquier lugar, siempre que las velocidades de desplazamiento del terminal de usuario no sean mucho mayores que la velocidad peatonal.
- Móviles: Dentro del área de servicio pueden ser utilizados en cualquier lugar, incluso si el terminal se desplaza a velocidad vehicular.

Actualmente hay disponibles una extensa variedad de estas tecnologías, operando en disímiles bandas de frecuencias (ver anexo A) y comienzan a emerger otras nuevas y prometedoras tecnologías.

1.2.1 Sistemas móviles

Las redes móviles actuales de segunda generación (2G), concebidas para proveer servicio vocal móvil, están evolucionando hacia las redes móviles multimedia (3G). El volumen de datos a transmitir por estas redes está creciendo desde unos pocos bytes para el Servicio de Mensajes Cortos (SMS), unos pocos kbps para el Servicio de Mensajería Multimedia (MMS), hasta varios cientos de kbps para contenido de vídeo [8]. El tránsito hacia la 3G tiene diferentes caminos en dependencia de la tecnología 2G implementada.

La mayoría de las redes 2G implementadas en todo el mundo se sustentan en el estándar GSM (Global System for Mobile telecommunication). Actualmente más del 70% de los teléfonos móviles en el mundo utilizan esta tecnología, como se aprecia en la Figura 1.

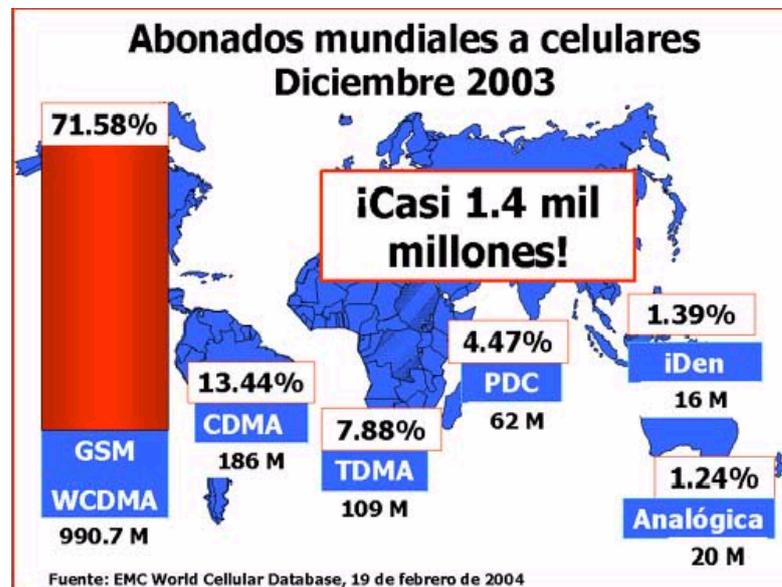


Figura 1. Abonados Celulares por Tecnologías [9]

En el caso de GSM, la red evoluciona en primer lugar hacia GPRS (General Packet Radio Service), después hacia EDGE (Enhance Data rate for Global

Evolution) y por ultimo hacia las redes UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service) [10] .

GSM es una tecnología móvil diseñada desde sus comienzos como un servicio celular digital internacional. GSM emplea la conmutación de circuito y ofrece además del servicio vocal, servicios de datos de baja velocidad (9.6 kbps en bajada y subida). GSM comenzó en 1992 operando a 900 MHz y más tarde se adaptó para los sistemas PCN (Personal Communications Network) europeos a 1800 MHz y para los sistemas PCS (Personal Communications Services) en EE.UU. a 1900 MHz [11].

GPRS a diferencia de GSM, funciona por conmutación de paquetes, dando la posibilidad de que los terminales estén siempre conectados y utilicen recursos de red sólo cuando se está realizando una transferencia de datos. Con GPRS se alcanzan mayores velocidades que con GSM, pero aún son velocidades bajas (máximo de hasta 96 kbps en bajada y 12 kbps en subida) [1] .

El siguiente paso en la evolución es el EDGE, el cual utiliza el esquema de modulación 8PSK (8 Phase Shift Keying) en lugar del tradicional GMSK (Gaussian Minumun shift Keying) de GSM, alcanzando mayores velocidades (384 kbps en bajada y entre 10 y 384 kbps en subida) [3], pero reduce el área de cobertura y se limita a una lenta movilidad, casi estacionaria. EDGE prepara el camino para las nuevas redes UMTS de tercera generación, las cuales ofrecen roaming global, transmisión de datos a alta velocidad a través de técnicas avanzadas de conmutación de circuitos y de paquetes, soporta tecnología IP y ATM lo que posibilita el acceso a Internet, y en general aplicaciones multimedia móviles, con servicios personalizados y basados en la localización de los usuarios. [1]

UMTS utiliza en la interfaz radio la tecnología WCDMA (Wideband Code Division Múltiple Access) en modo FDD (Duplexación por división en frecuencia) con provisión para TDD (Duplexación por división en tiempo); y ATM en la infraestructura de transmisión fija [12]. La combinación de los dos modos (FDD y TDD) ofrece la

oportunidad de obtener la mayor eficiencia del mismo sistema bajo cualquier condición (urbana, suburbana, interiores y exteriores).

UMTS tiene una estructura jerárquica, compuesta por tres tipos de celdas: Macro Celda, Micro Celda y Pico Celda con un mínimo de 5 MHz de ancho de banda por Celda [1].

- La Macro Celda tiene radios desde 1 km hasta 35 km y se destinan para ofrecer cobertura rural y carreteras para vehículos que se mueven a alta velocidad, alcanzando en la transmisión de datos hasta 114 kbit/s.
- La Micro Celda tiene radios desde 50 m hasta 1 km. Ofrece servicio a usuarios fijos o que se muevan lentamente con elevada densidad de tráfico (urbana) alcanzando en la transmisión de datos hasta 384 kbit/s.
- Las Pico Celdas tienen radios hasta a 50 m. Ofrecen coberturas localizadas en interiores, con velocidades del orden de los 2 Mbit/s.

Hasta ahora no está bien clara cuál será la *Killer application*² de esta plataforma. Los contenidos y aplicaciones capaces de sacar provecho al ancho de banda ofrecido por la 3G, se encuentran todavía en una fase incipiente de desarrollo. No obstante se piensa que los futuros servicios de localización, concebidos para ofrecer información a los usuarios en función de su ubicación geográfica, como por ejemplo mapas urbanos, eventos locales, estado del tráfico, rutas, itinerarios personalizados etc., serán una de las aplicaciones más atractivas que lleven al éxito de la tecnología en el mercado [13].

Como puntos débiles de esta tecnología podemos señalar, el alto costo de la instalación y los equipos terminales, lo que hace que tecnologías alternativas, como las WLANs, competirán por el dominio del mercado móvil con el estándar UMTS [14].

² Término inglés muy utilizado para referirse a aquella aplicación que por su atractivo o exclusividad "obliga" al mercado a adoptar la tecnología que la soporta.

1.2.2 Sistemas portátiles

El servicio portátil se ofrece fundamentalmente por tecnologías basadas en redes de área local inalámbrica (WLAN). Las WLAN son actualmente las tecnologías de mayor y más rápido crecimiento en el mercado de las telecomunicaciones y se han extendido desde el sector empresarial hacia el público y el residencial. La WLAN es un medio muy eficaz para proporcionar acceso a Internet desde una conexión de banda ancha a múltiples dispositivos (PC, Laptop, PDA, etc) equipados con tarjetas inalámbricas, situados a no más de 100 o 150 metros del punto de acceso (Access Point – AP) [15] [16], como se aprecia en la Figura 2. En principio no hay límites para el número de usuarios de estas redes, pero al ser el ancho de banda compartido, muchos fabricantes limitan la cantidad de usuarios concurrentes.



Figura 2. Punto de acceso de la WLAN

El área donde hay cobertura de AP se denomina zona de acceso o Hot Spot. El número de Hot Spot crece vertiginosamente en el mundo, en oficinas, hoteles, centros comerciales y de negocios, aeropuertos, terminales de trenes, cafés, etc., como refleja la Tabla 2. Incluso, se han instalado en trenes y vuelos comerciales [17]. Según un estudio de Allied Business Intelligence en el 2008 el número de Hot Spot

en todo el mundo sobrepasará los 200 000, siendo la región de Asia Pacífico la de mayor despliegue.

Tabla 2. Localización de Hot Spot públicos en todo el mundo [18].

Locación	2002	2003	2004
Aeropuertos	152	292	378
Hoteles	2 274	11 687	22 021
Puntos de ventas minoristas	11 109	50 287	82 149
Áreas guesting de las empresas	624	1 762	3 708
Estaciones	88	623	2 143
Comunidad hot spot	266	5 637	20 561
Otros	240	790	1526
Total	14 753	71 078	132 486

Al éxito de las WLAN han contribuido la estandarización, la acentuada reducción de los precios de los equipos, la disponibilidad inmediata, la facilidad de instalación, el soporte de tráfico asimétrico y la utilización del espectro libre de requisitos de licencia.

La mayoría de las WLAN desplegadas globalmente se rigen por los estándares de LAN inalámbricos [15]; principalmente por el IEEE 802.11b, conocido comercialmente como Wi-Fi (Wireless Fidelity). Wi-Fi es una alianza de fabricantes creada con el propósito de impulsar la puesta en el mercado de equipos bajo el estándar IEEE 802.11b y garantizar la interoperatividad entre ellos.

IEEE 802.11b opera a 2.4 GHz, en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical). Esta banda no requiere de licencias para su utilización, pero impone restricciones en cuanto a la potencia de radiación. Con este estándar se alcanzan picos de velocidad de datos de hasta 11 Mbps y teóricamente tiene un alcance 100 metros.

Posterior al estándar 802.11b la IEEE aprobó los estándares IEEE 802.11a, que quintuplica la velocidad de Wi-Fi pero no es compatible con ella, pues opera a 5

GHz. Además el costo del equipamiento es mayor y ha tenido menos aceptación en el mercado. El IEEE 802.11g (Wi-Fi 5) ha gozado de mayor éxito; también quintuplica la velocidad de Wi-Fi, pero es compatible con esta y el costo del equipamiento es ligeramente mayor [16].

En aras de continuar mejorando las prestaciones de la familia IEEE 802.11, nuevas extensiones del estándar se encuentran en desarrollo en estos momentos para ser incorporadas a los estándares de interfaz aire IEEE 802.11a, IEEE 802.11b y IEEE 802.11g. Ellas son [19], [20]:

IEEE 802.11e: Proporciona claves de servicio con niveles gestionados de QoS (Calidad de Servicio) para aplicaciones de datos, voz y vídeo en redes LAN.

IEEE 802.11i: Proporciona una alternativa a la Privacidad Equivalente Cableada (WEP) con nuevos métodos de encriptación y procedimientos de autenticación.

IEEE 802.11d: Constituye un complemento a nivel de control de Acceso al Medio (MAC) para proporcionar el uso, a escala mundial, de las redes WLAN del estándar 802.11. A grandes rasgos, esta norma permitirá a los puntos de acceso compartir información sobre los canales de radio admisibles con niveles de potencia aceptables para los dispositivos de los usuarios.

IEEE 802.11f: Su objetivo es lograr la interoperabilidad de Puntos de Acceso (AP) dentro de una red WLAN multiproveedor. El estándar define el registro de los Puntos de Acceso (AP) dentro de una red, y el intercambio de información entre dichos Puntos de Acceso cuando un usuario se traslada desde un punto de acceso a otro.

IEEE 802.11h: Su objetivo es cumplir los reglamentos europeos para redes WLAN a 5 GHz. Los reglamentos europeos para la banda de 5 GHz requieren que los productos tengan control de la potencia de transmisión (TPC), y selección dinámica de frecuencia (DFS). El control TPC limita la potencia transmitida al mínimo

necesario para alcanzar al usuario más lejano. DFS selecciona el canal de radio en el punto de acceso para reducir al mínimo la interferencia con otros sistemas, en particular el radar.

Por su parte la ETSI ha desarrollado los estándares RadioLAN, HomeRF2 e HiperLAN2.

En la Tabla 3 se comparan los estándares WLAN más difundidos.

Tabla 3 Estándares para WLAN [15]

Estándar	Velocidad (Mbps)	Alcance (m)	Frecuencia (GHz)
IEEE 802.11a	54	50	5
IEEE 802.11b (Wi-Fi)	11	100	2.4
IEEE 802.11g	54	100	2.4
RadioLAN	10	35	5.8
HomeRF2	10	100	2.4
HiperLAN2	54	150	5

A pesar de que las WLAN es una tecnología para ambiente interior, que tiene un alcance del orden del hectómetro, con limitaciones en cuanto a seguridad, protección de la red, calidad de servicio, e interferencias; cada día se están instalando más en zonas rurales y países en desarrollo como solución de acceso de banda ancha y acceso telefónico convencional mediante VoIP (Voz sobre IP) sobrepasando en alcance los 10km. Esto se logra mediante el aumento del nivel de potencia y la utilización de antenas especializadas con visibilidad directa. De esta manera las WLAN se convierten en una solución de acceso radio de bajo costo para reducir la brecha digital en las comunidades rurales [15].

Para muchos las WLAN se convierten en un fuerte competidor de las tecnologías móviles de 3ra generación, ya que las mismas ofrecen mayores velocidades para servicios de datos, son más baratas, llegan primero al mercado y además pueden

brindar servicios vocales mediante VoWLAN [21]. Esto provoca que los operadores móviles deban trazarse nuevas estrategias de negocio e interfuncionamiento y continuidad del servicio entre tecnologías de radio GSM-UMTS-WLAN [22].

1.2.3 Sistemas fijos

De manera indiscutible las tecnologías de acceso inalámbricas fija - FWA (Fixed Wireless Access) - son las que proveen enlaces de mayor ancho de banda, dentro de toda la gama de tecnologías inalámbricas existentes.

Los sistemas de Acceso Inalámbrico Fijo de Banda Ancha (FBWA) o simplemente BWA, son sistemas de comunicación que proveen enlaces digitales bidireccionales para servicios de voz, datos, vídeo e Internet, mediante una topología punto-multipunto desde una estación base (BS) hacia múltiples estaciones de abonados (SS), los que acceden a la misma plataforma radio utilizando métodos de multiplexación (ver Figura 3) . La estructura de esta red no exige que exista un equipo terminal por abonado, sino que un mismo equipo terminal puede dar servicio a un número elevado de abonados, actuando como un multiplexor de acceso, lo que redundaría en la disminución de los costos.

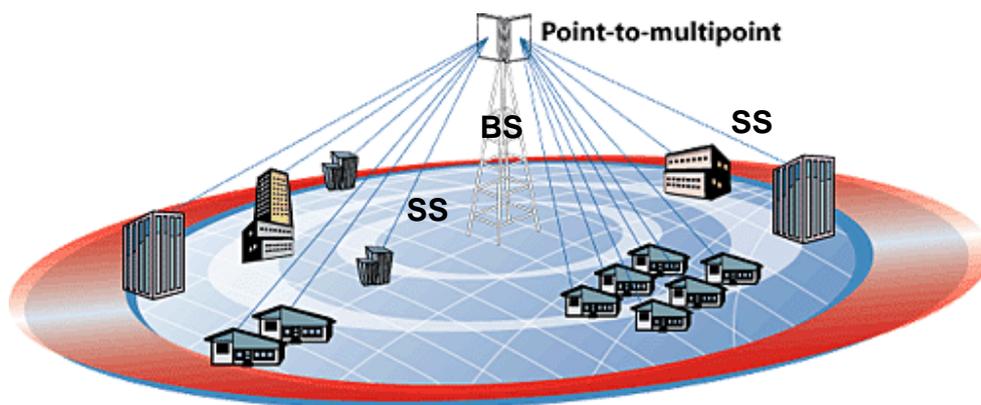


Figura 3. Sistema Punto-Multipunto

Las estaciones bases dan cobertura a una celda, cuyo radio está en función de la tecnología particular implementada y la frecuencia de operación. Mientras más alta es la frecuencia de operación, mayores son los anchos de banda que maneja el sistema y menor el radio de la celda, como se puede observar en la Tabla 4. Las estaciones bases se conectan por una parte a las redes públicas o privadas de telecomunicaciones, mediante interfaces TDM, ATM, IP mientras que por el otro ofrecen el acceso bidireccional inalámbrico de banda ancha hacia el usuario, el cual se conecta al equipo terminal.

Tabla 4 Alcances típicos por frecuencia de operación [23]

Frecuencia [GHz]	Distancia [km]
2 a 6	50
10 a 12	35
18	10
23	7
25 y superior	2 a 7

Los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha tienen como ventaja que se pueden desplegar e instalar muy rápidamente en comparación con las tecnologías homólogas basadas en cable y sus costos de instalación, operación y mantenimiento son relativamente bajos.

Por razones históricas, se suele clasificar informalmente a los sistemas BWA en MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Services) para los sistemas que operan entre 2 y 11 GHz y LMDS (Local Multipoint Distribution Services), para los sistemas que operan por encima de 20 GHz. Lo cierto es que los sistemas BWA han evolucionado desde una primera generación de sistemas MMDS y LMDS de tecnología propietaria hacia una segunda generación de sistemas BWA con una tecnología estandarizada que incorpora importantes avances tecnológicos. El Capítulo 2, ofrece una caracterización de las tecnologías BWA, comenzando con los sistemas propietarios MMDS y LMDS, y termina con la familia del estándar IEEE 802.16 para redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN).

Los sistemas BWA están llamados a jugar un importante papel en el desarrollo de las redes de banda ancha en todo el mundo. Estos sistemas no sólo se reafirmarán como la tercera opción tecnológica de acceso de banda ancha después de DSL y Cable-Módem[24, 25], sino que extenderán más rápidamente los servicios DSL hacia zonas con pobre infraestructura de comunicaciones.

Yunker, de Pyramid Research, cree que en mercados emergentes, los estándares IEEE 802.16 serán usados para transportar voz de manera barata mientras que en mercados desarrollados se utilizará para ofrecer Internet a altas velocidades, especialmente en lugares donde el cable o el DSL no han llegado todavía. Estimaciones de Pyramid apuntan a que Europa del este y central junto con Asia serán las regiones geográficas de mayor despliegue para esta tecnología[], siendo el sector residencial y SOHO, el de mayor impacto de esta tecnología, con un 42% de todos los abonados a sistemas BWA, para el 2008, mientras el sector empresarial PYME ocupará el 16% [26].

Por otra parte BWA es una opción factible, rápida y económica para el backhaul³ de las redes móviles y las WLAN, que tienen en los sistemas BWA un aliado, puesto que los sistemas BWA y en particular el estándar WirelessMan, son una excelente solución al problema de la conexión de los puntos de acceso de las WLAN a las redes de banda ancha, sustituyendo a las actuales soluciones fundamentalmente cableados (ADSL y líneas dedicadas). El concepto subyacente es el empleo de las WMAN para transportar elevados anchos de banda en áreas metropolitanas y el de Wi-Fi para el reparto en los últimos centenares de metros.

Según un reciente informe de Datacomm, gracias a la explosión en la demanda del backhaul para 3G y los servicios DSL inalámbricos y Metro Ethernet, las ventas de equipamiento BWA llegarían en el 2007 a 5 mil millones de dólares [27].

³ Backhaul: Enlace que permite el acceso de una celda a la red de telecomunicaciones.

Del total de equipos vendidos en el 2003, el 84% fue utilizado en aplicaciones de acceso y el 16% como backhaul, sin embargo se espera que para el 2008 las aplicaciones de backhaul representen el 30% de las ventas totales de equipamiento.

La Figura 4 muestra las predicciones de Yankee Group sobre el número de abonados a sistemas de banda ancha en los próximos años y señala que los sistemas BWA seguirán la tendencia de crecimiento de DSL.

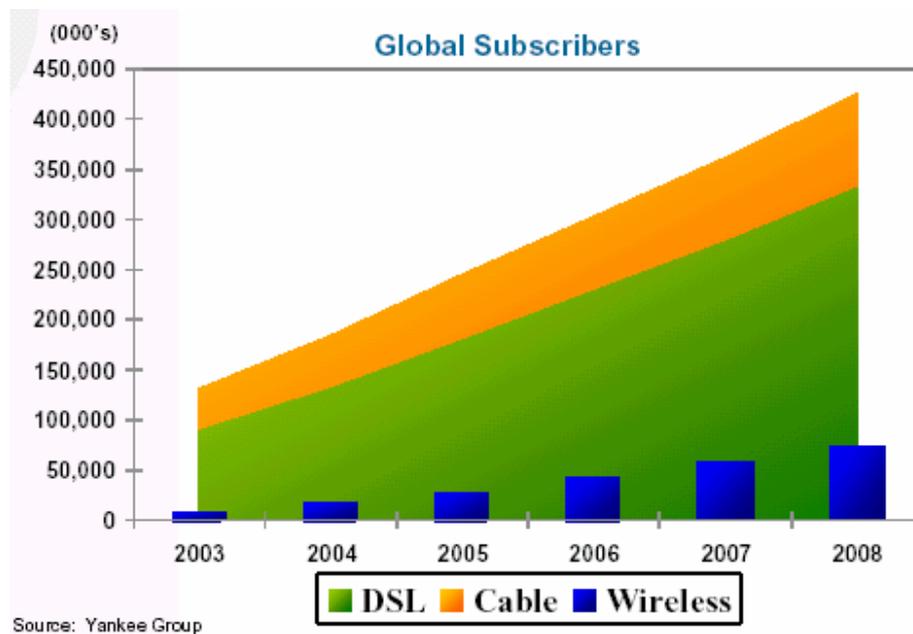


Figura 4. Tendencias mundiales crecimiento de abonados a sistemas de acceso de banda ancha por tecnología

Capítulo 2. Tecnologías de Acceso Fijo Inalámbrico de Banda Ancha

2.1 Sistema multicanal de distribución multipunto (MMDS)

La tecnología MMDS surge en los Estados Unidos en la década del 80 del siglo pasado para la transmisión de señales analógicas de televisión entre 2.150-2.162 GHz y 2.500-2.686 GHz. La banda de 198 MHz se divide en subbandas de 6 MHz, permitiendo la transmisión de hasta 33 canales de TV analógica NTSC. Estos sistemas fueron desplegados fundamentalmente en zonas rurales o de baja densidad en los Estados Unidos, donde el tendido de un sistema cableado de distribución de TV resulta antieconómico. Por ser una alternativa inalámbrica al Cable, se popularizó como *wireless cable* [6],[5].

La competencia con los sistemas digitales por satélite DTH (Direct to Home) capaces de suministrar hasta 150 canales de TV digitales, hizo que estos sistemas, no alcanzaran las expectativas de mercado previstas originalmente.

La introducción de un canal de retorno de 12 MHz para proporcionar servicios interactivos como vídeo bajo demanda y la compresión digital de canales de televisión en una razón de 5:1, elevaron las prestaciones de estos sistemas.

En septiembre de 1998 la Comisión Federal de Comunicaciones de EE.UU. (FCC) autorizó a los operadores de MMDS a proveer mediante enlaces digitales de dos vías servicio de voz, datos, vídeo y conexión a Internet, con lo cual se desvaneció el concepto original de MMDS, quedando reducido este a una región del espectro que puede ser utilizado por cualquier sistema de acceso múltiple, siempre que se respete la canalización de 6 MHz.

Así los sistemas de radio acceso digital bidireccional de banda ancha que utilizan las bandas designadas originalmente para el servicio de teledifusión MMDS en los

EE.UU., mantuvieron el nombre de MMDS, Por su parte en Europa comenzó a utilizarse la banda de 3.5 GHz para proveer este servicio, conociéndose por WIP (wireless IP).

La red MMDS esta compuesta por varias BS que brindan servicios a múltiples SS dentro de una super celda de hasta 50 km de radio. La BS consta de una antena y de un router o swith como interfaz con la central local. Por su parte las SS están formadas por una antena, un transceiver y un módem de mesa. La antena y el transceiver se integran en la mayoría de los casos en una única unidad exterior que se sitúa en la azotea de la edificación y se conecta, a través de un coaxial al módem de mesa (unidad interior), el cual tiene diferentes interfaces, para los diferentes servicios que se brindan [28].

En los sistemas MMDS se emplea el acceso banda ancha compartido, con protocolo IP, similar a los sistemas de acceso tipo DOCSIS (Data-Over-Cable) utilizados en las redes de cable. La bajada es TDM con portadoras moduladas en 64-QAM y la subida es TDMA con portadoras moduladas en QPSK.

Estos primeros MMDS requieren de condición LOS entre la BS y las SS, por lo que no en toda el área de la celda hay cobertura, existiendo zonas de silencio, que limitan el despliegue de los sistemas inalámbricos fundamentalmente en áreas metropolitanas de alta densidad de población. Con el animo de resolver los inconvenientes del requerimiento LOS, la industria desarrollo los sistemas N-LOS BWA, los cuales operan en la banda MMDS y las bandas de frecuencias ISM no reguladas entre 2 y 3 GHz.

Estos sistemas incorporan tecnologías radio avanzadas para lograr una comunicación efectiva en condición de “no línea de vista”, donde los efectos de la multitrayectoria y el desvanecimiento Rayleigh son críticos [29].

El efecto de la multitrayectoria dificulta la recepción de la señal ya que al receptor llegan por diferentes caminos, copias de la señal enviada por el transmisor

en tiempos ligeramente diferentes, debido a las reflexiones que sufre la señal con obstáculos naturales y edificios en su trayectoria como se puede apreciar en la Figura 5.

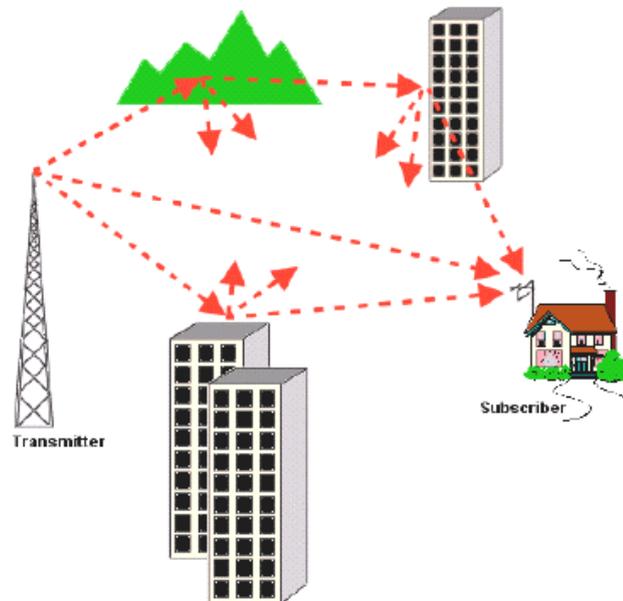


Figura 5. Multitrayectoria

Por otro lado, el desvanecimiento Rayleigh se refiere al debilitamiento de la señal recibida debido al efecto de los múltiples caminos, reflexión e interferencia, lo que causa distintos tipos de desvanecimiento selectivo:

- Desvanecimiento selectivo de frecuencia: la señal se desvanece a cierta frecuencia.
- Desvanecimiento selectivo de espacio: la señal se desvanece en ciertos lugares.
- Desvanecimiento selectivo de tiempo: la señal se desvanece con el tiempo.

Entre las avanzadas tecnologías radio que se introducen en los sistemas NLOS BWA para lograr una comunicación en condición NLOS, se encuentran la modulación

OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales), las antenas inteligentes, el arreglo de antenas adaptativas y esquemas FEC (Forward Error Correction) avanzados entre otros [29].

OFDM es una tecnología de transmisión por multi-portadora. El canal se divide en múltiples portadoras angostas para multiplexar el flujo original de datos en múltiples flujos de datos paralelos, cada uno de ellos modulados a diferentes frecuencias. Con lo que se reduce la posibilidad de desvanecimiento por respuesta no plana en cada subportadora. La relación ortogonal entre las frecuencias de las subportadoras permite reducir el ancho de banda total requerido aún más, como se muestra en la Figura 6. Para cada frecuencia particular, la señal recibida es evaluada y recuperada por el receptor mientras el resto de las señales son ignoradas.

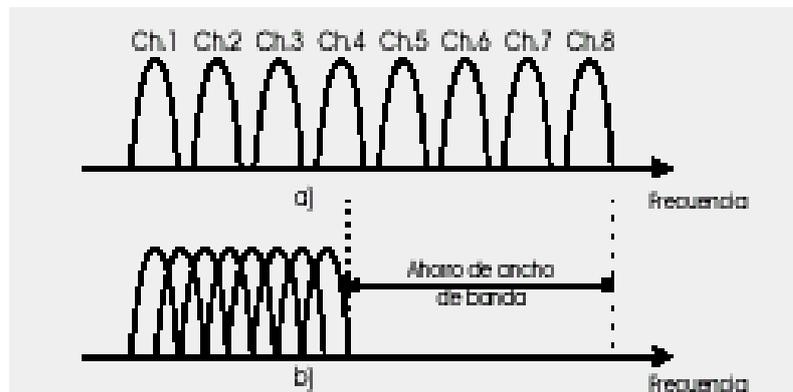


Figura 6. a) Multiportadora convencional. b) Multiportadoras ortogonales

OFDM tiene asociada importantes ventajas: Provee diversidad para prevenir el desvanecimiento selectivo de frecuencia, causado por la multitrayectoria de la señal. Posibilita el empleo de esquemas de multiplexación densos como 64-QAM y 256-QAM. Consigue una elevada eficiencia espectral. Reduce la interferencia de celdas vecinas, mejora la seguridad y permite el empleo de pequeñas y potentes unidades de abonados con antenas omnidireccionales de interior.

Antenas inteligentes es una tecnología que emplea múltiples antenas en ambos lados del enlace radio, se emplean tanto en la transmisión como en la recepción, tanto en dirección ascendente como descendente. Las antenas inteligentes tienen asociados un conjunto de técnicas en la codificación del canal radio, la modulación y el procesamiento de la señal, que incrementan la velocidad de datos y el rendimiento de los sistemas para alcanzar alta eficiencia espectral.

El arreglo de antenas adaptativas, consiste en un arreglo de N antenas idénticas, dispuestas en una geometría particular de tal forma que la geometría del arreglo determina la cobertura total en una región espacial dada. Así el arreglo de N elementos, puede transmitir o recibir N rayos individuales simultáneamente, los que combinados apropiadamente pueden incrementar el rendimiento y reducir la interferencia, como puede observarse en la Figura 7 .

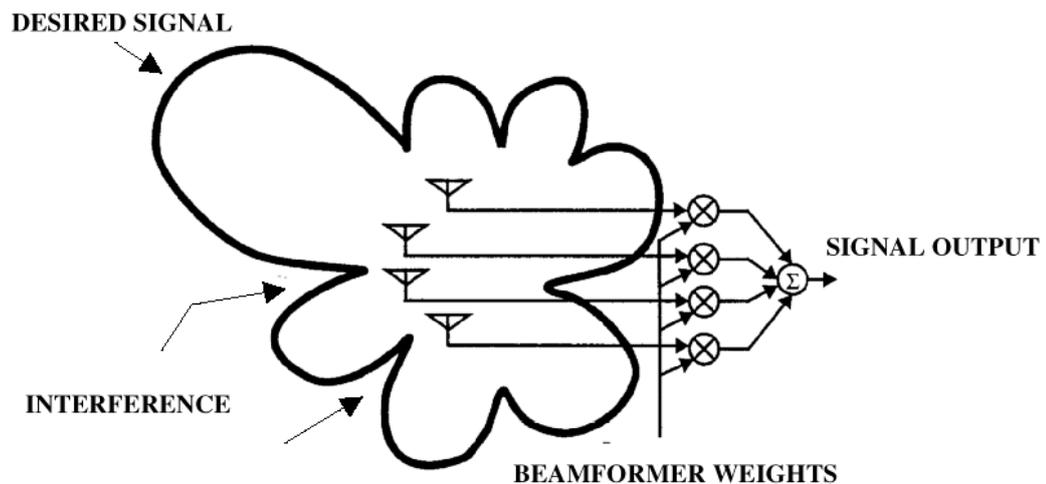


Figura 7. Arreglo de antenas adaptativas

Que sea un arreglo adaptativo está relacionado con el hecho de que las fases y las amplitudes de la corriente que excita a cada elemento de antena puede ser ajustada electrónicamente para maximizar la ganancia de la señal en una dirección dada. El arreglo de antenas adaptativas se puede emplear tanto en la BS, como en la SS.

2.2 Sistema Local de Distribución Multipunto (LMDS)

El LMDS es un sistema de acceso inalámbrico punto multipunto capaz de proveer servicios de voz, datos, vídeo y acceso a Internet a altas velocidades, que opera en la banda de frecuencias de las microondas, por encima de 20 GHz (26/28GHz, 32GHz, 40GHz y otras, según las distintas regulaciones nacionales) y provee enlaces de banda ancha (como mínimo un E1/T1 y hasta más de 40 Mbps) en ambos sentidos a múltiples abonados de una misma área geográfica, los que acceden a la misma plataforma radio utilizando métodos de multiplexación. El esquema de multiplexación más utilizado para los enlaces (descendentes / ascendentes) es el TDM/TDMA, aunque también son muy utilizados CDMA y FDMA en el canal descendente.[28-30]

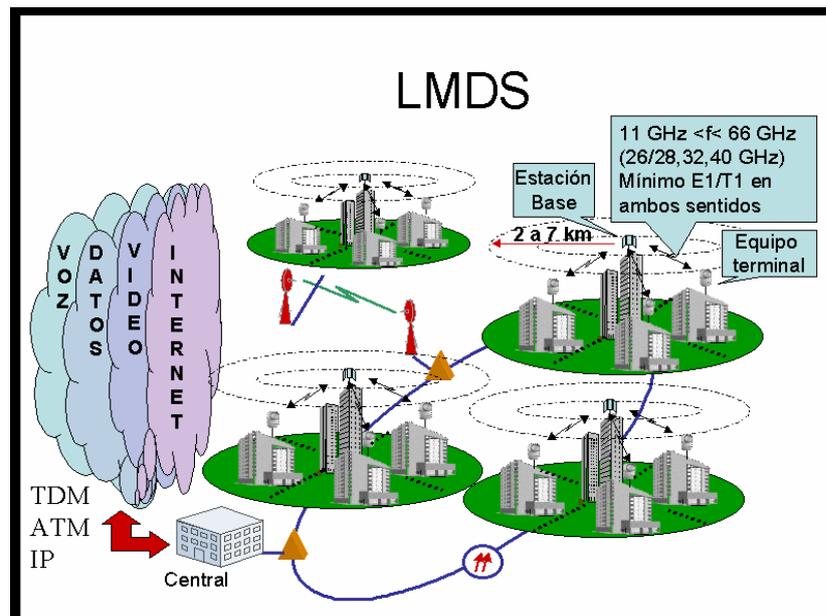


Figura 8. Sistema LMDS

La red LMDS tiene una arquitectura celular (ver Figura 8), donde cada estación base da cobertura a una celda y se conecta a la central LMDS, mediante enlaces de fibra óptica o enlaces de microondas. LMDS emplea tanto plataformas ATM como IP.

Cada celda puede ser dividida en sectores (típicamente de 90, 45, 60, 30 y 22.5 grados), en los que pueden utilizarse varias portadoras para multiplicar la anchura de banda disponible para los usuarios de un sector. Para evitar la interferencia entre sectores y economizar recursos espectrales, se emplean técnicas de reutilización de la frecuencia. El aislamiento entre sectores adyacentes se maximiza al alternar patrones de radiación de polaridad vertical y horizontal. La Figura 9 muestra un ejemplo de planificación de las celdas.[30, 31]

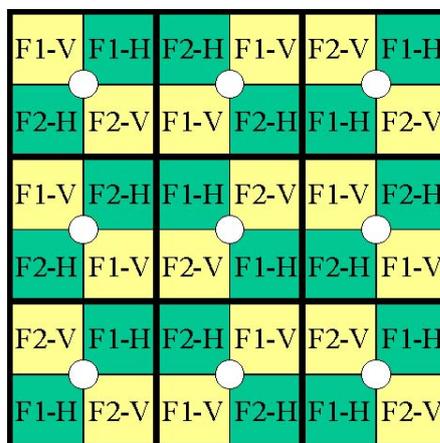


Figura 9. Ejemplo de planificación de las celdas con dos canales y doble polarización

LMDS emplea diversas técnicas de modulación como BPSK, DQPSK, QPSK, 8PSK, 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM, siendo las modulaciones QAM las de mayores eficiencias espectrales, como se puede ver en la Tabla 5. La elección de la modulación está en función de la capacidad, el comportamiento frente a interferencia y la eficiencia espectral.

Tabla 5. Eficiencia espectral [32]

Modulación	Eficiencia Espectral [b / s / Hz]
4-QAM	1.5
16-QAM	3.5
64-QAM	5

Los sistemas LMDS surgieron en Estados Unidos para aplicaciones de TV multicanal, superando a su antecesor, MMDS, en el número de canales y la calidad de la recepción, pero cubriendo un área más pequeña dada la mayor frecuencia de trabajo. Pero en la práctica, la difusión de programas de TV por medio de esta tecnología es muy complicada y requiere de muchas estaciones bases, fuertemente sectorizadas y utilizando un gran número de portadoras por sector para garantizar un número elevado de canales de televisión. Por estas razones casi no se emplea esta tecnología para estos fines [31].

Entre las principales servicios que un sistema LMDS puede ofrecer a sus clientes se encuentran [30].

- LAN/WAN (VPN)
- T1/E1
- Fracción de E1/T1
- Frame Relay
- X.25
- RDSI (banda estrecha y banda ancha)
- Voz Telefónica (POTS)
- Video conferencia
- Conectividad a Internet a altas velocidades
- VoIP
- FaxIP

Una de las principales ventajas del LMDS radica en la utilización de frecuencias muy altas, donde se consiguen enlaces de alta capacidad y a la vez la disponibilidad del espectro es muy grande. Por ejemplo en Estados Unidos, la FCC ha asignado para LMDS, 1150 MHz de espectro no continuo en la banda entre 28 GHz y 31 GHz, llamado "Bloque A" y 150 MHz en la banda de 31GHz, llamado "Bloque B", o sea un ancho espectral total de 1300 MHz, (40 veces mas de lo asignado a PCS) [32].

Sus principales desventajas están asociadas con la propagación de las señales por encima de los 20 GHz y están dadas en que se requiere de línea de vista (LOS) entre la estación base y las estaciones terminales (mucho más complejas y caras que las de los sistemas MMDS), el alcance que puede cubrir una celda esta limitado a un radio de unos pocos kilómetros (entre 2 y 7 km) y es muy sensible a la lluvia, la nieve y el vapor de agua atmosférico, los cuales provocan la despolarización y la atenuación de la señal, por lo que el radio de las celdas va a depender también del índice de precipitación de la zona donde se despliegue el sistema. Por ejemplo un sistema LMDS diseñado para garantizar una disponibilidad de un 99.99%, tendrá celdas con radio superior a 5 km en la ciudad norteamericana de Denver, en el seco estado de Colorado, mientras que en Miami, ciudad costera mucho más humedad, el radio de las celdas se reduce a 3 km [31, 32].

Uno de los aspectos que ha limitado el despliegue de esta tecnología tan prometedora ha sido la falta de robustos estándares. En el mundo existen miles de sistemas desplegados de decenas de fabricantes, con soluciones propietarias. Por estas razones diversas organizaciones como el FORUM ATM, el Digital Audio Video Council (DAVIC), la ETSI, el IEEE y la UIT, vuelcan sus esfuerzos en aras de la estandarización [31].

2.3 Estándares para Sistemas de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha

Aunque desde hace varios años BWA es la tercera opción tecnológica para el acceso de banda ancha, después de DSL y cable-módem, su expansión y crecimiento respecto a estas dos ha sido muy modesta. En esto ha incidido determinantemente la ausencia de equipamiento estandarizado para BWA contrastando con los robustos estándares desarrollados para DSL y cable-módem [24].

Hasta finales del 2003 los sistemas BWA disponibles en el mercado estaban basados en soluciones propietarias de cada fabricante. Las soluciones propietarias amén a los problemas de no-interoperatividad entre productos de diferentes fabricantes, tiene el inconveniente de que los fabricantes tienen que proveer casi todo el hardware y software para sus plataformas, incluyendo, en muchos casos hasta la fabricación de los circuitos integrados, encareciendo el equipamiento y demorando la puesta del producto en el mercado.

Los estándares juegan un papel esencial en el despliegue mundial de una tecnología ya que la adopción de los mismos por la industria, posibilita la economía de escala y con esto la reducción de los costos de los equipos, la interoperatividad entre ellos y la reducción de los riesgos de inversión para los operadores. Los estándares además especifican un número de criterios mínimos para los equipos, posibilitando una plataforma común que los fabricantes pueden utilizar para acelerar la puesta de la tecnología en el mercado [33].

A la normalización de las redes de acceso inalámbricas de banda ancha, contribuyen fundamentalmente el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) y el grupo BRAN (Broadband Radio Access Networks) de ETSI (European Telecommunications Standards Institute), los que mantienen una estrecha relación entre sí y con la UIT.

El IEEE se encuentra desarrollando la serie de estándares IEEE 802.16 que definen las especificaciones de una red inalámbrica de área metropolitana (WMAN), para enlazar edificios residenciales y de negocios al núcleo de la red de telecomunicaciones en todo el mundo.

Esta norma esta concebida para que evolucione como un conjunto de interfaces aéreas, con un protocolo de control de acceso al medio (MAC) común pero con especificaciones de la capa físicas (PHY) dependientes del espectro utilizado (desde 2 GHz a 66 GHz) y las regulaciones asociadas.

El estándar que especifica la interfaz aire (capas PHY y MAC) para los sistemas fijos BWA en la banda de frecuencias comprendidas entre 10 GHz y 66 GHz fue aprobado en octubre del 2001 y se publicó en abril del 2002 como IEEE 802.16 WirelessMan™. En esta banda la disponibilidad del espectro es muy amplia en todo el mundo (canalizaciones típicas de 25 MHz en los EE.UU. y 28 MHz en Europa) y dada la alta frecuencia de operación se logran enlaces de alta velocidad (hasta 134,4 Mbps en un canal de 28MHz, utilizando modulación 64 QAM), pero de corto alcance (2-5 km), requiriendo de línea de vista.

En enero del 2003 se aprobó una enmienda al estándar IEEE 802.16 original que soporta la operación en la banda de frecuencias comprendidas entre 2 GHz y 11 GHz, la cual se conoce como IEEE 802.16a. La operación en esta banda de menor frecuencia tiene como ventaja que se alcanzan mayores distancias (hasta 50 km), no se requiere de línea de vista y el equipamiento es más barato, aunque las velocidades que se alcanzan son menores (hasta 75 Mb/s en un canal de 20MHz). Por estas razones la IEEE 802.16a se enfoca hacia el sector residencial y la pequeña y mediana empresa. La propaganda comercial tiene como eslogan que el IEEE 802.16a será un "triple 50", esto es: suministra más de 50 Mbps, en un radio de 50 Km y el CPE podrá costar alrededor de 50 USD.

Actualmente dentro de la IEEE 802.16 se desarrolla el estándar IEEE 802.16e que basado en el IEEE 802.16a adicionará movilidad limitada (velocidad de

traslación máxima entre 40 y 70 km) en las bandas de licencia comprendidas entre los 2 GHz y los 6 GHz. Este estándar no entra en contradicción con el estándar para acceso inalámbrico móvil de banda ancha (MBWA), IEEE 802.20, en preparación para las bandas con licencia por debajo de 3.5 GHz, que admite movilidad vehicular de hasta 250Km/h y está optimizado para el transporte de datos IP, con velocidades máximas de datos por usuario por encima de 1 Mb/s [34, 35]. Se espera que el estándar IEEE802.16e sea aprobado dentro de pocos meses y que el mismo brinde servicios de telefonía móvil, mediante VoIP y conexiones móviles a Internet. Las predicciones para este estándar son muy halagüeñas, según Maravedis Inc en el 2007 habrá 1 millón de unidades 802.16e, liderando Intel este mercado [36].

La IEEE también ha aprobado los estándares de coexistencia en una misma área geográfica para los sistemas que cumplen con las normas IEEE 802.16 y IEEE 802.16a, los cuales se conocen como IEEE 802.16.2 y IEEE 802.16.2a respectivamente. Se trabaja en los estándares IEEE 802.16c y IEEE 802.16d, que definen el sistema de perfiles para el interfaz aire que se debe utilizar para una implementación específica. Esto permite entre otras cosas el despliegue de los sistemas IEEE 802.16 y IEEE 802.16a en cualquier región del mundo de acuerdo a las regulaciones vigentes.

Por su parte ETSI ha desarrollado el estándar HiperAccess para los sistemas BWA fijos punto-multipunto que operan por encima de 11GHz y el estándar HiperMAN para los que operan por debajo de 11GHz.

Estos estándares son concebidos por ambas instituciones (IEEE y ETSI) como parte de una jerarquía global de estándares inalámbricos complementarios para ayudar a asegurar interoperatividad y reducir el riesgo del despliegue de las tecnologías inalámbricas.

La adopción por la industria de estos estándares en el ambiente de las redes metropolitanas inalámbricas, marcan la maduración de la tecnología BWA, la cual supone una amplia ventaja sobre los sistemas propietarios y los basados en redes

inalámbricas de área local (WLAN) o en tecnologías de telefonía móvil y la convierten en un fuerte competidor a las tecnologías DSL y cable-módem.

2.3.1 IEEE 802.16

Este estándar define el MAC común de toda la suite de estándares IEEE 802.16 y la especificación de la capa PHY para los sistemas que operan entre 10 y 66 GHz, con una topología punto-multipunto, en la cual una estación base (BS) conectada a la red pública, comparte el ancho de banda disponible por sector entre cientos y quizás miles de estaciones de usuarios (SS) fijas.[37]

La Figura 10 muestra el alcance y el modelo de referencia de este estándar. Como puede observarse el estándar deja fuera el plano de la gestión. Por lo que la forma en que los fabricantes implementen el sistema de gestión local y de red, será un aspecto diferenciador entre un equipamiento y otro.

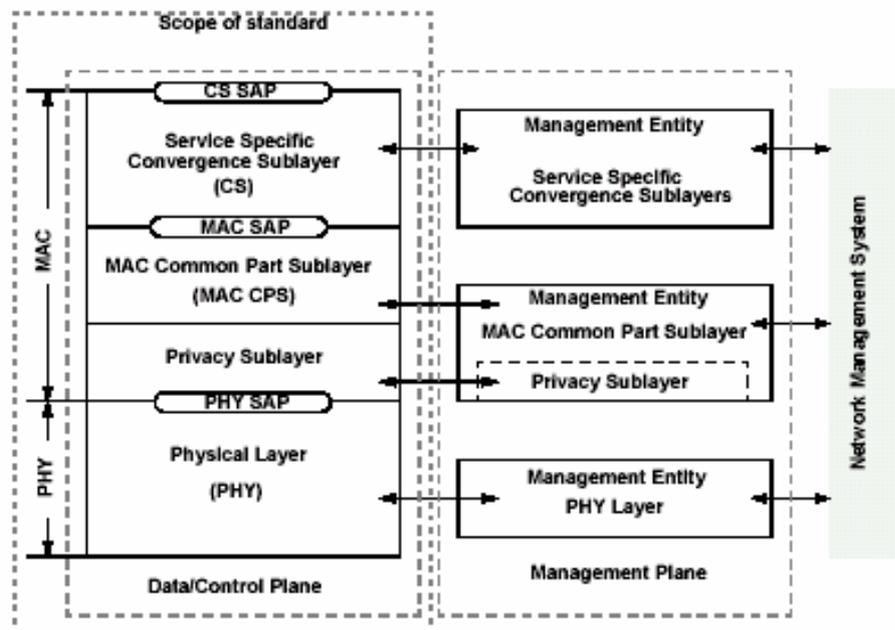


Figura 10. Modelo de referencia del estándar IEEE 802.16 [38]

El estándar está organizado en una arquitectura de niveles o capas. En el nivel inferior, el físico, se especifican la banda de frecuencias, el esquema de modulación, las técnicas de corrección de errores, sincronización entre transmisor y receptor, velocidad de los datos y estructura TDM.

Por encima del nivel físico, se encuentran las funciones asociadas con la provisión del servicio a los abonados. Estas funciones incluyen la transmisión de datos en tramas y el control de accesos al medio, y se agrupan en un nivel MAC(Media Access Control) que comprende tres subcapas [38]:

Privacy Sublayer: Subcapa de privacidad encargada de proveer seguridad, autenticación y encriptación. El protocolo de privacidad del estándar está basado en el protocolo PKM (Privacy Key Management) de DOCSIS BPI+, el cual ha sido mejorado para su adaptación al MAC del IEEE802.16 y para acomodar mejor los métodos más poderosos de criptografía como el “*Advanced Encryption Standard*”.

MAC CPS: Provee las funcionalidades del sistema de acceso, asignación de ancho de banda, establecimiento y mantenimiento de la conexión. El protocolo MAC define cómo y cuándo la estación base o la estación de abonado pueden iniciar la transmisión sobre el canal y como algunas de las capas superiores al nivel MAC, como ATM, requieren calidad de servicio, el protocolo MAC debe ser capaz de asignar capacidad de canal de radio a fin de satisfacer las demandas del servicio.

CS: Subcapa de convergencia de servicios específicos que proporciona funciones específicas en función del servicio que se está ofreciendo. Los servicios portadores soportados por IEEE 802.16 incluyen multicast audio/vídeo digital, telefonía digital, ATM, acceso a Internet, líneas inalámbricas de redes telefónicas y Frame Relay. El estándar define una subcapa de convergencia de servicio ATM, para servicios ATM y una subcapa de convergencia de servicios paquete, para servicios de paquetes como IPv4, IPv6, Ethernet y redes de área local virtuales (VLAN).

La especificación física WirelessMAN-SC se ha diseñado para operar entre 10 y 66 GHz, bajo condición LOS y emplea modulación simple portadora (Single Carrier). La misma ofrece un alto grado de flexibilidad a los proveedores del servicio para optimizar el despliegue de los sistemas con respecto a la planificación de celdas, el costo, los servicios, las potencialidades de los equipos radio y la capacidad del sistema.

El 802.16 admite tanto la duplexión en el dominio del tiempo (TDD) como en el de la frecuencia (FDD), con lo que logra una utilización flexible del espectro. En ambos casos la trama tiene una duración fija (0.5, 1 o 2 ms) y el ancho del canal puede ser de 25 MHz (EE.UU) o 28 MHz (Europa).

En TDD los enlaces ascendentes y descendentes comparten un canal, pero no transmiten simultáneamente. La trama se divide en una subtrama de subida y otra de bajada, como se aprecia en la Figura 11. La duración de las subtramas se puede variar adaptablemente, desplazando la división entre subtramas, con lo que se consigue una reasignación dinámica de la capacidad de los enlaces de subida y bajada [38].

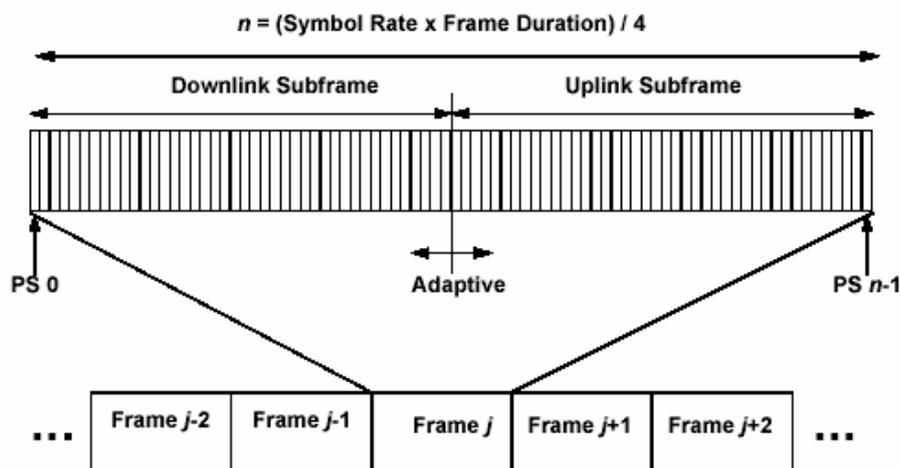


Figura 11. Estructura de trama TDD

Por su parte FDD utiliza canales separados para cada enlace, los cuales pueden transmitir simultáneamente. Las subtramas ascendentes y descendentes tienen una duración fija. Este esquema contempla tanto SS full-duplex como semi-duplex, las que al no recibir y transmitir simultáneamente, no se le debe asignar ancho de banda en el enlace ascendente en el mismo instante en que el SS espera datos en el descendente. La Figura 12 muestra un ejemplo de la asignación de anchos de banda en estaciones full-duplex y semi-duplex.

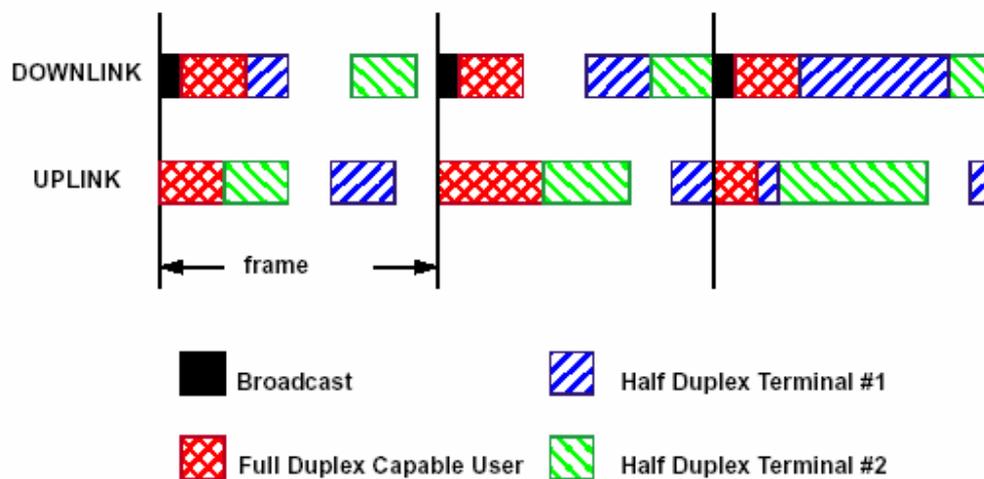


Figura 12. Ejemplo de asignación de ancho de banda en sistemas FDD

Tanto en TDD como en FDD, se utiliza un formato transmisión en ráfagas, cuyo mecanismo de entramado permite perfiles de ráfagas adaptativas, en el que los parámetros de transmisión, incluyendo los esquemas de modulación y codificación puedan ser ajustados individualmente para cada SS sobre una base trama a trama.

La Figura 13 muestra como un terminal próximo a la estación base, con buenas condiciones de transmisión, capaz de recibir con un esquema de modulación muy denso como el 64-QAM, no es afectado por un terminal más distante y con peores condiciones de transmisión, no apto para 64-QAM. Esta prestación del IEEE 802.16 consigue elevar el desempeño del sistema y optimizar los recursos radio.

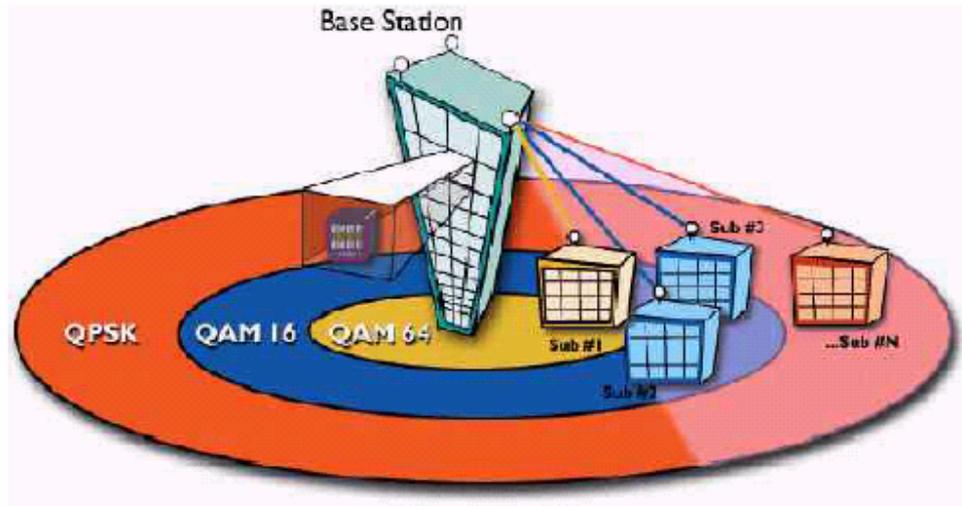


Figura 13. Modulación adaptativa

La Tabla 6 brinda información sobre la capacidad máxima por canal, en función de la modulación empleada.

Tabla 6. Capacidades máximas por canal en función de la modulación

Canal [MHz]	Tasas de símbolos [Mbaudios]	Modulación [Mb/s]		
		QPSK	16-QAM	64-QAM
25	20	40	80	120
28	22.4	44.8	89.6	134.4

La arquitectura punto-multipunto del sistema impone para el enlace descendente desde la BS hacia las SS, una transmisión básicamente TDM. La BS transmite hacia las SS de un sector, un único flujo de datos con información para todas las SS del sector. En el caso de contar con estaciones FDD semi-duplex, a la subtrama descendente se le adiciona una porción TDMA.

La Figura 14 muestra la estructura de la trama descendente. La misma comienza con una sección de control de trama que contiene el DL-MAP de la trama actual y el UL-MAP de una trama futura. El DL-MAP especifica cuando ocurre un cambio en la modulación y la FEC.

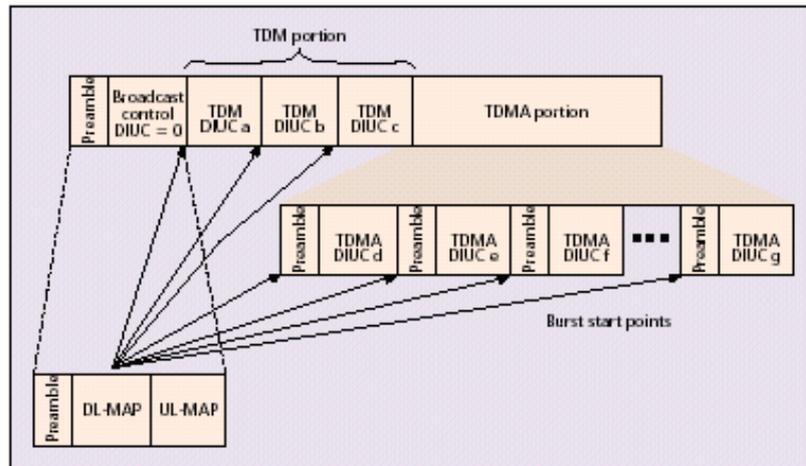


Figura 14. Estructura de la subtrama descendente [37]

Prosigue la subtrama con una porción TDM que contiene los datos organizados en ráfagas de diferentes perfiles. Los datos en dirección descendentes son transmitidos a cada SS usando un perfil de ráfaga negociado. El orden de transmisión de las ráfagas es desde los perfiles más robustos a los menos robustos. Por ejemplo, primero se transmiten los perfiles que emplean modulación QPSK, luego 16 QAM y 64 QAM (opcional). En el caso de un sistema FDD a la porción TDM le sigue un segmento TDMA que incluye un preámbulo extra al inicio de cada nuevo perfil de ráfaga. Esto le permite a las estaciones semi-duplex que en la trama hayan transmitido primero, poder resincronizarse con la subtrama descendente y recibir los datos.

El enlace descendente además, incluye una transmisión TC que inserta un byte puntero al principio de la carga útil para que el receptor identifique el principio de una PDU del MAC. Los bits de datos que vienen de la transmisión del TC son aleatorizados, codificados por FEC (Reed Solomon GF256), y mapeados en las constelaciones de señales QPSK, 16-QAM o 64-QAM (opcional).

En el enlace ascendente, desde los abonados a la estación base, se utiliza la técnica Demand Assignment Multiple Access-Time Division Multiple Access (DAMA-TDMA). DAMA asigna capacidad a múltiples estaciones en función de los cambios

que se produzcan en las necesidades y en la demanda. TDMA se encarga de dividir el tiempo de un canal en una secuencia de tramas, consistente cada una de ellas en un número determinado de ranuras de tiempo y de asignar una o más ranuras por trama para formar un canal lógico. El número de ranuras de tiempo y su uso (registro, contención, guarda, tráfico) es controlado por el MAC en la BS. Con DAMA-TDMA, la asignación de ranuras a los canales varía dinámicamente, con lo que se consigue optimizar el rendimiento.

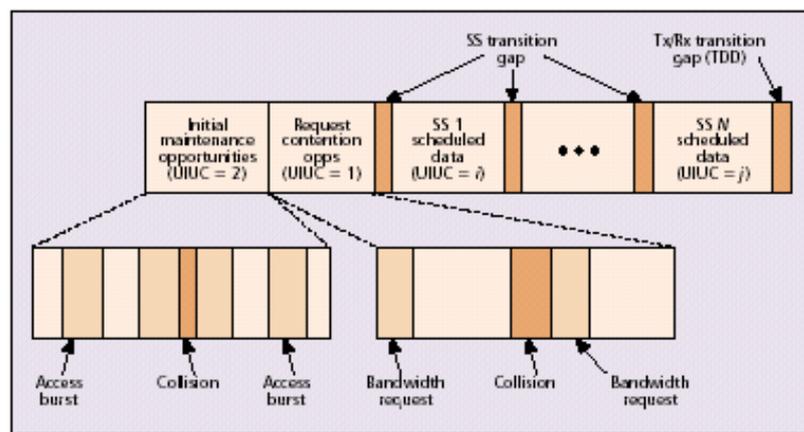


Figura 15. Estructura de la subtrama ascendente [37]

En la Figura 15 se representa la subtrama ascendente. A diferencia de la subtrama descendente, el UL-MAP concede ancho de banda específico para cada estación de abonados. Las SS transmiten en el momento a asignado a ellas, usando el perfil de ráfaga especificado en el UL-MAP.

La capa MAC incorpora los mecanismos necesarios para el acceso compartido al enlace ascendente, incluyendo mecanismos de resolución de contiendas para el registro de las SS y la respuesta a un sondeo de difusión.

El MAC es orientado a conexión, de manera que cada comunicación entre BS y SS, se hace por una determinada conexión. Cuando una SS se registra en la BS, esta establece una serie de conexiones predefinidas que permiten la gestión de la SS y la solicitud de reserva de ancho de banda por parte del equipo terminal.

Los mecanismos de control de QoS posibilitan la asignación de ancho de banda a los equipos terminales en función de las necesidades de los abonados. Este estándar define cuatro métodos de solicitud de reserva de ancho de banda, para cuatro tipos de servicio diferentes [31, 33, 37, 38]:

- Servicio garantizado no solicitado (UGS): la estación base asigna periódicamente espacio disponible en el enlace ascendente para cada conexión de este tipo que se haya establecido sin que haya ávido ninguna solicitud explícita de la SS. Entre los servicios que podrían hacer uso de UGS se incluyen ATM con CBR y E1/T1 sobre ATM.
- Servicio con sondeo en tiempo real: diseñado para el soporte de conexiones en tiempo real que generen paquetes de tamaño variable según intervalos de tiempo constantes, como por ejemplo VoIP, video streaming o audio streaming.
- Servicio con sondeo en tiempo diferido: diseñado para el soporte de conexiones que no presentan requisitos de tiempo real como el acceso a Internet con velocidad mínima garantizada y conexiones ATM.
- Servicio mejor esfuerzo: no provee garantías, ni de retardo, ni de rendimiento; no reserva ancho de banda, asigna según tasas disponibles y no da prioridad. Está pensado para el tráfico de este tipo, como por ejemplo el acceso a Internet.

Todos los tipos de servicios requerirán de aumentos o disminuciones en forma dinámica del ancho de banda asignado a ellos, exceptuando el UGS el cual tiene una tasa fija de transmisión asignada. Por lo tanto la estación base debe permitir permanentemente a las SS que informen sus requerimientos de ancho de banda.

Hay dos modos posibles de operación para garantizar el ancho de banda requerido por la SS:

- Garantizar por Conexión (GPC): el BS garantiza el ancho de banda para cada conexión de un SS en forma individual.

- Garantizar por SS (GPSS): el ancho de banda es garantizado para todas las conexiones pertenecientes a un SS. Al tener asignado el SS cierto ancho de banda, puede tomar decisiones sobre la distribución de éste entre sus conexiones en forma dinámica, siendo esto útil para aplicaciones de tiempo real que requieren de respuestas rápidas del sistema. (Sin embargo las peticiones siguen siendo por cada conexión)

Para los sistemas que operan en la banda 10-66 GHz es obligatorio el modo GPSS.

En la **Tabla 7** se resumen los diferentes perfiles de la especificación física WirelessMAN-SC aprobados, por la norma IEEE 802.16c, con el objetivo de flexibilizar el estándar IEEE 802.16 para que se adapte a los diferentes servicios que puede ofrecer y las regulaciones existentes a escala global.

Tabla 7. Perfiles para WirelessMAN-SC [39]

identificador	Descripción
ProfM1	Perfil básico MAC ATM
ProfM2	Perfil básico MAC Paquete
ProfP1	Perfil PHY canal de 25MHz
ProfP1f	Perfil PHY canal de 25MHz FDD
ProfP1t	Perfil PHY canal de 25MHz TDD
ProfP2	Perfil PHY canal de 28MHz
ProfP2f	Perfil PHY canal de 28MHz FDD
ProfP2t	Perfil PHY canal de 28MHz TDD

La interfaz WirelessMAN-SC de un sistema BWA particular queda determinada, por la elección de un juego de tres perfiles. Un perfil básico de MAC (ATM o Paquete), un perfil de canal (25MHz o 28MHz) y otro perfil de duplexación (FDD o TDD) en correspondencia con el perfil de canal seleccionado.

2.3.2 IEEE 802.16a

Este estándar concebido para los sistemas BWA en la región del espectro entre 2 GHz y 11 GHz, contempla tanto las bandas que requieren de licencia como las exentas de ellas. El estándar incorpora innovaciones tecnológicas que hacen posible que a estas frecuencias no se requiera de condición línea de vista, aunque los efectos de la multitrayectoria puede ser crítica al igual que la interferencia en el caso de las bandas de frecuencias exentas de licencia (ver anexo A).

En este escenario, la capa PHY requiere de funcionalidades adicionales, para el soporte de técnicas avanzadas de administración de potencia, mitigación y coexistencia frente a interferencias, y empleo de antenas múltiples. Por su parte el MAC necesita estar provisto de ARQ, así como soportar opcionalmente la topología de red en malla (Figura 16), cuando se opera en las bandas de frecuencias libres de licencia [40].

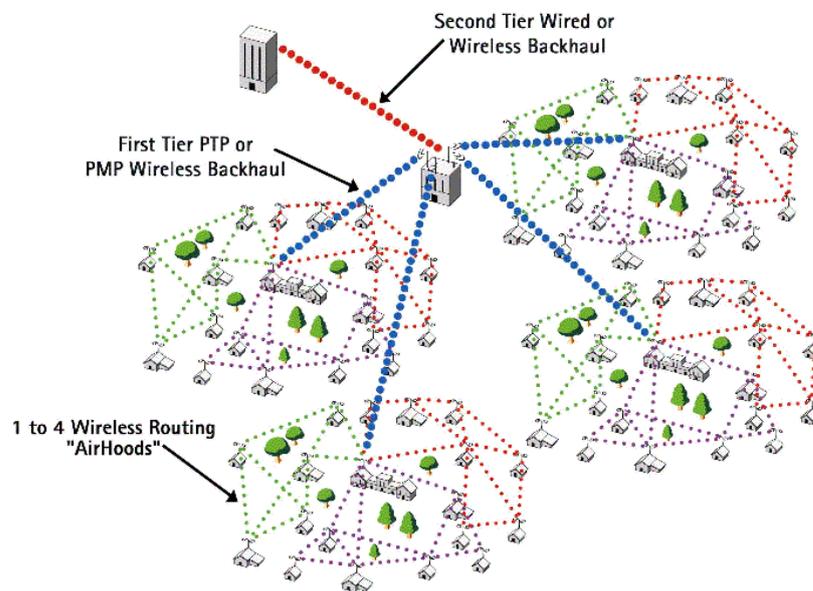


Figura 16. Red en Malla

La diferencia fundamental entre una red punto-multipunto y una red en malla es que en este caso, el tráfico no sólo se realiza entre la estación base y las estaciones

de usuarios, sino que también se realiza directamente entre estaciones de usuarios. De esta manera una SS puede encaminar el tráfico hacia otras SS, con esto se consigue que existan diferentes rutas para hacer llegar el tráfico, trayendo como ventajas una mayor robustez de la red, frente a interferencias, desvanecimientos y fallas. También permite elevar el ancho de banda, mediante saltos de repetición cortos y celdas pequeñas.

Las nuevas especificaciones para la capa física que introduce este estándar son:

- **WirelessMAN-SCa:** Utiliza un formato de modulación simple portadora (SC) diseñado para condición N-LOS.
- **WirelessMAN-OFDM:** Emplea multiplexación por división en frecuencias ortogonales (OFDM) con transformada rápida de Fourier (FFT) de 256 puntos. Es obligatorio para topologías de redes malladas.
- **WirelessMAN-OFDMA:** Utiliza el acceso múltiple por división en frecuencias ortogonales con FFT de 2048 puntos.
- **WirelessHUMAN:** Interfaz aire para la operación en las bandas exentas de licencia entre 2GHz y 11GHz, puede ser implementada con cualquiera de las tres especificaciones físicas anteriores, pero requiere adicionalmente de DFS (selección dinámica de frecuencia).

Entre las características de la capa física que le confieren una gran fuerza para ser utilizado en un ambiente muy diverso se encuentran: talla flexible de los canales, perfil de ráfaga adaptativo, FEC con Reed-Solomon concatenado y codificación convolucional, sistema de antena avanzado (AAS) para mejorar la cobertura, DFS para minimizar las interferencias y STC (space-time coding) para mejorar las prestaciones en ambiente de fading mediante diversidad espacial [41].

2.3.3 ETSI HiperAccess

Los trabajos de ETSI por desarrollar este estándar, comenzaron antes que IEEE, pero los problemas relacionados con la solución de los procesos provocaron que el estándar IEEE 802.16 se concluyera primero. Actualmente existe una estrecha colaboración entre las normas HiperAccess e IEEE 802.16.

HiperAccess (High Performance Radio Access) es un estándar de acceso fijo inalámbrico multimedia de banda ancha para sistemas punto-multipunto por encima de los 11 GHz, enfocándose en las bandas de frecuencias de 31.8 GHz a 33.4 GHz y la banda de 40.5 GHz a 43.5 GHz [4, 31, 42].

HiperAccess emplea tanto esquemas de duplexación FDD como TDD. El enlace descendente desde la estación base a los terminales se realiza mediante múltiplex por división en el tiempo (TDM) para las estaciones terminales full-duplex y TDMA para las estaciones half-duplex, cada terminal decodifica la porción de la ráfaga que necesita. Las ráfagas TDMA comienzan con un corto preámbulo para resincronización. El enlace ascendente es TDMA.

Este sistema emplea en los enlaces de bajada esquemas de modulación 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM (opcional). Por su parte para el enlace ascendente emplea esquemas de modulación 4-QAM y 16-QAM (opcional).

El tamaño del canal es de 28 MHz tanto para el enlace ascendente como para el descendente y alcanza hasta 125 Mbit/s utilizando modulación 64-QAM.

HiperAccess implementa control del radio enlace (RLC) en ambas direcciones de manera que es posible administrar los recursos radios en ambas direcciones, la MAC es orientada a la conexión, incorpora mecanismos de control de la calidad del servicio y control de la seguridad y soporta ARQ en el enlace de subida.

2.3.4 ETSI HiperMAN

Este estándar de ETSI al igual que el IEEE 802.16a, cubre la porción del espectro desde 2 GHz a 11 GHz, incluyendo las bandas con y sin licencia, soporta tanto redes punto-multipunto como redes malladas, utiliza el mismo MAC de 802.16a. La capa física también es muy similar al IEEE 802.16a y ha estandarizado dos especificaciones, una basada en OFDM con FFT de 256 puntos y otra basada en OFDMA con FFT de 2048 puntos. Los equipos diseñados por este estándar pueden ser compatibles con los equipos 802.16a [41, 42].

2.4 WIMAX

La adopción de un estándar no siempre conduce a la adopción del mismo por el mercado. Los productos de diferentes fabricantes deben ser certificados de que se adhieren a la norma y que interoperen entre sí.

WiMAX (the Worldwide Interoperability for Microwave Access forum) es una organización no lucrativa que tiene como misión promover el despliegue de las redes de acceso inalámbricas de banda ancha basadas en el estándar IEEE 802.16 certificando la interoperatividad de productos y tecnologías. En este sentido WiMAX es para la 802.16 lo que Wi-Fi es para la 802.11 [41].

El consorcio WiMax está liderado por Intel y lo integran más de un centenar de fabricantes de equipos de radio acceso y fabricantes de Chips integrados [43]. Muchos de sus miembros integran también el consorcio WiFi.

Con el ánimo de brindar interoperatividad mundial para los sistemas de acceso inalámbricos de banda ancha en las frecuencias por debajo de 11 GHz, WiMax seleccionó la especificación física WirelessMAN-OFDM que utiliza OFDM con FFT de 256 puntos y que es común en IEEE 802.16a e HiperMAN [41].

En Tabla 8 se resume el sistema de perfiles de WiMAX que asegura la interoperatividad de los sistemas en las bandas MMDS, la banda ETSI de 3.5 GHz y las bandas exentas de licencia entre 2 y 11 GHz.

El ancho del canal varía de una banda a otra. La banda MMDS admite canalizaciones de 1.75, 3.5 y 7 MHz; mientras que la banda ETSI de 3.5 GHz sólo admite canalizaciones de 3 y 5.5 MHz y las bandas exentas de licencia, 10 MHz de ancho de canal.

Tabla 8. Perfiles básicos para WirelessMAN-OFDM [44]

identificador	Descripción
ProfM3_PMP	WirelessMAN-OFDM Basic packet PMP MAC profil
ProfM3_Mesh	WirelessMAN-OFDM Basic packet Mesh MAC profil
ProfP3_1.75	WirelessMAN-OFDM 1.75 MHz channel basic PHY profil
ProfP3_3.5	WirelessMAN-OFDM 3.5 MHz channel basic PHY profil
ProfP3_7	WirelessMAN-OFDM 7 MHz channel basic PHY profil
ProfP3_3	WirelessMAN-OFDM 3 MHz channel basic PHY profil
ProfP3_5.5	WirelessMAN-OFDM 5.5 MHz channel basic PHY profil
ProfP3_10	WirelessHUMAN-OFDM 10 MHz channel basic PHY profil

El sistema de perfiles Wimax queda determinado al seleccionar uno de los dos perfiles básicos de MAC (Punto Multi-Punto o Malla) y uno de los seis perfiles básicos de PHY disponibles.

Desde principios del 2004 se encuentra en el mercado un sistema compatible con el estándar IEEE 802.16 de la firma canadiense Redlinne Communications y se espera que al finalizar el 2004 salgan a la venta productos certificados WiMAX.

2.5 Fabricantes y Productos

Actualmente en el mercado existe una gran variedad de productos y equipos de acceso inalámbrico de banda ancha, de numerosos fabricantes.

Según un reciente informe de Maravedis, actualmente se encuentran desplegados en todo el mundo más de 10 000 estaciones bases de sistemas BWA (sub-11GHz) y mas de 1.2 millones de CPE, quienes proveen de servicios de banda ancha, con velocidades superiores a 256Kbps, a más de 1.5 millones de abonados [36].

En este epígrafe se hace un análisis de alguno de los proveedores de productos BWA. Se consideran en el mismo, productos de Alcatel y Ericsson, con amplia presencia en el mercado internacional desde hace más de cinco años. También se analizan los productos de ZTE corporation, empresa China que actualmente es el mayor proveedor chino de tecnología de telecomunicaciones para el mercado interno del país asiático y con presencia en más de 50 países. Al final se analizan los productos de la empresa canadiense Redlinne communication, que en octubre del 2003 lanzó al mercado el AN-100, primer equipo basado en el estándar IEEE 802.16a.

2.5.1 Alcatel

Alcatel es uno de los proveedores líderes en redes fijas y móviles de banda ancha. Con ventas de 12.5 MIL MILLONES DE EUROS en 2003 y operando en más de 130 países.

Alcatel es uno de los proveedores de más amplia representación en la infraestructura de telecomunicaciones de ETECSA con presencia en centrales públicas, centralitas privadas, equipos de transmisión de acceso y de transporte, red X.25, el dorsal ATM, red inteligente y los sistemas de radio acceso digital de banda estrecha A9800 entre otros.

En su portafolio de equipamiento BWA se encuentran:

- Alcatel 7385 Wireless IP para las bandas de 2.6 y 3.5 GHz. Solución para la distribución inalámbrica de servicios IP, orientado al segmento de mercado SOHO y residencial.
- Alcatel 7390 LMDS para las bandas de frecuencia entre 10 y 43 GHz. Solución para proveer de servicios de banda ancha a empresas, SOHO y usuarios residenciales en edificios.

Alcatel 7385 Wireless IP

Es un sistema escalable, se despliega rápidamente con costos muy bajos. Permite servicio de voz y datos mediante la conexión de redes LAN a Internet e integra voz sobre IP. EL MAC permite la asignación dinámica de tráfico de banda ancha, permitiendo a cada cliente un contrato individual con CIR/MIR hasta de 3 Mbps. Ofrece además QoS con prioridad para la voz.

La estación base cubre una celda de hasta 15 km de radio en línea de vista, la cual puede tener hasta 18 sectores, cada uno de ellos maneja un tráfico de hasta 3 Mbps y por cada sector hay una interfaz 10 Base-T (ver Figura 17).

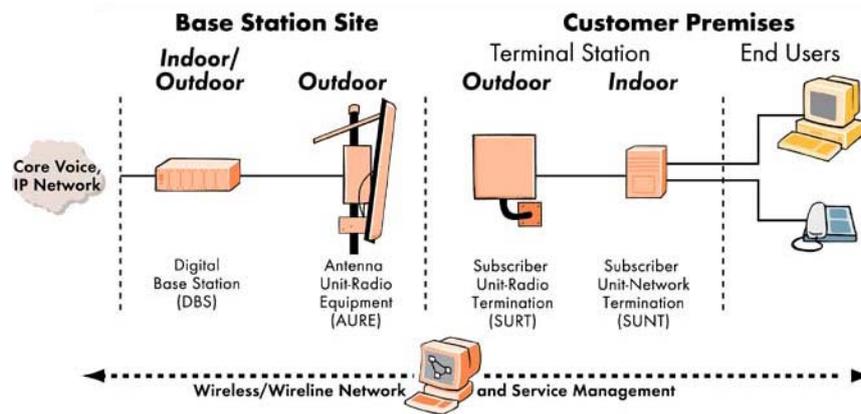


Figura 17. Elementos del sistema Alactael 7385 Wireless IP

Alcatel 7390 LMDS

Es un sistema LMDS que puede trabajar desde los 10 GHz, lo que lo hace particularmente atractivo para proveer servicios LMDS mediante celdas muy grandes en áreas de baja densidad y regiones muy lluviosas. En las bandas de 26/28 GHz el radio de la celda es de 5-7 km. La estación base tiene múltiples interfaces de red: E1, E3 (ATM 34Mbps), STM-1 (ATM a 155Mbps). El CPE por su parte, cuenta con múltiples interfaces: E1 y fracciones, acceso básico RDSI, X.21, STM-1, POTS, 10 Base-T y 100 Base-T (ver Figura 18).

La interfaz aire se basa en las tecnologías ATM y TDMA. El ancho banda se asigna dinámicamente y es compartido por todos los usuarios de un sector. Admite diferentes configuraciones de canalización, como se observa en la Figura 19, lo cual lo hace muy flexible. Cada canalización puede ser combinada con varias soluciones radio (simple portadora, simple portadora co-polarizada, múltiples portadoras x-polarizadas).

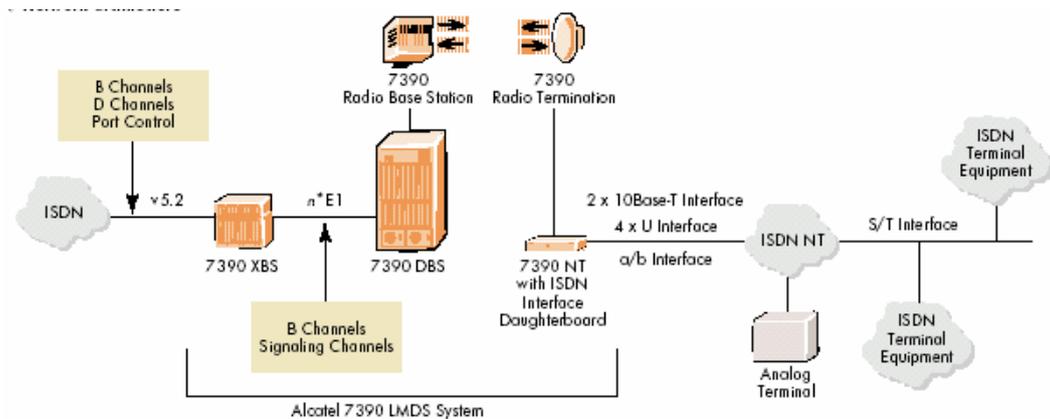


Figura 18. Solución para RDSI del Alcatel 7390 LMDS

Alcatel 7390 LMDS emplea modulación fija, QPSK en el enlace ascendente (velocidades hasta 10 Mbps en canal de 36MHz) y DQPSK para el descendente (velocidades hasta 40 Mbps en canal de 36MHz).

- ▼ 36 MHz per carrier, 36 MHz/ 40 Mb/s downlink,
4 x 9 MHz/ 10Mb/s uplink
- ▼ 28 MHz per carrier, 28 MHz/ 32 Mb/s downlink,
4 x 7 MHz/ 8 Mb/s uplink
- ▼ 21 MHz per carrier, 21 MHz/ 24 Mb/s downlink,
2 x 9 MHz/ 10 Mb/s uplink
- ▼ 14 MHz per carrier allowing frequency reuse with scarce allocation,
14 MHz/ 17 Mb/s downlink,
2 x 7 MHz/ 8.5 Mb/s uplink
- ▼ 14 MHz/ 17 Mb/s downlink,
4 x 3.5 MHz/ 4.25 Mb/s uplink

Figura 19. Sistema de canalizaciones permitidos por el A7390 LMDS

Con la incorporación este año de Alcatel a WiMAX y los acuerdos bilaterales con importantes compañías fabricantes de productos BWA y Chips, como Alvarion, Navini e Intel, es de esperarse la pronta comercialización por Alcatel de alguno de los productos de estos fabricantes bajo su marca comercial (BreezeACCESS 3.5GHz de Alvarion y Navini Ripwave de Navini) y la salida al mercado de nuevos productos BWA estandarizados de factura Alcatel.

2.5.2 Ericsson

Ericsson es otro de los grandes fabricantes de equipos de telecomunicaciones. Ericsson cuenta con una amplia gama de productos y soluciones para redes fijas y móviles. En Cuba tenemos una amplia diversidad de productos y soluciones de este proveedor: centrales públicas, centralitas privadas, equipos de transmisión de acceso, radio enlaces digitales, telefonía móvil etc.

Ericsson fabrica los siguientes productos para BWA:

- Ericsson Beewip: Sistema inalámbrico IP para las bandas de 3.5 GHz. Solución para la distribución inalámbrica de servicios IP, orientado al segmento de mercado SOHO y residencial.
- Ericsson MINI-LINK BAS: Sistema LMDS para las bandas de frecuencia entre 24 y 31GHz. Solución para proveer de servicios de banda ancha a empresas, SOHO, usuarios residenciales en edificios y backhaul para redes móviles.

Beewip

La capa MAC está basada en el MAC del estándar para WLAN IEEE 802.11, permitiendo la asignación dinámica de ancho de banda y proveyendo hasta 3 Mbps

por usuario, 9 Mbps por sector y un máximo de 6 sectores por estación base. El sistema permite la transmisión de datos y VoIP. El MAC del 802.11 se modificó para la manipulación de los diferentes tipos de tráfico. La estación base tiene interfaces Ethernet, E1, E3, ATM y las de abonados tienen interfaces 10 Base-T y POTS [45].

Beewip utiliza modulación GFSK y alcanza es capaz de proveer hasta 1 Mbps a 10 km de distancia, bajo condición de línea de vista. Para minimizar el efecto de la interferencia utiliza la técnica de saltos de frecuencia FH-CDMA.

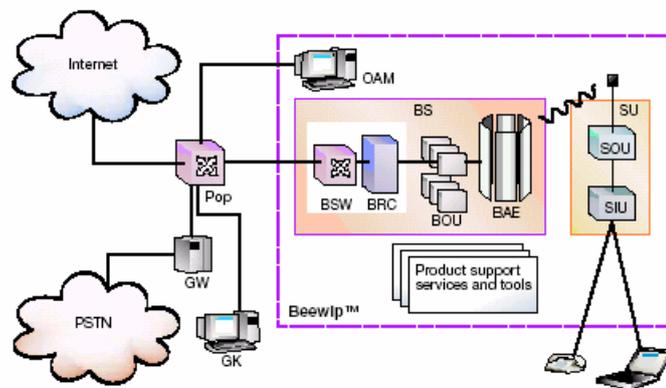


Figura 20. Sistema Beewip

MINI-LINK BAS

LMDS disponible para las bandas de frecuencia de 24 a 31 GHz. La estación base tiene interfaces DS3 ATM, E3 ATM, OC3/STM-1 ópticas ATM, ATM, 4 x E1, 4 x T1. Las estaciones de abonados por su parte, tienen interfaces para fracciones de E1, Ethernet 10/100Base-T y ATM (E1 y STM-1) y al mismo se pueden incorporar nuevos servicios, agregando nuevas tarjetas [46].

El MINI-LINK BAS utiliza ATM y TDMA, así como asignación dinámica de ancho de banda por usuario en la interfaz aérea. Proporciona enlaces simétricos de 37.5 Mbps por portadora en canales de 28MHz y utiliza modulación C-QPSK. La estación

base cubre una superficie de hasta 5km de radio, y puede crecer en sectores, cubriendo los 360° y llegar hasta 220 Mbps.

Este sistema permite proporcionar servicios de banda estrecha y de banda ancha, como servicios POTS, RDSI accesos básicos y primarios, V.11, V.24, V.25, X.21, acceso rápido a Internet y conexiones de VPN. Puede ser utilizado para interconectar LAN, PABx, provisión de líneas alquiladas, Frame Relay y backhaul para redes móviles 2G y 3G.

El MINI-LINK BAS admite simultáneamente enlaces punto-multipunto y enlaces punto a punto (Figura 21). El enlace punto a punto podría ser muy para clientes que requieran altas capacidades o estén situados a grandes distancias. Esta característica le confiere una particular ventaja sobre otros sistemas.

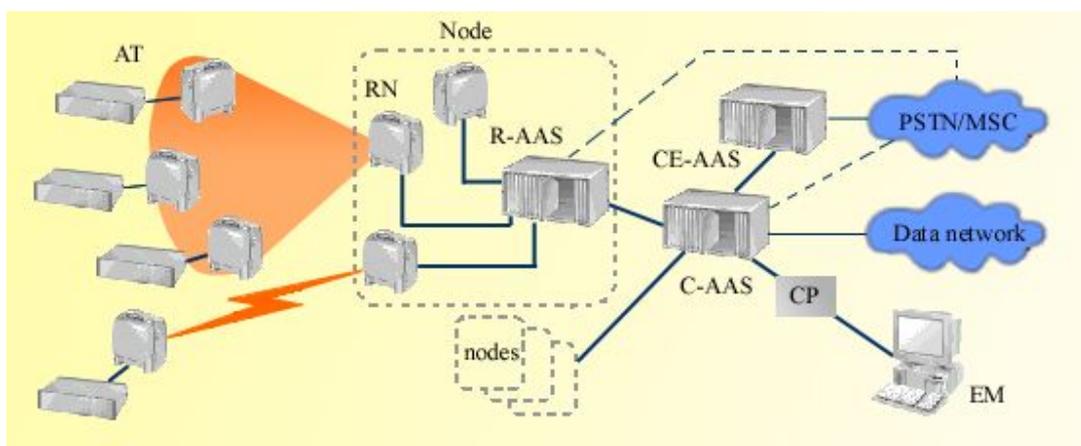


Figura 21. Sistema MINI-LINK BAS

Hasta el momento Ericsson no se ha incorporado a la alianza WIMAX.

ZTE corporation

Radicada en Shenzhen, China, ZTE Corporation es uno de los mayores fabricantes de equipos de telecomunicaciones en China, con ventas en más de 50 países.

Esta corporación China es uno de los proveedores con que cuenta ETECSA para la ampliación de la red de telefonía móvil GSM en país.

ZTE corporation produce los siguientes equipos BWA:

- ZXBWA-3A: Es un sistema punto-multipunto BWA para la banda de 3.5 GHz orientado a paquete.
- ZXBWA-3B: Es un sistema punto-multipunto BWA para la banda de 3.5 GHz orientado para acceso WLL de voz y datos.
- ZXBWA-3C: Es un sistema punto-multipunto BWA para la banda de 3.5 GHz orientado al acceso de datos a alta velocidad.
- ZXBWA-LA: Sistema LMDS que opera en las bandas comprendidas entre 25.557-26.453 GHz y 24.549-25.445 GHz).

ZXBWA-3A

El ZXBWA-3A obedece a un esquema FDD/FH-CDMA. La estación base da cobertura a una celda de hasta 10 km de radio, dispone de antenas sectoriales de 60° y admite hasta 24 sectores de 3Mps cada uno, por lo que una estación base puede tener una capacidad máxima de hasta 72 Mbps. El sistema ofrece acceso ATM, TC/IP y soporta H.323 [47].

El sistema cuenta con 6 tipos de estaciones de abonados, las cuales tienen diferentes interfaces y posibilidades:

- 1 dirección IP
- 8 direcciones IP
- 1 LAN
- 1 dirección IP y 1 interfaz para voz
- 8 direcciones IP y 1 interfaz para voz
- 1 LAN y 1 interfaz para voz

ZXBWA-3B

El ZXBWA-3B obedece a un esquema FDD/DS-CDMA y emplea modulación QPSK. La estación base da cobertura a una celda de hasta 25 km de radio, dispone de antenas sectoriales de 65° y 180° . Cada sector puede tener un máximo de 480 terminales remotas, las cuales admiten velocidades de datos entre 32kbps y 512kbps (máx. enlace bajada 512 kbps y enlace subida 128kbps) [48].

El sistema puede conectarse a la central local mediante las interfaces V5.1 o V5.2.

El sistema cuenta con 14 tipos de estaciones de abonados, diseñadas para diversos ambientes y que tienen diferentes interfaces y posibilidades:

- 1 x 10 Base T Ethernet
- 2 canales 32 kbps ADPCM o 1 canal 64 kbps PCM, 1 x 10 Base T Ethernet
- 1 canal 32 kbps ADPCM o 1 canal 64 kbps PCM
- 2 canales 32 kbps ADPCM o 1 canal 64 kbps PCM
- 4 canales 32 kbps ADPCM o 2 canal 64 kbps PCM
- 8 canales 32 kbps ADPCM o 4 canal 64 kbps PCM
- 16 canales 32 kbps ADPCM o 8 canal 64 kbps PCM

ZXBWA-3C

La estación base del ZXBWA-3C da cobertura a una celda de hasta 10km de radio y admite hasta 128 estaciones remotas de abonados, las cuales comparten los recursos radio mediante un esquema de acceso FDD/TDMA y el ancho de banda

disponible. El sistema emplea modulación 64-QAM. La capacidad del enlace de cada estación de abonados se asigna por demanda y varía desde 64kbps hasta 4.096Mbps [49].

La capacidad del sistema está en función del ancho del canal de radio y de la polarización de la señal. El sistema admite canales radios desde 1.75MHz hasta 14MHz (8 x 1.75MHz). Un sistema con un canal de 14MHz y simple polarización tiene una capacidad de 32Mbps con polarización doble 64Mbps.

La estación base dispone de antenas sectoriales de 90°(4 sectores),60°(6 sectores) y 45°(8 sectores) . Tanto la estación base como las estaciones remotas y tiene por interfaces: Ethernet, E1, G703, V.35/X.21.

El sistema soporta PABX, Nx64kbps, E1/T1,Ethernet, Frame Relay y RDSI acceso primario.

ZXBWA-LA

El ZXBWA-LA obedece a un esquema FDD/TDMA con canales de subida y bajada simétricos de 14 MHz de ancho, que soportan tanto TDM como ATM y utilizan esquemas de modulación QPSK, 16-QAM y 64-QAM, las cuales pueden ser seleccionas por demanda, alcanzando una velocidad máxima de 45Mbps [50].

La estación base dispone de antenas sectoriales de 90°,45° y 22.5° y tiene por interfaces: 8 E1 TDM, ATM OC-3 y STM-1.Por su parte las estaciones de usuarios tienen interfaces ATM, TDM, Frame Relay y Ethernet/Fast Ethernet.

2.5.3 Redline

Redline Communications es hasta la fecha la única empresa con un producto BWA basado en el estándar IEEE802.16a y la misma tiene en su oferta los siguientes productos BWA:

1. AN-50: Sistema acceso fijo inalámbrico de banda ancha que opera en la banda no regulada de 5.8GHz bajo condición NLOS y emplea tecnología OFDMA. El mismo se puede configurar como un sistema punto a punto o punto multipunto. Admite hasta 48 puertos Ethernet.
2. AN-30: El AN-30 es un sistema NLOS de que provee enlaces inalámbricos E1/T1 dedicados.
3. AN-100: Sistema BWA diseñado de acuerdo al estándar IEEE 802.16a, que opera en la banda de 3.5Ghz (3.4-3.8 GHz) y entrega hasta 36 Mbps en el puerto Ethernet. Puede ser configurado como punto a punto o punto multipunto. Las estaciones de abonados tienen interfaces 10/100 Ethernet y 8 TDM E1/T1. Logra un alcance de 70 km en condición LOS y 6.5 km en NLOS.



Figura 22. Unidad Interior del AN-100

Capítulo 3. Propuesta de introducción de las tecnologías BWA en Cuba.

En este capítulo se da una panorámica del estado actual de las redes y tecnologías de banda ancha en el país. Se hace mención a las políticas nacionales sobre el desarrollo de la infraestructura de comunicaciones e informatización de la sociedad, se exponen algunas consideraciones para la introducción de las tecnologías BWA en Cuba y sus posibles aplicaciones.

3.1 Cuba y el acceso de banda ancha: situación actual.

Potenciar el uso masivo de las Nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones a favor del desarrollo de la economía nacional, la sociedad y el servicio al ciudadano, es uno de los principales objetivos del Proyecto de Informatización de la Sociedad en Cuba. Para lograr este objetivo cobra especial atención los programas de desarrollo de la infraestructura nacional de telecomunicaciones fijas y móviles [51] .

Con la creación de ETECSA en 1994 se fortaleció y modernizó la infraestructura nacional de telecomunicaciones. La inversión se dirigió en primer lugar a crear una moderna y sólida red nacional de transporte de voz y datos, la sustitución de viejas centrales analógicas por modernas centrales digitales y elevar la densidad telefónica.

Actualmente el país cuenta con una red nacional de microondas que enlaza a todas las provincias del país, incluyendo el municipio especial Isla de la Juventud y una red nacional de fibra óptica STM-16, desde la ciudad de La Habana, hasta Guantánamo, que continua desarrollándose, cerrando anillos y extendiendo el enlace hacia Pinar del Río.

La transmisión de datos recibió el beneficio de la creación de la red dorsal ATM, la cual cuenta con nodos en cada una de las capitales de provincia del país y múltiples puntos de acceso en los lugares de mayor concentración de clientes. Esta red soporta todos los enlaces de datos de alta velocidad y actualmente migra hacia una red multiservicio.

La inversión en las centrales de conmutación ha permitido que hoy más del 80% del territorio nacional esté digitalizado y que contemos con 4 centrales con conmutador ATM.

ETECSA heredó una red de planta externa, insuficiente en extensión y muy deteriorada, con cables de más de 50 años de explotación. Como estrategia, destinó importantes recursos en la reparación de la red de cable existente, con el fin de frenar su deterioro, además de acometer importantes y costosas obras de ampliación de la red de planta externa y la sustitución total o parcial de miles de kilómetros de cables ya obsoletos. Este proceso de sustitución de la vieja red de cable por otra nueva, mucho más amplia, es un proceso muy lento y requiere de grandes erogaciones monetarias.

Ante esta situación, allí donde se digitalizaba una central telefónica y existían zonas con una insuficiente infraestructura de cables, se introdujeron tecnologías, como el WLL de banda estrecha y los ganadores de pares, que permitieron acelerar la provisión del servicio telefónico básico a miles de hogares y empresas en el país.

Pese a las inversiones y la introducción de nuevas tecnologías en la red de acceso, la densidad telefónica ha tenido un crecimiento modesto. En 10 años sólo creció de un 2% a un 6.37%.

La fusión por incorporación a ETECSA de las operadoras de servicios de telefonía móvil Cubacel (tecnología AMPS y D-AMPS) y CCOM (tecnología GSM), da la posibilidad a ETECSA de optimizar sus inversiones y ofrecer servicios de telefonía móvil. Con esta fusión, la telefonía móvil juega un importantísimo papel en la

elevación de la densidad telefónica del país, esperándose para el 2008 una densidad telefónica de un 20% en la capital y un 12% como promedio nacional [52], cifra esta igual a la mitad de la alcanzada por Iberoamérica en el 2002 .

ETECSA actualmente comercializa servicios RDSI y comenzará este año a comercializar servicios ADSL. Un factor crítico para el despliegue de los mismos ha sido el estado técnico de los pares de cobre.

Como se aprecia, hoy la situación más crítica de nuestra red para ofrecer servicios de banda ancha está en la “última milla”, debido a la insuficiencia de pares de cobres y la carencia de redes de acceso de banda ancha.

Hoy existe una demanda insatisfecha de acceso de banda ancha y conectividad, se prevé que en los próximos años se incremente notablemente, ya que el desarrollo socio-económico del país, los programas de la Revolución y el proceso de informatización de la sociedad demandarán accesos a mayores velocidades que las actuales.

3.2 Consideraciones para la introducción de las tecnologías BWA en Cuba.

Muchas son las interrogantes que se hacen las empresas operadoras de telecomunicaciones, cuando pretenden introducir un nuevo servicio o nueva tecnología.

Una nueva tecnología entraña ventajas, pero también riesgos. Una nueva tecnología debe tener un mercado potencial que le permita al operador, recuperar la inversión en breve tiempo y debe estratégicamente catalizar el despliegue de nuevos servicios que aumenten los ingresos. Pero sin un marco regulatorio favorable y una infraestructura de red que no esté en condiciones de asimilar e insertar la tecnología, no es posible su introducción.

3.2.1 Consideraciones estratégicas y mercado.

Las Tecnologías de información y comunicaciones serán de suma importancia para el desarrollo sustentable en los países en desarrollo. El conocimiento y uso masivo de estas tecnologías es una condición indispensable para el desarrollo y la vida económica y social del país. Cuba ha dado importantes pasos encaminados a lograr la informatización de la sociedad. Por ello, garantizar un significativo incremento de los niveles de conectividad e introducir tecnologías de acceso de banda ancha, se hace estratégico.

Cuba cuenta con 270 000 computadoras (2.3 por cada 100 habitantes), de las cuales más el 35% no están conectadas en red, fundamentalmente por carecer de la infraestructura de acceso. Un volumen significativo de las computadoras existentes, ha sido destinado por la Revolución a importantes programas sociales, educacionales y de la salud. Urge la pronta conexión de las mismas en red para poder aprovechar plenamente sus potencialidades.

En Cuba según datos de la UIT del 2003, al cierre del 2002 existían 120.000 usuarios de Internet, lo que representa una penetración del 1.06% [53]. Esta es la cifra más baja de América Latina, veinte veces por debajo de Chile que es quien ostenta los mayores índices de penetración de Internet en la región para un 20.14% y lejos de la media de la región que es de 9%[53].

Esto se debe fundamentalmente a que hoy la conexión de Cuba al exterior, incluyendo a Internet se realiza mediante caras conexiones satelitales, que no garantizan el ancho de banda adecuado para satisfacer la demanda del país. Esta situación podría resolverse con la conexión de Cuba a la red de cables submarinos de fibra óptica que nos circundan o la conexión directa a La Florida, pero en ambos casos las autoridades norteamericanas no lo han permitido [52].

ETECSA negocia con varias empresas propietarias de redes de cables ópticos submarinos, la incorporación de Cuba a estas redes. De contratarse en el futuro

cercano la conexión cubana a la red mundial de cables submarinos, estaríamos en condiciones de ampliar los servicios internacionales en general y la capacidad de conexión a Internet en particular. Por lo que la red de acceso debe estar preparada para la nueva situación que se avecina.

Un importante indicador para medir la capacidad global de los ciudadanos de un país para acceder y utilizar las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), es el índice de acceso digital (IAD). Este índice combina ocho variables que abarcan cinco esferas: la disponibilidad de infraestructura, la asequibilidad del acceso, el nivel de educación, la calidad de los servicios TIC y el empleo de Internet.

En el 2002 el IAD de Cuba fue de 0.38, clasificando como un país de acceso medio-bajo a las TIC, igualando en la región a los índices de Guatemala, El Salvador y Bolivia y sólo superando a Honduras, Nicaragua y Haití [54].

Sin lugar a dudas todas estas cifras y hechos nos hacen reflexionar y valorar que debemos invertir en la red de acceso, buscando las soluciones más económicas y rápidas que a corto y mediano plazo, nos permitan lograr los niveles de conectividad y capacidad de acceso adecuados, para el desarrollo de la economía y la sociedad cubana. Contribuyendo así a la reducción de la brecha digital que nos separa de los países más desarrollados.

Aunque los costos de usar estas tecnologías para construir infraestructuras nacionales de información destinadas a sociedades de conocimiento innovadoras sean altos, los costos de no hacerlo serán probablemente mucho más altos. Estas son las principales conclusiones presentadas en un libro de consulta preparado por la Comisión de las Naciones Unidas sobre Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (UNCSTD).

El mercado para las redes de acceso de banda ancha está garantizado, en Cuba existen un número importante de empresas que operan en MLC, que: no disponen de ninguna facilidad de cables que permita el acceso a los servicios de banda ancha;

o que demandan conexiones a mayores anchos de bandas que las que ETECSA actualmente les ofrece.

Ante esta situación ETECSA ha recurrido al empleo de los sistemas satelitales VSAT, como solución de acceso a clientes a los que no le puede garantizar el acceso vía cable. Cada estación remota VSAT puede recibir servicios de conectividad a la red pública de transmisión de datos (servicios Frame Relay y X.25) y conectividad a cualquier ISP, para el acceso a Internet u otras prestaciones de estos proveedores de servicios. En ambos casos con velocidades desde 16 Kbps hasta 384 Kbps.

Pero los sistemas satelitales introducen un alto retardo en la transmisión, no permiten altas velocidades de datos, el equipo terminal de la VSAT es mucho más caro que el de un sistema BWA, y su instalación es mucho más complejo.

3.2.2 Consideraciones sobre el entorno regulatorio.

Como se sabe las reglamentaciones regionales y nacionales del uso del espectro radioeléctrico, determinan las características de los equipos de radioacceso a adoptar por cada país e influyen en la adopción más temprana o tardía de estas.

Hasta marzo del 2002 en Cuba no existía ninguna disposición sobre el uso del espectro radioeléctrico para el desarrollo de sistemas de acceso de banda ancha.

La necesidad de disponer urgentemente del espectro radioeléctrico adecuado para la aplicación de sistemas de acceso inalámbrico que permitan la rápida implantación de la infraestructura necesaria para el acceso a la red pública, con la calidad y la capacidad requerida para el desarrollo acelerado de los planes de informatización de la sociedad en el ámbito nacional; condujo al Ministerio de la informática y las Comunicaciones a la aprobación de la resolución 33/2002, que dispone la utilización de la banda de frecuencias de 3,4 a 3,6 GHz para el despliegue de sistemas de acceso inalámbrico fijo, por aquellas entidades que posean una

concesión para operar redes públicas autorizadas a prestar servicios de transmisión de datos en el país [55].

La resolución específica que el uso del espectro radioeléctrico para los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha se hará conforme al ANEXO de la misma. En el Anexo B del presente informe se recoge el ANEXO de la resolución 33/2002 del MIC.

Como se puede apreciar en el Anexo B, el MIC ha destinado la banda de 3.5 GHz (3.4GHz-3.6GHz) para sistemas inalámbricos de banda ancha con capacidades de conexión superiores a las correspondientes a la velocidad primaria y la ha dividido en bloques de 25 MHz con acceso duplex por división en frecuencia, con una separación entre el canal de subida y el de bajada de 100 MHz.

La regulación vigente da luz verde al despliegue en Cuba de los sistemas BWA en la banda de 3.5 GHz.

3.2.3 Consideraciones sobre la Infraestructura de la red.

El eslabón más débil de la infraestructura de comunicaciones del país es la red de acceso. Contamos con una deteriorada e insuficiente red de planta exterior. Esta situación hace que se dificulte no sólo el despliegue de los accesos RDSI y ADSL, para los cuales el par debe reunir determinados requisitos de calidad, no siempre encontrados en nuestra red; sino también hasta la provisión del servicio telefónico básico y la simple conexión mediante módem dial-up.

Ante esta realidad, el despliegue de sistemas de acceso inalámbricos de banda ancha es una solución razonablemente económica y rápida, para proveer de conectividad y servicios de banda ancha a clientes empresariales, residenciales y sociales, tanto en zonas urbanas, como rurales, que hoy demandan mejorar sus condiciones de conectividad e incrementar la capacidad de dichas conexiones.

Los sistemas estandarizados de acceso inalámbrico de banda ancha pueden conectarse tanto a redes ATM, como IP.

La red ATM de Cubadata está en condiciones de asimilar estos sistemas, ya que el tráfico actual de esta es muy bajo. En todo las provincias se cuenta con un Alcatel 7470, que funge como nodo de la red y que proporciona una plataforma de convergencia y de agregación de tráfico de banda ancha de servicio único o multiservicio, capaz de entregar IP, voz y vídeo, ATM, transmisión de celdas y Frame Relay, así como servicios de emulación de circuitos (CES) sobre multiplexación por división en el tiempo (TDM) y servicios de red óptica SDH.

Es de esperarse que los clientes demanden servicios con requisitos de QoS, como video conferencia, voz sobre datos, telemedicina, comercio electrónico y enseñanza a distancia etc., que para su correcto funcionamiento requieran una diferenciación de la clase de servicio, lo cual puede ser brindado a través de los futuros servicios IP+MPLS/ ATM a implementar en la red pública de Cubadata [56].

3.2.4 Consideraciones sobre el equipamiento a adquirir.

El equipamiento que se adquiera debe en primer lugar cumplir las disposiciones regulatorias existentes, adaptarse a nuestra realidad nacional, ser compatible con nuestras redes y ofrecer una buena relación calidad/precio. Sería también más conveniente introducir productos estandarizados, que puedan interoperar entre sí.

En la elección del proveedor debe tenerse en cuenta su experiencia en el mercado y las facilidades que brinde para los servicios de posventa, la capacitación del personal y las condiciones de pago que establezca.

Si revisamos la resolución 33/2002 del MIC vemos que los sistemas que se adquieran deben operar en la banda de 3.4GHz-3.6GHz con esquema FDD y permitir conexiones a partir de 2 Mbps.

El hecho de considerar sólo los sistemas que ofrezcan conexiones superiores a las del acceso primario, es un gran inconveniente, puesto que existen sistemas BWA que ofrecen conexiones a partir de 64kbps y hasta 512 kbps que por ende son más baratos. Con tales sistemas es posible servir tanto a clientes que carecen de servicio de voz y no requieren de servicios de datos, como a clientes que requieren de ambos servicios. En las condiciones de Cuba esto sería ideal para ofrecer conectividad a pequeñas entidades, escuelas, consultorios, etc. El sistema ZXBWA-3B de la empresa China ZTE es un ejemplo de ello.

Esta regulación también imposibilita sacar provecho de una de las ventajas de los sistemas IEEE 802.16a. Estos sistemas se estandarizaron en fecha posterior a la promulgación de esta resolución y tienen la ventaja de ofrecer ancho de banda por demanda desde velocidades muy bajas y hasta 75 Mbps.

Por tal razón se hace necesario que el MIC revise el anexo de la resolución en cuestión en cuanto a reducir la velocidad mínima de las conexiones de los sistemas BWA en Cuba.

3.3 Aplicaciones de los sistemas BWA en Cuba.

Se ha analizado que estratégicamente conviene introducir en Cuba los sistemas de acceso inalámbricos como solución de acceso de banda ancha ante la insuficiencia y deterioro de la red de cables de cobre y la necesidad existente en el país de incrementar la conectividad y los servicios de banda ancha; que el Ministerio de la Informática y las Comunicaciones ha promulgado la resolución que ampara a los operadores públicos a utilizar las bandas de frecuencia comprendidas entre los 3.400 GHz y los 3.600 GHz para desplegar sistemas de acceso inalámbricos fijo de banda ancha; y que ETECSA cuenta con una infraestructura de red sólida y flexible, capaz de asimilar la introducción de los sistemas de banda ancha en el país.

Visto esto estamos en condiciones de plantearnos cuales serían los servicios y aplicaciones fundamentales del empleo de esta tecnología en Cuba.

Solución de acceso de banda ancha en Cuba

Los sistemas BWA van a jugar un papel muy importante dentro del proyecto de informatización de la sociedad en Cuba, por cuanto está en condiciones de ofrecer conectividad a altas velocidades a entidades gubernamentales, sociales, empresariales; e integra en una misma solución de acceso, las diversas redes, mediante la implementación de redes privadas virtuales (VPN) de ser necesario.

Los sistemas inalámbricos de banda ancha tienen el potencial para mejorar los servicios en áreas de la salud y la educación. Por lo que podrían utilizarse para interconectar en una región, mediante el establecimiento de una red virtual, consultorios, policlínicos, hospitales, farmacias, etc. entre sí y a la red Infomed, posibilitando una mayor capacidad de acceso y permitiendo el tele-diagnóstico de pacientes remotos, la transmisión de imágenes de alta resolución y videoconferencias entre otros servicios de telemedicina. Así mismo la conexión de las escuelas y las universidades a la banda ancha incrementa la eficiencia de la investigación y da posibilidades para fomentar la educación en línea y a distancia, así como aprovechar la videoconferencia como herramienta de aprendizaje[3].

No debe perderse de vista que amén a la función social que puedan desempeñar estos sistemas, es imprescindible brindar servicios a las entidades que operan en moneda libremente convertible ya que como toda tecnología que se introduce requiere de una inversión previa y ya instalado genera gastos por concepto de operación y mantenimiento.

Estos sistemas podrían ofrecer una amplia gama de servicios, tanto simétricos como asimétricos: acceso a Internet, acceso a LAN, interconexión LAN-LAN, Voz, VPN, distribución de video, E1, Frame Relay, etc.

Backhaul para la red móvil

La ampliación de la red GSM del país, con el objetivo acelerar el crecimiento de la densidad telefónica de Cuba y proveer de servicio telefónico a la población en extensas áreas de nuestra geografía, con carencia, insuficiencia o deteriorada red de planta exterior, traerá aparejado el despliegue de numerosas estaciones bases (BTS) y estaciones base controladoras (BSC). La red GSM necesita contar con una infraestructura de transporte que permita el enlace entre las BTS y la BSC que las atiende y entre esta última y el centro de conmutación móvil (MSC), localizada en una región geográfica distante de las BTS.

Básicamente el backhaul de esta red se ha diseñado mediante enlaces de microondas punto a punto con equipos del tipo MINI-LINK E de Ericsson, los cuales proveen de enlaces punto a punto de 2 Mbps.

El área de la celda GSM va a depender del número de usuarios concurrentes. En zonas de baja densidad poblacional las celdas tendrán un radio que superará los 20 km y generan tráficos de hasta 2 Mbps. Sin embargo en las ciudades, donde la concentración poblacional es alta, el radio de las celdas, puede ser incluso menor que 10 km y podrían generar el doble de tráfico. Una excelente solución para garantizar la infraestructura de transporte para las celdas GSM, podría ser el empleo un sistema de acceso inalámbrico de banda ancha, punto-multipunto, en lugar de los tradicionales enlaces punto a punto [57] .

En este escenario las BTS se convierten en usuarios del sistema BWA, el cual les provee los enlaces E1 necesarios para canalizar el tráfico hacia la BSC. Aquí se escoge el sitio adecuado para implementar el punto-multipunto, bajo el criterio de ser el de mejores condiciones para acceder a los restantes sitios y a la infraestructura de la red de transporte. En la torre del sitio seleccionado se instala las BS del sistema BWA, con sus antenas sectoriales y en las torres de los sitios próximos se instalan las SS con sus unidades interior y exterior.

Si además de ser el sistema punto-multipunto, trabaja en condición NLOS, como los estandarizados sistemas Wimax; entonces agregamos una importante ventaja frente a los enlaces punto a punto tradicionales. No necesitar de línea de vista redundante en la disminución de los costos de las torres que soportan las antenas, por no requerir gran altura para buscar la condición de línea de vista.

Como los sistemas de banda ancha son sistemas de gran capacidad, esta implementación sólo tomaría unos pocos E1, dejando aún mucha capacidad para otras aplicaciones.

Backhaul para redes WLAN

El Ministerio de la Informática y las Comunicaciones mediante las resoluciones 5/2000 y 137/2003 reguló el uso de las bandas de frecuencias de 2.456 - 2.482 GHz y 5.725 - 5.825 GHz respectivamente, para aplicaciones de redes inalámbricas de área local para uso privado, no lucrativo, con el propósito de facilitar actividades económicas, productivas, de servicios, educativas o de investigación que redunden en beneficio del país. Las regulaciones no permiten utilizar este tipo de sistemas para enlazar dos o más redes privadas RLAN entre sí. Salvo excepciones se permite, en el caso de los sistemas que operan en la banda 5.725 - 5.825 GHz, realizar con esta tecnología un único enlace punto a punto con o sin repetidores, de no más de 10 km entre dos puntos de una misma red privada [58, 59].

Estas disposiciones permiten el despliegue de WLAN por entidades privadas, por lo que brinda una oportunidad a ETECSA, como operador público, de ofrecer a dichas entidades conectividad inalámbrica de banda ancha e incluso la interconexión de varias WLAN de la misma entidad, mediante la implementación de redes virtuales.

WLL de banda ancha en áreas rurales

Los sistemas BWA son una excelente solución para ofrecer servicios de voz y datos a extensas y poco pobladas áreas rurales, carentes de infraestructura de cables.

En este sentido, los sistemas como el ZXBWA-3B de ZTE, podrían desplegarse en las zonas rurales de nuestro país y sacar provecho de la amplia variedad de SS con que cuenta este sistema (ver epígrafe 2.5.3). Dando la posibilidad de emplear las SS con interfaces de voz y 10 Base T Ethernet en escuelas pequeñas, consultorios médicos, establecimientos empresariales y entidades gubernamentales.

Conclusiones

Los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha, constituyen la tercera opción tecnológica para el despliegue de las redes de acceso de banda ancha. De ellos se espera en los próximos 3 ó 4 años un gran despliegue a escala internacional, pues la adopción por la industria de los recientes estándares, elevan sus prestaciones y a la vez predicen un abaratamiento significativo de los sistemas.

En el trabajo se hizo una caracterización de los sistemas de acceso inalámbricos de banda ancha, prestando especial atención a los más recientes estándares internacionales para redes inalámbricas metropolitanas y se analizó la factibilidad de su introducción en Cuba, desde el punto de vista estratégico, de mercado, de infraestructura de red y del marco regulatorio concluyendo que:

- La introducción de los sistemas BWA contribuye a la reducción de la brecha digital que nos separa de los países más desarrollados.
- En Cuba existen potencialmente los clientes para desplegar estos sistemas.
- La infraestructura de la red de datos pública de ETECSA está en capacidad de asimilar esta nueva tecnología, ya que cuenta con un dorsal ATM con enlaces de fibra óptica de gran capacidad, ahora prácticamente subutilizados, y nodos multiservicios en cada una de las provincias del país.
- Las regulaciones vigentes favorecen a ETECSA para el despliegue de los sistemas BWA en la banda de 3.5 GHz y brindar conectividad inalámbrica con estos sistemas a las WLAN privadas.

En la presente tesis queda demostrado que la introducción en Cuba de los sistemas de acceso inalámbricos de banda ancha en la red de acceso, es una solución viable, rápida y efectiva para satisfacer la creciente demanda de conectividad y servicios de banda ancha que requieren la economía y los programas sociales.

Para lograr dar continuidad de los objetivos propuestos, se hace necesario señalar algunas recomendaciones:

Al Ministerio de la Informática y las Comunicaciones

- Modificar en el documento anexo de la resolución 33/2002, lo concerniente a la velocidad mínima de las conexiones de los sistemas para los sistemas BWA en Cuba, a tono con los nuevos estándares internacionales aprobados en esta esfera y las condiciones nacionales.

A ETECSA

- Dar seguimiento al desarrollo de esta tecnología y la evolución de los estándares internacionales en proyecto.
- Adquirir preferiblemente equipamiento estandarizado Wimax, para garantizar la interoperatividad entre equipamientos y estar en mejor situación ante una agresión económica.
- Realizar los estudios de mercado pertinentes a fin de localizar a los posibles clientes en MLC para los sistemas BWA.
- Trabajar en cada territorio conjuntamente con el grupo coordinador del MIC para el proyecto de informatización de la sociedad, en la localización de los organismos, e instituciones que requieran de conectividad y servicios de banda ancha.
- Estudiar a fondo las potencialidades que ofrecen los sistemas BWA configurados como punto-multipunto para de manera simultánea apoyar la infraestructura de red GSM y brindar servicios de acceso de banda ancha hacia el sector estatal y empresas que operan en MLC.
- Prestar especial atención a las tarifas, para estimular su empleo por parte de los clientes que operan en MLC.

- Promover el desarrollo de redes VPN.
- Instrumentar acciones de capacitación sobre los sistemas BWA, sus estándares, servicios y aplicaciones.

A la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas

- Incorporar el estudio de los estándares de red inalámbricos en acciones de postgrado de esa institución.
- Desarrollar futuros trabajos que den continuidad al presente, encaminados a profundizar en los aspectos más críticos sobre la implementación de esta tecnología y los servicios que puede ofrecer.

Referencias

- [1] Huidobro, J. M., "La evolución hacia la tercera generación de comunicaciones móviles," 2000.
Disponible en: <http://cibertele.com/nuevo/publicaciones/umts.pdf>
Última visita: Abril 2004
- [2] UIT, "Informe Internet de le UIT: Birth of Broadband (Sumary)," UIT, 2003.
Disponible en:
http://www.itu.int/osg/spu/publications/sales/birthofbroadband/exec_summary.html
Última visita: Enero 2004
- [3] Telstra, "Inquiry into Wireless Broadband Technologies," 2002.
Disponible en: <http://www.aph.gov.au/house/committee/cita/Wbt/subs/sub047.pdf>
Última visita: diciembre 2003
- [4] ETSI, "Broadband Radio Access HiperAccess," in *ETSI 102 003 V1.1.1 (2002-03) Technical report*, 2002.
Disponible en:
http://webapp.etsi.org/action%5CPU/20020326/tr_102003v010101p.pdf
Última visita: Abril 2004
- [5] Quilez, V., "Accesos de banda ancha vía radio," vol. Octubre 2000: Mundo Electrónico, 2000.
Disponible en: http://www.mundo-electronico.com/PDF/Any2000/313_octubre/Acceso_ban.pdf
Última visita: Diciembre 2003
- [6] Huidobro, J. M., "Acceso y redes de banda ancha."
Disponible en: www.cibertele.com/nuevo/publicaciones/huidobro_02.pdf
Última visita: Abril 2004
- [7] IEC, "Cable Módem," 2001.
Disponible en: http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/cable_mod.pdf
Última visita: Abril 2004
- [8] Hurel, J. L., "Evolución de las redes móviles: de 3G en adelante," in *Revista de telecomunicaciones de Alcatel*, vol. 4to trimestre 2003, 2003, pp. 60-66.
Disponible en:
http://www.tecnotribuna.com/Review/pressing_reference_review.asp?idReview=429&path=docs/articles/ATR403ES.pdf
Última visita: Abril 2004
- [9] EMC, "Abonados mundiales a celulares por tecnología," 2004.
Disponible en:
http://www.3gamericas.org/Spanish/Statistics/Global_Comparisons/world_subscribers_bytech.cfm
Última visita: Abril 2004

- [10] Peruyero, M., "Navegar usando DSL inalámbrico," in *Revista de Telecomunicaciones de Alcatel*, vol. 4to Trimestre 2003, 2003, pp. 121-126.
Disponible en: http://www.tecnotribuna.com/Review/pressing_reference_review.asp?idReview=429&path=docs/articles/ATR403ES.pdf
Última visita: Abril 2004
- [11] Muller , N. J."Wireless to A-Z", McGraw-Hill Telecommunications
- [12] García, A., " Dimensionado Eficiente de la Red de Acceso UMTS en Presencia de Múltiples Clases de Tráfico," 2001.
Disponible en: <http://greco.dit.upm.es/~abgarcia/publications/2003JITEL.pdf>
Última visita: Abril 2004
- [13] Maña, F., "Tendencia tecnológicas de la sociedad de la información," in *Economía Industrial*, vol. No. 342, 2001.
Disponible en: www.mcyt.es/asp/publicaciones/revista/numero342/095-106%2010ECONINDUSTdef.pdf
Última visita: Diciembre 2003
- [14] Vunet, " El futuro impacto de la tecnología UMTS.."
Disponible en: http://www.umtsforum.net/mostrar_articulos.asp?u_action=display&u_log=19
Última visita: Abril 2004
- [15] UIT, "Las tecnologías inalámbricas en marcha," 2003.
Disponible en: <http://www.itu.int/world2003/media/features/wireless-es.html>
Última visita: Enero 2004
- [16] Calero, N., "Análisis comparado de las diferentes alternativas tecnológicas de conectividad," 2003.
Disponible en: Última visita: Enero 2004
- [17] UIT, "Tendencias del mercado mundial," 2003.
Disponible en: <http://www.itu.int/osg/spu/spunews/2003/oct-dec/wi-fi-es.html>
Última visita: Abril 2004
- [18] Dataquest, G., "worldwide Public Hot Spot Location," vol. 13, No.9, 2003.
- [19] IEEE, "Standart IEEE 802.11," 2004.
Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>
Última visita: Mayo 2004
- [20] Advento, "Estándares para el entorno de gestión de las redes inalámbricas bajo 802.11."Disponible en <http://e-advento.com/tecnologia/estandares.php>
- [21] Cimadevela, E., "Voz sobre Wi-fi, una revolución en las comunicaciones personales."

- Disponible en: http://www.wirelessmundi.com/Art_C_W_03-11.pdf
Última visita: Abril 2004
- [22] Drevon, N., "Estrategia de Interfuncionamiento y continuidad del servicio entre tecnologías de radio GSM-UMTS-WLAN," in *Revista de Telecomunicaciones de Alcatel*, vol. 4to trimestre 2003/ 1er trimestre 2004, 2004, pp. 67.
Disponible en: <http://www2.alcatel.es/Review/Access.asp?P=1&id=39>
Última visita: Abril 2004
- [23] Bates, R. J., "Broadband Telecommunications handbook," McGraw-Hill Telecommunications, 2002, pp. 351.
- [24] Marks, R., "IEEE 802.16 marks broadband wireless access maturation," 2003.
Disponible en: <http://www.planetanalog.com/features/communications/OEG20020412S0074>
Última visita: Mayo 2004
- [25] Cohen, B., "The future in Last Mile Wireless Connectivity," 2003.
Disponible en: <http://networking.earthweb.com/netsp/article.php/3065261>
Última visita: Mayo 2004
- [26] ABI, "Contrary to Recent Announcements, WiMAX Will Target Market Greater than 20 Million Households, Forecasts ABI," ABI research, 2004.
Disponible en: <http://www.abiresearch.com/pdfs/WMX03pr3.pdf>
Última visita: Abril 2004
- [27] Datacomm, "WiMax Hype Obscures Opportunities and Challenges," Abril 2004 2004.
- [28] Bates, R. J., "MMDS and LMDS" in *Broadband Telecommunications handbook*, McGraw-Hill Telecommunications, 2002, pp. 351.
- [29] Wang, H., "LMDS, MMDS, and Wireless Broadband Access," in *Packet Broadband Network Handbook*, 2002, pp. 254.
- [30] Clint, S., *LMDS*. New York: MacGraw-Hill Professional Telecom, 2000.
- [31] Berrocal, J., "Bucle inalámbrico (LMDS)," in *Redes de Acceso de Banda Ancha*. Madrid, 2003.
- [32] IEC, "Local Multipoint Distribution System."
Disponible en: <http://www.iec.org>
Última visita: Abril 2004
- [33] Intel, "IEEE 802.16 and Wimax Broadbnad Wireless Access for Everyone," 2003.
Disponible en: www.intel.com/ebusiness/pdf/wireless/intel802.16_wimax.pdf
Última visita: Febrero 2004
- [34] Vikki, L., "802.16e vs 802.20," 2003.

- Disponible en: <http://www.wi-fiplanet.com/columns/article.php/3072471>
Última visita: Abril 2004
- [35] IEEE, "IEEE 802.20 Mission and Project Scope," 2002.
Disponible en: <http://grouper.ieee.org/groups/802/20/>
Última visita: Mayo 2004
- [36] Fellah, A., "Wimax, NLOS and Broadband Wireless Access (Sub-11GHz) Worldwide Market Analysis 2004-2008," Maravedis Inc., 2004.
Disponible en: <http://maravedis-bwa.com>
Última visita: Marzo 2004
- [37] Eklund, C., "IEEE Standard 802.16: A technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access," in *IEEE Communications magazine*, vol. Junio, 2002, pp. 98-107.
Disponible en: http://www.ieee802.org/16/docs/02/C80216-02_05.pdf
Última visita: Enero 2004
- [38] IEEE, "Standard IEEE 802.16-2001," 2001.
Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.16.html>
Última visita: Marzo 2004
- [39] IEEE, "Standard IEEE 802.16c-2002," 2002.
Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.16.html>
Última visita: Marzo 2004
- [40] IEEE, "Standard IEEE 802.16a-2003," 2003.
Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.16.html>
Última visita: Marzo 2004
- [41] WIMAX, "IEEE 802.16a Standard and WiMAX Ignitind Broadband Wireless Access," 2003.
Disponible en: <http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXWhitepaper.pdf>
Última visita: Marzo 2004
- [42] NOKIA, "International standardisation for BWA," 2002.
Disponible en: www.telenor.no/fou/prosjekter/embrace/Workshop/lars.pdf
Última visita: Marzo 2004
- [43] WIMAX, "WiMAX MEMBER," 2004.
Disponible en: http://www.wimaxforum.org/memberinfo/Current_Members
Última visita: Mayo 2004
- [44] Johnston, D., "Peering into The WiMAX Spec: Part 1," 2004.
Disponible en: <http://www.commsdesign.com/showArticle.jhtml?articleID=17500156>
Última visita: Mayo 2004
- [45] Grandin , M., "Acceso inalámbrico fijo para servicios de banda ancha," in *Ericsson Review*, vol. No.3, 2000, pp. 192-196.

- Disponible en:
http://www.ericsson.com/about/publications/review/2000_03/files/es2000037.pdf
Última visita: Abril 2004
- [46] Ericsson, "MINI-LINK BAS."
Disponible en: <http://www.cpg.com.tr/downloads/ml-BAS.pdf>
Última visita: Mayo 2004
- [47] ZTE, "ZXBWA-3A 3.5-GHz Broadband Fixed Wireless Access Server."
Disponible en: http://202.147.142/english/product_upload/content.asp?productid=373
Última visita: Mayo 2004
- [48] ZTE, "ZXBWA-3B 3.5-GHz Broadband Fixed Wireless Access Server."
Disponible en: http://202.147.142/english/product_upload/content.asp?productid=374
Última visita: Mayo 2004
- [49] ZTE, "ZXBWA-3C 3.5-GHz Broadband Fixed Wireless Access Server."
Disponible en: http://202.147.142/english/product_upload/content.asp?productid=375
Última visita: Mayo 2004
- [50] ZTE, "ZXBWA-LA Broadband Fixed Wireless Access Server."
Disponible en: http://202.147.142/english/product_upload/content.asp?productid=376
Última visita: Mayo 2004
- [51] MIC, "Política para la informatización de la sociedad."
Disponible en: http://www.cubagob.cu/des_eco/mic/mic_directivas/directivas.htm
Última visita: Mayo 2004
- [52] Rozabal, H., "La digitalización y el acceso a Internet seguirán creciendo.," in *Juventud Rebelde*, 18 enero ed, 2004.
Disponible en: www.jrebelde.cubaweb.cu/2004/enero-marzo/ene-18/digitalizacion.html
Última visita: Mayo 2004
- [53] "Penetración de Internet en América Latina," 2004.
Disponible en: http://tendenciasdigitales.com/td/penetracion_latinoamerica.htm
Última visita: Enero 2004
- [54] UIT, "Índice de acceso digital de la UIT: la primera clasificación completa de las TIC en el mundo," 2003.
Disponible en: http://www.itu.int/newsarchive/press_releases/2003/30-es.html
Última visita: Enero 2004
- [55] MIC, "Resolución 33/2002," 2002.
Disponible en: <http://www.mic.gov.cu/sitiomic/legislacion/RES%20033-02%20Bandas%20Frec%203,4%20a%203,6%20GHz.mht>
Última visita: Mayo 2004

- [56] González, B., "Proyecciones sobre la implementación del servicio IP con soporte MPLS en la Red Pública de Datos de ETECSA [Tesis en opción al título académico de Master en Telemática]," Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, 2004.

- [57] Nettleton, E., "Case study: using a point -to-multipoint system to replace leased-lines for cellular backhaul"
Disponible en: http://www.wcai.com/pdf/2003/ts9_nettonE.pdf
Última visita: Mayo 2004

- [58] MIC, "Resolución 05/2000," 2000.
Disponible en: <http://www.mic.gov.cu/sitiomic/legislacion/R005-00.mht>
Última visita: Mayo 2004

- [59] MIC, "Resolución 137/2003," 2003.
Disponible en: [http://www.mic.gov.cu/sitiomic/legislacion/RES%20137-03%20\(%205%20Ghz%20para%20RLAN%20Privadas\).mht](http://www.mic.gov.cu/sitiomic/legislacion/RES%20137-03%20(%205%20Ghz%20para%20RLAN%20Privadas).mht)
Última visita: Mayo 2004

Glosario de siglas y términos

2G	<i>Redes móviles de segunda generación</i>
3G	<i>Redes móviles de tercera generación</i>
AAS	<i>Advanced Antenna System</i>
ADPCM	<i>Adaptive Differential Pulse Code Modulation</i>
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone Service</i>
AP	<i>Access Point</i>
ARQ	<i>Automatic Repeat Request</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
bps	<i>Bits por segundo</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
BRAN	<i>Broadband Radio Access Network</i>
BS	<i>Base Station</i>
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CIR	<i>Committed Information Rate</i>
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i>
CQPSK	<i>Continuous enveloped QPSK</i>
DAMA	<i>Demand Assignment Multiple Access</i>
DAMPS	<i>Digital AMPS</i>
DAVIC	<i>Digital Audio-Visual Council</i>
DFS	<i>Dynamic frequency Selection</i>
DOCSIS	<i>Data Over Cable Service Interface Specification</i>
DS-CDMA	<i>Direct Sequence-CDMA</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DTH	<i>Direct to Home</i>

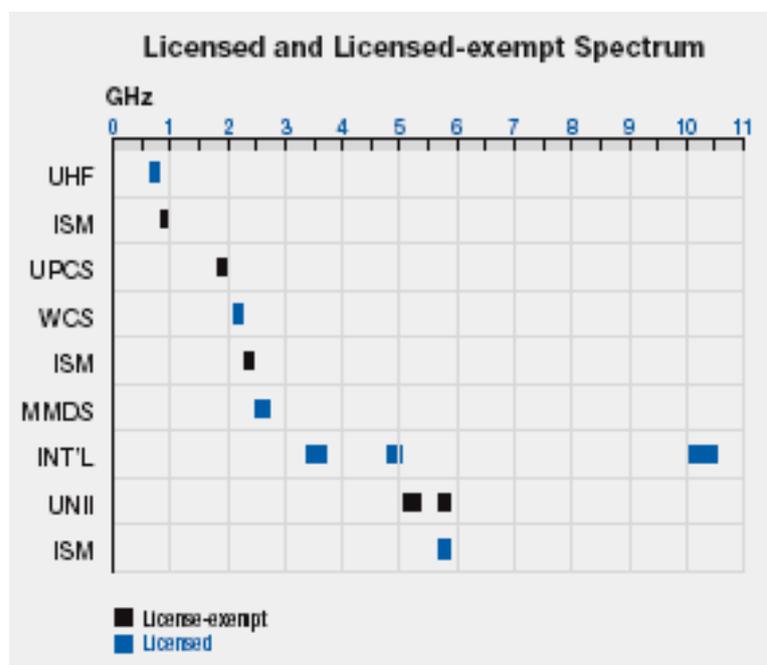
E1	<i>Flujo estructurado ETSI de 2.048 Mbps</i>
E3	<i>Flujo estructurado ETSI de 34 Mbps</i>
ETECSA	<i>Empresa de Telecomunicaciones de Cuba Sociedad Anónima.</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standarts Institute</i>
FBWA	<i>Fixed Broadband Wireless Access</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FDM	<i>Frequency Division Multiplex</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FH-CDMA	<i>Frequency Hopping-CDMA</i>
FWA	<i>Fixed Wireless Access</i>
GFSK	<i>Gaussian Frequency Shift Keying</i>
GMSK	<i>Gaussian-filtered Minimum Shift Keying</i>
GPC	<i>Garantizar por Conexión</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPSS	<i>Garantizar por SS</i>
GSM	<i>Global System for Mobile telecommunication</i>
HUMAN	<i>High-speed Unlicensed Metropolitan Areas Network</i>
IAD	<i>Índice de Acceso Digital</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical (Banda de frecuencias)</i>
ISND	<i>Integrated Services Network Digital</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
LAN	<i>Local Area network</i>
LMDS	<i>Local Multipoint Distribution System</i>
LOS	<i>Line of Sign</i>
MAC	<i>Medium Access Control - control de acceso al medio</i>

MAN	<i>Metropolitan Area Network - red de área metropolitana</i>
MBWA	<i>Mobile-BWA</i>
MIR	<i>Maximum Information Rate</i>
MMDS	<i>Multichannel Multipoint Distribution System</i>
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i>
N-LOS	<i>Non-Line of Sight</i>
OC-3	<i>Nivel 3 de la jerarquía SONET (155 Mbps)</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex Access</i>
PBX	<i>Private branch Exchange</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>
PCN	<i>Personal Communication Network</i>
PCS	<i>Personal Communication Service</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
PDU	<i>Paquet Data Unit</i>
PHY	<i>Capa física</i>
PKM	<i>Privacy Key Management</i>
POTS	<i>Plain Old Telephone Service</i>
PYME	<i>Pequeñas y Medianas Empresas</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RDSI	<i>Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SME	<i>Small and Medium Enterprise</i>
SMS	<i>Short Messages Service</i>
SOHO	<i>Small Office-Home Office</i>
SS	<i>Subscriber Station</i>
STC	<i>Space-Time Coding</i>

STM-1	<i>Synchronous Transport Module (155 Mbps)</i>
STM-16	<i>Synchronous Transport Module (2.5 Gbps)</i>
T1	<i>Equivante Norteamericano al E1. (24 canales de voz. 1.5 kbps)</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
UGS	<i>Unsolicited Grant Service-Servicio garantizado no solicitado</i>
UIT	<i>Unión Internacional de Telecomunicaciones</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications Service</i>
VBR	<i>Variable Bit Rate</i>
VOD	<i>Video On Demand, vídeo bajo demanda</i>
VoIP	<i>Voice over IP, voz sobre IP</i>
VoWLAN	<i>Voice over WLAN</i>
VPN	<i>Private Virtual Network, red privada virtual</i>
VSAT	<i>Very Small Aperture Terminal</i>
WAN	<i>Wide Area Network, red de área extensa</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WI-FI	<i>Wireless Fidelity</i>
WIMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access forum</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WLL	<i>Wireless Local Loop</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Areas</i>

Anexos

Anexo A: Bandas de frecuencias para sistemas BWA



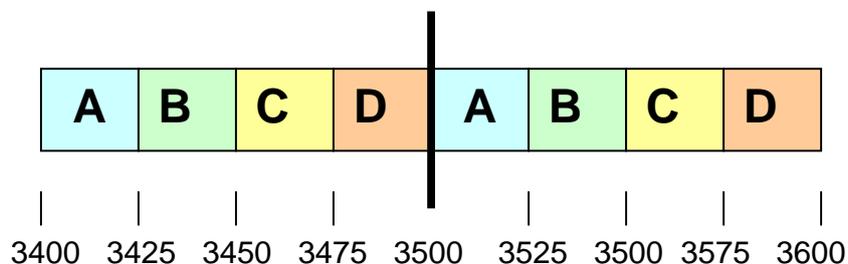
Banda	Frecuencias [GHz]	Observaciones
UHF	0.75-0.8	
ISM	0.9-0.93	Industrial, Scientific and Medical Banda exenta de Licencia
UPCS	1.91-1.93	Personal Communications Services Exenta de Licencia
WCS	2.3	Wireless Communications Service
ISM	2.4-2.48	Industrial, Scientific and Medical Banda exenta de Licencia
MMDS	2.5-2.7	Multichannel Multipoint Distribution Service
INT'L	3.4-3.7	Licenciada: en Europa, Asia y América Latina
	4.8-5.0	Japón
	10.15-10.50	América Latina
UNNI	5.15-5.35	Nacional Information Infrastructure
	5.73-7.83	Banda exenta de Licencia
ISM	5.73-5.85	Industrial, Scientific and Medical Banda exenta de Licencia

Anexo B: Disposiciones para el empleo de la banda de frecuencias de 3,4 a 3,6 GHz en Cuba

ANEXO de la resolución 33/2002 del MIC

1.- La banda de frecuencias de 3,4 a 3,6 GHz se destina para sistemas de acceso inalámbrico fijo, destinados a suministrar sistemas inalámbricos de banda ancha con capacidades de conexión superiores a las correspondientes a la velocidad primaria.

2.- La repartición del espectro en esta banda se hará por división en bloques de 25 MHz con acceso dúplex por división en frecuencias de la forma que se describe a continuación:



3.- Los bloques se agruparán con una separación dúplex de 100 MHz en la forma que se muestra en la figura, con la siguiente distribución:

<u>Combinación de bloques</u>	<u>Transmisión de la estación terminal</u>	<u>Transmisión de la estación central</u>
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

4.- Los Permisos para el empleo del espectro radioeléctrico a cada usuario se otorgarán por un periodo máximo de 10 años y podrán renovarse por periodos similares en dependencia de las disposiciones establecidas para el uso del espectro en las bandas en cuestión para la correspondiente fecha.

5.- Se podrán otorgar hasta 2 bloques contiguos a un mismo usuario.

6. Los Permisos se otorgarán previa presentación por la entidad interesada de la correspondiente solicitud oficial a la Agencia de Control y Supervisión del Ministerio

de la Informática y las Comunicaciones, acompañada de información sobre los planes de la misma, incluyendo la identificación de los tipos de servicios a suministrar, grado de calidad, beneficios esperados, área o áreas de servicio prevista y niveles de penetración del servicio, precisando las fechas previstas para la instalación de cada una de las redes solicitadas.

7. Toda solicitud inicial se acompañará de un pago de \$100.00 USD no reembolsable en los casos en que la misma sea rechazada. Durante el proceso de evaluación de las solicitudes se podrá requerir de la entidad solicitante la presentación de información adicional.

8.- Las tasas por el uso del espectro radioeléctrico se establecen para cada red conforme con el número de unidades de reserva radioeléctrica aplicable a la misma y hasta tanto estas no se hayan definido se aplicarán los siguientes valores por cada combinación dúplex de bloques de frecuencias a emplear, de forma que en los casos en que se asignen 2 bloques, el valor reflejado a continuación se multiplicará por 2.

Red clase A: Capitales de provincia, zonas francas y polos turísticos del país.
\$10500.00 USD/año.

Red clase B: Otras áreas.
\$ 3500.00 USD/año.

9.- Cada Permiso comprenderá la expedición a cada red abarcada en el mismo de la Licencia que autoriza la instalación y operación de una estación central y las estaciones terminales asociadas ubicadas dentro del área de servicio autorizada, pudiendo incluir eventualmente estaciones repetidoras, siendo necesario la presentación previa de un proyecto por parte del solicitante para la obtención de la misma.

10.- Las tasas por uso del espectro serán abonadas en la fecha en que se expida la correspondiente Licencia, una vez que se disponga iniciar la instalación de la red en cuestión, o en su defecto, a partir de la fecha en que correspondería iniciar su explotación conforme a los Planes presentados por la entidad interesada durante el proceso de solicitud. Las fechas para realizar los subsiguientes pagos anuales serán fijadas por la entidad encargada del control del espectro en el país.

11.- Los Permisos podrán ser cancelados en su totalidad o en parte, por incumplimiento de los planes presentados por parte de la entidad en cuestión, cuando no existan elementos de peso que justifiquen los mismos. Lo anterior no exonerará del pago de las tasas por uso del espectro para aquellas redes que hayan alcanzado la fecha de explotación prevista en los planes aprobados inicialmente.

12.- Los operadores que obtengan un Permiso estarán sujetos a la utilización de equipos que se encuentren aprobados para el empleo de esta banda de frecuencias

y en todo momento tendrán que cumplimentar los parámetros técnicos así como cualquier limitación en sus condiciones de explotación que se impongan como requisito para la autorización.

13.- Cualquier entidad podrá proponer el empleo de equipos diferentes a los registrados como autorizados según el párrafo anterior, pero ello estará sujeto a la aplicación satisfactoria del proceso de pruebas y mediciones que se considere necesario, quedando el interesado obligado a sufragar todos los gastos que las mismas puedan ocasionar.