



TECNOLOGÍA WIMAX COMO SOLUCIÓN DE ACCESO DE
INTERNET INALÁMBRICO PARA EL CENTRO HISTÓRICO DE
CARTAGENA DE INDIAS

Meza Cogollo, Elkin David
García Porras, Juan Gabriel

López, Gonzalo
Director

Universidad Tecnológica De Bolívar
Minor en Telecomunicaciones
Cartagena De Indias
2006

INTRODUCCION

El aumento en el área de las telecomunicaciones en Colombia en los últimos años ha crecido de una manera vertiginosa, empezando con la privatización de los canales de televisión a finales de los años noventa, de allí la entrada de la telefonía celular al mercado nacional, la consolidación de las empresas públicas de las ciudades de Bogotá y Medellín dentro del mercado, generando utilidades apreciables, el establecimiento de empresas de telecomunicaciones móvil celular como Bellsouth y Comcel, la adquisición de Bellsouth por parte de la empresa Telefónica de España, además de la entrada en escena de un tercer operador, pero en el campo de los PCS, conformado por una unión entre ETB (Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá) y EPM (Empresas Públicas de Medellín) y cuyo nombre comercial es OLA, la privatización y modernización de la empresa de telecomunicaciones de Colombia (Telecom), transformándose en Colombia Telecomunicaciones, dejándola lista para que en la ciudad de Bogotá, el día 18 de abril de 2006, el Presidente de Telefónica César Alierta, cerrara de compra del 50% más una acción de ella, la cual se definió en subasta el pasado 7 de abril por \$ 359 millones de dólares. Esta compra se da en función de que Colombia es uno de los países de menor acceso a Internet, con una penetración de banda ancha de sólo el 2% del total de América Latina. Telefónica, que cuenta con más de 100 millones de clientes en Latinoamérica, ha trascendido con gran experiencia en el negocio de telefonía fija y móvil. Sólo en el ámbito de la banda ancha, se destacan las tasas de penetración de los países en los que Telefónica está presente, como es el caso de Chile, Argentina, Perú o Brasil, con tasas del 16,6%, 7,2%, 6,4% y 6,2%, respectivamente; a su vez se está implementando la primera red PreWiMax en Latinoamérica en el área metropolitana de Bucaramanga, Norte de Santander, y con ciudades como Medellín, Cali y Bogotá haciendo turno para que se continúe con el proyecto de conectividad inalámbrica; sólo por mencionar los casos más sobresalientes de lo que ocurrió en el campo de las comunicaciones en los últimos 15 años.

Es de notar, el interés mundial por la conectividad sin cables, en todo lo referente a sistemas de comunicaciones, de allí que se han dedicado y estableciendo diferentes estándares y normas para suplir diferentes necesidades, desde las ya conocidas Microondas y señales satelitales hasta las comunicaciones empleando Infrarrojo, Bluetooth, WiFi, WiMax, WiBro, etc.; son muestra de ello, de igual forma el apoyo de grandes empresas a nivel mundial como Esemble, Nokia, Intel, Fujitsu, Airspan, Alvarion, entre otras, el permanente acompañamiento a una tecnología que está dando de que hablar en el mundo, la Tecnología WiMax.

Con la consolidación de WiMax Forum, nombre bajo el cual se agrupan empresas fabricantes de hardware, desarrolladores de software y distribuidores de tecnología en telecomunicaciones, se han desarrollado y hecho seguimiento a

todos los aspectos relativos a esta tecnología, siguiendo un elaborado plan de trabajo con fechas propuestas, para que el estándar pase del papel a una aplicación y solución práctica y palpable, ofreciendo certificación y calidad en el resultado final de cada dispositivo WiMax que entre al mercado.

Este escenario, planteado de esta forma, es un excelente preámbulo para ofrecer soluciones alternativas en el área de las telecomunicaciones, interconexión de redes y brindar acceso a Internet por Banda Ancha, y es allí donde la Tecnología WiMax entra, ofreciendo todo su potencial para satisfacer, en pleno crecimiento, las necesidades de mayor demanda de ancho de banda, movilidad de un punto de acceso a grandes distancias, compatibilidad con tecnologías inalámbricas como la WiFi, entre otras, dando a cada usuario corporativo o personal la capacidad de escalar su red y ubicarla donde más le sea conveniente por comodidad o funcionalidad; ideal para la realización de grandes eventos tecnológicos, videoconferencias y transmisiones de datos e información multimedia entre muchos usuarios y es allí donde Cartagena de Indias figura como la ciudad turística y un destino preferido por nacionales y personas del exterior, por ende es una gran oportunidad el explotar dentro de este ambiente, las posibilidades tecnológicas que ofrece la tecnología WiMax, debido a la demanda ya existente e insatisfecha por servicios que se pueden prestar pero que hasta la fecha son insuficientes, tanto en los recursos como en la tecnología invertida para sobrellevar esa falencia.

RESUMEN

Dentro del desarrollo de la presente monografía se pueden resaltar los siguientes aspectos:

- Desarrollo y evolución de la tecnología WiMax, a través de la norma IEEE 802.16 y el WiMax Forum; ya que se presentan y relacionan el surgimiento de la norma y la conformación del grupo de desarrollo e investigación encabezados por Intel, y de cómo ellos han llevado el estándar a unas posiciones de relevancia en las telecomunicaciones, que ya no sólo los proveedores de servicio de Internet por banda ancha sino que también los de servicios de telefonía móvil celular y PCS en todo el mundo, están a la expectativa de todos los beneficios que ella pueda brindar y como soluciona problemas actuales y se adelanta a satisfacer la demanda de cobertura por nuevos usuarios de teléfonos móviles celulares y PCS.
- El funcionamiento operativo del estándar a nivel físico y de enlace de datos, además del método de modulación de datos que la identifica; puesto que el conocimiento de cómo la señal inalámbrica de la tecnología WiMax se identifica y diferencia de las otras, haciendo del nivel físico y del nivel de enlace de datos el pilar bajo el cual se fundamenta y estructura su funcionamiento, en términos de velocidades de conexión, tipos de modulación y de multiplexación, calidad del servicio (QoS), necesidad de línea de vista (LOS) entre antenas y antenas y dispositivos, entre otros.
- La infraestructura física necesaria para la implementación de una red basada en tecnología WiMax; no estaría por demás recordar que con cada implementación de una nueva tecnología, se desarrolla toda una infraestructura, que ayuda a prestar de manera eficiente los nuevos recursos y posibilidades, de allí que sea importante recalcar que muchas empresas del sector del hardware, están muy interesadas en este nuevo desarrollo y le estén apostando a una nueva línea de productos tendientes a satisfacer la tecnología WiMax, sobre todo en lo referente a antenas y puntos de acceso, tarjetas y accesorios de interconexión.
- La tecnología WiFi comparada con la tecnología WiMax, como tecnologías que aportan solución de acceso de última milla; aunque en un principio se pensó que serían competencia, la verdad es que ahora se sabe con certeza de que la primera esta pensada y desarrollada para entornos LAN mientras que la segunda para entornos WAN - MAN, por ende dependiendo de la topología que se desee implementar, cada una de ellas ofrece las características que la identifican, para satisfacer las necesidades de los

usuarios, sobre todo en la última milla en donde, cada vez más es creciente la demanda y en algunos casos el cobre no es posible tenerlo en cuenta.

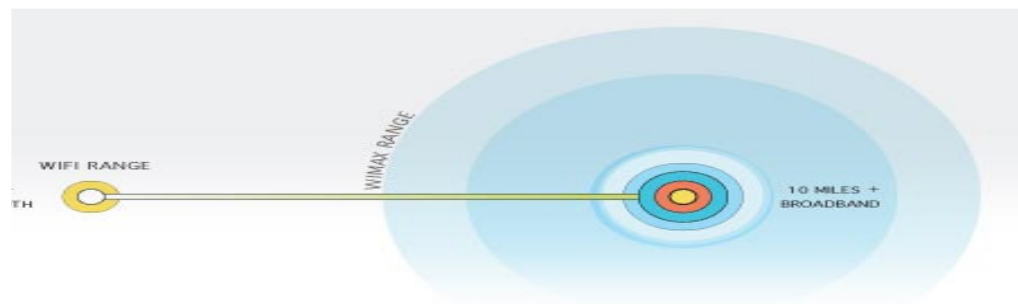
- La escogencia del centro de la ciudad de Cartagena de Indias, como punto central de difusión de puntos de acceso inalámbricos dentro de él y sus alrededores; desde el reconocimiento de la ciudad como Patrimonio Histórico y Cultural de la Humanidad en los años 80, ha sido sede de innumerables eventos de trascendencia nacional e internacional, destino tenido muy en cuenta por cruceros, agencias de viajes internacionales y lógicamente por la organización de eventos y congresos, y que mejor ejemplo que el congreso ANDICOM, que se realiza año tras año en el corralito de piedra, mostrando lo último en telecomunicaciones y las futuras implementaciones y desarrollo que se están realizando en todo el mundo, es un referente de la necesidad de poseer un robusto sistema de telecomunicaciones que favorezca el desarrollo de tales actividades.

Cabe destacar además de todo lo anterior, que muchos de los conceptos que fundamentan la tecnología WiMax, además de estar referenciados en la norma IEEE 802.16, están en pleno desarrollo y certificación, tanto en el parte de Hardware como el la de Software, y que muchas ciudades están a la expectativa de todo lo que acontece con la tecnología WiMax, por el momento sólo nos queda esperar los resultados de la puesta en marcha de la primera red WiFi y Pre-WiMax en Latinoamérica, en el área metropolitana de Bucaramanga.

CAPÍTULO 1.

TECNOLOGÍA WiMax

- 1.1. Historia y Orígenes
- 1.2. Forum WiMax
- 1.3. Ubicación de la Tecnología WiMax dentro del espectro Inalámbrico



1.1 Historia y Orígenes

Últimamente se habla mucho de WiFi¹, una tecnología inalámbrica, que en sus diferentes versiones (802.11a, b y g) puede ofrecer desde 11 Mbit/s hasta 54 Mbit/s, y sus distintas aplicaciones, especialmente en los hot-pots² (hoteles, aeropuertos, estaciones de servicio, centros de convenciones y comerciales, pueblos, etc.), en los que se ofrece acceso a Internet, en muchos casos, de forma gratuita, lo que hace que los modelos de negocio no prosperen.

Pues bien, todo esto se puede ver enormemente afectado por un nuevo estándar del que se está empezando a hablar, el 802.16x, conocido como WiMax y reconocido igualmente HyperMan como estándar de la ETSI³, que es una especificación para redes metropolitanas inalámbricas (WMAN) de banda ancha, que está siendo desarrollado y promovido por el grupo de la industria **WiMAX (World wide Interoperability for Microwave Access)**, cuyo dos miembros más representativos son Intel y Nokia. Como sucedió con la marca WiFi, que garantiza la interoperabilidad entre distintos equipos, la etiqueta WiMAX se asociará globalmente con el propio nombre del estándar.

El hecho de que WiMAX no sea todavía una tecnología de consumo ha permitido que el estándar se desarrolle conforme a un ciclo bien establecido, lo que es garantía de su estabilidad y de cumplimiento con las especificaciones, algo parecido a lo que sucedió con GSM, que es garantía de su estabilidad.

1.2 Forum WIMAX

Es un grupo de trabajo, investigación, desarrollo y estandarización conformado desde el año 2001 por proveedores de componentes y equipos encabezados por Nokia, Intel, Avarion, Telecom Alemania, Telecom China, Telecom España, Motorola, Yahoo, Siemens, Fujitsu, Alcatel, entre otras; todas ellas convergen en la necesidad del desarrollo del estándar IEEE⁴ 802.16 en sus diferentes versiones

¹ WiFi, Wireless Fidelity, definido en el estándar IEEE 802.11

² hot-pots, puntos de acceso inalámbrico WiFi.

³ ETSI, European Telecommunications Standards Institute

⁴ IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers

y han adoptado como logotipo representativo el que se ilustra en la **Figura No1.**, de allí que todos los dispositivos que se encuentre certificados y estén en capacidad de comunicarse bajo estos parámetros tecnológicos se identificaran con él.

Figura No.1
Logotipo WiMax Forum



La norma bajo la cual se establecen todas las regulaciones se encuentran basadas en la norma IEEE 802.16 para América y sus asociados, y conocidas con el nombre de HyperMan en la norma de ETSI, por ende el WiMax Forum propende tanto por la regulación europea como la americana, con tal de lograr la máxima flexibilidad e integración de productos y servicios a nivel mundial.

Por tanto lo que propone y promueve el WiMax Forum es el diseño, desarrollo e implementación de perfiles de acceso para su estándar IEEE 802.16, además de garantizar la certificación de los respectivos niveles de interoperabilidad en redes celulares, bajo las normas que rigen a cada una de las tecnologías que aplican según el estándar que utilicen.

De allí que el alcance de aceptación global, de la Tecnología WiMax sea el motor que mueva al foro, al igual que se alcanzó con el desarrollo de la tecnología móvil celular GSM⁵ dentro de sus respectivas evoluciones y de cómo fue siendo aceptado en todo el mundo.

Otro de los objetivos que promueven, el uso del acceso inalámbrico de banda ancha, mirándose como complemento de la tecnología WiFi, ya que como se observará más adelante, la forma de penetración en el mercado es en la

⁵ GSM, Global System for Mobile Communications

implementación de “redes híbridas”, en donde los accesos locales a usuarios se provee a través de enlaces de tecnología WiFi, y el backbone inalámbrico o Backhaul⁶, con los primeros equipos basados en tecnología WiMax denominados Pre-WiMax.

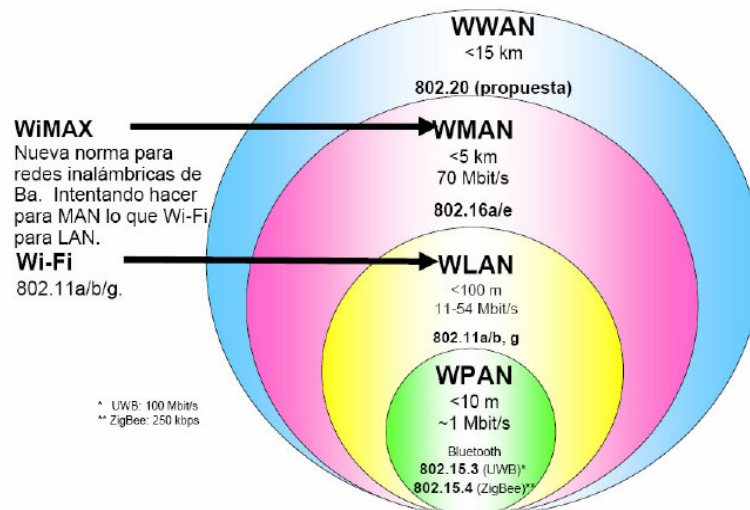
En una comparación analógica la labor que desempeña el WiMax Forum con la tecnología WiMax o HyperMan de la ETSI es a la norma 802.16 lo que el Foro WiFi realiza para la norma 802.11.

1.3 Ubicación de la tecnología WiMax dentro del espectro inalámbrico

Debido al avance tecnológico de los últimos años, el cual ha conllevado a una desbordante carrera de los estándares inalámbricos y la aparición de nuevos dispositivos, generando de esta forma nuevos modelos de interconexión como la Personal Area Network (PAN), relacionándolo dentro de los otros estándares inalámbricos, tal y como se observa en la **Figura No2.**, en donde se muestran dentro de una escala de tamaño representativo la cobertura que cada una de ellas ofrece; mostrándose de igual manera la posición en la que se ubican las tecnologías WiFi y WiMax, quedando claro que cada una de ellas hace referencia a coberturas y soportes de red diferentes.

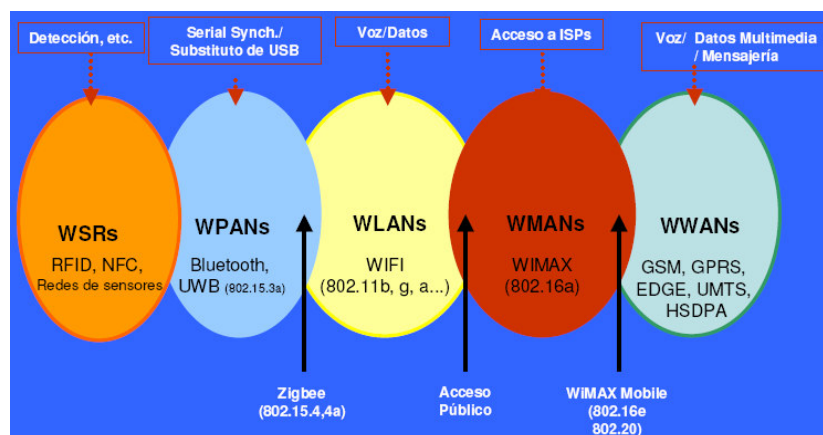
⁶ Backhaul, Backbone o red de transporte

**Figura No2.
Tecnologías de Redes Inalámbricas⁷**



De igual forma la cobertura en servicio de cada una es diferente, aunque existe un traslape de frecuencia entre algunas de ellas, garantizando la interoperabilidad y la escalabilidad entre dispositivos, de allí que se apliquen usos y servicios diferentes dependiendo del tipo red, desde una red de sensores hasta una red de comunicaciones global como se muestra en la **Figura No3.**, puesto que allí se ilustra claramente la clase de servicio que satisface cada una de estas tecnologías.

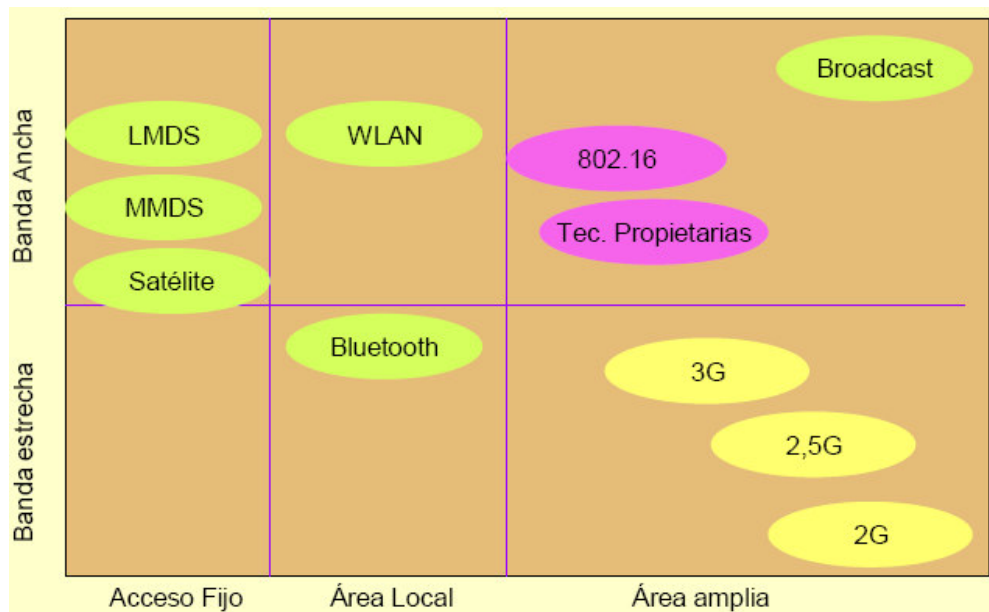
**Figura No3.
Ubicación de la Tecnología WiMax frente a otras Tecnologías Inalámbricas**



⁷ Fuente, Unión Internacional de Telecomunicaciones. “Birth of Broadband”, Septiembre de 2003. (Ba: Banda ancha)

Mirando desde otro punto de vista las tecnologías inalámbricas, cubren todas las necesidades de comunicaciones actualmente, en cada campo que se desee mirar, complementando el Gráfico anterior, ahora se establece una relación entre las velocidades y capacidad de transporte, Banda Ancha y Banda Estrecha con los tipos de redes, en la **Figura No4.**, en donde inclusive se observan las tecnologías móviles celulares como las GSM, en sus diferentes versiones y hasta las conexiones de broadcast.

Figura No4.
Posicionamiento de las Tecnologías Inalámbricas



CAPÍTULO 2.

BASE Y FUNDAMENTO DE LA TECNOLOGÍA WiMax

2.1. Generalidades

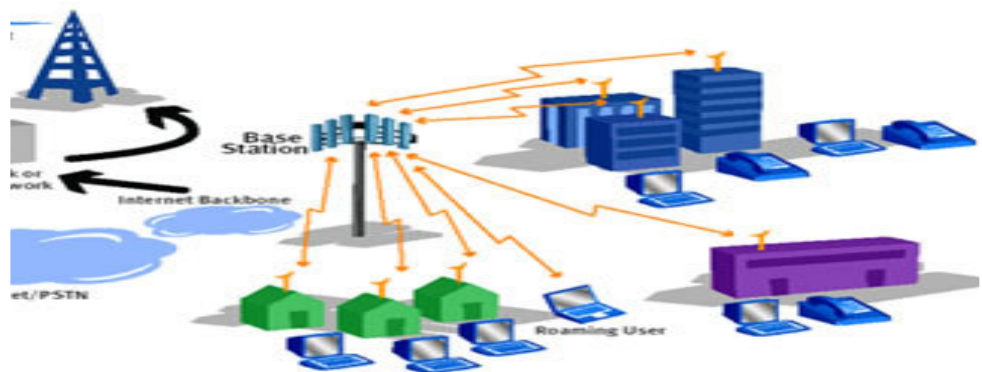
2.2. IEEE 802.16 Portadora Sencilla

2.3. IEEE 802.16a

2.4. IEEE 802.16-2004

2.5. IEEE 802.16e

2.5.1. Características



2.1. Generalidades

Paradójicamente, aunque WiMax nació con el objetivo de cubrir la distancia (conocida como última milla) que queda entre la central telefónica local y el domicilio del usuario para las tecnologías de cable y DSL, la última versión del estándar 802.16 se ha convertido en una alternativa a estas tecnologías. Sobre todo será útil en aquellas áreas que carecen de una infraestructura de red desplegada, como pequeños países de África, pueblos remotos de la India, vastas extensiones de China e inclusive en zonas construcciones históricas.

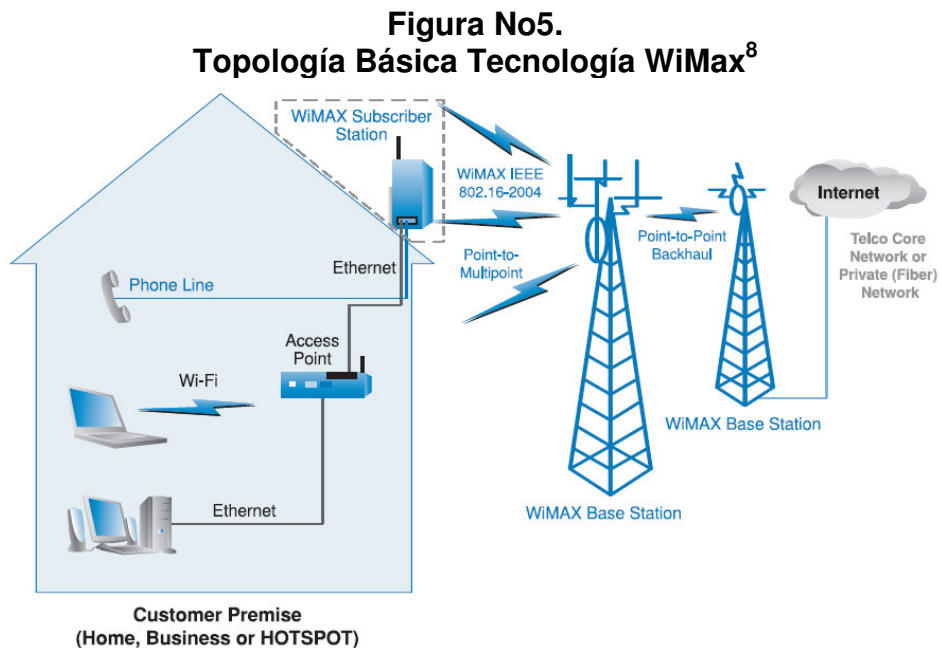
Se ha desarrollado toda una infraestructura de trabajo, con fechas y objetivos propuestos para alcanzar de una forma organizada los avances requeridos por la industria, la **Tabla No1.**, nos muestra un resumen de las principales actualizaciones que tiene la norma; a pesar de que el proyecto para la creación de un nuevo estándar se gestó hace 6 años en el IEEE, no fue hasta abril de 2002 que la primera versión del mismo, la 802.16, se publicó, y se refería a enlaces fijos de radio con visión directa (LOS) entre transmisor y receptor, pensada para cubrir la "última milla" (o la primera, según desde que lado se mire), utilizando eficientemente varias frecuencias dentro de la banda de 10 a 66 GHz.

Tabla No1.
Familia del Estándar IEEE 802.16

◆802.16	10 – 66 GHz, Modulación QAM
◆802.16a	2 – 11 GHz, OFDM y OFDMA
◆802.16b/c	Interoperabilidad y especificación de certificaciones
◆802.16d	Añade 2 – 11 GHz a especific. de Interoperabilidad
◆802.16-2004	Reemplaza a 802.16, 802.16a y 802.16d
◆802.16e	Movilidad.

Un año más tarde, en marzo de 2003, se ratificó una nueva versión, el 802.16a, y fue entonces cuando WiMax, como una tecnología de banda ancha inalámbrica, empezó a cobrar relevancia. También se pensó para enlaces fijos, pero llega a extender el rango alcanzado desde 40 a 70 kilómetros, operando en la banda de 2 a 11 GHz, parte del cual es de uso común y no requiere licencia para su operación. Es válido para topologías punto a multipunto y, opcionalmente, para

redes en malla, y no requiere línea de visión directa, en la **Figura No5.**, se observa una configuración básica de interoperabilidad de WiMax, WiFi en entornos LAN y WAN.



Emplea las bandas de 3,5 GHz y 10,5 GHz, válidas internacionalmente, que requieren licencia (2,5-2,7 en Estados Unidos), y las de 2,4 GHz y 5,725-5,825 GHz que son de uso común y no requieren disponer de licencia alguna.

Un aspecto importante del estándar 802.16x es que define un nivel MAC (Media Access Layer) que soporta múltiples enlaces físicos (PHY). Esto es esencial para que los fabricantes de equipos puedan diferenciar sus productos y ofrecer soluciones adaptadas a diferentes entornos de uso.

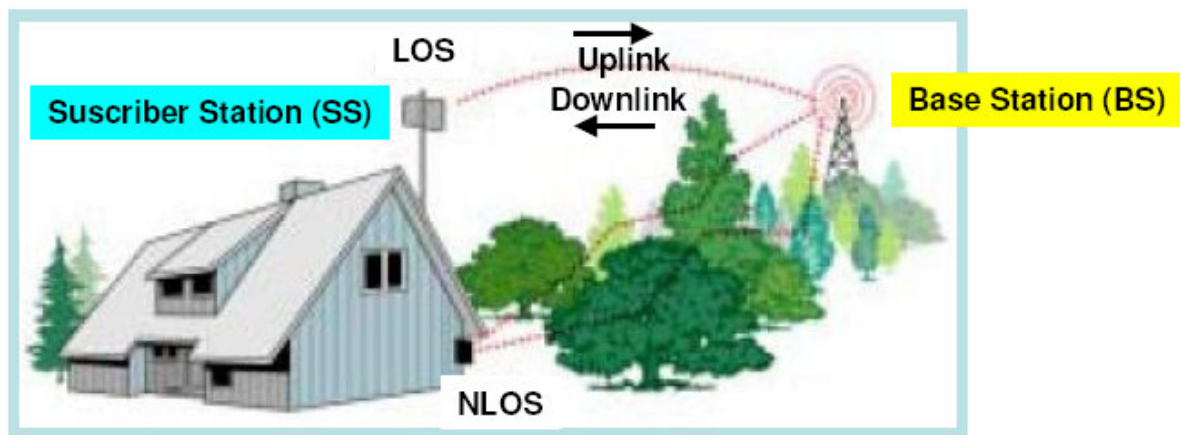
2.2. IEEE 802.16 Portadora sencilla

Fue diseñada principalmente para aplicaciones de radio enlace, la norma fue publicada en abril del 2002, y dentro de los requisitos técnicos que posee, están: la necesidad o no de línea de vista (LOS - NLOS) entre la antena y el equipo suscriptor, tal como se observa en la **Figura No6.**, la capa de acceso al medio (MAC) normalizada, proporcionando comprensión de la información, calidad en el servicio (QoS), mayor seguridad, modulación adaptativa y ajustes en la codificación.

⁸ Tomado de: Understanding WiFi and WiMax as Metro-Access Solutions, archivo PDF de INTEL

Con velocidades de transmisión que alcanzan los 134Mbps, con un ancho de banda de hasta 24MHz por canal, además de poseer dos alternativas de multiplexación, la FDD⁹ y la TDD¹⁰.

Figura No6.
LOS y NLOS entre antena y equipo de suscriptor



2.3. IEEE 802.16a

Es una actualización publicada en enero del 2003, en donde se especifican algunas aplicaciones para acceso de última milla.

El tamaño del canal es variable entre 1,5 y 20 MHz, con velocidades de de hasta 7,5Mbps, se añade además el soporte de NLOS y se describe y fundamenta la capa MAC de 802.16.

Especifica la interfaz aire para sistemas de acceso inalámbrico fijos punto multipunto que soportan múltiples servicios. La capa de control de acceso al medio (MAC) es capaz de funcionar con diferentes especificaciones de capa física (PHY) optimizadas para diferentes bandas de frecuencia.

Observando desde un nivel superior de la subcapa MAC, Varias **CS**¹¹, que especifica una subcapa de convergencia de servicio específico, la cual es

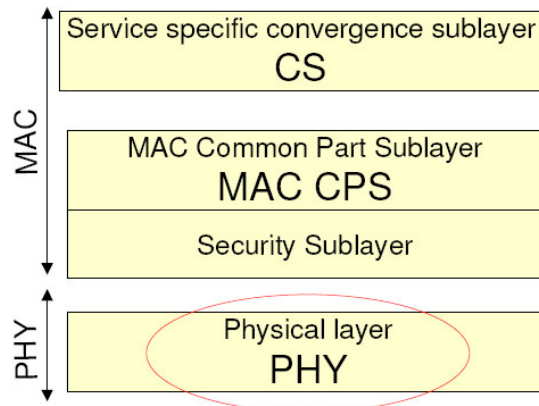
⁹ Duplex en el dominio de la Frecuencia.

¹⁰ Duplex en el dominio del Tiempo

¹¹ CS (Convergence Sublayer)

empleada para la conversión de datos externos en Unidades de Servicio de Datos¹² MAC, tal y como se ilustra en la **Figura No7**.

Figura No7.
Descripción de capa física y de subcapa MAC



Además otras de las funciones a realizar por esta subcapa es la de autenticación, encriptación, intercambio seguro de claves para proveer servicio de seguridad, proveer diferentes opciones de medios de transmisión para el intercambio de información, tener la capacidad de reconocer las diferentes bandas de Frecuencia, establecida según normas y según reglamentaciones definidas por cada país, entre otras.

Dentro de los rangos de frecuencias tenidas en cuenta actualmente para las normas vigentes se ubican varias opciones en el estándar IEEE 802.16-2004:

- a. **10 GHz – 66 GHz** (LOS) Wireless MAN-SC: Single Carrier. Acceso múltiple mediante Time Division Multiple Access (TDMA)
- b. **2 GHz – 11 GHz** (NLOS - LOS) WirelessMAN-SC2: Single Carrier. Acceso múltiple mediante Time Division Multiple Access (TDMA)

De igual forma están establecidos un método de multiplexación y otro acceso múltiple, en donde básicamente cada una de ellas está identificada de la siguiente forma:

- a. Wireless MAN-OFDM: Orthogonal Frequency-division Multiplexing (256 FFT). Acceso múltiple mediante Time Division Multiple Access (TDMA).

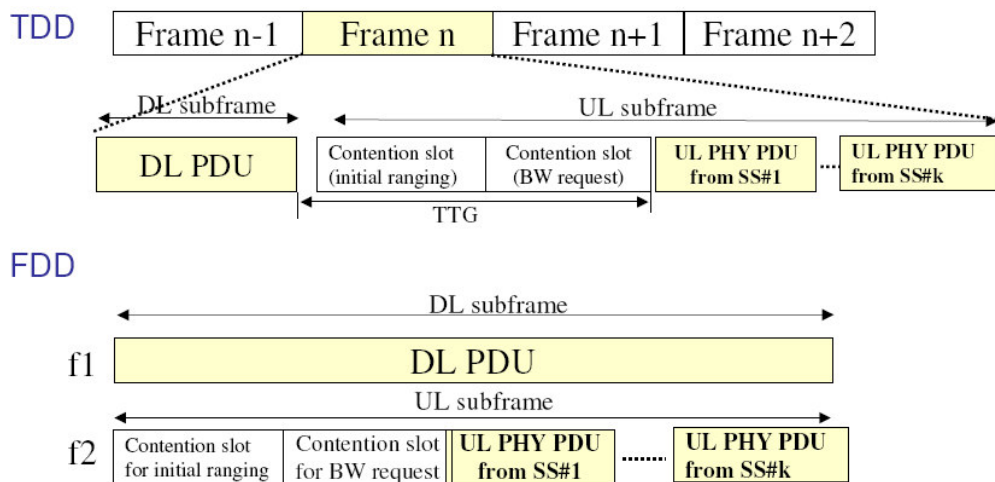
¹² SDUs (Service Data Units)

- b. Wireless MAN-OFDMA: Orthogonal Frequency-division Multiple Access (2048 FFT). Acceso múltiple mediante asignación de portadoras diferentes a cada estación de suscriptor.

Posee un Ancho de banda desde 1.75 MHz hasta 28 MHz por canal

Para las técnicas de Duplexación, que se pueden apreciar la **Figura No8.**, se elabora una comparación entre la división realizada en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia:

Figura No8.
Comparación de la Duplexación en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia



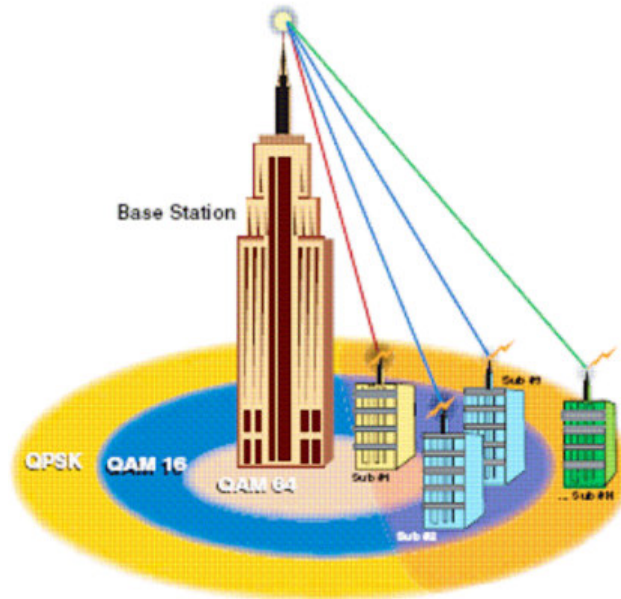
- a. Time Division Duplexing (TDD): BS¹³ y SS¹⁴ comparten la misma frecuencia de transmisión, pero no transmiten a la vez.
- b. Frequency Division Duplexing (FDD): BS y SS transmiten en diferentes frecuencias.
- c. Half-Frequency Division Duplexing (HFDD): Se implementa en SS. BS y SS transmiten en diferentes frecuencias pero no a la vez.

Ahora, en términos de Modulación se trata de técnicas que la hagan adaptativa, ya que dinámicamente se selecciona la modulación más robusta y de mayor bit rate de las posibles en función de la calidad del enlace radio, entre estas se cuentan Binary Phase Shift Keying (**BPSK**), Quadrature Phase Shift Keying (**QPSK**), 16

¹³ BS: Base Station (Estación Base)
¹⁴ SS: Subscriber Station (Estación de Usuario)

Quadrative Amplitude Modulation (**16 QAM**), 64 QAM y 256 QAM; y también hay que tener en cuenta que cada una de ellas tiene un rango de acción diferente y proporcional, tal y como se muestra en la **Figura No9**.

Figura No9.
Modulación y alcance de QPSK y QAM's



Para tener aun más herramientas de juicio y poder escoger dentro de las diferentes posibilidades de técnicas de multiplexación se propone la siguiente tabla comparativa, **Tabla No2.**, en donde se podrán comparar las características más importantes que ayudarán al diseñador, según sea el caso, a proveer la solución que mejor se adapte a las necesidades de cada caso.

Tabla No2.
Técnicas de Multiplexación más utilizadas

	SC	SC2	OFDM	OFDMA
Frecuencia	10-66 GHz	2-11 GHz	2-11 GHz	2-11 GHz
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Nº de subcarriers	Single carrier	Single carrier	256	2048
Duplexación	TDD, FDD	TDD, FDD	TDD, FDD	TDD, FDD
Canal	28 MHz	1,75-20 MHz	1,75-20 MHz	1,75-20 MHz

Debido a que la Multiplexación ortogonal por división de frecuencia (OFDM) es la más empleada actualmente, es conveniente reconocer sus características más importantes y las especificaciones de modulación que se pueden aplicar a ella; dichas características son:

1. Divide el ancho de banda en subcanales más pequeños que operan en paralelo.
2. Velocidades de transmisión de 54Mbps (100 Mbps con soluciones propietarias).
3. Su funcionamiento se basa en un proceso matemático llamado FFT¹⁵.
4. Puede transmitir a distintas velocidades, utilizando distintas técnicas de modulación

Y para ser aun más específicos, la **Tabla No3.**, nos identifica las principales Técnicas de modulación utilizadas para OFDM, tal como se identificó anteriormente por áreas de cobertura, ahora aquí se reconocen valores de velocidad y número de bits por señal que maneja cada una de ellas.

**Tabla No3.
Técnicas de Modulación OFDM**

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

Como se había mencionado anteriormente, dentro de la estructura de la capa de enlace, se plantean también las subcapas de convergencia específica (Specific Convergence Sublayers), para dicho propósito se destacan la Subcapa de convergencia ATM (ATM Convergence sublayer) y la Subcapa de convergencia de paquetes IP (Packet Convergence Sublayer (IP)); de la misma forma desde aquí se establece la Calidad de servicio (QoS) encabezados por los Mecanismos de solicitud de ancho de banda y priorización de tráfico, Unsolicited Grant Service (UGS), Real-time Polling Service (rtPS), Nonreal- time Polling Service (nrtPS) y Best Effort (BE); al tiempo, que se puede disponer de Longitud de PDU¹⁶ variable,

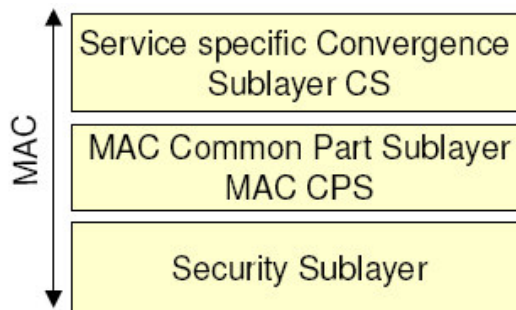
¹⁵ Fast Fourier Transform. (Transformada Rápida de Fourier).

¹⁶ (Protocol Data Unit)

para disminuir el 'overhead' de múltiples unidades de servicio de datos, las cuales pueden concatenarse en un único PDU y múltiples PDUs en un único burst.

La figura No10., nos ilustra la ubicación jerárquica de las subcapas de seguridad, de parte común y la de convergencia específica de servicio, dentro de la subcapa MAC.

**Figura No10.
Descripción de subcapa MAC**



2.4. IEEE 802.16-2004

Es una tecnología reciente de acceso inalámbrico fijo, lo que significa que está diseñada para servir como una tecnología de reemplazo del DSL¹⁷ inalámbrico, para competir con los proveedores de cable de banda ancha o DSL, o para proveer un acceso básico de voz y banda ancha en áreas subabastecidas donde no existe ninguna otra tecnología de acceso; los ejemplos incluyen a países en desarrollo y áreas rurales en países desarrollados donde el cable de cobre no tiene un sentido económico. El 802.16-2004 también es una solución viable para el Backhaul inalámbrico para puntos de acceso WiFi o potencialmente para redes celulares, en particular si se usa el espectro que requiere licencia. Finalmente, en ciertas configuraciones, WiMax Fijo puede usarse para proveer mayores velocidades de datos y, por lo tanto, puede usarse como una opción de reemplazo de T-1¹⁸ para abonados corporativos de alto valor.

En general, el CPE¹⁹ consiste de una unidad exterior (antena, etc.) y un módem interior, lo que significa que se requiere que un técnico logre que un abonado residencial o comercial esté conectado a la red. En ciertos casos, puede usarse una unidad interior autoinstalable, en particular cuando el abonado está relativamente cerca de la estación base transmisora. Es probable que la tendencia

¹⁷ DSL (Digital Subscriber Line – Línea de Suscriptor Digital)

¹⁸ T-1: La tasa de transmisión original de 1,544 Mbps

¹⁹ Consumer Premise Equipment – Equipo de Usuario

a tener unidades interiores autoinstalables se desarrolle más notoriamente en los próximos años. Mientras lo hace, la tecnología inalámbrica fija introduciría un grado de capacidad nómada ya que el abonado podría viajar con el CPE y usarlo en otras ubicaciones fijas: oficina, hotel y cafetería, etc. Además, los CPE autoinstalables deberían hacer que el 802.16-2004 fuera económicamente más viable ya que una gran parte del costo de adquisición del cliente (instalación; CPE) se reduce en forma drástica. Aunque es técnicamente posible designar una tarjeta de datos del 802.16-2004, los dispositivos portátiles con una solución 802.16-2004 incorporada no parecen ser una prioridad principal dentro de la industria en este momento.

La versión fija del estándar WiMax fue aprobada en junio de 2004, las pruebas de interoperabilidad comenzaron en el 2005. Además, los chipsets de la estación base y de los CPE de los principales fabricantes están alcanzando el punto en que los potenciales clientes están probándolos con las versiones de prueba de chipsets Rosedale de Intel desde septiembre de 2004 y Fujitsu anunció su primer chipset WiMax este año.

2.5. IEEE 802.16e

Es un estándar que está diseñado para ofrecer una característica clave de la que carece el 802.16-2004: portabilidad y, con el tiempo, movilidad a toda escala. Este estándar requiere una nueva solución de hardware/software ya que no es compatible con el anterior 802.16-2004, lo cual no es necesariamente algo bueno para los operadores que están planeando desplegar el .16-2004 y luego ascender al 16e.

Otra importante diferencia entre los estándares .16-2004 y .16e es que el estándar .16-2004 está basado, en parte, en una serie de soluciones inalámbricas fijas comprobadas, aunque patentadas; por lo tanto, existen grandes probabilidades de que la tecnología alcance sus metas de rendimiento establecidas. El estándar .16e, por otro lado, trata de incorporar una amplia variedad de tecnologías propuestas, algunas más comprobadas que las otras. En virtud de que sólo ha habido una sola justificación modesta de características propuestas, sobre la base de datos de rendimiento, y la composición final de estas tecnologías no ha sido determinada por completo, es difícil saber si una característica en particular mejorará el rendimiento.

Desde una perspectiva de los tiempos, el estándar 802.16e fue programado para ser aprobado a mediados del 2005. Sin embargo, esa fecha ahora ya ha pasado y, no fue sino a finales del año cuando resultó la entrega final. Ya que según lo

consultado en la Web: “El pasado 7 de diciembre, el IEEE aprobó el estándar del WiMax móvil, el 802.16e, que permite utilizar este sistema de comunicaciones inalámbricas con terminales en movimiento. Muchos fabricantes de hardware y operadores estaban esperando a esta decisión para empezar a desplegar redes de WiMax. Ahora ya pueden hacerlo.”²⁰ Varios vendedores están prometiendo pruebas de campo y de mercado a principios de 2006, aunque todavía queda mucho trabajo por hacer fuera del cuerpo de los estándares y, por lo tanto, es demasiado temprano para decir cuándo estará lista la tecnología para despliegues comerciales, aunque ya empezaron a ofrecerse en el mercado productos de esta tecnología por las empresas que conforman el WiMax Forum.

2.5.1. Características:

El estándar 802.16 puede alcanzar una velocidad de comunicación de más de 100 Mbit/s en un canal con un ancho de banda de 28 MHz (en la banda de 10 a 66 GHz), mientras que el 802.16a alcanza a llegar hasta los 70 Mbit/s, operando en un rango de frecuencias más bajo (<11 GHz). Es un claro competidor de LMDS²¹; además como se aprecia en **Tabla No4.**, se encuentran otros puntos de comparación entre los diferentes estándares actuales, los cuales podrían ser tomados como referencia para evaluar su funcionalidad.

**Tabla No4.
Comparación entre Wimax y otras Tecnologías**

Comparativa de WiMAX frente a otras tecnologías				
	WiMax 802.16	WiFi 802.11	MBWA 802.20	UMTS y CDMA2000
Velocidad	124 Mbit/s	11-54 Mbit/s	16 Mbit/s	2 Mbit/s
Cobertura	40-70 km	300 m	20 km	10 km
Licencia	Si/No	No	Si	Si
Ventajas	Velocidad y Alcance	Velocidad y Precio	Velocidad y Movilidad	Rango y Movilidad
Inconvenientes	Interferencias	Bajo alcance	Precio alto	Lento y caro

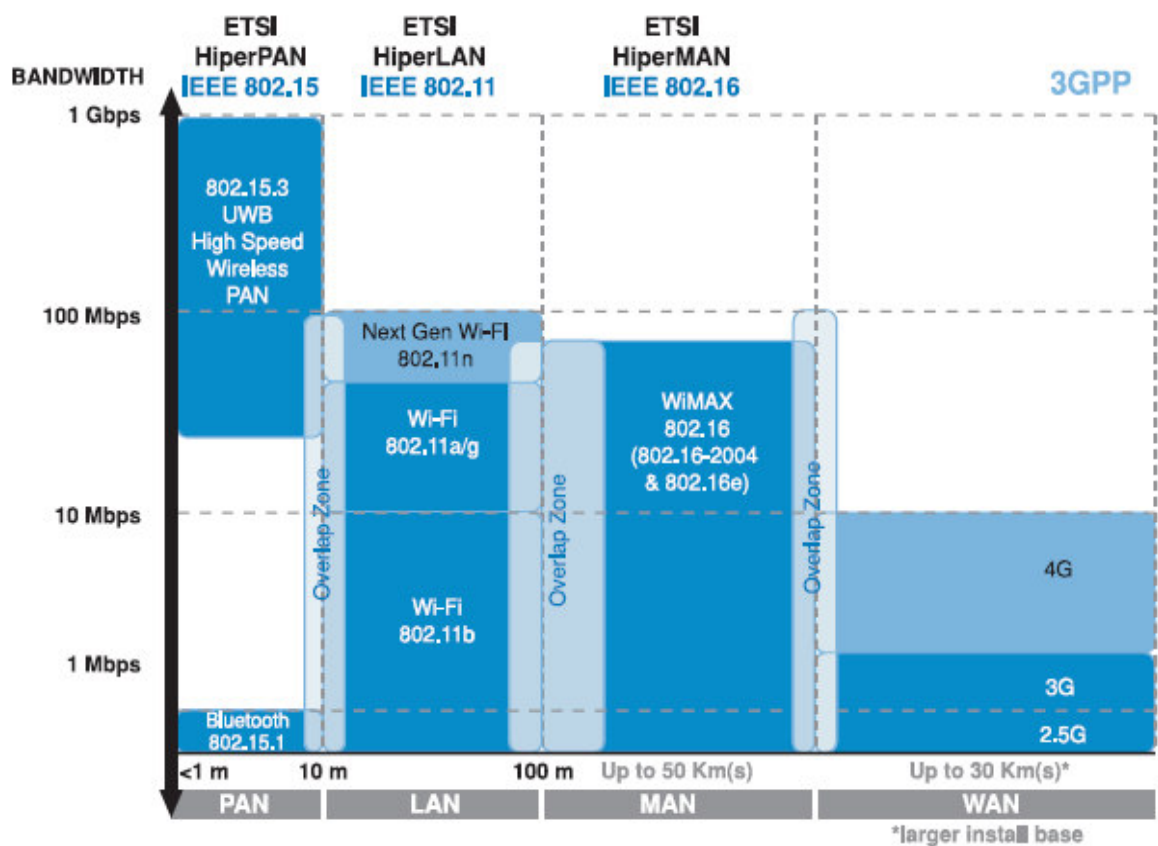
²⁰ <http://www.blogwimax.com/2005/12/12/-aprobado-el-estandar-del-wimax-movil>

²¹ Local Multipoint Distribution Service (Sistema de Distribución Local)

Estas velocidades tan elevadas se consiguen gracias a utilizar la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con 256 subportadoras, la cual puede ser implementada de diferentes formas, según cada operador, siendo la variante de OFDM empleada un factor diferenciador del servicio ofrecido. Esta técnica de modulación es la que también se emplea para la TV digital, sobre cable o satélite, así como para WiFi (802.11a) por lo que está suficientemente probada. Soporta los modos FDD y TDD para facilitar su interoperabilidad con otros sistemas celulares o inalámbricos.

De esta forma, en la **Figura No11.**, se destaca la interoperabilidad que existe entre las diferentes tecnologías inalámbricas estandarizadas, ya que dentro de las zonas denominadas de traslape, se tienen pensadas para evaluar y garantizar la convergencia de servicios entre esas dos tecnologías adyacentes.

Figura No11.²²
Ubicación, Ancho de Banda y Cobertura de Tecnologías Inalámbricas



22 Tomado de: Understanding WiFi and WiMax as Metro-Access Solutions, archivo pdf de intel

Siguiendo con las características, esta soporta varios cientos de usuarios por canal, con un gran ancho de banda y es adecuada tanto para tráfico continuo como a ráfagas, siendo independiente de protocolo; así, transporta IP, Ethernet, ATM, etc., y soporta múltiples servicios simultáneamente ofreciendo Calidad de Servicio (QoS) en 802.16e, por lo cual resulta adecuado para voz sobre IP (VoIP), datos y vídeo. Por ejemplo, la voz y el vídeo requieren baja latencia pero soportan bien la pérdida de algún bit, mientras que las aplicaciones de datos deben estar libres de errores, pero toleran bien el retardo.

Otra característica de WiMax es que soporta las llamadas antenas inteligentes (smart antenas), propias de las redes celulares de 3G, lo cual mejora la eficiencia espectral, llegando a conseguir 5 bps/Hz, el doble que 802.11a. Estas antenas inteligentes emiten un haz muy estrecho que se puede ir moviendo, electrónicamente, para enfocar siempre al receptor, con lo que se evitan las interferencias entre canales adyacentes y se consume menos potencia al ser un haz más concentrado.

También, se contempla la posibilidad de conformar redes en forma mallas (mesh networks) para que los distintos usuarios se puedan comunicar entres sí, sin necesidad de tener visión directa entre ellos. Ello permite, por ejemplo, la comunicación entre una comunidad de usuarios dispersos a un coste muy bajo y con una gran seguridad al disponerse de rutas alternativas entre ellos.

En cuanto a seguridad, incluye medidas para la autenticación de usuarios y la encriptación de los datos mediante los algoritmos Triple DES²³ (128 bits) y RSA²⁴ (1.024 bits).

Una de las principales limitaciones en los enlaces a larga distancia vía radio es la limitación de potencia, para prever interferencias con otros sistemas, y el alto consumo de batería que se requiere. Sin embargo, los más recientes avances en los procesadores digitales de señal hacen que señales muy débiles (llegan con poca potencia al receptor) puedan ser interpretadas sin errores, un hecho del que se aprovecha WiMax. Con los avances que se logren en el diseño de baterías podrá haber terminales móviles WiMax, compitiendo con los tradicionales de GSM, GPRS y de UMTS.

²³ DES: Data Encryption Standar

²⁴ RSA: Es un sistema criptográfico con clave pública, cuya sigla representa las iniciales de los apellidos de quienes lo describieron **Ron Rivest**, **Adi Shamir** y **Len Adleman**.

CAPÍTULO 3.

APLICACIONES

3.1. Aplicaciones

3.1.1. Países Desarrollados

3.1.1.1. Empresas

3.1.1.2. Usuarios Residenciales y Profesionales

3.1.1.2.1. Última Milla al Hogar

3.1.1.2.2. Comunidades Nomádicas

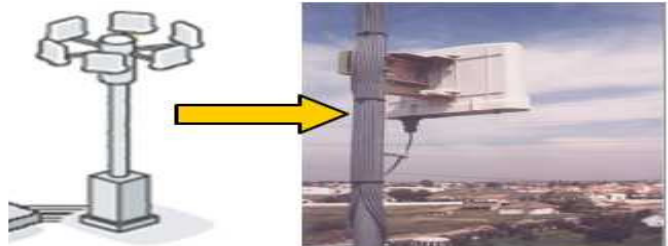
3.1.1.2.3. Hotspots

3.1.1.2.4. Regiones Remotas

3.1.1.2.5. Zonas Rurales

3.1.2. Países en Vía de Desarrollo

3.1.2.1. Caso China



3.1. Aplicaciones

Las primeras versiones de WiMax están pensadas para comunicaciones punto a punto o punto a multipunto, típicas de los radioenlaces por microondas. Las próximas ofrecerán total movilidad, por lo que competirán con las redes celulares.

Los primeros productos que están empezando a aparecer en el mercado se enfocan a proporcionar un enlace de alta velocidad para conexión a las redes fijas públicas o para establecer enlaces punto a punto.

Así, WiMax puede resultar muy adecuado para unir hot spot WiFi a las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo. El equipamiento WiFi es relativamente barato pero un enlace E1 o DSL resulta caro y a veces no se puede desplegar, por lo que la alternativa radio parece muy razonable. WiMax extiende el alcance de WiFi y provee una seria alternativa o complemento a las redes 3G, según como se mire.

Para las empresas, es una alternativa a contemplar, ya que el coste puede ser hasta 10 veces menor que en el caso de emplear un enlace E1 o T1. De momento no se habla de WiMax para el acceso residencial, pero en un futuro podría ser una realidad, sustituyendo con enorme ventaja a las conexiones ADSL, o de cable, y haciendo que la verdadera revolución de la banda ancha llegue a todos los hogares.

Otra de sus aplicaciones encaja en ofrecer servicios a zonas rurales de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas. Es una tecnología muy adecuada para establecer radioenlaces, dado su gran alcance y alta capacidad, a un coste muy competitivo frente a otras alternativas.

En los países en desarrollo resulta una buena alternativa para el despliegue rápido de servicios, compitiendo directamente con las infraestructuras basadas en redes de satélites, que son muy costosas y presentan una alta latencia.

La instalación de estaciones base WiMax es sencilla y económica, utilizando un hardware que llegará a ser estándar, o sea, que para los operadores móviles puede ser visto como una amenaza, pero también, es una manera fácil de extender sus redes y entrar en un nuevo negocio en el que ahora no están, lo que se presenta como una oportunidad.

Algunos operadores de LMDS (Local Multipoint Distribution System) están empezando a considerar esta tecnología muy en serio y ya han comenzado a hacer despliegues de red, utilizando los elementos que hoy por hoy están disponibles. Habrá que esperar para el ver resultado de estas pruebas y si se confirma su aceptación por el global de la industria y de los usuarios.

Además podríamos añadir también, “Según Alfredo Canteli, Business Development Manager de la unidad Networks EMEA de Motorola, uno de los primeros grandes fabricantes integrados en WiMax Forum, la creación de Backhaul de datos de alta velocidad en redes móviles GSM o UMTS es una de las “killer application” de WiMax móvil (802.16e), que será aprobado este año por IEEE. “Una red WiMax resulta mucho más barata de desplegar que una red UMTS. Cuando lo que se pretende es crear un Backhaul (conexión entre estaciones base y estaciones controladoras) el coste se puede ver reducido hasta en un 90%. Estos tramos de las infraestructuras móviles tienden a saturarse por el incremento de tráfico de datos derivado de los servicios 2,5G y 3G. Los operadores necesitan un Backhaul nuevo, de bajo coste y eficiente y que aporte elevados anchos de banda. Para resolver la necesidad de Backhaul inalámbrico, WiMax es perfecto”.

Otra aplicación especialmente interesante de WiMax móvil en la infraestructura de los operadores consiste, en opinión de Canteli, en la superposición de celdas en despliegues UMTS. De esta forma, el soporte de tráfico IP se verá reforzado en zonas donde la cobertura sea deficiente o el ancho de banda insuficiente. Representa, asimismo, una alternativa válida al ADSL y el cable en la “última milla”, permitiendo llevar la banda ancha a zonas rurales o de difícil acceso e, incluso, facilitando la entrada en el mercado de nuevos proveedores de servicios en competencia con los propietarios de licencias GSM o 3G.

En la empresa, el abanico de aplicaciones es igualmente amplio. Al tratarse de una tecnología “All IP”, es susceptible de convertirse en el soporte de la integración de todos los servicios corporativos, incluida la voz sobre IP inalámbrica. Aquí se encuentra precisamente otra de sus aplicaciones más interesante, dado que resuelve los dos principales inconvenientes que han disuadido a muchas empresas de adoptar la telefonía IP sobre WiFi: la seguridad y la calidad. “Una de las diferencias más importantes entre WiFi y WiMax radica precisamente en que la primera no soporta calidades de servicio (QoS), no fue ideada para la transmisión de voz. WiMax, por el contrario, contempla esta posibilidad desde su origen. Es una tecnología pensada desde cero para entornos `todo IP`. Incorpora QoS y, además, al implementar una modulación mucho más compleja que WiFi (Scalable OFDMA- Orthogonal Frequency Division

Multiplexing), hace virtualmente impracticables las temidas escuchas. Puede decirse que ofrece niveles de seguridad equivalentes a GSM y a UMTS”.

En cuanto a su lugar en los entornos corporativos, WiMax es tan flexible como lo es en posibles aplicaciones. El cliente podrá utilizar WiMax para el transporte a nivel WAN, combinado con WiFi o cualquier tecnología cableada para distribuir internamente en la red de área local. Pero también podrá optar por desplegar WiMax tanto en el acceso WAN como a nivel LAN, en aquellos casos en que las necesidades de movilidad, ancho de banda, soporte QoS y seguridad compensen su mayor coste.

Probablemente, una de las claves para explicar por qué, pese a todos los beneficios de esta nueva tecnología, aún no existen en el mercado productos certificados para el estándar se encuentre en la bifurcación de la norma original, hace aproximadamente un año, dando lugar a dos especificaciones diferentes y, por el momento, incompatibles entre sí. La aparición de IEEE 802.16e, la iniciativa de estandarización más reciente y aún no aprobada como especificación (aprobada a finales del 2005), coincidió prácticamente en el tiempo con la ratificación de IEEE 802.16d o WiMax fijo, alternativa que ofrece, al igual que tecnologías como LMDS, acceso inalámbrico fijo. No soporta, sin embargo, el mantenimiento de la sesión de usuario mientras éste se mueve de un área de cobertura a otra. Los primeros productos en ella basados están empezando a llegar ahora a los laboratorios de Cetecom²⁵, la organización a la que WiMax Forum ha confiado la certificación de la nueva tecnología, con casi un año de retraso sobre el calendario inicialmente previsto.

La segunda variante, IEEE 802.16e, añade soporte de movilidad, una característica especialmente interesante en un entorno inalámbrico, facilitando itinerancia entre “celdas” sin interrupción de la sesión y de forma transparente para el usuario, siempre que su movimiento no supere la “velocidad de vehículo” (entre 120 y 140 Km/h). Sin embargo, la iniciativa para el desarrollo de esta nueva versión –que, con total seguridad, será positiva para el mercado a largo plazo– cuando aún no existían productos maduros basados en WiMax “d” ha generado confusión en un mercado todavía incipiente, haciendo que muchos fabricantes y potenciales usuarios decidieran retrasar sus decisiones al respecto hasta la aparición de la nueva alternativa y comprobar la evolución y aceptación de ambas versiones.

²⁵ Cetecom: <http://www.cetecom.es/> ; Empresa Española designada por el WiMax Forum, como laboratorio de certificación para Productos y Equipos WiMax a nivel mundial

Algunos fabricantes, sin embargo, han tenido clara desde un principio su estrategia respecto a WiMax. Este es el caso de Motorola, compañía que ha centrado todos sus esfuerzos de desarrollo en la versión móvil de la tecnología desde que comenzaron los trabajos en torno a WiMax “e”. “Sabemos que existe ya una demanda importante de esta tecnología, sobre todo de su modalidad móvil para servir de complemento de UMTS. Por ello, aunque los primeros productos basados en el estándar no llegarán al mercado hasta 2007, Motorola se adelantará lanzando, a mediados de 2006, soluciones pre-estándar que después podrán actualizarse vía software a la norma final”, asegura Alfredo Canteli.

Canteli destaca tres ventajas fundamentales de IEEE 802.16e frente a IEEE 802.16d. Además del soporte de movilidad, esta variante facilita una mejor penetración en edificios, comparable a la de GSM, y optimiza la duración de la batería al mejorar su gestión, ya que es capaz de adaptar la potencia de emisión a la distancia hasta la antena, evitando así el desperdicio de energía. Pero WiMax fijo también dispone de sus propias armas para competir, como es su menor coste. Y es que el soporte de movilidad supone una mayor complejidad tecnológica que, al aportar funcionalidades típicas de las tecnologías celulares, como el control de potencia en las celdas o la gestión de la señal, penaliza tanto el coste como el ancho de banda total que puede ofrecer al usuario. En consecuencia, según la visión de Motorola, cada variante de WiMax tiene su propio espacio en el mercado, y, por esta razón, no renuncia a la oferta de soluciones IEEE 802.16d, aunque lo hará sin implicarse en el desarrollo de un nuevo producto.

Para cubrir el mercado de acceso inalámbrico de banda ancha fijo, Motorola cuenta ya con una baza importante. Se trata de la gama Canopy, una solución Pre-WiMax propietaria que lleva comercializando desde 1996 en Estados Unidos y que coexistirá con su apuesta por IEEE 802.16e. “Canopy²⁶ podría evolucionarse vía software a WiMax fijo en su momento, y por eso apostamos por la versión móvil en los nuevos desarrollos. Se trata de un producto muy barato, pero que, sobre todo, ha demostrado elevadísimos niveles de fiabilidad –45 años de tiempo medio entre fallos– y potencia, ya que puede soportar hasta 300 Mbps”. La llegada a nuestro continente de esta oferta, de gran aceptación al otro lado del Atlántico, no se produjo hasta septiembre de 2004, ya que fue necesaria su adaptación a las frecuencias europeas. Con ella, la compañía ha logrado hacerse con la segunda posición mundial por cuota de mercado como suministrador de acceso inalámbrico de banda ancha en bandas licenciadas, y con la primera en bandas no licenciadas.

²⁶ Canopy: Tecnología desarrollada por Motorola para satisfacer necesidades de acceso inalámbrico a través de la tecnología WiMax.

En lo que a WiMax móvil se refiere, los esfuerzos del fabricante se han concretado ya en un producto, Moto Wi4, que está siendo probado en Estados Unidos por la operadora Sprint. Los primeros lanzamientos Wi4 funcionarán en la banda de 2,5 GHz, licenciada tanto en Estados Unidos como en Europa. La oferta, que será lanzada a mediados del próximo año, incluye una solución de “infraestructura ligera” compacta y fácil de desplegar. Cumplirá el estándar 16e, pero ofrecerá movilidad reducida. A principios de 2007, la compañía introducirá un router integrado WiMax-WiFi capaz de recibir la señal WiMax y distribuirla como WiFi en interiores, así como un conversor de telefonía analógica a telefonía WiMax. “Ya en 2008 esperamos tener los primeros terminales de usuario totalmente WiMax”.

Tiempos medios de descarga de una copia con calidad DVD de la película The Matrix con diversas tecnologías móviles, **Tabla No 5**, según pruebas realizadas por Motorola:

Tabla No5.
Comparaciones de Tecnologías Vs. Tiempos de Descarga

Tecnología	Tiempo
GPRS	Una semana
EDGE	Varios días
WCDMA (3G)	Un día
EVDO	Una mañana
WiMax Móvil (E)	< 10 minutos

El Costo relativo de transmisión por MB con diferentes tecnologías de acceso, se ilustra en la **Tabla No 6**.

Tabla No6.
Comparaciones de Tecnologías Vs. Costo relativo por MB

Tecnología	Costo Relativo
2,5G (tipo GSM)	20€ (\$62.000 aprox.)
2,75G (tipo EDGE)	7€ (\$21.500 aprox.)
3G (tipo UTMS o WCDMA)	3€ (\$9.300 aprox.)
Acceso inalámbrico de banda ancha	1€ (\$3.100 aprox.)
DSL	<1€
Cable	<1€

Comparación entre WiMax y otras Tecnologías celulares, se muestra en la **Tabla No 7.**

**Tabla No7.
Comparaciones de Tecnologías Vs. Anchos de Banda y Alcances**

Tecnologías	Anchos de banda	Alcance (Celda media)
Edge (2,75G)	384 Kbps	2-10 Km. (exterior)
WCDMA (3G)	2Mbps (Máx)	2-10 Km. (exterior) <384 Kbps (Típico)
1xEVDO	2,4 Mbps (Máx)	2-10 Km. (interior) <750 Kbps (Típico)
802.16d	75 Mbps (Máx)	3-5 Km. (exterior) (WiMAX fijo) 20-30 Mbps (Típico)
802.16e	15 Mbps (Máx)	3-6 Km. (interior) (WiMAX móvil) 3-5 Mbps (Típico) 6-10 Km. (exterior)

27

Desde otro punto de vista, están quienes realizan observaciones no tan favorables, ya que algunos apuntan hacia los atrasos y los tiempos de implementación poco creíbles y la certificación de dispositivos, tal y como lo plantea Miguel Caballero: “Oímos todos los días que ya la tecnología WiMax, pre-WiMax o 4G ya está aquí. Con este post pretendo contribuir a la desmitificación del mito, plasmar las cosas tal y como están, sin medias verdades. WiMax en 2005 y hasta 2008: situación real del estándar, procesos, certificaciones y fabricantes.

Curiosamente el proceso de certificación WiMax promovido por el **WiMax Forum** se está haciendo desde Málaga, en **Cetecom Labs**, organismo encargado de dicha certificación desde Agosto de 2005. Crear un estándar no es reunirse 4 expertos y decidirlo, es algo más complejo. Hace falta, como mínimo, 3 fabricantes en cualquiera de las modalidades que quieran certificar sus productos bajo un mismo paraguas. Y por modalidad entendemos cualquier combinación de frecuencia, multiplexado de la señal y ancho de banda del canal asignado.

²⁷ Tomado del artículo: **WiMAX: el Wireless sin límites**
<http://www.idg.es/comunicaciones/articulo.asp?id=171978>

Tenemos 2 futuros estándares: 802.16a (conectividad) y 802.16e (cobertura). A priori, las especificaciones que debe cumplir el 1º las recogemos en la **Tabla No 8**, a continuación:

Tabla No8.
Especificaciones de IEEE 802.16a y IEEE802.16e

Spectrum band	Duplexing	Channel width
3.5 GHz	TDD	3.5 MHz
3.5 GHz	FDD	3.5 MHz
3.5 GHz	TDD	7 MHz
3.5 GHz	FDD	7 MHz
5.8 GHz	TDD	10 MHz

Lo dicho: hacen falta 3 fabricantes en cualquiera de las combinaciones; y como no hay suficientes, están teniendo problemas para iniciar los procesos de certificación (en muchas combinaciones no hay más de 2).

De la **Tabla No 8**, se deriva una verdad: no parece que WiMax vaya a trabajar en 2,4 GHz, por lo que no se van a poder adaptar los equipos actuales 802.11b/g a este estándar. Problema físico, al igual que no se pueden entender una estación base 5,7 GHz con un cliente 2,4 GHz. Lo que se está diciendo en sitios como FON al respecto, parece no tener demasiado sentido.

Respecto al 802.16e, el verdaderamente interesante, ni siquiera están todavía claras esas futuras especificaciones. De cualquier forma, hay que tener en cuenta que se certifican procesos y funcionalidades, no estándares, para que soporten nuevas frecuencias y diferentes modos de acceso (fijo, nómada, portable y móvil). Esto alarga en el tiempo el proceso de certificación, y según el WiMax Forum el futuro cercano sería algo así:

- (Finales de 2005) Aprobación del protocolo de interoperabilidad a nivel físico (de radio).

- (1er semestre 2006) Incorporación de Calidad de Servicio QoS, Estaciones Base fijas en exteriores, seguridad y especificaciones avanzadas de radio (sin especificar).
- (2º semestre 2006) Incorporación de estaciones a nivel cliente y tarjetas PCMCIA para usuarios fijos y nómadas (sin movilidad)
- (1er semestre 2007) Incorporación de movilidad básica.
- (Finales de 2007) Incorporación de movilidad avanzada (roaming, etc.).
- (Durante 2008) Creación del firmware y actualización de equipos con 802.16e en todo el mundo.

O sea, que como mínimo en 2009 podremos decir que tenemos WiMax con movilidad. Y estamos hablando de cumplir tiempos, cuando sabemos que la 1ª certificación todavía no se tiene (y ya estamos a finales de 2005!!)

En cuanto a fabricantes tan sólo se han subido al carro del WiMax fijo **Airspan**, **Aperto**, **Proxim** y **Redline**. Los que buscan el WiMax móvil no han presentado producto en Cetecom, se están esperando, y aquí es donde entra la mayoría (**Alvarion**, **Siemens**, Skypilot, Alcatel, Motorola, Nortel, etc.). Hasta entonces cada uno trabajará con su propia tecnología de radio a modo de “preWiMax”. Pero sin estándar. Justo lo contrario de lo que sucede con WiFi / Mesh, en el que todo es estándar y compatible.

Con esta información no pretendo restar importancia al WiMax: lo que prometen es la leche, ojalá lo tuviéramos hoy, pero la realidad es bien distinta. No podemos hacer promesas de algo que todavía es pura fantasía, y no se debe especular con estos temas, ya que opinar sobre el desconocimiento es, cuanto menos, peligroso: no sólo provoca falta de respeto al trabajo que se está haciendo en el sector, sino que pone en duda otras tecnologías que sí pueden ser reales hoy. Es una situación un tanto complicada, pero no parece que el WiMax vaya a ser la revolución durante el año que viene. Y quien diga lo contrario, miente.”²⁸

²⁸ Análisis sobre la situación real del WiMax http://www.redesmalladas.com/archives/cat_wimax.html

Es de notar que dentro de las apreciaciones anteriores, existen algunos aciertos y otros desaciertos, ya que dentro de los cronogramas establecidos por el WiMax Forum se han cumplido algunos plazos, pero algunos otros se han debido posponer; de allí al incertidumbre mundial por apostarle a esta nueva tecnología de comunicaciones. El dar un paso a favor o en contra del aprovechamiento de la tecnología WiMax, será el patrón diferenciador de quien asumió el riesgo antes que cualquier otro.

Por otra parte las aplicaciones pueden variar dependiendo del entorno y aplicaciones que se realicen, tal como se expresa a continuación:

3.1.1 Países desarrollados:

3.1.1.1. Empresas

Los primeros antecedentes los encontramos en Estados Unidos, donde existe un gran número de proveedores de equipamiento wireless, trabajando en mercados de nicho, empleando infraestructuras de costo elevado y utilizando tecnologías avanzadas (OFDM, antenas inteligentes... para ofrecer comunicaciones alternativas a las cableadas. ArrayComm, Alvarion, IPWireless, Navini y Beamreach son ejemplos de este tipo de proveedores. Estos especialistas han venido trabajando con soluciones propietarias y actualmente reenfocan sus productos hacia WiMax.

En zonas urbanas WiMax permitirá la construcción de redes privadas inalámbricas a empresas con dos o más sedes. De esta forma será factible la realización de redes alternativas al alquiler de circuitos a operadoras tradicionales, a costos mucho más reducidos y con una mayor velocidad en el despliegue de la Red.

3.1.1.2. Usuarios Residenciales y Profesionales:

3.1.1.2.1. Última milla al Hogar

WiMax puede ser empleado como una solución muy competitiva en costo, frente al acceso xDSL y cable.

Es plausible que a corto plazo se desarrollen dispositivos competitivos en precio que incorporen WiFi + WiMax, capaces de realizar una conexión con el exterior

utilizando WiMax sin necesidad de antena exterior, y trabajando sin línea de visión directa. El dispositivo actuará, al mismo tiempo, como punto de acceso WiFi para los dispositivos cercanos dentro del hogar o de la oficina.

En general, el dispositivo de usuario será un dispositivo “*Plug and Play*” que permitirá la conexión a la Red de forma similar a los actuales modems DSL. En aquellas ocasiones en las que el usuario se encuentre lejos de la estación base requerirá la instalación de una antena exterior auto instalable que mejore la calidad de la comunicación. Dentro de entornos de buena cobertura no precisarán de esta antena exterior, bastará con una antena interior incorporada al dispositivo.

3.1.1.2.2. Comunicaciones “nomádicas”

Se denominan comunicaciones nomádicas a aquellas que permiten la conexión a Internet en base a pausas en el camino y mientras nos encontremos dentro del área de cobertura de una estación base (*hotspot*). Las comunicaciones denominadas “*portable Internet*” implican la posibilidad de continuar con las sesiones de conexión iniciadas cuando nos movemos entre diferentes estaciones base dando continuidad de conexión a lo largo de la Red. Las nuevas generaciones de redes multiacceso (3G, WiFi, WiMax, DSL...) permitirán a los usuarios finales disfrutar de la mejor conexión permanente del momento y lugar, tanto desde el hogar como desde la oficina o en tránsito. WiMax aparece como una tecnología de acceso radio que complementa el concepto de solución de arquitectura de red global

3.1.1.2.3. “Hotspots”

Los Operadores de Hotspots WiFi necesitan para sus zonas WiFi conexiones cableadas con los operadores tradicionales. WiMax puede permitir la creación de una Red de “*backhaul*” para los “Hotspots” con la consiguiente reducción de costes.

Existe la posibilidad de que WiMax “sobrepase” a WiFi, sustituyendo el servicio local WiFi por un servicio de ámbito metropolitano y por la aparición de “Hotzones”, superando a los “Hotspots”.

3.1.1.2.4. Regiones remotas

El mercado más rentable para los fabricantes de equipos de acceso inalámbrico de banda ancha ha sido el de los países en vías de desarrollo, así como las áreas

rurales de Estados Unidos, donde no existe infraestructura cableada o celular (móvil). En estos lugares no existe alternativa a la utilización de acceso vía satélite, que tiene importantes limitaciones en cuanto a ancho de banda y a velocidad en el sentido ascendente, y también alta latencia. Una combinación de Satélite + WiMax puede resultar una alternativa a considerar en este tipo de aplicaciones.

3.1.1.2.5. Zonas rurales

WiMax permitirá la cobertura de banda ancha en zonas rurales, donde la dispersión de la población y las dificultades en el despliegue de infraestructura cableada hacen que actualmente los operadores no encuentren una rentabilidad suficiente que justifique la inversión con medios tradicionales. La aplicación de WiMax se centrará en el mercado residencial y servicios de acceso a Internet y de comunicaciones de voz. Los operadores (fijos y móviles) tendrán a su alcance una tecnología alternativa para ofrecer acceso inalámbrico en banda ancha.

3.1.2. Países en Vía de Desarrollo

Su aplicación principal estará en áreas urbanas y suburbanas, con foco tanto en el mercado residencial como de empresas. La baja penetración de las infraestructuras cableadas, así como la baja calidad de las líneas de comunicaciones analógicas, hacen difícil el despliegue masivo de tecnologías de banda ancha como el ADSL. La posibilidad de despliegue de servicios de acceso a Internet y comunicaciones de voz en base a tecnologías inalámbricas de banda ancha, hará que WiMax desplace a tecnologías alternativas de WLL²⁹ de banda estrecha. WiMax tratará inicialmente de proporcionar servicios de comunicación de voz por IP en áreas suburbanas y urbanas de países en desarrollo.

3.1.2.1. Caso de China:

Uno de los mercados potenciales más interesantes para el BWA³⁰ es China. Se vienen manteniendo conversaciones entre el gobierno chino y el IEEE con vistas a establecer el IEEE802.16 como el estándar para BWA a 3,5Ghz en China. Algunos operadores chinos están realizando pilotos con esta tecnología antes de que exista consenso para una cobertura inalámbrica de inicialmente seis ciudades.³¹

²⁹ WLL (*Wireless Local Loop*)

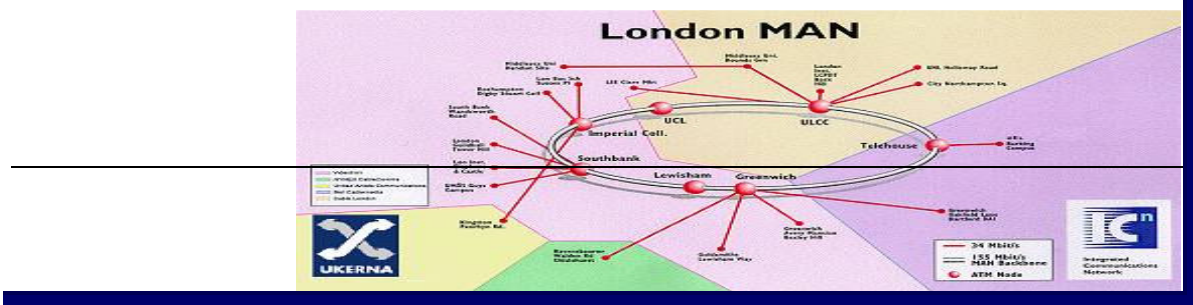
³⁰ BWA (*Broadband Wireless Access*)

³¹ Tomado con permiso del pdf: **WiMax: APLICACIONES Y PERSPECTIVA**, elaborado por Luis Carlos Fernández González, *Ingeniero de Telecomunicación*

CAPÍTULO 4.

TOPOLOGÍAS, TIPOS DE SERVICIO Y ASPECTOS PRÁCTICOS

- 4.1. Topologías de Red
- 4.2. Proyecto Handoff
- 4.3. Seguridad
- 4.4. Niveles de Servicio
- 4.5. Papel de WiMax en las Comunicaciones Inalámbricas
- 4.6. Aspectos Regulatorios
- 4.7. Aspectos Prácticos WiMax
 - 4.7.1. Rival UMTS
 - 4.7.2. Comparaciones entre WiFi y WiMax



4.1 Topologías de Red

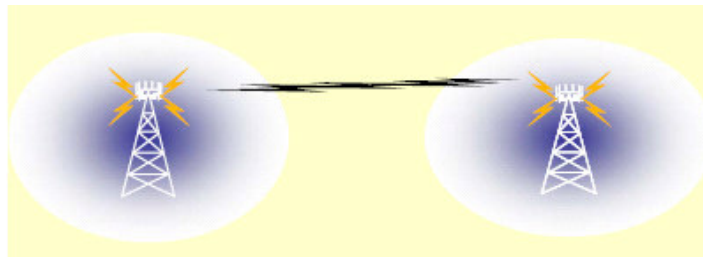
Existen varias topologías de despliegue de red que pueden ser soportadas en las redes WiMax. Es posible desplegar una red cableada dedicada a la interconexión de estaciones base, o bien realizar estas conexiones en base a circuitos radio Punto a Punto en la banda de microondas, o inclusive emplear WiMax para estos circuitos Punto a Punto entre estaciones.

Las estaciones base son capaces de soportar su propia interconexión, dividiendo el ancho de banda disponible entre el dedicado a las comunicaciones de usuarios y el dedicado a la interconexión de las diferentes estaciones base.

A continuación se presentan diferentes ejemplos de topología de red:

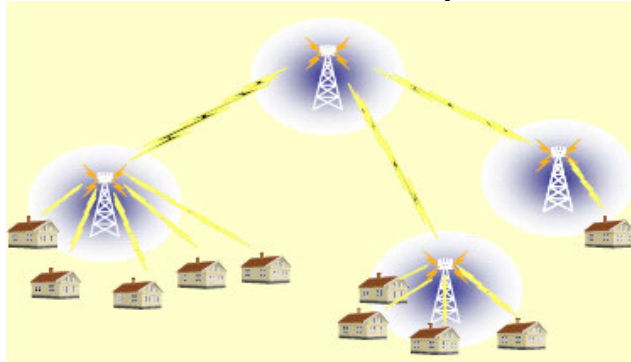
En la configuración de la Figura No 12., podemos unir diferentes edificios o estaciones base mediante circuitos radioeléctricos dedicados a cada una de las conexiones.

**Figura No 12.
Conexiones punto a punto**



En la Figura No 13., se muestra una arquitectura Punto Multipunto, en la que cada una de las estaciones base establece conexiones con varias estaciones remotas (para redes que trabajan en la banda inferior de las frecuencias de microondas). La arquitectura Punto Multipunto representa la arquitectura más extendida. Punto Multipunto permite al operador de red alcanzar el mayor número de usuarios al menor coste y limita el número de Routers y Switches necesarios para operar la red.

**Figura No 13.
Conexión Punto Multipunto**

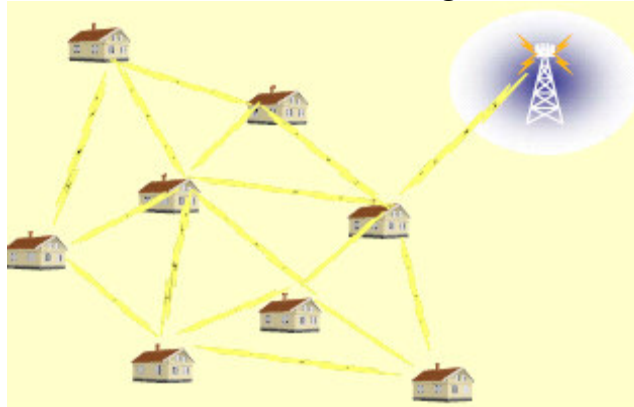


Punto Multipunto ha sido recomendado en ocasiones también para su uso en bandas milimétricas. El problema radica en la topografía de la mayor parte de las ciudades, que podrían ser los principales mercados para este tipo de servicios. Las redes Punto Multipunto generalmente precisan del empleo de antenas sectoriales, que consisten en un conjunto de antenas direccionales distribuidas alrededor de un mástil central.

Cada antena define un sector, un área donde la frecuencia puede ser Reusada, o utilizada por varios usuarios dentro de anchos de banda limitados o en determinados espacios de tiempo. Los sectores también pueden ser desarrollados en base a arreglos de antenas, donde un conjunto de dipolos son combinados y se consiguen lóbulos direccionales para variar las relaciones de fase de las señales de cada una de las antenas. Las relaciones de fase son modificadas electrónicamente y, en el caso de antenas adaptativas, el sistema es capaz de ajustar la anchura y dirección del lóbulo para facilitar la mejor conexión con un determinado usuario. Son las conocidas antenas inteligentes.

La Figura No 14., representa una arquitectura de red mallada (*red mesh*). En una red *mesh* cada terminal de usuario es capaz de establecer varios enlaces con usuarios adyacentes. De esta forma, existen una serie de alternativas antes de llegar al punto origen de la red. Algoritmos especiales de encaminamiento son capaces de direccionar las comunicaciones por el camino más adecuado en cada momento; si un equipo de cliente deja de funcionar, la red sigue funcionando por caminos alternativos.

**Figura No 14.
Mesh Networking**



4.2 Proyecto de Handoff

Se están dando algunos pasos hacia un estándar que podría revolucionar la industria de las comunicaciones inalámbricas y asegurar el dominio de WiMax en el área metropolitana.

Se trata de la propuesta de proyecto *“handoff”* del IEEE. El *“handoff”* permite que un dispositivo cambie de una red a otra sin pérdida de sus comunicaciones. El proyecto pretende analizar la viabilidad de desarrollo de un estándar para un entorno común de *“handoff”* entre los diferentes variantes del 802.... (WiMax, WiFi, tecnologías de corto alcance como UWB, así como los estándares cableados del IEEE).

El comité está liderado por personal de Intel, Lucent y Nokia. Estos fabricantes están llevando a cabo grandes esfuerzos e inversiones en este proyecto, y manifiestan que es un proyecto crítico dentro de sus estrategias futuras. Es de prever que existirá igualmente un *“handoff”* entre WiMax y las redes móviles, un área donde Lucent esta siendo pionera.

El estándar para *“handoff”* se encuentra en un estado inicial y necesitará previsiblemente de varios años para conseguir su desarrollo. Cuando este estándar esté finalizado, muchos de los argumentos de crítica sobre los diferentes estándares inalámbricos pasarán a ser irrelevantes. Las comunicaciones podrán ser transvasadas a la red más adecuada en cada momento: local, metropolitana, o

a una red interurbana. Intel está anunciando dispositivos que inteligentemente elegirán la mejor conexión en cada momento.

Un escenario de este tipo cumplirá con la promesa que aparece actualmente en el desarrollo de las redes 4G, el matrimonio entre IP y las redes móviles. La incorporación de WiMax en este conjunto de tecnologías para comunicaciones inalámbricas podría dotar de ubicuidad y robustez a las comunicaciones de datos y multimedia.

Hay otros aspectos clave a ser desarrollados, como son la compatibilidad con otros trabajos de *handoff*, particularmente los proyectos más básicos del lado del WiFi 802.11k y 802.11f. Igualmente han de ser tenidos en cuenta el soporte de protocolos de capas superiores, como IPV5 e IPV6, así como la seguridad.

Es igualmente importante seguir los trabajos de *handoff* en otros grupos de estandarización, especialmente el “Internet Engineering Taskforce WLAN” y el “3GPP cellular body”, junto con otros grupos del IEEE como el 802.11x.

4.3 Seguridad

Al contrario de las tradicionales tecnologías WLAN, WiMax nace con una solución robusta en materia de seguridad. WiMax proporciona un nivel de control de acceso al medio (MAC) que utiliza un mecanismo de *grant-request*³² para autorizar el intercambio de datos. El mecanismo permite un mejor aprovechamiento del medio radioeléctrico, la utilización de antenas de menor tamaño, así como el control individual del tráfico de cada usuario. Esto simplifica el soporte de servicios que requieran comunicaciones en tiempo real o aplicaciones de comunicaciones de voz.

La seguridad ha sido uno de los mayores problemas encontrados por los usuarios en las WLAN. Las versiones iniciales disponían de mecanismos de seguridad poco elaborados, y era relativamente sencillo que personas no autorizadas consiguieran el acceso a las redes.

WiMax propone una serie de características muy completas en materia de seguridad:

³² *grant-request: Demanda en función del servicio prestado.*

- Autenticación de usuario en base a protocolo EAP³³.
- Autenticación del terminal por intercambio de certificados digitales que impiden la conexión de terminales no autorizados.
- Cifrado de las comunicaciones utilizando algoritmos como el DES³⁴ o el AES³⁵, mucho más robustos que el WEP³⁶ utilizado inicialmente en las WLAN. Adicionalmente cada servicio es cifrado con la asociación específica de clave pública/clave privada.

Ampliando esta parte, la seguridad basada en Tecnología WiMax, realiza una autenticación con certificados x.509 usando DES en modo CBC³⁷, además de que permite cifrado de los datos mediante los algoritmos Triple DES (128 bits) y RSA (1024 bits).

El estándar x.509, se refiere a los formatos para certificados de llaves públicas y algoritmos de validación de la ruta de los certificados. Este tipo de documentos es una parte esencial de la estructura de PKI³⁸ y su función es obtener los datos de identificación del titular de la llave pública; dicho uso de certificados de llaves públicas permite a los usuarios tener la confianza de que las llaves públicas que reciben para el cifrado de toda la información, por medio del algoritmo RSA, son de un titular legítimo y que por lo tanto al comenzar a enviar información cifrada, efectivamente la comunicación únicamente será entre usuarios auténticos de la red.³⁹

Dentro de la versión 3 del certificado digital X.509, se estructura dentro de tres variables principales - el certificado, el algoritmo de la firma del certificado y la firma del certificado. El certificado es descrito por cualidades tales como versión, identificación del algoritmo, número de serie, emisor, tema, validez, llave pública sujeta, Información (Info), extensiones y varias otras opcionales como tema e identificador único del emisor. La cualidad pública sujeta de la llave Info es detallada más a fondo por el algoritmo dominante público y la llave pública del tema, mientras que viene la cualidad de la validez tiene otras opciones para una fecha límite superior y más baja, que decide eventual a la vida del certificado.⁴⁰

Es por este motivo que el algoritmo utilizado en este tipo de tecnologías debe ser lo más fuerte posible, por lo que tomando en cuenta el delicado punto que la seguridad representa en la adopción de un servicio inalámbrico de banda ancha,

³³ EAP (*Extensible Authentication Protocol*).

³⁴ DES (*Data Encryption Standard*).

³⁵ AES (*Advanced Encryption Standard*).

³⁶ WEP (*Wireless Equivalent Privacy*).

³⁷ CBC (*Cipher Block Chaining*)

³⁸ PKI (*Public Key Infrastructure* - infraestructura de llave pública dominante)

³⁹ Protocolo de seguridad en WiMax; Publicado en:

<http://www.seguridad.unam.mx/plan-becarios/main.dsc?doc=1&op=26>

⁴⁰ ¿Qué es X.509? <http://www.tech-faq.com/lang/es/x.509.shtml>

la IEEE determinó la definición de un sistema robusto de seguridad para este ambiente.

La seguridad WIMAX soporta dos estándares de cifrado de alta calidad: DES3 y AES, este último considerado el mejor para esto.

Por ello el AES, es un estándar que define un proceso de seguridad enfocado directamente a la estación central. También se manejan algunas exigencias mínimas de cifrado para el tráfico y para la autenticación punto a punto, estándares que son adaptados de la especificación de interfaz del servicio de datos sobre cable y el protocolo de seguridad.

“Dentro de ese ambiente, NIST (National Institute of Standards and Technology), que es el departamento del Gobierno Federal Estadounidense encargado de definir los estándares para todo el gobierno, anuncia una competencia internacional para definir el AES, como sucesor del DES. Igual al DES, el AES será disponible internacionalmente sin costo y la definición del AES sigue un camino totalmente público y abierto.

NIST publicó las especificaciones para el AES finales de 1997. Los requerimientos principales son: un algoritmo simétrico con bloques de 128 bits (no de 64 bits como el DES) y con llaves de 128, 192 o 256 bits (no 56 bits como el DES o 112 bits como el Triple DES).”⁴¹

4.4 Niveles de Servicio

Uno de los aspectos más atractivos para los proveedores de servicio y los usuarios es la capacidad de WiMax de proporcionar diferentes niveles de servicio. Por ejemplo, una estación base puede proporcionar hasta 75 Mbps (802.16a). Con esta capacidad podemos comprometer diferentes niveles de servicio, como por ejemplo 1 Mbps garantizado para los clientes del segmento empresarial, así como 128 Kbps en modalidad “*best effort*”⁴² para los clientes del segmento residencial.

También es posible adaptar las estaciones base al tipo de demanda. En zonas rurales donde existe gran dispersión geográfica de los clientes, podemos utilizar modulación adaptativa, que permite aumentar el alcance de la comunicación, cuando es necesario, a costa de una reducción de la velocidad de transmisión.

⁴¹ AES, el algoritmo de encriptación del próximo siglo, publicado en:
<http://www.tecapro.com/recursos-articulos-aes.html>

⁴² *best effort*: Mejor desempeño

Modulaciones de alto nivel (por ejemplo: de 64 niveles, en QAM) proporcionan una velocidad elevada en un alcance cercano, mientras que niveles de modulación bajos (por ejemplo: de 16 niveles, en QAM), permiten un mayor alcance a costa de una reducción de velocidad de transmisión, todo dentro de la misma estación base.

El esquema de modulación se asigna dinámicamente en la estación base, dependiendo de la distancia al cliente, la meteorología, la interferencia existente con otras señales, así como otros factores transitorios. Esta flexibilidad permite a los proveedores de servicio adaptarse a las necesidades de las áreas de distribución específicas, haciendo que WiMax sea rentable en una gran variedad de áreas geográficas.

WiMax permite diferenciar calidad de servicio sobre latencia y tasa de errores. Esta capacidad permite adecuar dichos parámetros al tipo de transmisión. La mayoría de las comunicaciones pueden tolerar un nivel razonable de latencia, pero no admiten los errores de comunicación. Comunicaciones de tiempo real en audio/vídeo son, sin embargo, muy exigentes en cuanto a la latencia y más tolerantes en cuanto a errores. El poder diferenciar estos niveles de calidad de servicio permite manejar diversos servicios de comunicaciones de forma eficiente.

4.5 Papel de WiMax en las Comunicaciones Inalámbricas

Existen una serie de aspectos fundamentales que orientan claramente el futuro de WiMax, así como su campo de aplicación, concretamente:

- El apoyo de los grandes fabricantes de semiconductores, y de las industrias de radiocomunicación, hará que esta tecnología se convierta en una realidad palpable en los próximos años. La interoperabilidad, junto con la reducción de costes de los dispositivos de usuario, permitirá desarrollar un mercado que hoy se encuentra muy fragmentado.
- WiMax es considerado como un complemento a las infraestructuras existentes, tanto fijas como móviles. En el caso de las comunicaciones fijas permitirá extender la banda ancha en aquellos lugares donde sea difícil o poco rentable el despliegue de infraestructura cableada.

- Para las redes móviles, posibilitará la oferta de comunicaciones de mayor ancho de banda a menores costes.

- La no necesidad de instalación de antenas externas en los edificios de los clientes, así como la característica de no línea de vista en el 802.16a y la futura incorporación de WiMax en ordenadores portátiles y dispositivos PDAs, hace que WiMax apunte a las aplicaciones de comunicación de datos en movilidad.

El impulso de marketing para WiMax se ha basado en su movilidad potencial, junto con su posible papel de “backhaul” o incluso, como sustituto de redes públicas WiFi. Sin embargo, la razón de ser de WiMax está en su aplicación para acceso inalámbrico de banda ancha en el mercado residencial y de empresas.

4.6 Aspectos Regulatorios

WiMax podrá ser utilizado tanto en bandas licenciadas como no licenciadas. El ancho de banda mínimo del canal es de 1,75 MHz, siendo 10 MHz el ancho de banda por canal óptimo.

A pesar de que las bandas no licenciadas de 2,5 GHz y 5GHz están disponibles, su uso dentro del área urbana podría estar limitado a pruebas debido a los riesgos de interferencias que podrían perjudicar los compromisos de calidad de servicio, cuando varios operadores concurren simultáneamente en la misma banda y localización. Por ello, las bandas licenciadas de 2,5 y 3,5 GHz serán las más comunes para las aplicaciones WiMax. La mayoría de los países han asignado espectro licenciado, generalmente a operadores alternativos.

El hecho de poder trabajar en bandas de frecuencia no licenciadas significa que cualquiera podría utilizar esas mismas frecuencias para el despliegue, en la misma zona, de servicios de comunicación inalámbricos. Esto hace que no se pueda garantizar la no interferencia entre operadores, y que si un operador realiza una inversión en infraestructura en una determinada zona, nadie le garantiza que en un futuro otro operador pueda desplegar nueva infraestructura y verse ambos envueltos en problemas de interferencia entre redes. Los operadores tradicionales difícilmente se arriesgarán a invertir en la utilización de frecuencias no reguladas en zonas urbanas, si bien es cierto que en el ámbito suburbano o rural baja el riesgo de interferencias por concurrencia de redes.

WiMax está diseñado para soportar FDD (*Frequency Division Duplexing*), indicado para tráfico de empresas, así como TDD (*Time División Duplexing*), más adaptado a tráfico asimétrico. La coexistencia de ambos mecanismos de modulación es

posible dentro de las mismas bandas de frecuencias, siempre que se establezcan bandas de guarda.

WiFi esta demostrando que, en células del tamaño de 50-100m, el problema de interferencias es bajo, y el número de dispositivos inalámbricos instalados en los hogares crece día a día, hasta el punto que en España los operadores de ADSL suelen utilizar en todas sus instalaciones en el hogar un Modem-router WiFi.

Y dado a la gran penetración que empiezan a ofrecer los diferentes fabricantes y los servicios que se empiezan a ofrecer a nivel local, se están desarrollando encuentros y congresos a nivel mundial para unificar criterios y plantificar métodos de penetración, dentro de los más recientes se encuentran:

- Conferencia europea sobre tecnología WiMax mayo 22 al 24 de 2006.⁴³
- BROADBAND Caribbean & Central America, Map out broadband strategies applied by the market, identifying trends and opportunities to create competitive services, 17-18 May 2006 - Westin Rio Mar Beach Golf Resort & Spa, Puerto Rico
- Otros congresos y eventos a nivel mundial y regional⁴⁴

Colombia, en el campo de regulación del espectro electromagnético ha estado un poco rezagada, en comparación con otros países de la región y como se menciona posteriormente en el capítulo 5, la regulación es poca; mas el gobierno nacional ha hecho avances importantes al tramitar la Resolución N° 2064 del 15 de Septiembre de 2005, en donde se empiezan a atribuir y planificar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de Distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica; la cual arrojó como resultado la Resolución N° 1449 DE 23 de Junio de 2006, la cual tiene por objeto adoptar medidas tendientes a establecer el uso correcto, eficiente y racional del espectro radioeléctrico para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica, en el Área de Servicio Departamental y establecer los requisitos y el procedimiento para el otorgamiento de los permisos correspondientes en las bandas de frecuencias entre los 3.4Mhz y los 3.6Mhz

⁴³ <http://www.wimaxworlddeurope.com/>

⁴⁴ <http://www.worldsummits.com/Listing/Events/>

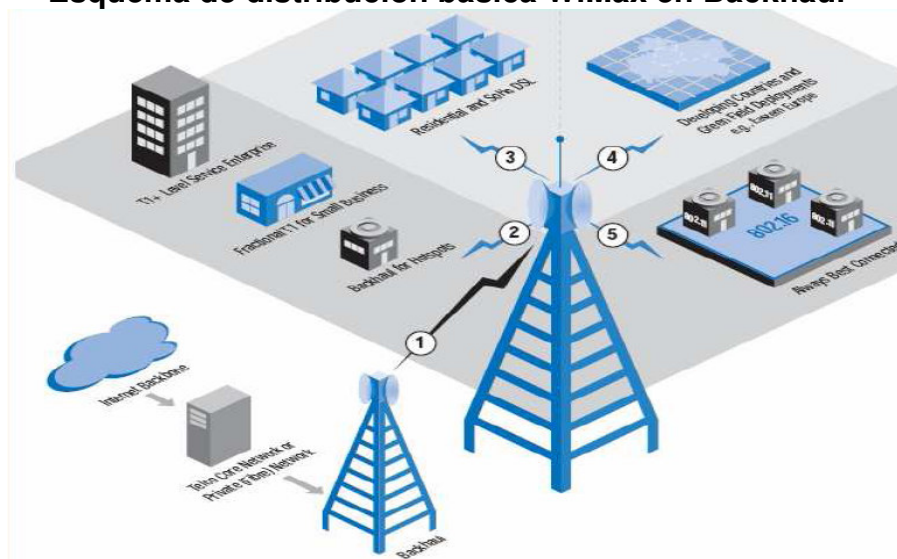
banda atribuida, para el uso del espectro radioeléctrico en cada una de las Áreas de Servicio Departamental, con sujeción a la atribución y planeación del espectro establecido en la Resolución 2064 de 2005.⁴⁵

4.7 Aspectos prácticos WiMax

La tecnología WiMax se utiliza en las siguientes aplicaciones, tal y como se muestra en la Figura No15.:

- Enlaces de última milla para radio bases de telefonía móvil.
- Prestación de servicios de Banda Ancha por demanda
- Acceso de Banda Ancha en áreas urbanas sin infraestructura de cobre
- Acceso de banda Ancha en zonas rurales o apartadas

Figura No 15.
Esquema de distribución básica WiMax en Backhaul⁴⁶



A partir de lo anterior, en enero de 2003 fue aprobado el estándar 802.16a, el cual opera en las frecuencias de 2 a 11 GHz, permitiendo el establecimiento de conexiones sin la necesidad específica de existencia de línea de vista, que le permite operar a través de obstáculos como árboles o edificaciones. La configuración típica de este tipo de soluciones se muestra en la figura a continuación, y consta de una estación base central ubicada en una torre o edificio que se comunica a través de un esquema punto-multipunto con los diferentes

⁴⁵ Ver lista de anexos

⁴⁶ Tomado de: Understanding WiFi and WiMax as Metro-Access Solutions, archivo PDF de INTEL

suscriptores residenciales o de negocios. El rango típico de cubrimiento se encuentra entre los 6 y 9 Kms.

Al igual que en el caso de WiFi, WiMax representa una asociación conformada por proveedores de equipos basados en el estándar 802.16, cuyo objeto se centra en promover su adopción, garantizar la interoperabilidad y fomentar el desarrollo de redes a partir de esta tecnología.

Esta tecnología de acceso inalámbrico a Internet de banda ancha puede convertirse en un serio rival para la telefonía móvil de tercera generación.

Cuando todavía dudamos del significado exacto de las siglas UMTS y empieza a sonarnos el concepto WiFi, resulta que el verdadero futuro de la Internet inalámbrica es WiMax. Acrónimo de *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, WiMax es el nombre comercial del estándar 802.16, una tecnología de acceso inalámbrico a Internet de banda ancha que promete conexiones de hasta 70 Mb/s a una distancia de hasta 50 km en campo abierto, frente a los 300 metros que ofrece WiFi.

Mientras WiFi es una red inalámbrica de área local (WLAN), WiMax se considera un *WiFi con esteroides*, una red sin cables de área metropolitana (WMAN) que permite una verdadera movilidad inalámbrica dentro de una amplia extensión. La señal de radio WiFi comienza a degradarse cuando trabajan más de 20 personas de forma concurrente; por el contrario, su hermano mayor permite que una misma estación tenga cientos e incluso miles de personas trabajando a la vez.

Sin embargo, WiMax no compite con WiFi, sino que ambas son tecnologías complementarias: la primera conectará los puntos de acceso (*Hotspot*) de WiFi, con el consiguiente aumento de la cobertura.

4.7.1 Rival UMTS

En realidad, WiMax es un serio rival para la tecnología de telefonía móvil UMTS⁴⁷. La tercera generación móvil se está desplegando muy lentamente, y con algunos problemas técnicos. Por ejemplo, UMTS requiere la instalación de repetidores en

⁴⁷ UMTS: Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicación Móvil)

el interior de los edificios porque traspasa mal el hormigón e incluso la niebla puede deteriorar la señal.

Por el contrario, las señales de WiMax (que trabaja a frecuencias por debajo de los 11GHz) permiten a los receptores funcionar sin necesidad de ver la estación base, pueden atravesar nubes, árboles e incluso muros. En Gran Bretaña, el regulador ha propuesto relajar el control sobre el espectro de radiofrecuencias y poner a la venta (o subastar) doce nuevas licencias. Algunos de estos espectros podrían transportar servicios 3G utilizando el estándar 802.16 y otras nuevas tecnologías. De esta manera, las nuevas operadoras móviles podrían utilizar tecnologías como WiMax para competir con la tercera generación de telefonía móvil.

4.7.2 Comparaciones entre Wi-Fi Y WiMAX

Antes que nada, vale la pena resaltar que debido a que se trata de dos tecnologías diferentes que utilizan un mismo medio de transmisión, no son competencia entre ellas sino que se complementan para mejorar las condiciones de accesibilidad de usuarios, que por diferentes circunstancias, no poseen o no les resulta conveniente una conexión alámbrica.

Es así que dentro de las características que se identifican en la **Tabla No9.**, encontramos las que más se destacan, allí se hace referencia a la escalabilidad que se puede obtener de cada una de ellas, ya que para la tecnología WiFi se pensó y diseñó para entornos LAN, en dispositivos móviles en un área de cobertura de 10 metros promedio con obstáculos presentes, 100 metros aproximados sin obstáculos; y a una escala mucho mayor se encuentra la tecnología WiMax, diseñada para ambientes WAN, con velocidades muy superiores y calidad de servicio nativo, lo cual repercute en una mejor prestación de servicio, tanto para datos como para voz y multimedia, a velocidades y anchos de banda flexibles según el requerimiento de cada usuario, que pueden ir desde los 3 Mbps hasta los 75 Mbps.

**Tabla No9.
Comparación entre WiMax y WiFi**

	802.11	802.16
Alcance	100 mts máx.	50 Kms Máx.
Cobertura	Optimizado para aplicaciones internas	Optimizado para aplicaciones sin línea de vista en exteriores. Soporta Smart Antenas
Uso de ancho de banda	Ancho de banda de canal 20 Mhz	Flexibilidad del ancho de banda según el espectro disponible
Bit Rate	Por encima de 54 Mbps en canales de 20 Mhz	Por encima de 100 Mbps en canales de 20 Mhz
Escalabilidad	LAN De 1 a decenas de usuarios con una suscripción por Terminal	WAN De 1 a cientos de terminales con ilimitados suscriptores por terminal
Calidad de Servicio	No provee, sino hasta la IEEE 802.11e	Soporta para la MAC, calidades de servicio para Voz, Video y niveles de servicio diferenciado.

Teniendo como referencia estos datos, podemos confirmar lo que se ha planteado desde un principio, que ambas tecnologías son complementarias y que no es como se cree o rumora que la una sustituirá a la otra; las aplicaciones y servicios que se pueden prestar a los usuarios, dependerá de los requerimientos, calidad de servicio y ancho de banda, y por supuesto la ventaja temporal, desarrollo y desarrollo de hardware que posee tecnología WiFi, son su mayor fuerte, ya que dentro de la tecnología portátil, es casi obligatoria la implementación o soporte para las normas IEEE 802.11 b/g, además del auge del Hot Pots en hoteles, aeropuertos y centros comerciales. En contraparte con el actual desarrollo de la tecnología WiMax, que apenas empiezan a implementarse los primero chips, a evaluar los usos de las plataformas, servicios de acuerdo con las especificaciones de velocidades y anchos de banda, que aunque teóricamente este todo explicito en normas, solo se empiezan a dar los primero pasos hacia su masificación.

CAPÍTULO 5.

CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO E IMPLEMETACIÓN DE UNA RED WiMax EN EL CENTRO HITÓRICO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS

- 5.1. Consideraciones Iniciales**
- 5.2. Equipos e Infraestructura**
- 5.3. Aspectos Teóricos para Considerar**
 - 5.3.1. Atenuación en el Espacio Libre**
 - 5.3.2. Atenuaciones Adicionales**
 - 5.3.3. Margen de Desvanecimiento**
 - 5.3.4. Índice de Refracción**
 - 5.3.5. Coíndice de Refracción**
 - 5.3.6. Módulo de Refracción**
 - 5.3.7. Gradiente de Índice de Refracción**
 - 5.3.8. Condiciones de Propagación**
 - 5.3.9. Radio Ficticio de la Tierra**
 - 5.3.10. Protuberancia del Terreno**

5.3.11. Efecto de la Difracción sobre la Propagación

5.3.12. Zonas de Fresnel

5.3.13. Atenuación por Obstrucción

5.4. Ecuación de Enlace

5.4.1. Errores de Cálculo

5.4.2. Criterios de Despojamiento

5.5. Reflexiones en el Terreno

5.5.1. Rayo Reflejado

5.5.2. Efecto del Factor K

5.5.3. Soluciones

5.6. Repetidores Pasivos

5.6.1. Repetidor de Espejo

5.6.2. Repetidor Espalda – Espalda

5.6.3. Repetidores Amplificadores



5.1. Consideraciones Iniciales

Cartagena de Indias por ser una ciudad patrimonio histórico y cultural de la humanidad, sede de muchos eventos de trascendencia a nivel nacional e internacional, por ende debe poseer una infraestructura de comunicaciones robusta y moderna, capaz de satisfacer las necesidades de intercambio de información, envío y recepción de documentos digitales, video conferencias, transmisiones on-line, interconectividad de dispositivos en forma rápida, segura, confiable y que garantice buenas velocidades de conexión. Por todo esto y muchas otras razones se hace necesario configurar una red de acceso y distribución inalámbrica, pensando en cual podría ser la tecnología a implementar, WiMax ofrece las mejores características que satisfacen las necesidades de la ciudad, pudiéndose escalar a las dimensiones requeridas, combinar con otros estándares y fácil de instalar tanto en recintos cerrados (indoor), como en espacios abiertos (outdoor).

Para empezar hay que tener en cuenta que el centro de la ciudad es amurallado, posee muchas edificaciones antiguas, por tanto la solución inalámbrica es una de las opciones más acertadas y observando los avances en telecomunicaciones en el ámbito mundial, se observa que WiMax, es la que más expectativas está creando, la que ofrece mayor escalabilidad, rendimiento y velocidades, además un gran número de empresas representativas del sector, están enfocadas en desarrollar e implementar rápidamente esta tecnología; inclusive en eventos de telecomunicaciones como por ejemplo: ***“Durante el Editor’s Day de Intel Cartagena 2004, se realizó la primera conexión WiMax en Colombia, desde la cima del Cerro de la Popa al Hotel Hilton de Cartagena. Con lo cual quedó demostrado, que ante esta nueva tecnología muy pronto la distancia no será obstáculo para una buena comunicación.”***⁴⁸

Además si a eso se le añade que Investigaciones de Intel Colombia arrojaron que para el 2006, el 90% de las aplicaciones serán inalámbricas; éstas crecen a un ritmo de 40% anual. Por esta razón, la empresa, conciente de la necesidad del mercado, ha invertido en los últimos 3 años más de 20 mil millones en investigación y manufactura, lo que ha permitido la optimización de este sistema.

La tecnología móvil Intel Centrino es el producto para equipos portátiles más reciente de Intel. Esta tecnología combina un nuevo microprocesador diseñado

⁴⁸ http://www.itenlinea.com/noticias.php?tb=n_avances§ion=&id=20

totalmente para la movilidad, con un chipset móvil optimizado y una solución de LAN inalámbrica integrada. Esta plataforma también permite autonomía prolongada de la batería y diseños de equipos portátiles más ligeros y fáciles de transportar. La plataforma Centrino, de Intel, está diseñada para las comunicaciones inalámbricas y se espera contar con WiMax integrado a precios razonables. Centrino es la primera tecnología informática integrada de Intel, diseñada completamente para los PC portátiles inalámbricos.⁴⁹

Por otra parte está la familia de procesadores de doble núcleo más avanzada de AMD, Tecnología Mobile AMD Turion 64 X2, creada para la movilidad y que además proporciona un destacado rendimiento multitarea, en los diseños thin & light de los ordenadores portátiles, los cuales ofrecen un rendimiento simultáneo de 32 y 64 bits; Ofrece Numerosas posibilidades para clientes de todo tipo prolongada duración de la batería, diseñada para su compatibilidad con las últimas tecnologías inalámbricas y de gráficos.⁵⁰

Y también en países como España, ya se tienen experiencia de éxito, como lo confirman, al contar con CETECOM⁵¹, unos de los pocos laboratorios en el mundo para la certificación de equipos y productos WiMax y donde mayor número de pruebas se están realizando bajo este estándar⁵²; entonces existe una gran plataforma de lanzamiento para la tecnología WiMax en cualquier región donde se desee implementar, con casos de éxito y pruebas consolidadas a satisfacción bajo distintas topologías y configuraciones.

“Aunque se sigue avanzando en el proceso de estandarización de esta tecnología, el mismo no ha sido aun finalizado puesto que la utilización de frecuencias de acuerdo con las condiciones regulatorias varían entre una región y otra, y sus características deben permitir cubrir suscriptores corporativos de alta demanda de ancho de banda, así como también pequeñas y medianas empresas y usuarios residenciales. En resumen, como se ilustra en la **Tabla No 10**, se han identificado tres fases en la evolución del mercado de este tipo de tecnología.

⁴⁹ <http://www.dinero.com.ve/187/portada/competenciae.html>

⁵⁰ http://www.amd.com/es-es/Processors/ProductInformation/0,,30_118_13909_13910,00.html

⁵¹ CETECOM is a WiMAX Forum™ Designated Certification Laboratory (WFDCL). <http://www.cetecom.es/>

⁵² <http://www.blogwimax.com/>

**Tabla No 10.
Evolución del Mercado de WiMax**

Periodo	Evolución del mercado
2005 / 2006	WiMax como alternativa inalámbrica a los servicios de banda ancha a través de cable y xDSL
2006 / 2007	Conexiones móviles para usuarios en “Hot Zones” de la tecnología WiMax, las cuales tienen mayor cobertura que los “Hot spots” de la tecnología WiFi
2007 / 2008	Full WiMax / roaming celular, permitiendo a los usuarios permanecer conectados mientras se desplazan entre “Hot Zones”

Dentro del entorno latinoamericano, y a pesar de no estar definidos totalmente los estándares para su aplicación, el acceso a través de tecnología WiMax representa un importante potencial de utilización tanto para operadores que actualmente ofrecen accesos de banda ancha a través de otras tecnologías, como para nuevos entrantes interesados en participar de este negocio.

En tal sentido, se vienen desarrollando iniciativas para el montaje de redes sobre esta tecnología en diferentes países de la región, los cuales pretenden llevar el cubrimiento de la banda ancha a regiones apartadas. Para tal efecto, los entes reguladores y administradores del espectro radioeléctrico vienen implementando acciones tendientes a la asignación de este recurso para la prestación de servicios inalámbricos de banda ancha.

Las acciones regulatorias en esta materia son variadas, desde el uso libre de frecuencias como el aprobado por COFETEL en México, en donde se eliminó la restricción establecida para su uso en recintos cerrados, para promover las inversiones en este tipo de tecnología, hasta la realización de procesos el que actualmente se viene desarrollando en Brasil para la asignación de frecuencias en las bandas de 3.5 y 10.5 GHz.

Ahora, en el entorno nacional y aunque de no esta estandarizada, la utilización de la tecnología WiMax en Colombia también ha dado espacio para el desarrollo de oportunidades de negocio. En las ciudades de Bogotá y Bucaramanga, algunas empresas ofrecen acceso de banda ancha a través de medios inalámbricos, en competencia directa con operadores tradicionales de banda ancha y con aquellos orientados a brindar soluciones al sector corporativo.

En cuanto al otorgamiento de licencias, el Ministerio de Comunicaciones ha decidido entregar licencias nacionales para el uso del espectro radioeléctrico a los tres operadores de larga distancia legalmente habilitados, abriendo la posibilidad de competencia con los operadores dueños de la infraestructura y para los mismos con la asignación de dos licencias adicionales en cada región del país.⁵³

Continuando con el mismo orden de ideas, la ciudad de Cartagena de Indias es la de mayor demanda al momento de realizar algún congresos o evento de carácter nacional o internacional, según lo confirma el boletín de prensa de COTELCO, en donde manifiesta: Los hoteles afiliados a COTELCO Cartagena reportaron una ocupación de 100% entre el 31 de diciembre y la primera semana de enero en el año 2005. Cabe destacar que durante todo el mes de diciembre el promedio de la ocupación de esta región se mantuvo en niveles favorables, pasando de 42% en 2004 a 58% en 2005, lo cual compensó la no presencia de puentes Emiliani.

Además de la afluencia de turistas extranjeros, se destaca una amplia movilización de viajeros por carretera.⁵⁴ Además dentro de la programación de actividades del centro de convenciones Cartagena de Indias se pueden confirmar más de 40 congresos de Importancia Nacional e Internacional⁵⁵ entre los años 2005 – 2006; dando esto por sentado y sabiendo que este centro Histórico y Cultural de la Humanidad tiene potencial y cubre las expectativas de cualquier empresa que se atreva a apostar por realizar inversiones de infraestructura inalámbrica, tal y como lo hacen actualmente los constructores de la vía perimetral, la malla vial de Transcaribe y más de 10 construcciones de envergadura en el sector turístico de Bocagrande, entre ellas el edificio más alto de Colombia⁵⁶, podemos considerar que todo lo necesario para que lleve a cabo un proyecto de tal envergadura se realice; inclusive la legislación colombiana ya entraron en la reglamentación de las bandas de frecuencia para los operadores de telefonía móvil celular y PCS, los nuevos servicios WiFi y WiMax⁵⁷, ya que había legislación deficiente en la banda entre los 2GHz y 10GHz. Pero con la entrada de la resolución 689 del 28 de abril

⁵³ http://www.crt.gov.co/Documentos/BibliotecaVirtual/InformeSectorial/Informe_sectorial_6.pdf

⁵⁴ http://www.cotelco.org/paginas_internas/comunicadofinano2005.doc

⁵⁵ <http://www.cartagenatravel.com/espanol/calendario.htm>

⁵⁶ <http://www.revistacambio.com/html/pais/articulos/3145/>

⁵⁷ http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/index.jsp?page=../mods/legislacion/legislacion_user_list

del 2004 y de igual forma en la resolución 2585 del 21 de diciembre del 2004, se asignan frecuencias con sus respectivos anchos de banda, para la realización de pruebas y enlaces de comunicaciones inalámbricas, con lo cual se empieza a subsanar el vacío jurídico de la legislación colombiana en cuanto a la prestación de servicios inalámbricos en el rango de los Ghz.

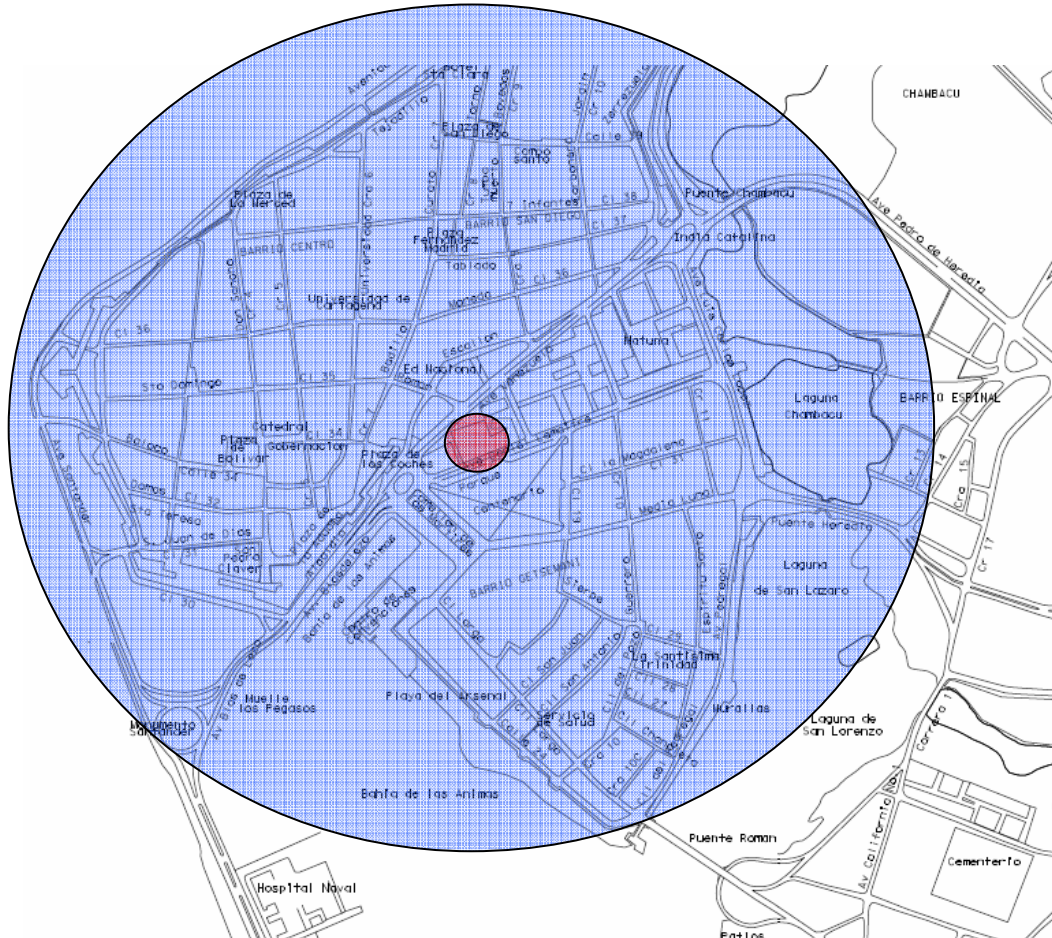
El área de exploración, mostrada en la Figura No 16., como se había mencionado es menor a los 10 Kms, lo cual garantiza que con una sola antena base ubicada en un sitio estratégico, la zona comercial de la Matuna, se pueda dar cobertura a toda la zona de influencia turística, y ubicando los puntos de acceso en los sitios de mayor demanda. El centro de convenciones como punto de referencia principal, se busca que este ubicado de tal forma, que la antena localizada en los primeros edificios de la zona de la Matuna, ya que son los de mayor altura relativa en el sector y también a que ya existen infraestructuras de torres en ellas.

Figura No 16.
Ubicación centro histórico y turístico de Cartagena de indias con ubicación de antena



Complementando la información anterior, un área aproximada de exploración dentro de los estándares establecidos por la tecnología WiMax, teniendo en cuenta un radio de cobertura básico de 400 metros, se alcanza aproximadamente el medio kilómetro cuadrado, tal como se muestra en la **Figura N° 17.**, en donde el círculo rojo denota la ubicación de la antena de cobertura principal y el círculo azul demuestra la posible área de cobertura de esta estación base de la antena WiMax; demostrando con esto que toda la zona de influencia histórica queda cubierta con esa antena, ahora debido a que no existen aún en el mercado dispositivos móviles para esta tecnología se pueden ubicar access point Wi-Fi y de esta manera tener una robusta cobertura inalámbrica.

Figura No 17.
Ubicación de área de cobertura aproximada
para un radio de acción de 400 metros



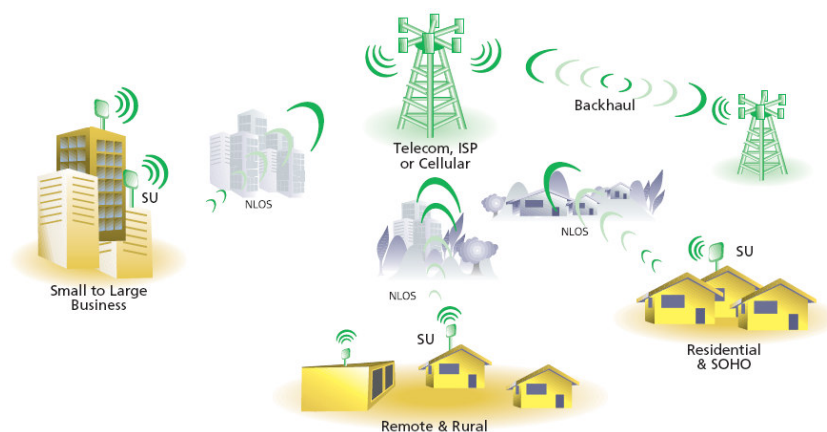
5.2. Equipos e Infraestructura

Sobre los equipos y terminales sobre los cuales se puede realizar dicha implementación están los suministrados por empresas como Intel, Motorola, Alvarion, Airspam, Aperto, entre otras, que ya ofrecen una gama de servicios y productos de acuerdo a las necesidades de los clientes o empresas que soliciten o requieran el servicio.

Dentro de una propuesta de posibles equipos que colmen las expectativas de interconexión están los de la firma israelí Alvarion,⁵⁸ y también los suministrados por la empresa norteamericana Airaya⁵⁹, de igual forma Motorola ofrece su producto de conectividad inalámbrica denominado Canopy⁶⁰, y todas ellas manejan, tanto la gama de WiFi, como la de WiMax.

De acuerdo con la infraestructura y configuración típica de la tecnología WiMax, tal como se ilustra en la **Figura No 18.**, los productos ofrecidos por ellos satisfacen a plenitud las necesidades de interconexión y comunicación entre los diferentes actores que intervengan en los procesos que acontezcan dentro del desarrollo normal de actividades que requieran de estos servicios, de allí que si el acceso a través de una estación central no importando si existe o no la línea de vista, se estarán cumpliendo las expectativas propuestas para satisfacer las necesidades de conexión y acceso inalámbrico a servicios de red.

Figura No 18.
Topología típica para una red WiMax



⁵⁸ <http://www.alvarion.com/>

⁵⁹ <http://www.airaya.com/default.asp>

⁶⁰ <http://motorola.canopywireless.com/es/>

Es así que a continuación se mencionan e ilustran una serie de equipos y dispositivos que se deben tener en cuenta al momento de realizar la implementación a la tecnología WiMax, dependiendo de las soluciones que prevén los fabricantes, así se deben seleccionar los elementos que cumpla a satisfacción los requerimientos de cobertura, número de usuarios, flexibilidad y compatibilidad con otras tecnologías y protocolos, la razón de costos sería algo secundario, ya que los precios de las diferentes propuestas son muy parecidos y un ahorro ahora puede repercutir más adelante en la adquisición de otros equipos y más implementaciones a destiempo, lo cual generaría traumatismos y desconfianza en un proyecto que apenas esta despegando; por tanto no hay que escatimar, sin llegar a mal gastar el dinero, en todo lo que mejor represente los requerimientos y necesidades del mercado con proyección a tres años. Claro, que hay que tener en cuenta, que la misma ciudad posee un mercado amplio y variado durante todo el año, por su calidad de ciudad turística y todos aspectos relacionados anteriormente, al cual se le pueden ofrecer los servicios de esta red de acceso inalámbrica, al igual que para la demanda local del sector turístico y empresarial de la ciudad.

Para la empresa alvarion, se encuentra la gama BreezeMAX, la cual se encuentra disponible en el mercado desde mediados de 2004, y que actualmente cuenta con cerca de 150 operadores en más de 30 países, BreezeMAX es una de las soluciones comerciales más avanzadas, probada dentro del campo en tecnología WiMax y la primera para ofrecer CPE configurada para el trabajo de banda ancha basado en tecnología WiMax y además provisto del interfaz Intel PRO/Wireless 5116.

Su construcción se basa en estándar de IEEE 802.16-2004, para un desempeño BreezeMAX en aplicaciones fijadas, nómadas y portátiles, lo cual le ofrece una trayectoria clara para la industria móvil de WiMax que emerge basada en el estándar de IEEE 802.16e. BreezeMAX está diseñado para una variedad de frecuencias en bandas licenciadas y bandas libres dentro del espectro de los 2GHz a los 6GHz, y funciona en modos FDD y de TDD.

El sistema, con sensibilidad excelente y liderando el mercado de la tecnología de radio OFDM, es robusto para operar en condiciones adversas del canal y de línea de no vista. Con las radios de la alta potencia que dan soporte y facilitan el trabajo con las técnicas implementadas con las smart antenas, BreezeMAX además, activa el uso auto instalación dentro de ambientes INDOOR para las CPEs que se encuentre en ambientes urbanos y suburbanos densos.

BreezeMAX CPEs provee de acceso a banda ancha a una amplia gama de los clientes, incluyendo residencial, SOHO, SME, empresas grandes y clientes con múltiples usuarios. BreezeMAX está compuesta por una estación base de alta densidad, **Figura No 19.**, en ella se centraliza todo el trabajo de procesamiento de red, su tamaño es de 8 unidades de rack, posee su propia fuente de energía y alimentación para los módulos de interconexión a ella, además puede ser configurada bajo diferentes esquemas redundantes.

Figura No 19.
Estación base de alta densidad



Una unidad de procesamiento de red, **Figura No 20.**, la cual es el corazón de la estación base y sirve como unidad de procesamiento central, administrando los componentes de la estación base y de todas las unidades conectadas a ella; provee de acceso al tráfico del backbone por una interfase de red base T 100/1000, clasifica el tráfico, inicializa y establece la conexión, su política de funcionamiento se basa en el switcheo de datos, administración y control de alarmas del sistema.

Figura No 20.
Unidad de procesamiento de red



La unidad de acceso INDOOR/OUTDOOR, **Figura No 21.**, es una tarjeta wireless IEEE 802.16 / HyperMAN con características de MAC y MODEM y es la responsable por el establecimiento de la conexión inalámbrica además de la administración del ancho de banda; cada unidad de acceso INDOOR posee dos canales de 3.5/1,75 Mhz; complementa esto la unidad de acceso OUTDOOR de alta potencia, multiportadora y con capacidad de conexión a una antena externa.

Dado que la estación base trabaja en FULL DUPLEX, incrementa ostensiblemente la eficiencia del sistema con una baja relación a ruido.

Figura No 21.
Unidad de acceso INDOOR/OUTDOOR



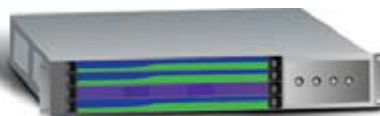
La micro estación base, **Figura No 22.**, es una solución alternativa y de menor costo para zonas menos pobladas y cuyos requerimiento de acceso a usuarios sea menor, es una combinación compacta de una unidad de procesamiento y una unidad de acceso.

Figura No 22.
Micro Estación base



El Gateway de acceso, **Figura No 23.**, un sus dos presentaciones, de bandeja y de rack, ofrecen capacidades desde 2 hasta 48 E1s, soporta además servicios de calidad telefónica gracias a que posee interconexión V5.2; se ubica típicamente como un switch que permite y direcciona trafico de voz de una o más estaciones bases sobre una conexión IP .

Figura No 23.
Gateway de acceso (presentación bandeja)



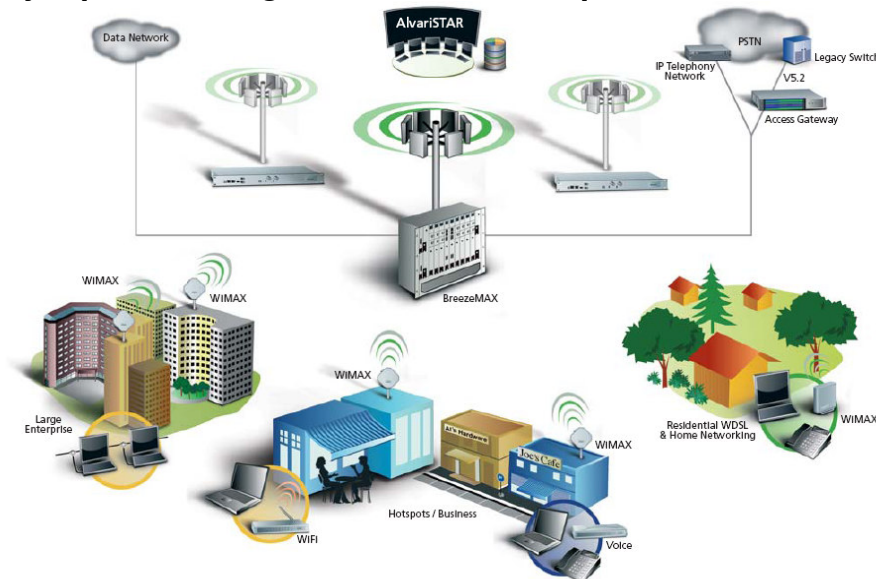
Una estación de acceso para usuarios finales, **Figura No 24.**, la cual brinda conectividad a uno o varios usuarios dependiendo como se configure el servicio, es ideal para entornos rurales o poco poblados, de igual forma brinda solución de conectividad a empresas medianas y pequeñas; con servicios para voz y datos y un avanzado respaldo de troncal local para el trabajo en red, permitiendo velocidades por encima de los 10 Mbps con 3,5Mhz por canal.

Figura No 24.
Estación de acceso para usuarios finales



Todos estos elementos anteriormente descritos se ubican dentro de la configuración basados en tecnología WiMax, tal como se muestra en la **Figura No 25.**, en este ejemplo se está mostrando la versatilidad, facilidad de configuración y escalabilidad dentro de cualquier entorno que se desee implementar.

Figura No 25.
Ejemplo de configuración WiMax con productos ALVARION



De la misma manera, Motorola ha diseñado su producto basado en tecnología WiMax, el cual se denomina Canopy, la cual se identifica como una poderosa solución inalámbrica fija de banda ancha mucho más rápida que prácticamente cualquier otra alternativa de acceso a alta velocidad, lo cual le permite ofrecer un servicio de Internet más productivo a todos los clientes. No se requieren licencias. No se necesita equipo ni infraestructura complejos. Además, con Canopy prácticamente se eliminan los problemas de interferencia de hoy en día. Y lo más importante de todo, es económico. De hecho su sistema Canopy puede ponerse en marcha en un solo día.

Gracias a la simplicidad y sofisticación del equipo Canopy, resulta sencillo diseñar y operar su propia red de acceso de alta velocidad a Internet. El sistema Canopy incluye un conjunto de bloques de construcción básicos: el Punto de Acceso, el Módulo Suscriptor, el Módulo de Administración de Clústeres (CMM) y el Módulo Backhaul (BH), la Antena GPS y el Supresor de Sobrecargas 300SS. Empezaremos por identificar la unidad de Punto de Acceso (AP), **Figura No 26.**, que nos permite distribuir servicios a la comunidad circundante. Un sitio con un Clúster AP puede prestar servicios a 1,200 Módulos Suscriptores con cobertura en todas las direcciones; es el nodo central con el cual se establece la comunicación con la ISP.

Figura No 26.
Emplazamiento de Punto de Acceso (AP)



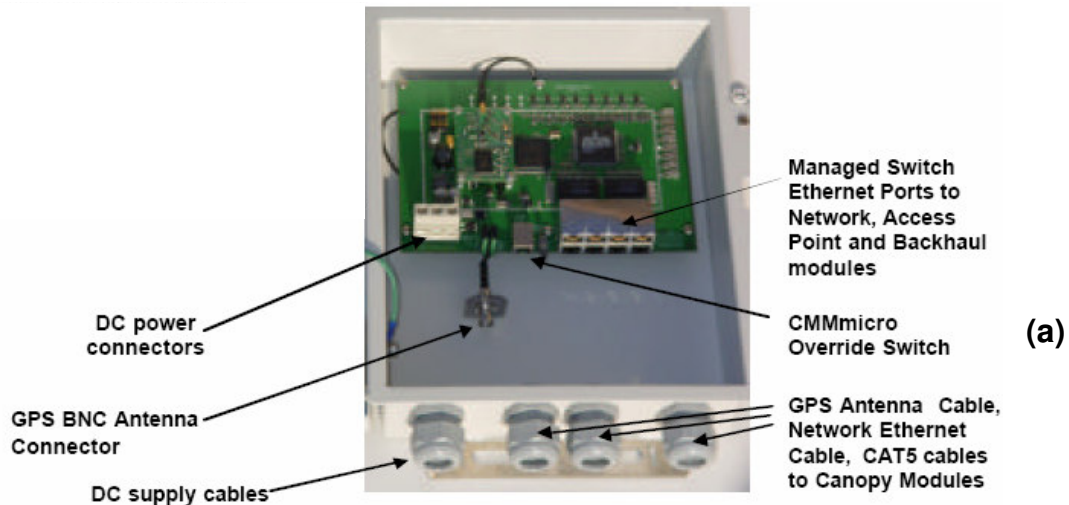
Ahora identificamos los módulos de abonado (SM), **Figura No 27.**, el cual puede identificarse de dos formas bajo un módulo básico (a) o como un módulo con reflector pasivo (b), estos se ubica en un punto alto cerca del usuario del servicio. Los Módulos Suscriptores son receptores de acceso a Internet que se instalan en los sitios de los suscriptores hasta a 3 kilómetros de distancia del AP.

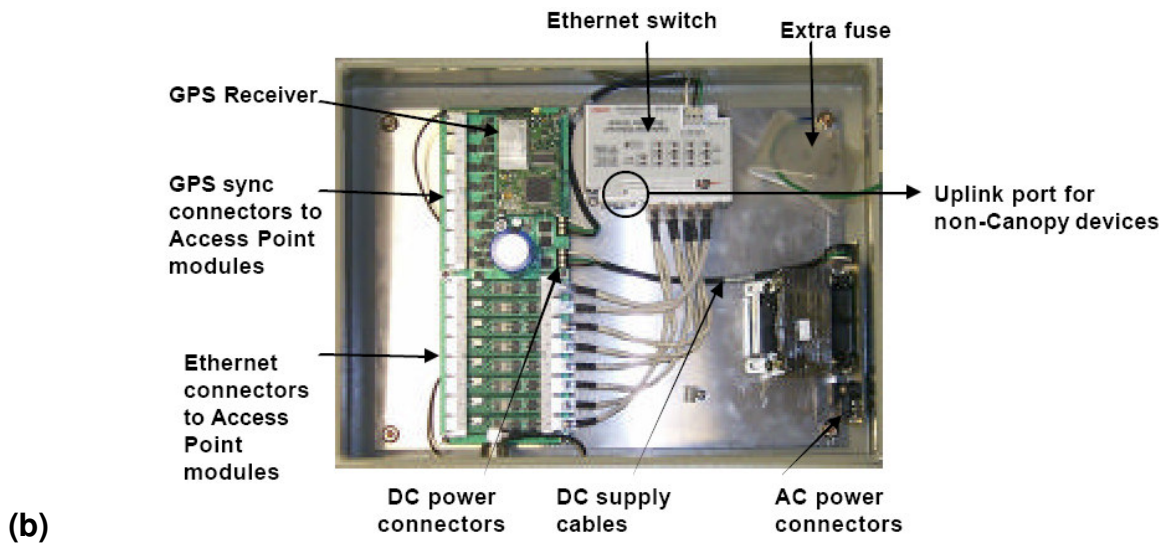
Figura No 27.
Módulos de abonados:
(a) básico y (b) con reflector pasivo



El módulo de administración de clústeres (CMM), **Figura No 28.**, el cual suministra alimentación a hasta 6 módulos SM, dos módulos Backhaul (BH), un Conmutador Ethernet y un Receptor GPS. También integra un campo de jacks para todas las conexiones, podemos encontrar dos formas básicas, una mini (a) y otra de configuración troncal (b), este último posee conexión coaxial para la señal GPS, además que provee de sincronismo a la señal GPS, soporta tanto la comunicación half como la full duplex, comportándose como un switch Ethernet.

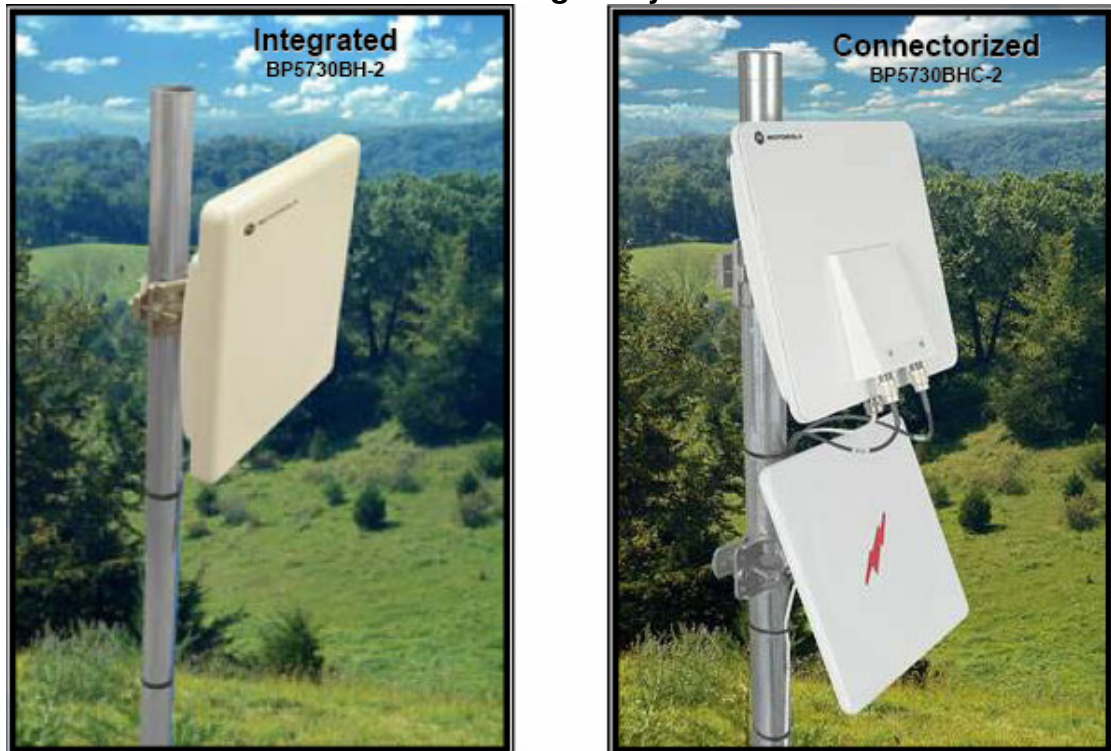
Figura No 28.
Módulos de Administración de Clústeres: (a) Mini y (b) Troncal





La Unidad Backhaul (BH), **Figura No 29.**, permite un alcance de 32 kilómetros o más a la señal alimentadora del proveedor de servicios de Internet. Por tanto sirve de Backbone ya sea con la ISP o con otra unidad BH, existe modelos integrados, conectorizados o con reflector pasivo, siendo los dos primeros los más utilizados y que se ilustran a continuación.

Figura No 29.
Unidad Backhaul Integrada y Conectorizada



Esta antena, **Figura No 30.**, permite no es más que un dispositivo que alimenta el Receptor GPS en el Módulo de Administración de Clústeres (CMM), lo cual genera pulsos de sincronización precisos en el sistema.

Figura No 30.
Antena GPS ubicada con un emplazamiento de AP



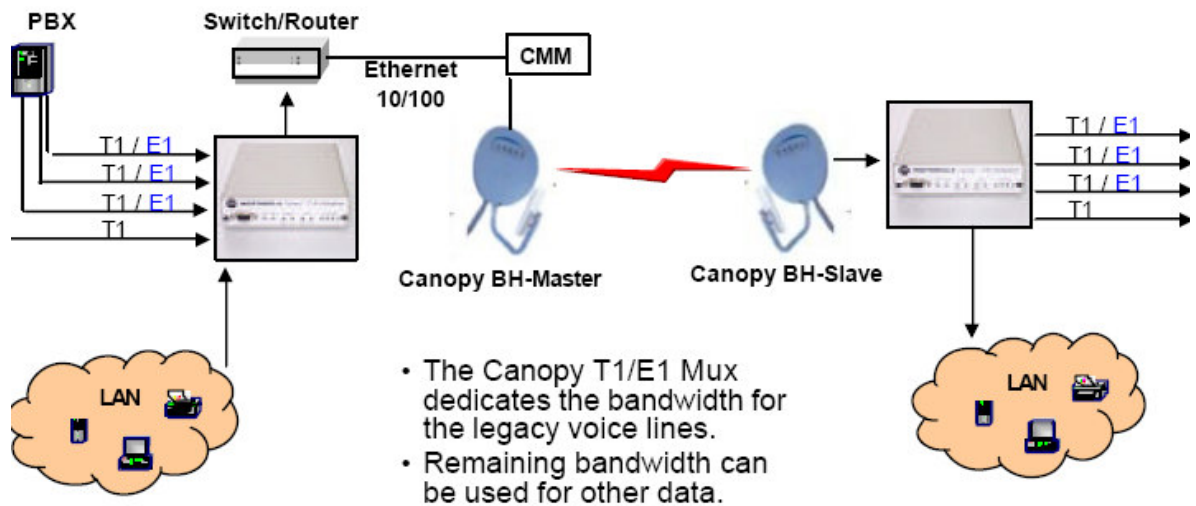
El Supresor de Sobrecargas 300SS, **Figura No 31.**, proporciona un trayecto de puesta a tierra para proteger el equipo en el hogar contra las descargas de rayos, esto es un complemento de seguridad para los usuarios del servicio Canopy.

Figura No 31.
Supresor de sobrecargas 300SS



Dentro de las posibilidades de configuración utilizando los productos de Motorola, se puede encontrar de la siguiente forma, para un entorno amplio tal y como se ilustra en la **Figura No 32.**, esta puede proporcionar comunicación troncal entre dos LAN,

Figura No 32.
Configuración de Troncal utilizando productos Motorola



Con el conocimiento de estos dispositivos y en base a todos los vistos anteriormente, se facilita la tarea de llevar a cabo cualquier implementación con respecto a la tecnología WiMax, ya que se tiene un mercado potencial, una demanda potencial creciente e insatisfecha, constante durante todo el año y que se incrementa en temporadas vacacionales o de congresos y encuentros, infraestructura física de torres instalada y una legislación reciente y que brinda el apoyo suficiente, ya que se esta en la vía de masificar el uso de la banda ancha y las tecnologías inalámbricas de última generación.

5.3. Aspectos Teóricos para Considerar

Complementando lo anterior se podrían contemplar los siguientes aspectos relacionados con las antenas, su ubicación, entorno y características del sistema en general; en la **Figura No 33**, se observa una imagen satelital y resaltado con un contorno blanco, el área de influencia para la implementación del servicio Wimax, y con una línea amarilla, que une dos puntos rojos, se identifica la

distancia de la antena base principal al centro de Convenciones de Cartagena “Julio Cesar Turbay”, la cual corresponde aproximadamente a una distancia de 250 metros.

Figura No 33.
Imagen Satelital de Área del Centro Histórico y Distancia entre Antena Base y Centro de Convenciones



Dentro de las consideraciones importantes se encuentran:

5.3.1. Atenuación en el Espacio Libre

Si la antena emisora es isotrópica, la potencia emitida por unidad de área de la superficie de una esfera, lo cual equivale a la densidad de potencia, y que se identifica por la ecuación: $P_d = P_t / 4.\pi.d^2$, donde P_t es la potencia transmitida por

la antena y **d** es la distancia entre las antenas y el punto bajo estudio, en este caso haría referencia al radio de la esfera.

El área efectiva de una antena receptora se define como la superficie del frente de onda plano con densidad de potencia **Pd** que dispone de una potencia equivalente a la entregada por la antena. Para la antena isotrópica el área eficaz es: **Ae = $\lambda^2/4.\pi$** , donde λ es la longitud de onda del campo radioeléctrico. Por ejemplo, para una frecuencia de 3 GHz con longitud de onda de 10 cm el área efectiva es de 7,96 cm². Se entiende entonces el hecho de la baja potencia captada. Relacionando ambos elementos se dispone de la potencia de recepción **Pr** en función de la **Pt** para antenas isotrópicas: **Pr = Pt. $\{\lambda/4.\pi.d\}^2$**

La potencia recibida es inferior a la transmitida debido a la imposibilidad de captar toda la potencia generada. Se puede expresar como una atenuación (por la propagación en el espacio libre de obstáculos) entre antenas isotrópicas. De acuerdo con normas internacionales de telecomunicaciones, el valor de la atenuación por espacio libre quedaría expresado como se muestra a continuación: **Ao = 10. log Pt/Pr = 32,5 dB + 20. log (f.d)**, con la frecuencia **f** en MHz, la distancia **d** en Km y la atenuación **Ao** en dB.

5.3.2. Atenuaciones Adiciones.

Otras de las atenuaciones que deben tenerse en cuenta, se mencionan a continuación y algunas de ellas, debido a su importancia, se mencionaran más adelante. Entonces debido a propagación atmosférica produce:

- refracción en la atmósfera (levantamiento del horizonte);
- difracción por zonas de Fresnel (atenuación por obstáculo);
- atenuación por reflexiones en el terreno;
- desvanecimiento por múltiple trayectoria (formación de ductos);
- absorción por arboledas cercanas a la antena;
- absorción por gases o hidrometeoros (lluvia, nieve, etc);
- dispersión de energía debido a precipitaciones;
- desacoplamiento de la polarización de la onda.

5.3.3. Margen de Desvanecimiento (FM)

Se define sobre el mismo el Margen de Desvanecimiento **FM (Fading Margen)** como la diferencia en dB entre el nivel de la potencia recibida **Pn** y el nivel mínimo de potencia que asegura una determinada tasa de error BER (denominada potencia umbral del receptor **Pu**).

$$FM = Pn - Pu$$

La potencia de recepción nominal se obtiene restando a la P_t en dBm las atenuaciones debidas a filtros y circuladores (branching) A_b , a cable coaxial o guía de onda A_g , al espacio libre A_o y sumando las ganancias de antenas G_a . Expresando lo anterior en términos matemáticos, queda expresado de la siguiente manera: $P_n = P_t - A_{b1} - A_{g1} + G_{a1} - A_o + G_{a2} - A_{g2} - A_{b2}$

Los valores de atenuación por filtros son cercanos a 0,2 dB dentro de la banda de paso. Los circuladores producen una atenuación en el sentido directo cercano a 0,2 dB. Por ello el valor A_b depende del número de componentes en el branching.

La atenuación de cable coaxial o guía de onda se expresa en dB/100m de longitud y es una función directa de la frecuencia de trabajo. La ganancia de la antena se expresa en la dirección de máxima directividad y es función directa de la frecuencia.

La potencia umbral del receptor P_u , se determina para los umbrales de BER en 10^{-3} y 10^{-6} . Como referencia se puede indicar los valores típicos de la **Tabla No 11**. Los valores de P_{u3} se asocian con la BER= 10^{-3} y los objetivos de indisponibilidad (US) y calidad inaceptable (SES), mientras que el P_{u6} para BER= 10^{-6} se asocia con la calidad degradada (DM). El margen de desvanecimiento FM se puede ver reducido debido a la presencia de obstáculos, interferencias y desvanecimiento.

Tabla No 11.
Valores Típicos de Potencia Umbral

<i>Sistema</i>	<i>P_t</i>	<i>P_{u3}</i>	<i>P_{u6}</i>	<i>Frecuencia</i>
34Mb/s-4PSK	25 dBm	-83 dBm	-79 dBm	7/8 GHz
140Mb/s-16QAM	28 dBm	-75 dBm	-71 dBm	6 GHz alta
140Mb/s-64QAM	28 dBm	-71 dBm	-67 dBm	6 GHz baja

5.3.4. Índice de Refracción

A continuación se analizará el efecto de la refracción y la forma de expresarlo en términos de una degradación del margen de desvanecimiento. Según las normas del ITU-R basada en el documento Rc.369 y Rc.453, en los cuales se define la atmósfera de referencia para la refracción. La variación del índice de refracción n es una función de la altura sobre el nivel del mar, de las condiciones atmosféricas y de la época del año. Se ha determinado la siguiente ley de variación:

$$n(h) = 1 + a \cdot \exp(-b \cdot h)$$

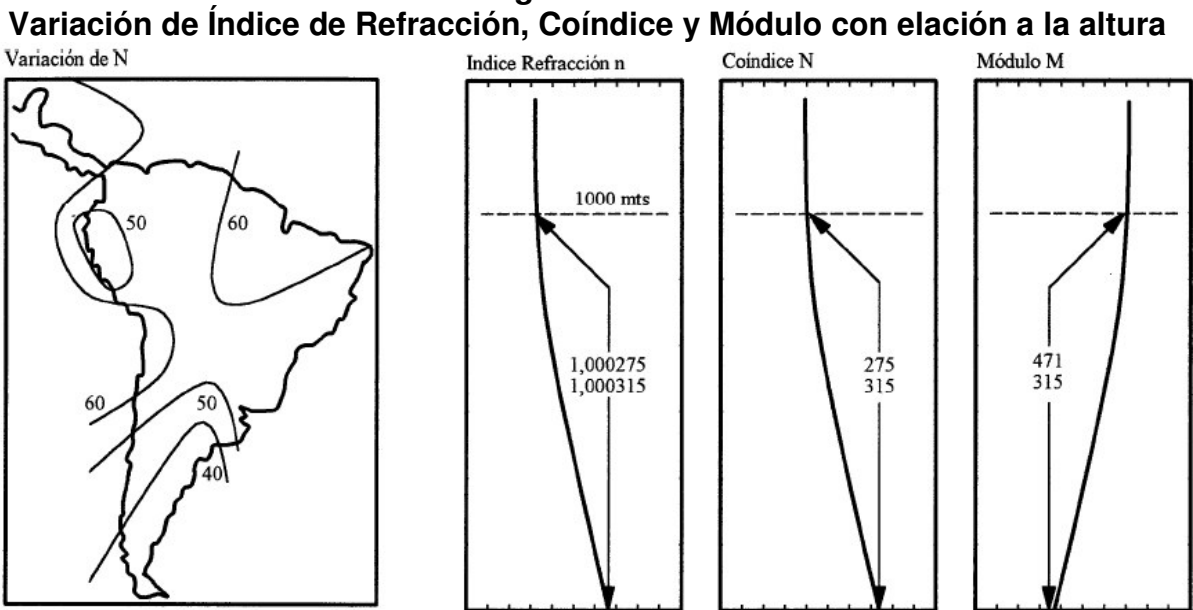
Donde, **a** y **b** son constantes que se determinan por métodos estadísticos y **h** es la altura sobre el nivel del mar en Km.

El índice de refracción se define como el cociente entre la velocidad de propagación de la onda radioeléctrica en el vacío y la velocidad de la onda a la altura **h** en la atmósfera. Como referencia se ha determinado el valor:

$$n(h) = 1 + 315 \cdot \exp(-0,136 \cdot h) \cdot 10^{-6}$$

Expresado lo anterior en palabras, a la altura del nivel del mar (**h= 0 km**) el índice de refracción es 1,000315. Como el índice **n** disminuye desde 1,000315 en forma exponencial con el incremento de la altura se dice que en una atmósfera normal la derivada del índice respecto de la altura ($\partial n / \partial h$) o gradiente, es negativa. Ver a tal efecto la **Figura No 34.**

Figura No 34.



5.3.5. Coíndice de Refracción

Como el valor de **n** es cercano a la unidad se prefiere definir el coíndice de refracción **N** como: $N = (n-1) \cdot 10^6$ es decir, para $n=1,000315$ el $N=315$, lo cual resulta en una valor más cómodo. En la **Figura 34.**, se muestra un ejemplo. El valor de **N** y **n** es una función climática:

$N = 77,6/T \cdot (P + 4810 \cdot e/T)$; donde $p = 216,7 \cdot e/T$ donde **P** es la presión atmosférica en milibares, **e** es la presión del valor de agua en mb y **T** la temperatura en grados Kelvin.

La relación **e/T** da lugar a la concentración del vapor de agua **p** en gr/m^3 .

5.3.6. Módulo de Refacción (M).

Es el exceso del índice modificado con relación a la unidad:

$$M = (n + h/Ro - 1) \cdot 10^6$$

donde $(n + h/Ro)$ se denomina índice de refracción modificado y está determinado por la altura h y el radio de la Tierra $Ro = 6370 \text{ Km}$. Cuando h corresponde al nivel del mar el valor de M corresponde a N , es decir: $M = N + h/Ro \cdot 10^6$

Obsérvese que el valor de M se incrementa con la altitud. Como el índice de refracción n disminuye con la altura se tiene que la onda radioeléctrica se curva hacia abajo debido a la ley de Snell. Por ello es importante el valor del gradiente entre el índice y la altura cercano a la superficie de la Tierra.

5.3.7. Gradiente del Índice de Refracción

Se ha definido el gradiente normal del coíndice de refracción al valor medio del gradiente en los primeros 1000 m de altura para zonas templadas. El mismo corresponde a $N(h)$:

$$\begin{array}{llll} h= 0 \text{ Km}; & n(0)= 1,000315 & \text{y} & N(0)= 315 \\ h= 1 \text{ Km}; & n(1)= 1,000275 & \text{y} & N(1)= 275: \quad \delta N/\delta h= -40 \text{ N/Km} \end{array}$$

Una atmósfera se define como subnormal (sub-estándar) cuando el gradiente supera el umbral de $-40/\text{Km}$ y como supernormal (super-estándar) si es inferior a $-40/\text{Km}$. Como se trata de un valor normal el 50% del tiempo se está por encima o por debajo de este umbral. Los valores de $\delta N/\delta h$ dependen del clima y en la **Figura 34** se mostró la información para Sur América.

5.3.8. Condiciones de Propagación.

Los factores atmosféricos que intervienen en la propagación son:

-Convección: producida por el calentamiento del suelo lo cual introduce una reducción de temperatura con la altura. Se encuentra en tiempo claro y corresponde a una propagación estándar.

-Turbulencia: producida por efecto del viento y con condiciones de propagación estándar.

-Advensión: se trata de un desplazamiento horizontal de masas de aire debido al intercambio de calor y humedad entre el aire y el suelo. Cuando una masa de aire

cálido y seco incide desde la tierra hacia el mar las capas inferiores se enfrían y se cargan de humedad lo cual crea una capa de inversión del índice de refracción.

-Subsidencia: correspondiente a un desplazamiento vertical de aire a alta presión lo cual genera una capa de inversión del índice de refracción. Dicha capa se denomina conducto y produce una propagación de múltiples trayectorias.

-Enfriamiento: producido durante la noche por irradiación de la tierra lo que introduce una inversión del gradiente de temperatura.

-Niebla: produce una variación en el gradiente del índice de refracción. Si existe una inversión en el gradiente de temperatura la presión del vapor aumenta con la altura y se produce una propagación sub-estándar.

La propagación estándar es favorecida por la baja presión, la turbulencia y el cielo cubierto. En cambio la propagación no estándar se ve favorecida por la alta presión, la subsidencia y el cielo claro. Las mejores condiciones de propagación se obtienen con terrenos ondulados (debido a las corrientes verticales de aire), con trayectos oblicuos (debido al cruce de capas atmosféricas en forma transversal), en época invernal y por la noche.

5.3.9. Radio Ficticio de la Tierra (K)

Como la onda radioeléctrica se curva hacia abajo en una atmósfera normal, se define el factor de radio ficticio de la Tierra **K**, que permite suponer a la onda en una propagación rectilínea y a la Tierra con un radio aparente **Ra** distinto al radio real **Ro**: **Ra = K.Ro** donde **Ro es 6370 Km**.

La curvatura del rayo en la atmósfera se relaciona con el gradiente del índice mediante: $1/\sigma = - \delta n / \delta h$ con σ el radio de curvatura del rayo. La curvatura de la Tierra respecto de la curvatura del rayo es: $1/Ro - 1/\sigma = 1/K.Ro$

Por lo tanto, el valor de **K** se relaciona con el coíndice de la siguiente forma de acuerdo con ITU-R I.718-2: $K = (1 + Ro.\delta n / \delta h)^{-1} = (1 + 0,00637.\delta N / \delta h)^{-1}$

El valor de **K** sigue las estadísticas de **N**. Se dice que el horizonte de la Tierra se "levanta" cuando **K** es inferior al valor promedio. Para $\delta N / \delta h = -40/Km$ el valor de **K** es de **1,34 (conocido como 4/3)**; esto corresponde a un radio aparente de la Tierra de 8500 Km.

La curvatura del rayo depende del gradiente y los cambios de éste pueden producir conductos y propagación por caminos múltiples o desenfoque de las antenas. Además pueden producirse atenuaciones por obstrucción. En la propagación por el espacio libre la energía se dispersa en dos direcciones ortogonales respecto al sentido de propagación. Por ello la atenuación del espacio libre es una función cuadrática de la distancia. Según ITU-R I.718-2 en el caso de altos valores de gradiente del índice se produce una reflexión en un conducto

atmosférico y la atenuación es menor pudiendo llegar a ser proporcional a la primera potencia de la distancia. En el caso extremo de un conducto continuo entre antenas emisora y receptora la atenuación del espacio es:

$$A_o = 32,5 \text{ dB} + 20 \cdot \log f + 10 \cdot \log d$$

que para una distancia de **50 km** corresponde a una diferencia de nivel de **17 dB**.

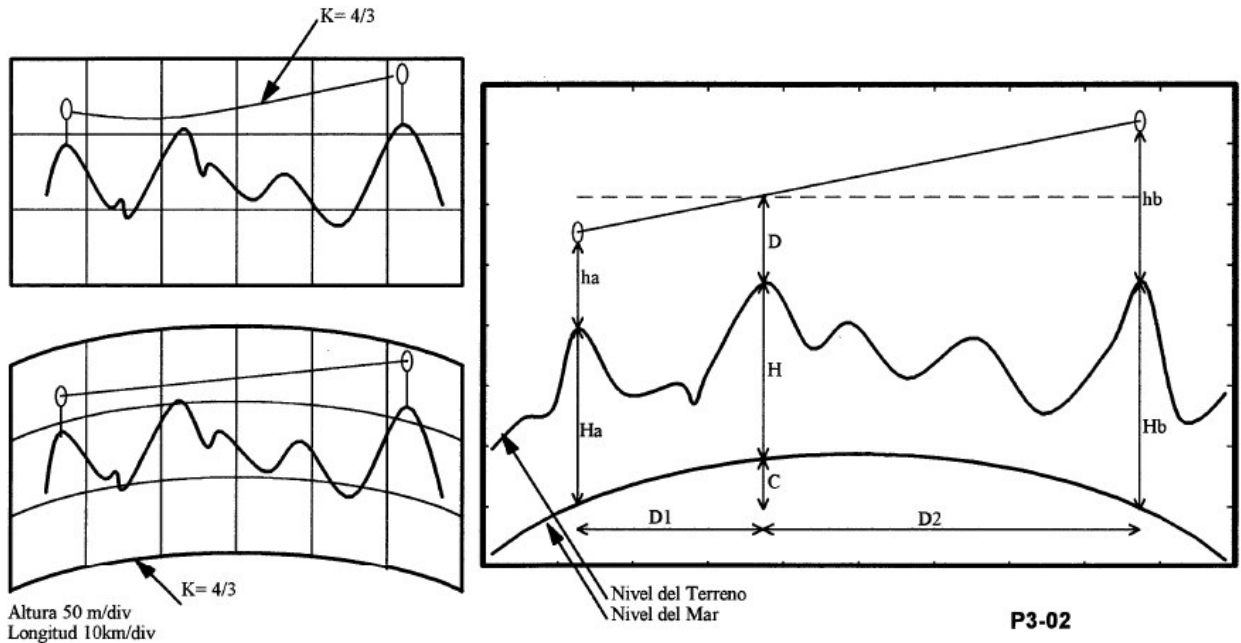
La propagación normal es favorecida por la baja presión creada por turbulencias y el cielo cubierto. Generalmente provocadas en terreno rugoso o montañoso. El valor de **K= 4/3** corresponde a una región de clima tropical templado. En regiones árticas el valor estándar corresponde a **1,2** mientras que en el trópico se incrementa a **1,6**. Esta conclusión puede obtenerse de los valores presentados en la **Figura No 34**.

El valor estándar de **K** se debe completar con el valor de **K** para el "peor caso". En ITU-R I.338-5 se indica el comportamiento de **K** en un clima tropical templado en función de la longitud del enlace para una atmósfera subnormal en el 99,9 % del tiempo. Por ejemplo, para una longitud del enlace de **50 Km** el valor de **K= 0,8** es superado el 99,9 % del tiempo.

5.3.10. Protuberancia del Terreno

Aunque para el diseño propuesto no existe una protuberancia entre las antenas receptora y emisora, es un detalle técnico que debe ser tenido en cuenta; además si se planea llevar la señal más allá de los límites del cerro de la popa, entonces, se debe poner en consideración. Como método de trabajo se pueden seguir los siguientes: primero, se gráfica en una cuadrícula ortogonal el perfil del terreno y el rayo que une las antenas tiene una curvatura de acuerdo con el valor de **K**. segundo, como otra posibilidad: se gráfica el perfil del terreno sobre una Tierra con curvatura correspondiente a **K= 4/3** y el rayo es recto. En ambos casos se observa que la Tierra se levanta cuando el valor de **K** disminuye. Ambas posibilidades se muestran en la **Figura No 35**.

Figura No 35.
Perfil de Protuberancias de un Terreno



Se puede determinar el valor de la curvatura (protuberancia) de la Tierra en un punto del enlace mediante: $C = \frac{4 * (d1 * d2)}{51 * K}$; donde, **C** es la curvatura expresada en metros y las distancias **d1** y **d2** se indican en Km. El valor de **C** se incrementa cuando **K** disminuye. Cuando se efectúan inspecciones visuales de los obstáculos se debe tener en cuenta que los rayos luminosos no se curvan tanto como las microondas. La atmósfera normal para la luz visible tiene un **K=1,18** (valor mínimo que corresponde a la refracción mínima y estable entre las 12 y 15 hs). Téngase en cuenta que el valor usado como estándar (**K=1,34** y **$\delta N = -40$ /Km**) es distinto para otros lugares del planeta. Por ejemplo, en algunas partes de Sur América se tiene **$\delta N = -60$ /Km** lo que corresponde a un valor de **K=1,62**. Si se supone un enlace de **50 Km** con un obstáculo ubicado a **d1=20 Km** y **d2=30 Km** desde las estaciones. El valor de **C** para **K=4/3** es de **35 mts** mientras que el valor de **C** para **K=1** es de **47 mts**. Se puede decir que la variación del factor **K** desde **4/3** a **1** produjo que la Tierra se "levante" **12 metros**.

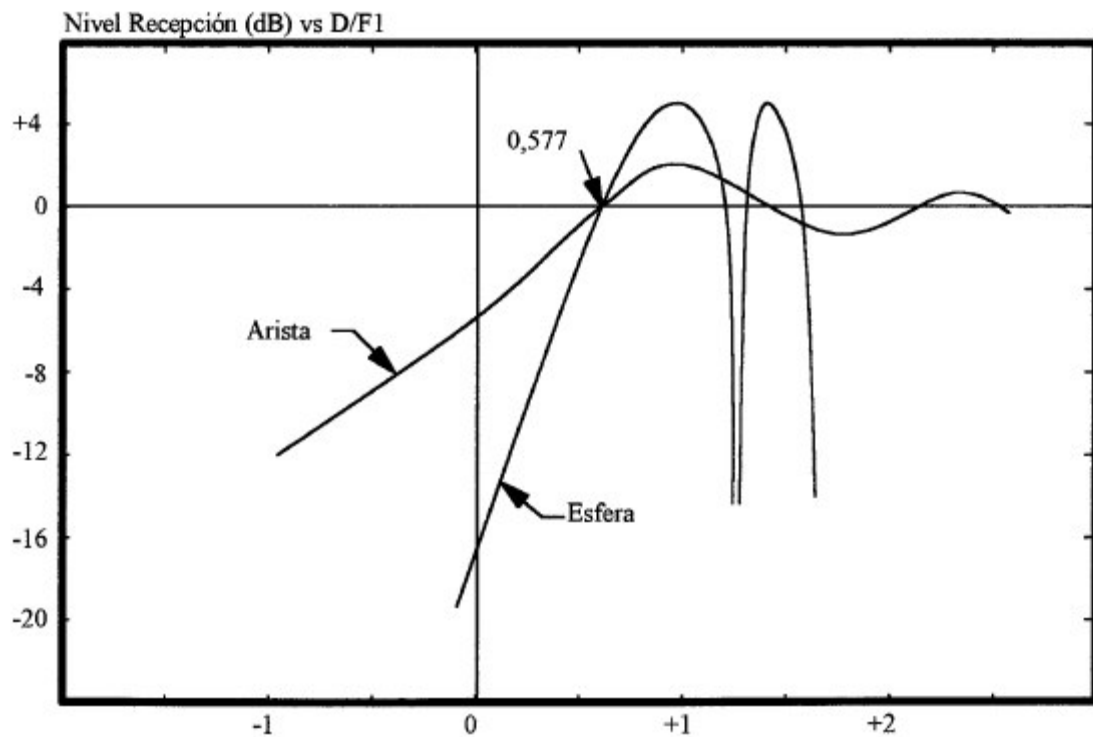
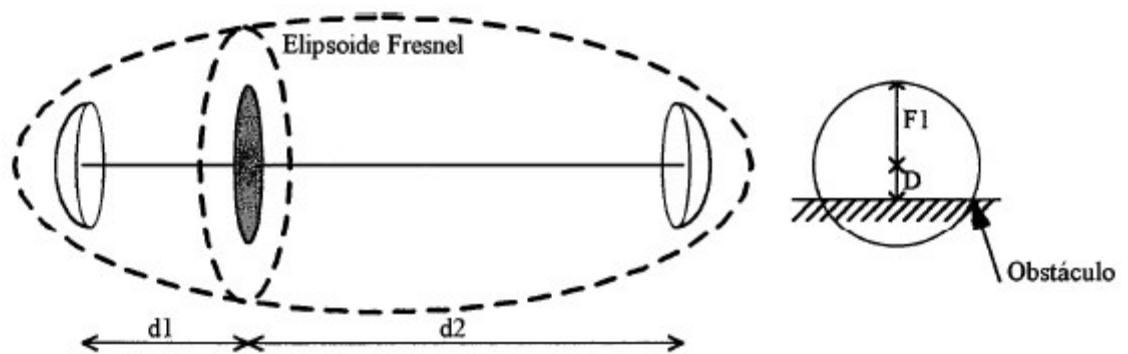
5.3.11. Efecto de la Difracción sobre la Propagación

Una antena se asimila a un emisor de un frente de onda en expansión. De acuerdo con el principio de Huygen⁶¹, cada elemento del frente de la onda produce

⁶¹ físico holandés del siglo XVII

un frente de onda secundario. Es decir que, a la antena receptora llega señal desde cada punto del frente de onda (señal difractada); existen entonces infinitos caminos que unen las antenas. Como los rayos así difractados recorren un camino más extenso llegan con un cierto retardo que puede producir una interferencia que se suma o se resta de acuerdo con la fase relativa. El efecto queda determinado por una familia de elipsoides de Fresnel⁶², las cuales se expresan en las zonas o zona de Fresnel, con focos en las antenas. En la **Figura No 36** se observa un elipsoide genérico correspondiente a dicha familia.

Figura No 36.
Elipsoide de Fresnel y Efecto de la Difracción en la Atmósfera



⁶² matemático francés del siglo XIX

5.3.12. Zonas de Fresnel

Se denominan zonas de Fresnel a las coronas circulares concéntricas determinadas por los rayos difractados que se suman en fase y en contrafase en forma alternada. Dentro del elipsoide de revolución la primera zona de Fresnel se caracteriza por el radio F_1 a una determinada distancia de la antena.

En ITU-R I.715 se indica la relación entre los distintos elementos que interviene:

$$F_N = 550 * \sqrt{\frac{N * d1 * d2}{f * (d1 + d2)}}$$

donde **d1** y **d2** corresponden a las distancias desde las antenas en km, **f** es la frecuencia en MHz y **N** es el número del elipsoide. El valor de **F_N** resulta en metros.

Las zonas pares (N= 2, 4, 6, etc.) tienen una contribución sustractiva de potencia pues el rayo directo y el difractado se suman en contrafase y las zonas impares tienen una contribución aditiva. La potencia de recepción es la suma de todas las contribuciones; las amplitudes de estas contribuciones disminuyen en la medida que se incrementa el orden **N**. Las zonas de Fresnel aportan una intensidad de campo proporcional a la superficie de la zona y a un factor de oblicuidad. A causa de este factor el aporte de cada zona disminuye con el orden de la zona. En conjunto el aporte combinado desde la zona 2 en adelante es solo la mitad del aporte de la primera zona; a manera de guía se dispone de la **Tabla No 12**, en donde se dispone de la equivalencias de distancias entre antenas y el radio equivalente para la zona de Fresnel con una obstrucción aproximada al punto medio de la elipsoide.

Tabla No 12.
Valores Típicos la Elipsoide de Fresnel para un Obstáculo ubicado en un Punto Medio

Distancia entre antenas (en Km)	Zona de Fresnel (en metros)
1	3.9
2	5.6
3	7.1
4	8.4

5	9.7
6	11.0
7	12.3
8	13.6
9	15.0
10	16.4
11	17.9
12	19.4
13	21.0
14	22.7
15	24.4
16	26.2
17	28.0
18	29.9
19	31.9
20	34.0
25	45.4
30	58.7

El principio de Huygen es una interpretación teórica que responde a un efecto determinado de las leyes de Maxwell con las condiciones de contorno correspondientes a la presencia de un obstáculo. El resultado de la difracción producida por un obstáculo es como si ocurriera dicho principio. El despejamiento **D** indicado en la **Figura No 36.**, determina la separación entre el obstáculo y el rayo directo entre antenas. Es natural que el valor de **D** sea finito y por lo tanto se produzca una obstrucción de alguna parte de las zonas de Fresnel.

5.3.13. Atenuación por Obstrucción

En la **Figura 36.**, se mostró la atenuación introducida por el obstáculo en función de la relación entre el despejamiento y el primer radio de Fresnel **D/F1** expresados en la misma unidad.

El valor mostrado en la **Figura 36.**, es válido cuando se trata de una atmósfera estándar. Cuando el valor de **K** es inferior a **4/3** el rayo se curva hacia la Tierra y la obstrucción aumenta. Obsérvese que un horizonte representado por una esfera homogénea produce mayor atenuación por difracción que una arista. La Tierra

plana tiene una curva igual a la esfera homogénea por encima de $D/F1=0,2$; por debajo la atenuación es mayor a la esfera. La esfera o Tierra plana produce una inversión de fase de 180° en la reflexión; la cual varía de acuerdo con las imperfecciones del terreno.

La expresión para la arista se aproxima, para valores de $D/F1$ inferiores a -1 , mediante:

$$At = 6,9dB + 20 * \log \left(\frac{D}{F1} + \sqrt{\left(\frac{D}{F1}\right)^2 + 1} \right)$$

Téngase en cuenta que con $D/F1=0$ la atenuación es de **6 dB** para una arista. En ITU-R I.338 se indica el valor para un obstáculo promedio: $At = 10 + 20 \cdot \log D/F1$ cuando el valor de $D/F1$ es inferior a $-0,5$.

Cuando el valor de $D/F1$ es positivo, es decir cuando el rayo pasa sobre el obstáculo se producen zonas de ganancia y atenuación sucesivas. Las mismas corresponden a obstaculizar las zonas pares e impares respectivamente. Un valor muy interesante corresponde a $D/F1$ cercano a **0,6**. En este valor se compensa la atenuación producida sobre las zonas pares con las impares y el nivel de recepción es equivalente al obtenido en el espacio libre de obstáculos. En otras palabras, si se dispone de un despejamiento equivalente a $D = 0,6 \cdot F1$ se puede aplicar la teoría desarrollada en la **ECUACIÓN DEL ENLACE**, de la cual se habla en la **sección 5.4**. Este valor se denomina criterio de planificación o de despejamiento.

El ITU-R I.136 indica la atenuación promedio que introduce una arboleda como obstáculo cuando se encuentra cerca de la antena hasta una distancia de 400 m: $A = 0,2 * f^{0,3} * L^{0,6}$; donde, la frecuencia f , se expresa en MHz (válida hasta 10 GHz) y la longitud L de la arboleda en m. El valor real es función de la densidad de la vegetación, la humedad de las hojas, la presencia de nieve acumulada en el follaje (para el caso en donde aplique este criterio), etc. Cuando la arboleda se encuentra cerca de la antena la onda se propaga en su interior y sufre una atenuación por absorción. En cambio, si la arboleda se encuentra lejos de la antena se comporta como un obstáculo del tipo arista y produce difracción.

5.4. Ecuación de Enlace

Los elementos involucrados en la ecuación del terreno teniendo en cuenta el efecto de protuberancias y de difracción de Fresnel son mostrados en la **Figura No 35**:

H1= Ha+ha; altura del terreno sobre el nivel del mar más la altura de la antena en la estación A.

H2= Hb+hb; corresponde a la misma definición en la estación B.

H3= C+H+D; altura del rayo en el obstáculo constituido por la curvatura del terreno más la altura del obstáculo sobre el nivel del mar más un despejamiento adicional por difracción.

d1, d2; son las longitudes desde las estaciones A y B hasta el obstáculo.

Se puede, establecer una relación de proporcionalidad entre estos elementos, tal y como se muestra a continuación: **(H3-H1)*d2 = (H2-H3)*d1**

En general las incógnitas son las alturas de las antenas **ha** y **hb**. El valor de **C** es calculable en función de **K** y el valor **D** depende de la difracción.

5.4.1 Errores de Cálculo

El estudio de un enlace en un papel cuadrículado introduce los siguientes errores (despreciables) de cálculo:

Las elevaciones se dibujan siguiendo líneas verticales y no radios desde el centro de la Tierra como son realmente. En 50 Km de enlace el ángulo de divergencia es de 0,22°.

La longitud del enlace real no es la medida sobre la superficie de la Tierra; debe tenerse en cuenta la inclinación vertical (diferencia de altura entre antenas). El ángulo para 50 km de enlace y 1000 mts de diferencia es de 1,15°.

El radio de Fresnel es perpendicular al trayecto entre antenas; se lo dibuja en cambio perpendicular al terreno. El error es un ángulo similar, como en el ítem anterior.

La línea de unión entre antenas recta sobre el mapa no representa el trayecto radioeléctrico verdadero; éste sigue un círculo máximo sobre la esfera.

El valor de **K** no es el mismo a lo largo de todo el trayecto por cambios de terreno (rugosidad), humedad y temperatura (vegetación, cultivos, lugares habitados).

Los mapas no representan la realidad actual. Los cambios deben ser actualizados mediante una inspección en el terreno.

5.4.2. Criterios de Despejamiento

Como se describió en los ítems anteriores, **sección 5.4.3.**, la curvatura de la Tierra es una función estadística de innumerables variables atmosféricas, climáticas y del terreno. El resultado es que la atenuación producida por el enlace es una variable de la cual se puede conocer el valor medio representado por la atenuación del espacio libre en el mejor de los casos.

Como se dispone de una función estadística de varias variables se han generado los denominados criterios de planificación.

Se trata de reglas generales que se cumplen en la mayoría de los casos y permite resolver el problema de cálculo. Resultan ser de simple aplicación y a partir de dicho punto puede considerarse sólo la atenuación del espacio libre.

En ITU-R I.338 se propone un resumen de los criterios de distintos países. Por ejemplo:

Francia (Boithias y Battesti-1967): selecciona la peor de las siguientes condiciones:

D= 0.F1 y C para el valor K en el 99,9%

D= 1.F1 y C para K= 4/3

El **Reino Unido** propone el valor de:

D= 0,6.F1 y C para K= 0,8

Alemania selecciona la más desfavorable de las siguientes condiciones:

D= 0,3.F1 y C para K= 4/3

D= 0.F1 y C para K= 1

Los **Estados Unidos (Vigants-1975)** también establecen las posibilidades siguientes:

D= 0,3.F1 y C para K= 0,66

D= 1.F1 y C para K= 4/3

En el mismo Informe el ITU-R propone un criterio basado en las experiencias anteriores adoptando la condición más desfavorable entre:

D= 1.F1 y C para K= 4/3

D= 0.F1 y K para el 99,9% c/obstrucción aislada

D= 0,3.F1 y K para el 99,9% c/obstrucción continua

D= 0,6.F1 y K para el 99,9% trayectos mayores 30 Km

Algunas compañías comerciales proponen criterios semejantes de planificación. La empresa Siemens se refiere a la condición más desfavorable entre las siguientes posibilidades:

Enlaces en UHF hasta 1000 MHz

$D = 0,1.F1$ y C para $K = 0,66$.

Se considera una atenuación por obstáculo para $K = 4/3$

Enlaces entre 1500 y 2000 MHz

$D = 0,6.F1$ y C para $K = 4/3$

$D = 0,3.F1$ y C para $K = 0,66$

Enlaces superiores a 2000 MHz

$D = 0,6.F1$ y C para $K = 0,66$

$D = 1.F1$ y C para $K = 4/3$

$D = 0,6.F1$ y C para $K = 4/3$ (antena diversidad de espacio)

Para frecuencias en la gama de 500 a 1000 MHz suele ser necesario operar con márgenes negativos sobre los obstáculos, compensando la atenuación adicional con potencia de transmisión o ganancia de antenas. La atenuación de los coaxiales y el radio de Fresnel impiden la elevación de la altura de antenas.

Desde el punto de vista de la **Figura 36** los criterios indican:

Se adopta un despejamiento de $0,6.F1$ (caracterizado por una atenuación igual a la del espacio libre) durante el 99,9% del tiempo cuando $K = 0,8$ en 50 Km de longitud.

En cambio, se puede indicar un despejamiento igual al radio de Fresnel ($D = 1.F1$) caracterizado por una ganancia de potencia durante el 50% del tiempo ($K = 4/3$).

No tiene sentido un criterio que indique $D = 0.F1$ y $K = 4/3$ ya que implica una atenuación adicional sobre el cálculo sobre el espacio libre durante el 50% del tiempo. Un criterio con $D = 1.F1$ con $K = 0,8$ implica una sobre estimación (incremento de nivel sobre el 99,9 % del tiempo).

5.5. Reflexiones en el Terreno

5.5.1. Rayo Reflejado.

Sobre un enlace que posee zonas planas la antena receptora puede recibir un rayo reflejado en el terreno. El mismo puede sumarse con distinta fase sobre el rayo directo y producir atenuación o ganancia. Las variables de este modelo son (entre otras): la altura de antenas y el factor K. Otro posible rayo reflejado en la atmósfera genera la teoría de caminos múltiples (desvanecimiento selectivo).

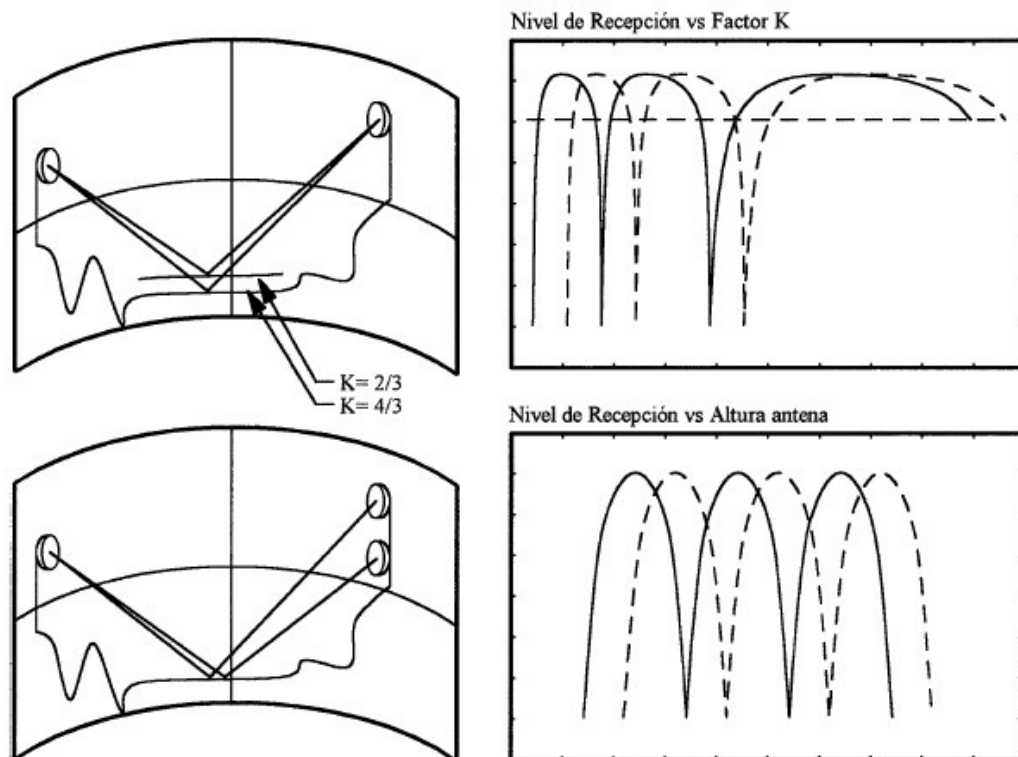
Se define el Coeficiente de reflexión de un terreno que se encuentra entre 0 (sin reflexión; obstáculo en arista) y -1 (el menos simboliza el desfase de 180° por

reflexión). Si la superficie del terreno presenta suficientes irregularidades la reflexión es dispersada. Cuanto mayor es la frecuencia del enlace las irregularidades más pequeñas producen dispersión y reducción del coeficiente. La polarización tiene escasa influencia en trayectos sobre tierra. Pero sobre el mar la polarización vertical se comporta mejor que la horizontal. El coeficiente de reflexión disminuye más rápido en la medida que el viento produce el mar crispado, aspectos que deben ser tenidos en cuenta al momento de polarizar la antena y la influencia de los vientos anuales, teniendo que recurrir a las entidades respectivas como el IDEAM para conocer sobre los valores históricos de este aspecto.

5.5.2. Efecto del Factor K.

En la **Figura 37.**, se muestra el efecto que sobre la posición del rayo reflejado tienen la modificación del factor K y que sobre la potencia de recepción tiene la altura de antenas. En tanto el valor de K disminuye, el horizonte se levanta (protuberancia de la Tierra) y el lugar de reflexión cambia. También cambia la longitud del camino reflejado y por ello la diferencia de fase entre el rayo directo y reflejado. Esto produce que la potencia de recepción es variable con el factor K.

Figura No 37.
Efecto del Factor K



Cuando se cambia la altura de una antena se produce un efecto similar al anterior. El nivel de potencia de recepción pasa por sucesivos picos y valles en la medida que se eleva la antena. El diagrama de nivel esta más apretado sobre la antena más cercana al punto de reflexión y se expande sobre la otra. Se puede obtener una altura de antena donde exista un máximo de nivel, pero sólo para un determinado valor de **K**.

5.5.3. Soluciones.

Es posible generar un diagrama del nivel de recepción en función del valor **K**. De acuerdo con la geometría del enlace se puede lograr una contribución en fase del rayo reflejado para una amplia gama de valores de **K**. También es posible, variando la altura de una antena, lograr que el rayo reflejado se encuentre atenuado por una obstrucción. En ITU-R GAS3 se menciona otra forma de reducir el efecto de las reflexiones. Se trata de incrementar el diámetro de antenas de forma que la diferencia de fase se acerque a 360° entre la parte superior e inferior de la parábola de antena. Además se puede orientar la antena hacia arriba para mejorar la discriminación al rayo reflejado.

Cuando, seleccionando la altura de antenas no es suficiente para eliminar el efecto de atenuación debido a la reflexión, se requiere el uso del sistema anti-reflectivo por diversidad de espacio. En este caso, según la **Figura 37.**, se trata de montar 2 antenas sobre la misma vertical. Se debe cumplir la condición de encontrar cada antena sobre distribuciones opuestas de Nivel Vs. Altura y en otros términos de Nivel Vs. Factor **K**. En otras palabras, la diferencia de caminos entre los rayos reflejados en ambas antenas debe ser de 180° de fase. De tal forma, en tanto una antena se encuentra con una contribución negativa (atenuación) la otra se encuentra con una adición (ganancia). Se puede adoptar el criterio de sumar las señales de recepción en RF (mediante un combinador) o bien de seleccionar entre ambas señales en banda base (mediante un conmutador).

5.6. Repetidores Pasivos

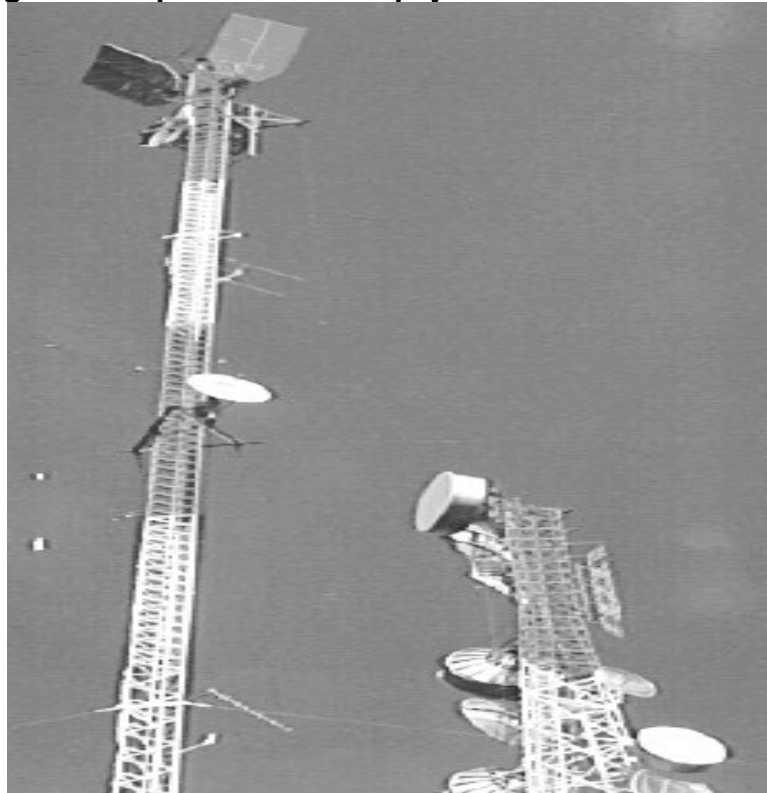
Las condiciones bajo las cuales están las consideraciones, para la implementación de una Red basada en Tecnología WiMax, no se contemplan repetidores, ya que como se comento anteriormente, el área de cobertura se encuentra dentro del área de cobertura de una antena principal, y para cada sector en particular que se quiera atender se pueden tener alternativas de conectividad, ya sea a través de la activación de HotsPot o Hots Zones. Por tanto las presentes consideraciones, que hacen referencia a los repetidores lo que demuestran es la necesidad de tal elemento en condiciones donde la cobertura o condiciones topográficas o climáticas, degeneren de tal manera el servicio que sea necesario su implementación.

La gran mayoría de los repetidores para enlaces radioeléctricos son regenerativos. En estos casos la señal se demodula hasta el nivel de frecuencia intermedia IF y se obtiene la banda base digital la cual se regenera antes de volver a modular en IF. En los repetidores regenerativos se obtiene una mejor prestación en términos de BER Vs. C/N cuando se dispone de una red digital con gran número de repetidoras. Por otro lado, mediante la operación Add-Drop (Drop-Insert), es posible obtener canales de servicio desde la banda base. Algunas veces se recurre a repetidores no-regenerativos. Se tienen dos grandes divisiones: los pasivos del tipo espejo o espalda-espalda y los activos con amplificadores de RF.

5.6.1. Repetidor a Espejo.

El tipo de repetidor pasivo con espejo refleja la onda entre antenas para salvar obstáculos y cambiar la dirección del campo electromagnético. El tratamiento de este tipo de repetidor desde el punto de vista de los niveles de potencia involucrados tiene en cuenta dos atenuaciones de espacio libre (**A1** y **A2**) y la ganancia del espejo **G_o**. En cambio, desde el punto de vista del análisis de calidad es un solo enlace.

Figura No 38.
Imagen de Repetidores de Espejo Colocados en una Torre



Las atenuaciones del espacio libre corresponden a tener en cuenta las distancias desde las antenas extremas hasta el espejo. La ganancia del espejo corresponde al cociente entre el área del espejo en la dirección de propagación y el área eficaz de la antena isotrópica. En términos matemáticos:

$$G_o = 20 * \text{Log} \frac{A * \text{Cos } \varphi}{\left(\frac{\lambda^2}{4 * \pi} \right)}$$

Donde el área del repetidor en la dirección φ se expresa mediante ($A * \text{Cos } \varphi$) y el área eficaz de la antena isotrópica es ($\lambda^2/4 * \pi$); el valor de longitud de onda se indica mediante λ . Ambos términos se deben expresar en iguales unidades para obtener el valor de **G_o** en dB.

Dicha expresión es válida para frecuencias comprendidas entre 4 y 15 GHz. Es válida solo para el campo lejano cuando la distancia es superior a $2 * D^2/\lambda$, con **D** el diámetro de la antena expresado en las mismas unidades que λ . Un sistema periscopico (antena en la base de la torre y espejo en lo alto) no responde necesariamente a esta ley. Se puede expresar además la atenuación introducida por irregularidades de la superficie de la pantalla como:

At= 20.log {cos (360°.H/λ)} donde **H** es la altura de las irregularidades en la misma unidad que la longitud de onda. El valor de **H** debe ser inferior a $\lambda/8$.

5.6.2. Repetidor Espalda - Espalda.

El repetidor pasivo con antenas espalda-espalda no dispone de elementos activos y el cable coaxial o guía de ondas desde una antena se une a la otra con unos pocos metros de distancia. Desde el punto de vista del balance de potencia se consideran las atenuaciones de espacio libre para cada tramo y una ganancia del conjunto de las antenas. La ganancia total es la cercana a la suma de las ganancias individuales. Para el cálculo de calidad se trata de un solo enlace. Puede existir una interferencia entre antenas, debido a la emisión Frente – Espalda. En estos casos es despreciable mientras que en los repetidores activos no lo es.

Desde el punto de vista de la instalación y la orientación, el repetidor Espalda-Espalda es más simple que el espejo. Pero un espejo de gran tamaño puede tener una ganancia mayor. Los repetidores pasivos solo son útiles cerca de una de las antenas y para enlaces relativamente cortos debido a la suma de atenuaciones de espacio libre.

5.6.3. Repetidores Amplificadores.

Son amplificadores de radio-frecuencia sin conversión a frecuencia intermedia y demodulación a banda base. Son usados en estaciones de difícil acceso y requieren de una alimentación no convencional (energía solar) y con bajo consumo. Permiten una ganancia adicional respecto del Espalda - Espalda lo que asegura enlaces de mayor distancia. El equipo amplificador se coloca junto con las antenas y el sistema de alimentación, por lo que no se prevé una atenuación importante debido al cable coaxial o guía de ondas.

El problema en estos amplificadores es la suma del ruido en ambos saltos que introduce un desmejoramiento en la relación BER Vs. C/N. Al no utilizar un conversor de frecuencia la portadora en ambos saltos es la misma y se producen interferencias.

Para reducir este efecto se recurre al cambio de polarización entre enlaces adyacentes.

CONCLUSIONES

Al iniciar este proceso de recopilar una información, que nos permitiera conocer más de cerca la tecnología de acceso inalámbrico WiMax, no existía mucha difusión y sólo en medios especializados, la academia y los grandes fabricantes de hardware y software estaban al tanto de lo que ocurría con su evolución y ofrecían características y avances del estándar; pero hoy al concluirlo nos damos cuenta del enorme auge que ha tenido, de cómo ha penetrado desde las redes de distribución y soporte hasta las aplicaciones para usuario final y sus posibilidades de brindar acceso de alta velocidad al menor costo. Mostrando con esto la gran capacidad de trabajo y empeño que han puesto las empresas que conforman el WiMax Forum, con los retrasos que nunca faltan, pero que a la fecha nos tienen a las puertas de la conectividad inalámbrica móvil de alta velocidad.

Y es precisamente en cada variante, como se pudo apreciar, donde se pueden encontrar la evolución y desarrollo que el estándar IEEE 802.16 ofrece a cada segmento del mercado interesado en innovar, mejorar o incursionar con esta nueva tecnología; dando alternativas tanto a proveedores como a usuarios de servicios de telecomunicaciones en todo el mundo.

Así como en todo nuevo proyecto, se inició dando a conocer lo básico de la tecnología Wimax, de quienes conforman su grupo de trabajo y desarrollo en el estándar y como se ubicó dentro del espectro inalámbrico de servicios tecnológicos, para después empezar a fundamentar sus bases teóricas, como las técnicas de modulación, multiplexación, propagación, estructura de la capa MAC, calidad del servicio, seguridad, entre otros aspectos relevantes, que conllevan a tener un concepto bien definido de esta tecnología, para después penetrar dentro de las diferentes variantes que ofrece el estándar IEEE 802.16, desde la que propone los conceptos teóricos necesarios para una buena implementación hasta la que garantiza la interconectividad entre dos usuarios móviles con transferencias de alta velocidad en áreas que están en el orden de los kilómetros, de esta manera se pasó a comentar sobre las diferentes aplicaciones que se pueden desarrollar dentro de ambientes de una sociedad en vía de desarrollo y otras en desarrollo, comentando algunos casos donde es posible o será posible su implementación a corto o mediano plazo, también sobre las diferentes topologías y arquitecturas de red disponibles para su funcionamiento, junto con las soluciones que algunos fabricantes brindan en este sentido.

De esta manera se aborda la realidad local en la ciudad de Cartagena de Indias, que en su calidad de destino turístico y además donde se realizan eventos de gran trascendencia en los ámbitos nacional e internacional, sería de gran interés la implementación de una infraestructura de la calidad de la tecnología WiMax, ya que encajaría perfectamente, primero dentro de las políticas de conectividad e

incentivos para la banda ancha que posee el gobierno nacional, segundo brindando una excelente oportunidad para que los visitantes de la ciudad puedan disfrutar de su estancia dentro del centro amurallado con posibilidades de emplear sus dispositivos de conexión inalámbricos, como tercer aspecto a destacar estaría que se jalonaría una nueva forma de entender las comunicaciones a nivel local, haciendo que sea necesaria la creación de nuevas empresas que puedan respaldar el crecimiento y desarrollo que se tenga en este ámbito. De allí que la cobertura y calidad en el servicio que se desee prestar deben ser algo primordial, ya que estas dos hacen que cualquier plataforma sobre la cual se requiera trabajar se popularice por medio de las buenas referencias que den los primeros usuarios del servicio.

La Tecnología Wi-Fi ha demostrado con sus diferentes versiones, la calidad y velocidad necesarias para que se expandan sus servicios y aplicaciones dentro de los entornos LAN, abriendo las puertas para que al expandirse los límites de las redes inalámbricas se acepte sin mayores temores la Tecnología WiMax, de la cual se espera muy pronto se tengan buenas noticias; dentro de este campo de experimentación y entrada en escena de esta nueva tecnología, la experiencia en la ciudad de Cali, en su primera etapa no es muy satisfactoria por testimonio de los mismos usuarios, ya ellos manifiestan ineficiencia en el servicio, la señal es muy inestable y tiene mucha fluctuación de la señal, a veces hay días sin servicio... en fin.⁶³

Para finalizar, la utilidad de los equipos que se utilicen dependerá de la configuración que se desee emplear, al área de cobertura que se piense diseñar, del soporte que ofrezcan los fabricantes y proveedores de los equipos de interconexión además del proveedor del servicio aquí en Cartagena debe tener la suficiente experiencia y conocimiento del mercado, para poder realizar las campañas y propuestas de servicios para los usuarios potenciales y poder ofrecer un portafolio de servicios de calidad, de acuerdo con la expectativas de sus negocios o necesidades.

Fue muy gratificante observar, como a medida que pasaban los días se encontraba más información referente a la Tecnología WiMax, pero lo que si nos costo un poco de esfuerzo fue la adecuación de la información, de tal manera que lo más importante y representativo de cada tema fuese expuesto de forma clara y concisa, para que cualquier persona interesada en conocer sobre este tema pueda entenderlo; al tiempo que se ofrece a la ciudad una nueva posibilidad de cubrir las necesidades de cobertura de banda ancha en poco tiempo y de gran cobertura.

⁶³ <http://wimax-colombia.blogspot.com/>