

**ESTUDIO DE REDES INALAMBRICAS BASADAS EN TECNOLOGIA WIMAX**

**GIANNCARLO PEREZ BECERRA**

**KENNY FAJARDO SUAREZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRONICA  
MINOR EN TELECOMUNICACIONES  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

**2005**

**ESTUDIO DE REDES INALAMBRICAS BASADAS EN TECNOLOGIA WIMAX**

**GIANNCARLO PEREZ BECERRA  
KENNY FAJARDO SUAREZ**

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Electrónico**

**Director de Monografía  
EDUARDO GOMEZ VASQUEZ  
MAGISTER EN CIENCIAS COMPUTACIONALES**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRONICA  
MINOR EN TELECOMUNICACIONES  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.  
2005**

## **Artículo 105**

La Universidad Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad de los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

Cartagena, Noviembre de 2005

Cartagena D. T. Y C., Noviembre de 2005

Señores

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Programa de Ingeniería Electrónica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La ciudad

Respetados señores:

Con toda atención nos dirigimos a ustedes con el fin de presentarles a su consideración, estudio y aprobación la monografía titulada ESTUDIO DE REDES INALAMBRICAS BASADAS EN TECNOLOGIA WIMAX como requisito parcial para optar al título de ingeniero electrónico.

Atentamente

---

GIANNCARLO PEREZ BECERRA

---

KENNY FAJARDO SUAREZ

Cartagena D. T. Y C., Noviembre de 2005

Señores

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Programa de Ingeniería Electrónica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada ESTUDIO DE REDES INALÁMBRICAS BASADAS EN TECNOLOGÍA WIMAX para su estudio y evaluación la cual fue realizada por los estudiantes GIANNICARLO PEREZ BECERRA y KENNY FAJARDO SUAREZ, de la cual acepto ser su director

Atentamente,

---

EDUARDO GOMEZ VASQUEZ

Magíster en ciencias computacionales

## **AUTORIZACIÓN**

Yo GIANNCARLO PEREZ BECERRA, identificado con la cedula de ciudadanía numero 73.191.582 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el catalogo on-line de la Biblioteca.

---

GIANNCARLO PEREZ BECERRA

## **AUTORIZACIÓN**

Yo KENNY FAJARDO SUAREZ, identificado con la cedula de ciudadanía numero 73.203.108 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el catalogo on-line de la Biblioteca.

---

KENNY FAJARDO SUAREZ

## CONTENIDO

	pag.
<b>OBJETIVOS</b>	
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS</b>	<b>16</b>
1.1 Clasificación de las Redes inalámbricas	16
1.1.1 Redes inalámbricas de consumo	17
1.1.2 Redes inalámbricas 802.11	17
1.1.3 Redes inalámbricas personales	19
1.1.4 Uso de los puntos de acceso inalámbricos en Colombia	21
<b>2. EL ESTÁNDAR IEEE 802.16 PARA BANDA ANCHA INALÁMBRICA</b>	<b>23</b>
2.1 Generalidades del estándar 802.16	25
2.2 Especificaciones técnicas del 802.16a	27
2.2.1 Banda ancha residencial	27
2.3 Principales Características de la tecnología WiMAX	28
2.3.1 Tasa de transferencia	28
2.3.2 Escalabilidad	30
2.3.3 Cobertura	30
2.3.4 Calidad de Servicio	31
2.4 Propagación y técnicas de modulación para WiMAX	31
2.4.1 Propagación NLOS Vs LOS	31
2.4.2 Soluciones Tecnológicas NLOS	35
2.4.3 Tecnología OFDM	35

2.4.4	Subcanalización	38
2.4.5	Diversidad de transmisión/recepción	39
2.4.6	Modulación adaptativa	40
2.4.7	Modelos de propagación NLOS	41
2.4.8	Probabilidad de predicción de cobertura	43
2.5	Método innovador basado en 802.16e	44
2.6	Movilidad de WiMAX (Roaming)	46
<b>3.</b>	<b>INVESTIGACION Y DESARROLLO DE WIMAX</b>	<b>49</b>
3.1	Solución de Intel para WiMAX	50
3.1.1	Fabricantes que trabajan con Intel para desarrollar WiMAX	53
3.1.2	Desarrollo de Nokia e Intel en la tecnología WiMAX	54
3.2	Solución de Nortel Networks para WiMAX	55
3.3	Solución de Motorola para WiMAX	57
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE WIMAX/WI-FI</b>	<b>61</b>
4.1	Tecnología de Radio WiMAX/Wi-Fi	62
<b>5.</b>	<b>APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA WIMAX</b>	<b>66</b>
5.1	Integración de WiMAX en una red global	66
5.1.1	Integración de WiMAX en un entorno de red DSL	68
5.1.2	Integración de WiMAX en un entorno de red móvil	70
5.2	Tecnología WiMAX en diferentes partes del mundo	72
5.2.1	WiMAX en Taiwán	72
5.2.2	WiMAX en España	72
5.2.3	WiMAX en Colombia	74
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1. Características generales de la tecnología WiMAX</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 2. Interfaces de Radio WLAN IEEE 802.11</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 3. Resumen de Enlaces de Radio 802.16</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 4. Comparación de Tecnología WiMAX y Wi-Fi</b>	<b>65</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1. Conexión inalámbrica con Bluetooth</b>	20
<b>Figura 2. Accesos inalámbricos en Colombia</b>	21
<b>Figura 3. Estándares globales inalámbricos</b>	25
<b>Figura 4. Soluciones del estándar 802.16</b>	27
<b>Figura 5. Conexiones punto-multipunto fuera y con de la línea de vista</b>	29
<b>Figura 6. Zona de Fresnel LOS</b>	32
<b>Figura 7. Ubicación del equipo de abonado (CPE) para condición NLOS</b>	34
<b>Figura 8. OFDM Vs. Portadora Simple</b>	36
<b>Figura 9. Señales Recibidas OFDM y Portadora Simple</b>	37
<b>Figura 10. Efecto de la Subcanalización</b>	39
<b>Figura 11. Radio de celda relativo para modulación adaptativa</b>	40
<b>Figura 12. Topología WiMAX en áreas urbana y rural</b>	43
<b>Figura 13. WiMAX basándose en el 802.16e</b>	45
<b>Figura 14. Roaming en WiMAX</b>	46
<b>Figura 15. Algunos miembros del WiMAX Forum</b>	50
<b>Figura 16. Scott Richardson, gerente general de la División Inalámbrica de Banda Ancha de Intel</b>	51

<b>Figura 17. Dispositivo interfaz Intel PRO/Wireless 5116</b>	<b>53</b>
<b>Figura 18. Productos moto wi4 de Motorola</b>	<b>60</b>
<b>Figura 19. Operabilidad entre WiMAX y WiFi</b>	<b>61</b>
<b>Figura 20. Comparación WiMAX y WiFi</b>	<b>64</b>
<b>Figura 21. Integración de WiMAX en una solución global</b>	<b>68</b>
<b>Figura 22. WiMAX integrado en una arquitectura DSL</b>	<b>69</b>
<b>Figura 23. WiMAX integrado en una arquitectura móvil</b>	<b>71</b>

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A. Datasheets de Antenas WiMAX de diferentes fabricantes</b>	<b>77</b>
<b>Anexo B. Dispositivo Intel para WiMAX PRO/Wireless 5116</b>	<b>92</b>

## INTRODUCCIÓN

WiMAX traduce las siglas de **'Worldwide Interoperability for Microwave Access'**, y es la marca que certifica que un producto está conforme con los estándares de acceso inalámbrico 'IEEE 802.16'. Estos estándares permiten conexiones de velocidades similares al ADSL o al cable módem, sin cables, y hasta una distancia de 50-60 km. Este nuevo estándar será compatible con otros anteriores, como el de Wi-Fi (IEEE 802.11).

La tecnología WiMAX será la base de las Redes Metropolitanas de acceso a Internet, servirá de apoyo para facilitar las conexiones en zonas rurales, y se utilizará en el mundo empresarial para implementar las comunicaciones internas. Además, su popularización supondrá el despegue definitivo de otras tecnologías como VoIP (llamadas de voz sobre el protocolo IP).

Para promover el uso de los estándares WiMAX, es necesario que los fabricantes de dispositivos electrónicos lleguen a acuerdos para desarrollar esta tecnología, dando lugar a certificaciones que aseguren la compatibilidad y la interoperabilidad de antenas, procesadores o receptores. Por ello existe el 'WiMAX Forum', asociación sin ánimo de lucro formada por decenas de empresas comprometidas con el cumplimiento del estándar IEEE 802.16.

## **1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS**

En los últimos años las redes de área local inalámbricas están ganando mucha popularidad, que se ve acrecentada conforme sus prestaciones aumentan y se descubren nuevas aplicaciones para ellas. De una forma callada, las redes inalámbricas o Wireless Networks (WN), se están introduciendo en el mercado de consumo gracias a unos precios populares y a un conjunto de entusiastas, mayoritariamente particulares, que han visto las enormes posibilidades de esta tecnología.

Las aplicaciones de las redes inalámbricas son infinitas. De momento van a crear una nueva forma de usar la información, pues ésta estará al alcance de todos a través de Internet en cualquier lugar (en el que haya cobertura). Hoy en día contamos con dispositivos en los cuales están reunidas las funciones de teléfono móvil, agenda, terminal de vídeo, reproductor multimedia, ordenador portátil y un largo etcétera.

### **1.1 Clasificación de las Redes inalámbricas**

Las redes inalámbricas se clasifican dependiendo de la utilización del enlace y su objetivo. Las características más generales se presentan en las topologías de redes que se formen:

- Redes inalámbricas de consumo
- Redes inalámbricas 802.11
- Redes inalámbricas personales

### 1.1.1 Redes inalámbricas de consumo

**Redes CDMA** (estándar de telefonía móvil estadounidense) y **GSM** (estándar de telefonía móvil europeo y asiático) son los estándares que usa la telefonía móvil empleados alrededor de todo el mundo en sus diferentes variantes.

**802.16** son redes que pretenden complementar a las anteriores estableciendo redes inalámbricas metropolitanas (MAN) en la banda de entre los 2 y los 11 Ghz.

### 1.1.2 Redes inalámbricas 802.11

Las redes inalámbricas básicamente se diferencian de las redes conocidas hasta ahora por el enfoque que toman de los niveles más bajos del modelo OSI, el nivel físico y el nivel de enlace, los cuales se definen por el estándar 802.11 del IEEE.

Actualmente nos encontramos ante tres principales variantes:

➤ **El estándar 802.11a** fue la primera aproximación a las redes inalámbricas y llega a alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps dentro de los estándares del IEEE y hasta 72 y 108 Mbps con tecnologías de desdoblamiento de la velocidad ofrecidas por diferentes fabricantes.

Esta variante opera dentro del rango de los 5 Ghz. Inicialmente se soportan hasta 64 usuarios por Punto de Acceso.

Sus principales ventajas son su velocidad, la base instalada de dispositivos de este tipo, la gratuidad de la frecuencia que usa y la ausencia de interferencias en la misma.

Entre sus principales desventajas esta su incompatibilidad con los estándares 802.11b y 802.11g y la no incorporación a la misma de **QoS** (posibilidades de asegurar de Calidad de Servicio, lo que en principio impediría ofrecer transmisión de voz y contenidos multimedia online).

➤ **El estándar 802.11b** es la segunda aproximación de las redes inalámbricas. Alcanza una velocidad de 11 Mbps estandarizada por el IEEE y una velocidad de 22 Mbps por el desdoblamiento de la velocidad que ofrecen algunos fabricantes. Opera dentro de la frecuencia de los 2.4 Ghz. Inicialmente se soportan hasta 32 usuarios por PA.

Padece de varios de los inconvenientes que tiene el **802.11a** como son la falta de QoS, además de otros problemas como la masificación de la frecuencia en la que transmite y recibe, pues en los 2.4 Ghz funcionan teléfonos inalámbricos, teclados y ratones inalámbricos, hornos microondas, dispositivos Bluetooth, lo cual puede provocar interferencias.

En el lado positivo está su rápida adopción por parte de una gran comunidad de usuarios debido principalmente a unos muy bajos precios de sus dispositivos, la gratuidad de la banda que usa y su disponibilidad gratuita alrededor de todo el mundo. Está estandarizado por la IEEE.

➤ **El estándar 802.11g**, es la tercera aproximación a las redes inalámbricas, y se basa en la compatibilidad con los dispositivos **802.11b** y en el ofrecer unas velocidades de hasta 54 Mbps.

Dispone de los mismos inconvenientes que el **802.11b**. Las ventajas de las que dispone son las mismas que las del 802.11b además de su mayor velocidad.

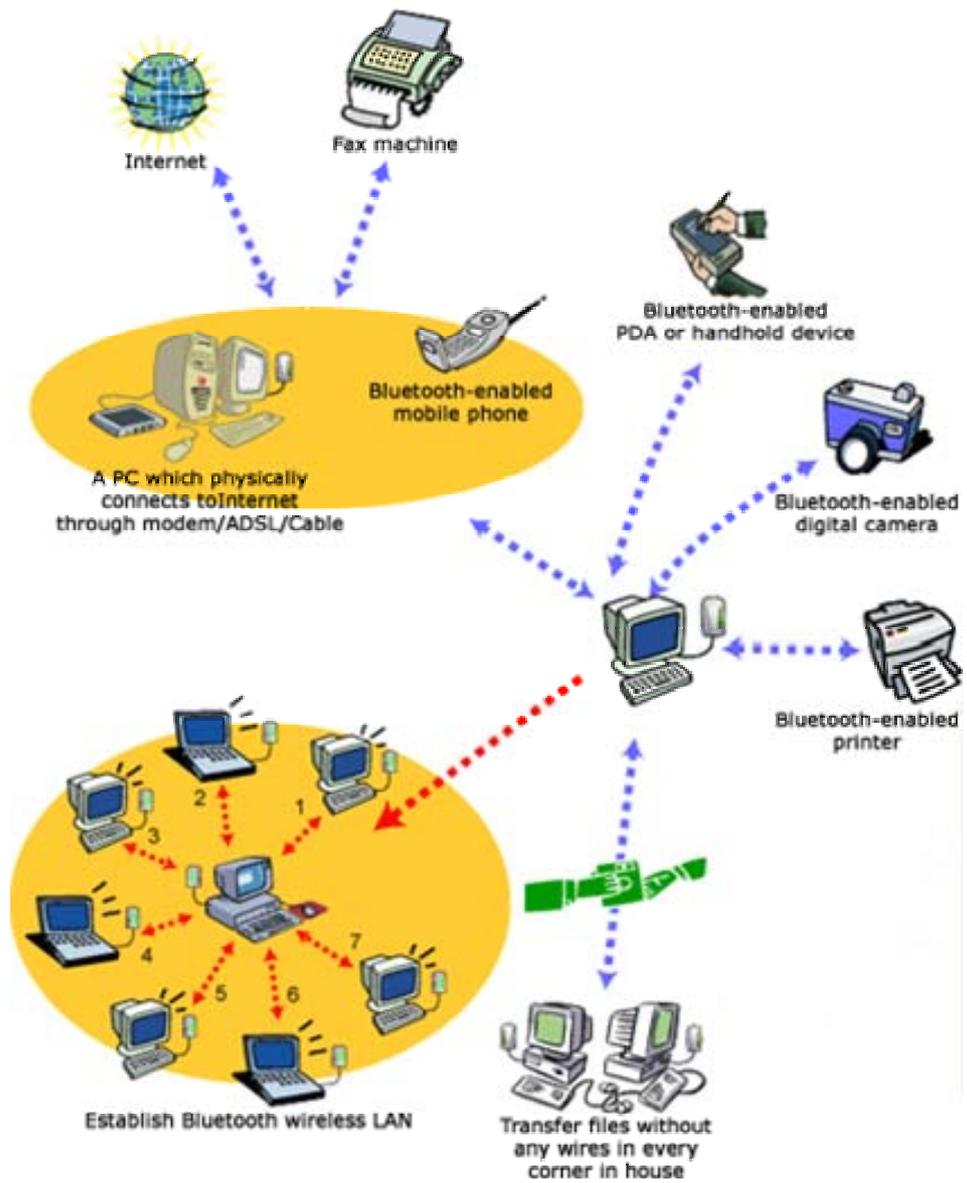
### 1.1.3 Redes inalámbricas personales

Dentro de estas redes podemos integrar a dos principales:

- En primer lugar y ya conocido por bastantes usuarios están las redes que se usan actualmente mediante el intercambio de información mediante **infrarrojos**. Estas redes son muy limitadas dado su corto alcance, necesidad de "visión sin obstáculos" entre los dispositivos que se comunican y su baja velocidad (hasta 115 kbps).

Se encuentran principalmente en ordenadores portátiles, PDAs (Agendas electrónicas personales), teléfonos móviles y algunas impresoras.

Figura 1. Conexión inalámbrica con Bluetooth

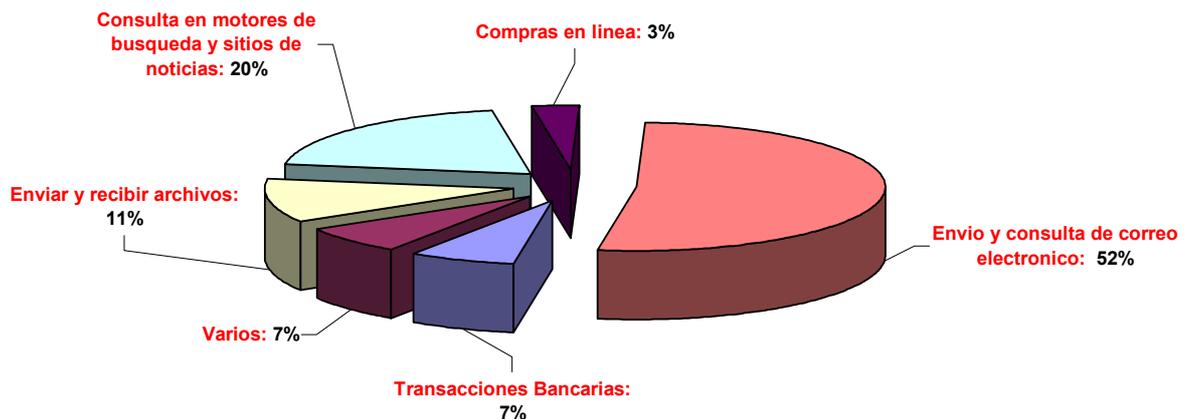


➤ En segundo lugar el **Bluetooth**, estándar de comunicación entre pequeños dispositivos de uso personal, como pueden ser los PDAs, teléfonos móviles de nueva generación y algún que otro ordenador portátil. Su principal desventaja es que su puesta en marcha se ha ido retrasando desde hace años y la aparición del mismo ha ido plagada de diferencias e incompatibilidades entre los dispositivos de comunicación de los distintos fabricantes que ha imposibilitado su rápida adopción. Opera dentro de la banda de los 2'4 Ghz.

#### 1.1.4 Uso de los puntos de acceso inalámbricos en Colombia

Según datos de Avantel, los hotspots de acceso público en el país se utilizan para:

**Figura 2. Accesos inalámbricos en Colombia**



- Envío y consulta de correo electrónico: 52 por ciento.
- Consultas en motores de búsqueda y sitios de noticias: 20 por ciento.
- Enviar y recibir archivos: 11 por ciento: Las presentaciones en PowerPoint, las fotos, los reportes de negocios y las hojas de cálculo representan el mayor tráfico de archivos en las redes inalámbricas públicas.
- Transacciones bancarias: 7 por ciento. Los sitios web financieros permiten a los usuarios pagar sus recibos de servicios públicos y tarjetas de crédito, realizar transferencias y consultar estados de cuenta, entre otros.
- Compras en línea: 3 por ciento, y los otros: 7 por ciento. Algunos visitantes suelen conectarse para 'chatear' con sus contactos, jugar en línea y otras actividades<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Avantel, Flycom e IFX Networks,. Revista Enter 2.0 Septiembre 2005

## 2. EL ESTÁNDAR IEEE 802.16 PARA BANDA ANCHA INALÁMBRICA

Varios operadores y proveedores de servicios pueden estar no familiarizados con los detalles del estándar IEEE 802.16, pero esta tecnología inalámbrica está a punto de revolucionar el acceso de banda ancha de la industria. El estándar 802.16, es también conocido como la interfase de Aire **IEEE WirelessMAN**.

Esta tecnología está diseñada desde cero para proveer acceso inalámbrico de última milla en la red de Area Metropolitana (MAN), con un desempeño comparable al que actualmente ofrecen los servicios tradicionales de cable, DSL o T1. La principal ventaja de los sistemas basados en 802.16 es que poseen la habilidad de proveer servicio rápidamente, aún en áreas difíciles de alcanzar por infraestructuras cableadas; y la habilidad de superar las limitaciones físicas de las tradicionales redes de infraestructura.

Proveer una conexión alámbrica de banda ancha a un área actualmente sin servicio mediante una conexión DSL o de cable puede ser un proceso altamente costoso y largo de implementar en términos de tiempo, con el resultado de que grandes áreas a través de la tierra no poseen acceso a conectividad de banda ancha.

La tecnología inalámbrica 802.16 provee una manera flexible en cuanto a costo y efectividad de llenar los espacios vacíos en cobertura de banda ancha creando nuevas formas de brindar servicios de banda ancha sin los 'vicios' conocidos del mundo alámbrico.

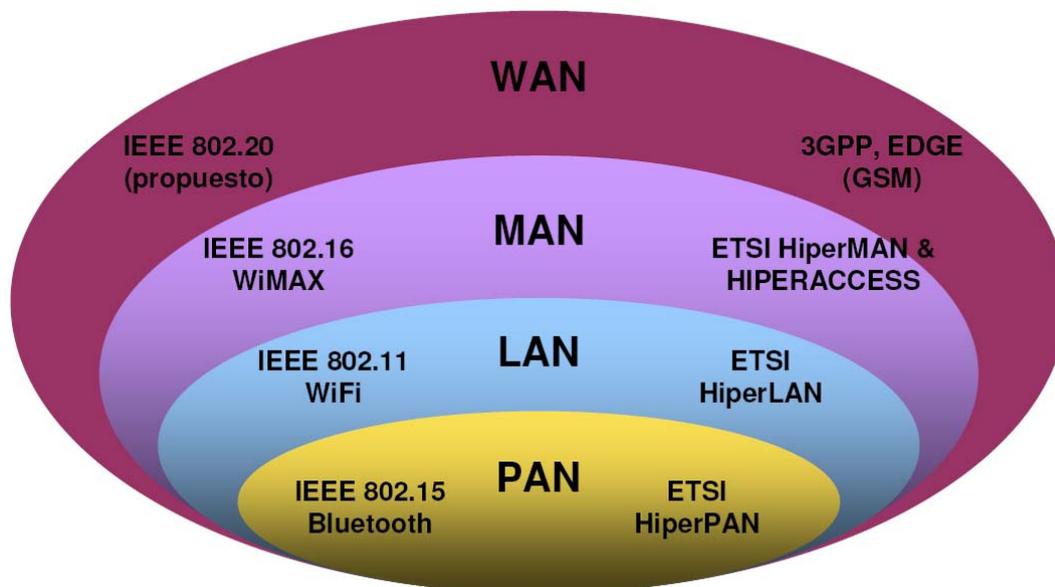
Usando la experiencia de cientos de ingenieros de la industria de las comunicaciones, el IEEE ha establecido una jerarquía de estándares inalámbricos complementarios. Esto incluye el IEEE 802.15 para Redes de Area Personal (PAN), IEEE 802.11 para Redes de Area Local (LAN), 802.16 para Redes de Area Metropolitana, y el propuesto IEEE 802.20 para Redes de Area Amplia (WAN).

Cada estándar mencionado representa una tecnología optimizada para un mercado y modelo de uso distinto y está diseñado para complementar los otros.

Un buen ejemplo es la proliferación de redes inalámbricas para hogares, oficinas y hot-spots comerciales, basados en el estándar 802.11. Esta proliferación de redes inalámbricas está conduciendo la demanda de conectividad de banda ancha a Internet, la cual puede ser provista por el 802.16 mediante un servicio de aire de largo alcance en términos relativos a la ubicación del proveedor del mismo.

Para operadores y proveedores de servicio, los sistemas construidos sobre el estándar 802.16, que es capaz de ofrecer acceso de banda ancha de ultima milla flexible y accesible para millones de abonados de hogares y negocios.

**Figura 3. Estándares globales inalámbricos**



### **2.1 Generalidades del estándar 802.16**

En Enero de 2003, el IEEE aprobó el estándar 802.16a, el cual cubre bandas de frecuencias entre 2 GHz y 11 GHz. Este estándar es una extensión del estándar IEEE 802.16 para 10-66 GHz publicado en Abril de 2002. Este sub-rango de frecuencias en 11 GHz permite el desempeño de enlaces sin 'línea de vista', haciendo al IEEE802.16a la tecnología apropiada para aplicaciones de última milla donde los obstáculos como árboles y edificios están siempre presentes y en donde las estaciones bases pueden necesitar ser montadas sin discreciones en los techos de viviendas o edificios en vez de en torres o montañas.

La configuración más común 802.16a consiste en una estación base montada en

un edificio o torre que comunica en configuración punto-multipunto a abonados ubicados en oficinas u hogares. El 802.16a posee un rango de hasta 48 Km con celdas típicas de 6.5 a 9.5 Km. Dentro del radio de celda típico, el desempeño sin línea de vista y throughput son óptimos. En adición, el 802.16a provee una tecnología inalámbrica ideal para conectar WLAN's 802.11 y hotspots comerciales con Internet.

Con datos compartidos de hasta 75 Mbps, un 'sector' simple de una estación base 802.16a, donde un sector es definido como un par simple de radios transmisor/receptor en la estación base, provee suficiente ancho de banda para soportar simultáneamente 60 puntos de negocio con conectividad nivel T1 y cientos de hogares con conectividad nivel DSL, usando canales de 20 Mhz de ancho de banda.

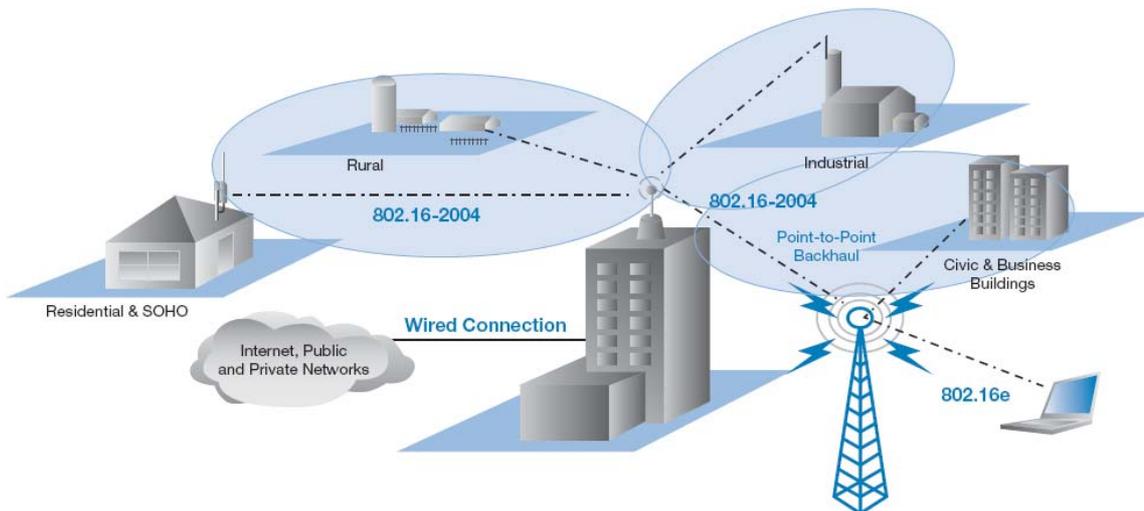
Para soportar un modelo de negocio rentable, los operadores y proveedores de servicio necesitan sostener una mezcla de abonados de alto nivel de ingresos y un alto volumen de abonados residenciales. El 802.16a ayuda a satisfacer este requerimiento mediante el soporte de niveles de servicio diferenciados, los cuales pueden incluir servicios de nivel T1 garantizados para negocios, o servicios DSL 'best effort' para usuarios residenciales<sup>2</sup>.

La especificación 802.16 también incluye funciones de seguridad robustas y la Calidad de Servicio (QoS) necesaria para soportar servicios que requieren baja latencia como video y voz. El servicio de voz 802.16 puede ser el tradicional TDM o voz sobre IP (VoIP).

---

<sup>2</sup> IEEE standard IEEE 802.16 for Local and metropolitan area networks, <http://www.ieee802.org/16>

**Figura 4. Soluciones del estándar 802.16**



## **2.2 Especificaciones técnicas del 802.16a**

Las redes de área metropolitana se plantean como una alternativa a los accesos ADSL o de cable para empresas, fundamentalmente permiten un despliegue más rápido, económico y flexible. El grupo 802.16 ha producido un estándar de capa MAC que permite tasas de hasta 70 Mbit/s, funcionando sobre una capa física con múltiples variantes de frecuencia, desde 2 a 66GHz.

### **2.2.1 Banda ancha residencial**

Limitaciones prácticas no permiten a las tecnologías de cable y DSL alcanzar numerosos clientes potenciales de banda ancha. Las conexiones tradicionales DSL pueden alcanzar sólo 5 Km desde la oficina central de conmutación.

Las redes de TV por cable también poseen estas limitaciones, careciendo las más

antiguas de vía de retorno, por lo cual proveer a estas del servicio de banda ancha puede ser muy costoso.

El costo de tender redes de TV por cable es también prohibitivo para la extensión de los servicios de banda ancha alámbricos en áreas con baja densidad de abonados. La generación actual de sistemas inalámbricos propietarios es relativamente costoso para despliegues de masa porque, sin el estándar, pocas economías de escala son posibles.

Este costo de ineficiencia va a cambiar con el lanzamiento de sistemas basados en el estándar 802.16. En adición, el rango de soluciones de 802.16a, la ausencia del requerimiento de línea de vista, gran ancho de banda, y la inherente flexibilidad y bajo costo ayudan a superar las limitaciones de las tecnologías alámbricas e inalámbricas propietarias.

## **2.3 Principales Características de la tecnología WiMAX**

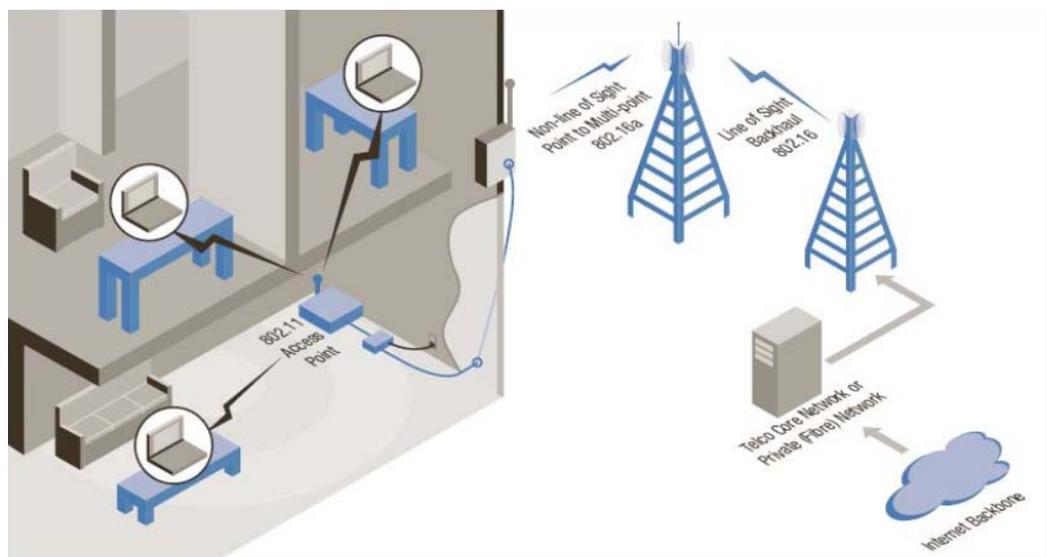
Las principales características de la tecnología WiMAX son la tasa de transferencia, escalabilidad, QoS y seguridad.

### **2.3.1 Tasa de transferencia**

Por medio de un robusto esquema de modulación, el IEEE 802.16 entrega una alta tasa de transferencia a altos rangos con un alto nivel de eficiencia espectral que es también tolerante a reflexiones de señal.

La modulación dinámica adaptativa permite a la estación base negociar la tasa de transferencia por rangos. Por ejemplo, si la estación base no puede establecer un link robusto a un abonado distante usando el esquema de modulación de mayor orden, 64 QAM (Modulación por Amplitud en Cuadratura), el orden de modulación se reduce a 16 QAM o QPSK, la cual reduce la tasa de transferencia e incrementa el rango efectivo.

**Figura 5. Conexiones punto-multipunto fuera y con de la línea de vista**



### 2.3.2 Escalabilidad

El 802.16 soporta canales de ancho de banda flexibles. Por ejemplo, si un operador tiene asignado 20 MHz de espectro, este operador puede dividirlo en 2 sectores de 10 MHz cada uno, o 4 sectores de 5 MHz cada uno. Focalizando potencia en sectores de pequeños incrementos, el operador puede incrementar el número de usuarios manteniendo un buen rango y tasa de transferencia.

Para escalar aun más la cobertura, el operador puede usar nuevamente el mismo espectro en dos o más sectores creando aislaciones propias entre las antenas de estaciones base.

### 2.3.3 Cobertura

En adición al soporte de un esquema de modulación robusto y dinámico, el estándar IEEE 802.16 también soporta tecnologías que incrementan la cobertura, incluida la tecnología de malla (mesh) y las técnicas de **'antena inteligente'**. Mientras la tecnología de radio mejora y los costos bajan, la habilidad de incrementar la cobertura y la tasa de transferencia usando múltiples antenas para crear 'diversidad en transmisión y/o recepción' aumentará sensiblemente la cobertura en escenarios extremos.

#### **2.3.4 Calidad de Servicio**

La capacidad de voz es extremadamente importante, especialmente en mercados internacionales no cubiertos por servicio. Por esta razón el estándar IEEE 802.16a incluye características de calidad de servicio que permiten servicios incluyendo voz y video que requieren una red de baja latencia. Las características de 'garantía' requeridas por el **controlador de acceso al medio (MAC)** del IEEE 802.16, permiten al operador brindar simultáneamente niveles de servicio Premium garantizados para negocios, tanto como niveles de servicio T1, y servicio de alto volumen a hogares, similares a niveles de servicio de cable, todos dentro de la misma área de servicio perteneciente a una estación base.

#### **2.4 Propagación y técnicas de modulación para WiMAX**

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

##### **2.4.1 Propagación NLOS Vs LOS**

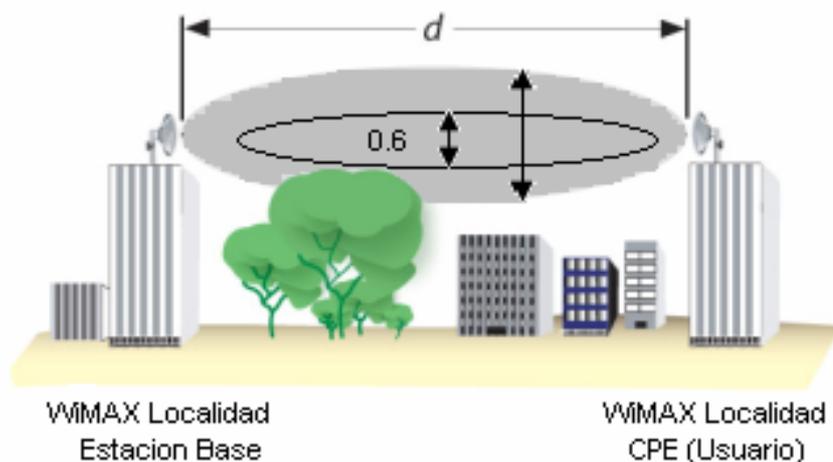
El canal de radio de un sistema de comunicaciones inalámbrico se describe a menudo como 'con línea de vista' (LOS) o 'sin línea de vista' (NLOS).

En un enlace LOS, la señal viaja a través de un camino directo y sin obstrucciones desde el transmisor hasta el receptor. En la figura 6 se observa que un link LOS requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel esté libre de obstrucciones<sup>3</sup>.

Si no se cumple este requerimiento existirá una reducción significativa de la intensidad de señal, la zona de despeje de Fresnel requerida depende de la frecuencia de operación y de la distancia entre transmisor y localidades receptoras.

Todas las obstrucciones estarán afuera de los 0.6 de la primera zona de despeje de Fresnel.

**Figura 6. Zona de Fresnel LOS**



<sup>3</sup> Freeman, R, Radio System Design for Telecommunications (1-100 GHz), New York, Wiley and Sons, 1987.

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

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

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

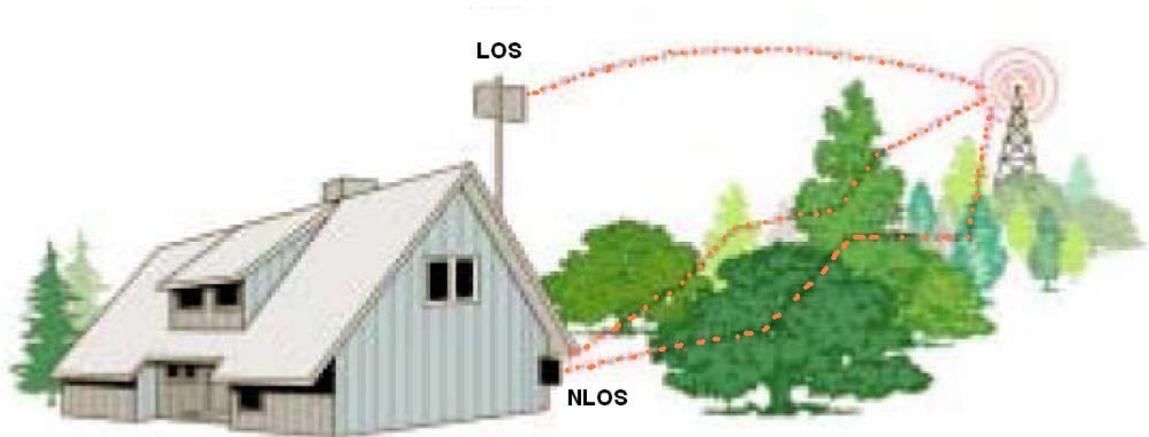
Existen severas ventajas que hacen las aplicaciones NLOS muy deseables. Por ejemplo, proyectos muy estrictos y restricciones de altura de antenas que a menudo no permiten a la misma estar posicionada para LOS.

Para despliegues celulares contiguos de gran escala, donde el re-uso de frecuencia es crítico, bajar la antena es ventajoso para disminuir la interferencia

co-canal entre celdas adyacentes. Los sistemas LOS no pueden reducir la altura de antena porque haciéndolo puede impactar en la línea de vista directa del equipo de abonado (CPE) a la estación base.

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

**Figura 7. Ubicación del equipo de abonado (CPE) para condición NLOS**



La tecnología NLOS y las funciones ampliadas en WiMAX hacen posible el uso de equipo de abonado (CPE) en interiores. Esto posee dos desafíos principales.

Primariamente la superación de las pérdidas de penetración por edificio y secundariamente, la cobertura de distancias razonables con la mínima potencia de transmisión y ganancia de antena que son usualmente asociadas a los equipos de interior de abonado. WiMAX hace esto posible y la cobertura NLOS puede ser

además mejorada mediante la influencia de algunas de las capacidades opcionales de WiMAX.

#### **2.4.2 Soluciones Tecnológicas NLOS**

La tecnología WiMAX soluciona o mitiga los problemas resultantes de las condiciones NLOS usando:

- Tecnología OFDM
- Sub-Canalización
- Antenas Direccionales
- Diversidad de Transmisión/Recepción
- Modulación Adaptativa
- Control de Potencia

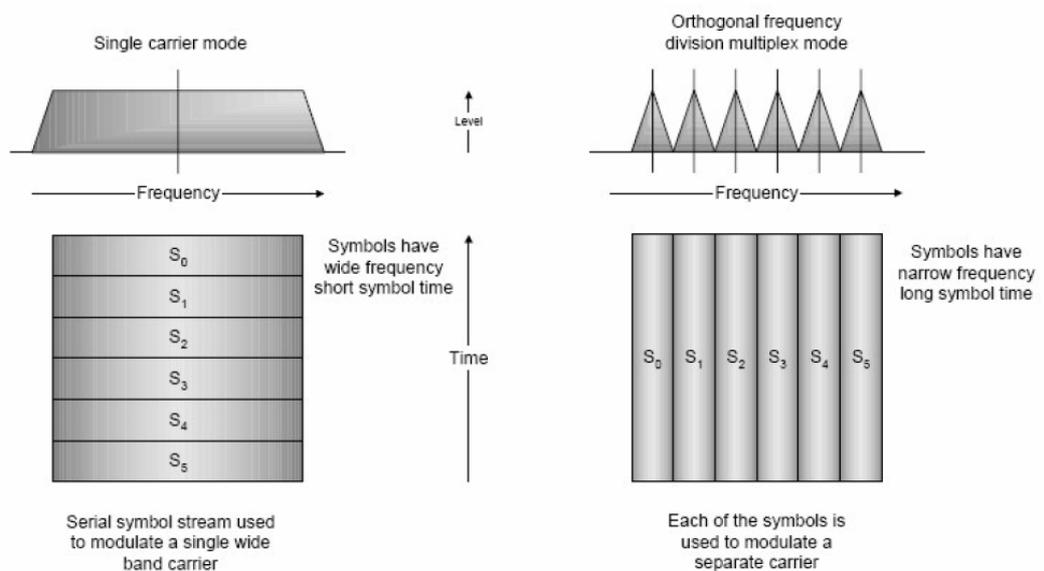
#### **2.4.3 Tecnología OFDM**

OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing), división de frecuencia por multiplexación ortogonal, es una técnica de modulación FDM que permite transmitir grandes cantidades de datos digitales sobre una onda de radio.

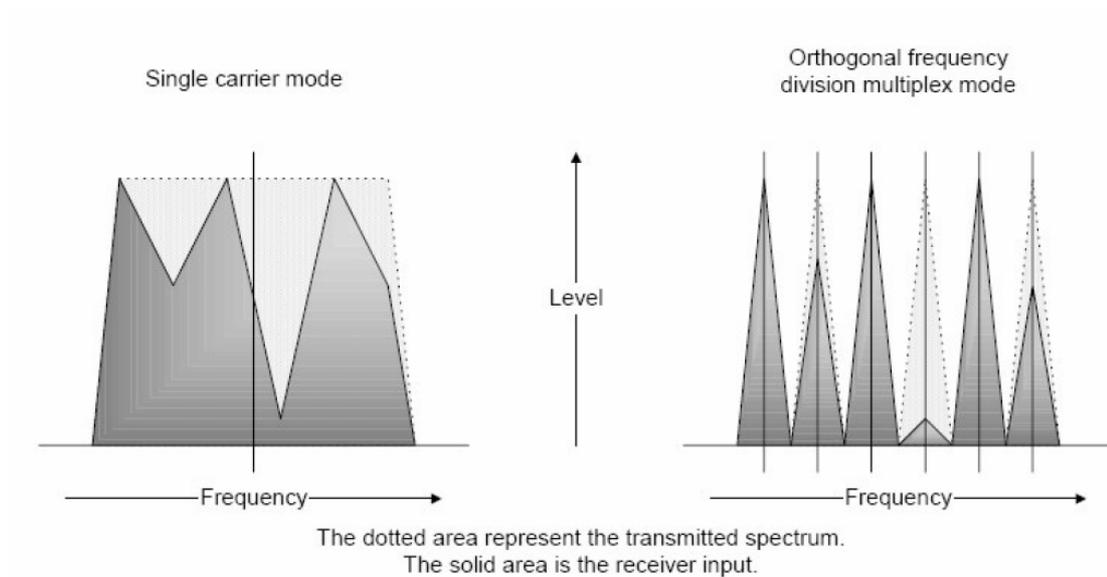
OFDM divide la señal de radio en muchas subseñales que son transmitidas simultáneamente hacia el receptor en diferentes frecuencias. OFDM reduce la diafonía (efecto de cruce de líneas) durante la transmisión de la señal, OFDM se utiliza en 802.11a WLAN, 802.16 y WiMAX.

La tecnología OFDM provee de un medio eficiente para superar los desafíos de la propagación NLOS. La forma de onda WiMAX OFDM ofrece la ventaja de posibilitar la operación con un gran retardo de dispersión característico de los ambientes NLOS. Mediante la virtud de los símbolos de tiempo OFDM y el uso de los prefijos cíclicos, la onda OFDM elimina los problemas de la interferencia intersímbolo (ISI) y la complejidad de la ecualización adaptativa. Puesto que la señal OFDM está compuesta de múltiples portadoras ortogonales, el fading selectivo es localizado en subportadoras que son relativamente fáciles de ecualizar. Un ejemplo es mostrado en la figura 9 como una comparación entre una señal OFDM y una señal de portadora simple, con la información siendo enviada en paralelo por OFDM y en serie por la portadora simple.

**Figura 8. OFDM Vs. Portadora Simple. Datos serie convertidos en Símbolos (cada símbolo puede representar 1 o más bit de datos)**



**Figura 9. Señales Recibidas OFDM y Portadora Simple. El área de puntos representa el espectro transmitido. El área sólida es la entrada del receptor.**



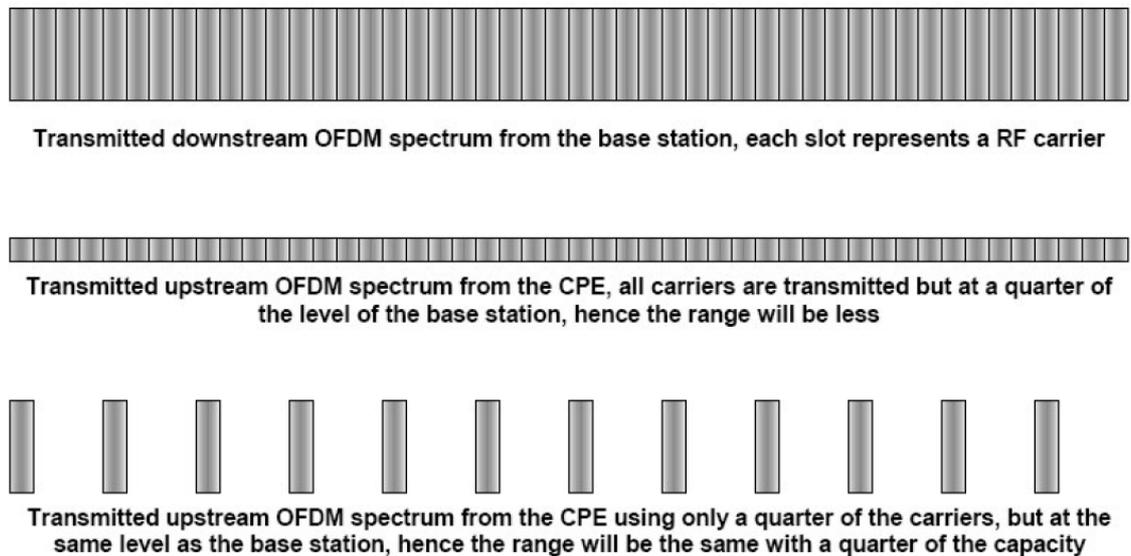
La habilidad de superar la dispersión de retardo, los multicaminos, y la ISI en una manera eficiente, permite tener mayores tasas de transferencias. Como ejemplo, es mucho más sencillo ecualizar las portadoras individuales de OFDM que ecualizar una señal de portadora simple más extensa. Por todas estas razones los estándares internacionales recientes como aquellos fijados por el IEEE 802.16, ETSI BRAN y ETRI, han establecido el OFDM como tecnología de elección preferida.

#### **2.4.4 Subcanalización**

La subcanalización en el enlace ascendente es una opción dentro de WiMAX. Sin la subcanalización, las restricciones regulatorias y la necesidad de costo efectivo en el equipo de abonado, típicamente causan que el presupuesto de enlace sea asimétrico, causando que el rango del sistema sea limitado en el enlace de subida.

La subcanalización permite que el presupuesto de enlace sea balanceado tal que las ganancias del sistema de enlace ascendente y descendente sean similares. La subcanalización concentra la potencia transmitida en algunas portadoras OFDM, incrementando la ganancia del sistema, pudiendo esto ser usado tanto para extender el alcance del mismo, superar las pérdidas de penetración de construcciones y/o reducir el consumo de potencia del equipo de abonado. El uso de subcanalización está más expandido en el acceso OFDM para permitir un uso más flexible de los recursos que puedan soportar la operación móvil.

**Figura 10. Efecto de la Subcanalización**



#### **2.4.5 Diversidad de transmisión/recepción**

Las antenas de diversidad son usadas para tomar ventaja de las señales multi trayecto y reflexiones que ocurren en condiciones NLOS. La diversidad es opcional en WiMAX. El algoritmo de diversidad ofrecido por WiMAX en el transmisor y receptor incrementa la habilidad del sistema. La opción de diversidad en WiMAX utiliza codificación de tiempo espacial para proporcionar independencia de la fuente de transmisión, esto combate la interferencia<sup>4</sup>.

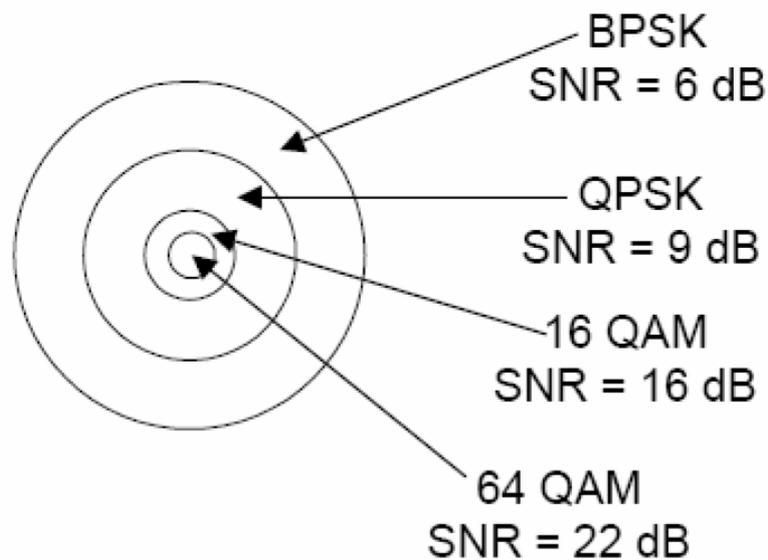
---

<sup>4</sup> L.J. Greenstein, S. Ghassemzadeh, V. Erceg, and D.G. Michelson, "Rician K-factors in Narrowband Fixed Wireless Channels: Theory, Experiments, and Statistical models," WPMC 1999 Conference Proceedings, 1999.

### 2.4.6 Modulación adaptativa

La modulación adaptativa permite al sistema WiMAX ajustar el sistema de modulación dependiendo de la condición de relación señal/ruido (SNR) del enlace de radio. Cuando el enlace de radio tiene alta calidad, es usado el esquema de modulación más alto, dando al sistema mayor capacidad. El sistema WiMAX puede cambiarse a un esquema de modulación menor para mantener la calidad de conexión y estabilidad del enlace. La característica clave de la modulación adaptativa es que esta incrementa el rango sobre el cual puede ser usado un esquema de modulación superior, como situación opuesta a tener un esquema fijo diseñado para la condición de peor caso.

Figura 11. Radio de celda relativo para modulación adaptativa



### 2.4.7 Modelos de propagación NLOS

En una condición de canal NLOS, la señal puede sufrir difracción, cambios de polarización y deterioro por reflexión. Estos factores afectan la intensidad de la señal recibida y los deterioros no están normalmente presentes cuando el transmisor y receptor poseen la condición LOS.

A través de los años fueron desarrollados varios modelos los cuales intentan caracterizar este entorno de RF y permitir predicción de las intensidades de RF. Estos modelos basados en mediciones empíricas son usados para predecir coberturas de gran escala para sistemas de radiocomunicaciones en aplicaciones celulares. Estos modelos proveen estimaciones de pérdida de trayecto considerando distancia entre Tx y Rx, factores de terreno, alturas de antenas receptores y transmisores y frecuencias de celular. Desafortunadamente ninguno de estos enfoques direcciona las necesidades de los enlaces fijos de banda ancha de manera adecuada<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> V. Erceg, "An Empirical Based Path Loss Model for Wireless Channels in Suburban Environments," IEEE Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 7 July 1999.

**Tabla 1. Características generales de la tecnología WiMAX**

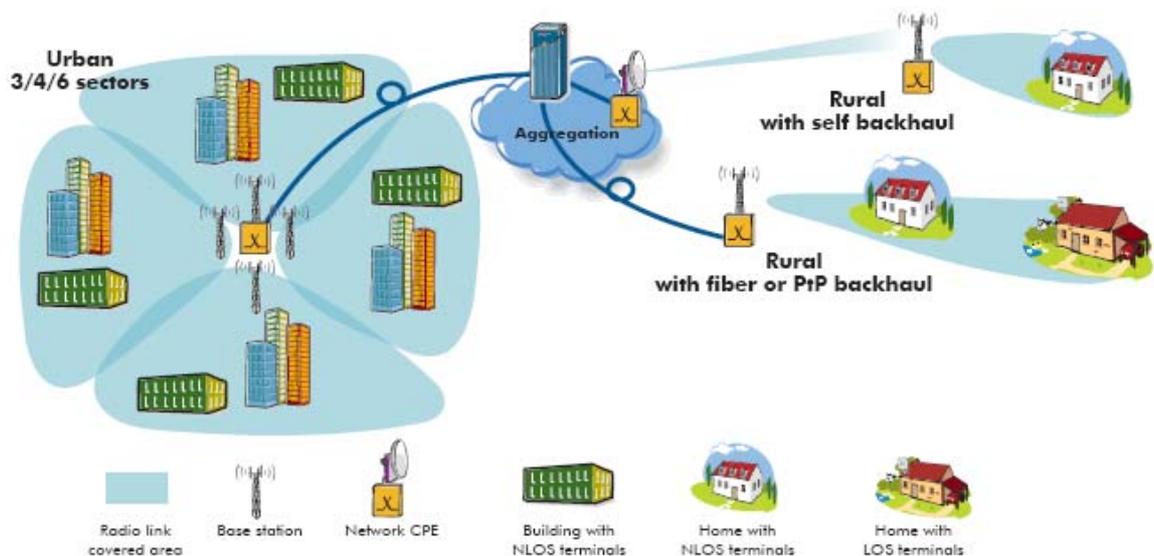
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
<b>Sin Línea de Vista (NLOS)</b>	No necesita línea de visión entre la antena y el equipo del suscriptor
<b>Modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)</b>	Permite la transmisión simultánea de múltiples señales a través de cable o aire en diversas frecuencias; usa espaciado ortogonal de las frecuencias para prevenir interferencias.
<b>Antenas inteligentes</b>	Soporta mecanismos de mejora de eficacia espectral en redes inalámbricas y diversidad de antenas
<b>Topología punto-multipunto y de malla (mesh)</b>	Soporta dos topologías de red, servicio de distribución multipunto y la malla para comunicación entre suscriptores.
<b>Calidad de Servicio (QoS)</b>	Califica la operación NLOS sin que la señal se distorsione severamente por la existencia de edificios, por las condiciones climáticas ni el movimiento vehicular.
<b>FDM (Frequency Division Multiplexing) y TDM (Time Division Multiplexing)</b>	Tipos de multiplexaje que soporta para propiciar la interoperabilidad con sistemas celulares (FDM) e inalámbricos (TDM).
<b>Seguridad</b>	Incluye medidas de privacidad y criptografía inherentes en el protocolo. El estándar 802.16 agrega autenticación de instrumentos con certificados x.509 usando DES en modo CBC (Cipher Block Chaining).
<b>Bandas bajo licencia</b>	Opera en banda licenciada en 2.4 GHz y 3.5 GHz para transmisiones externas en largas distancias
<b>Bandas libres (sin licencia)</b>	Opera en banda libre en 5.8, 8 y 10.5 GHz (con variaciones según espectro libre de cada país)
<b>Canalización</b>	De 5 y 10 MHz
<b>Codificación</b>	Adaptiva
<b>Modulación</b>	Adaptiva
<b>Ecuación</b>	Adaptiva
<b>Potencia de Transmisión</b>	Controla la potencia de transmisión
<b>Acceso al Medio</b>	Mediante TDMA dinámico
<b>Corrección de errores</b>	ARQ (retransmisión inalámbrica)
<b>Tamaño del paquete</b>	Ajuste dinámico del tamaño del paquete
<b>Aprovisionamiento</b>	Aprovisionamiento dinámico de usuarios mediante DHCP y TFTP
<b>Tasa de transmisión</b>	Hasta 75 Mbps
<b>Espectro de frecuencia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IEEE 802.16a entre 2-11 GHz (LOS) para comunicación entre antenas</li> <li>• IEEE 802.16b entre 5-6 GHz con QoS</li> <li>• IEEE 802.16c entre 10-66 GHz</li> <li>• IEEE 802.16e entre 2-6 GHz (NLOS) para distribución a suscriptores, móvil.</li> </ul>
<b>Alcance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 Km sin Línea de Vista</li> <li>• 8 - 10 Km en áreas de alta densidad demográfica</li> </ul>
<b>Aplicaciones</b>	Voz, video y datos
<b>Foro WiMax</b>	Formado por 104 organizaciones con fabricantes de chips, de equipos y prestadores de servicios. Promueve la interoperabilidad entre diferentes marcas para soluciones de última milla.

## 2.4.8 Probabilidad de predicción de cobertura

En condiciones LOS, el rango de cobertura es dependiente de la obtención del radio de línea de vista mediante el aseguramiento de la zona de despeje de Fresnel.

En condiciones de NLOS existe el concepto de 'disponibilidad de cobertura', el cual expresado como porcentaje, representa la probabilidad estadística de clientes potenciales bajo una pisada predictiva. Por ejemplo una probabilidad del 90% de cobertura, significa que el 90% de los clientes potenciales bajo un área de cobertura predictiva tendrán suficiente calidad de señal para una instalación satisfactoria. La estandarización de los enlaces de aire WiMAX permitirá a los vendedores de herramientas de planificación desarrollar aplicaciones específicas para predicciones NLOS.

Figura 12. Topología WiMAX en áreas urbana y rural



## 2.5 Método innovador basado en 802.16e

Alcatel considera aplicaciones de movilidad y banda ancha como facilidades básicas a implementar en el producto WiMAX. El estándar 802.16e proporciona movilidad y soporta el uso más flexible y eficaz de los canales de radio combinando el esquema OFDM (multiplexión por división ortogonal de frecuencia) avanzado con la técnica **SOFDMA** (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

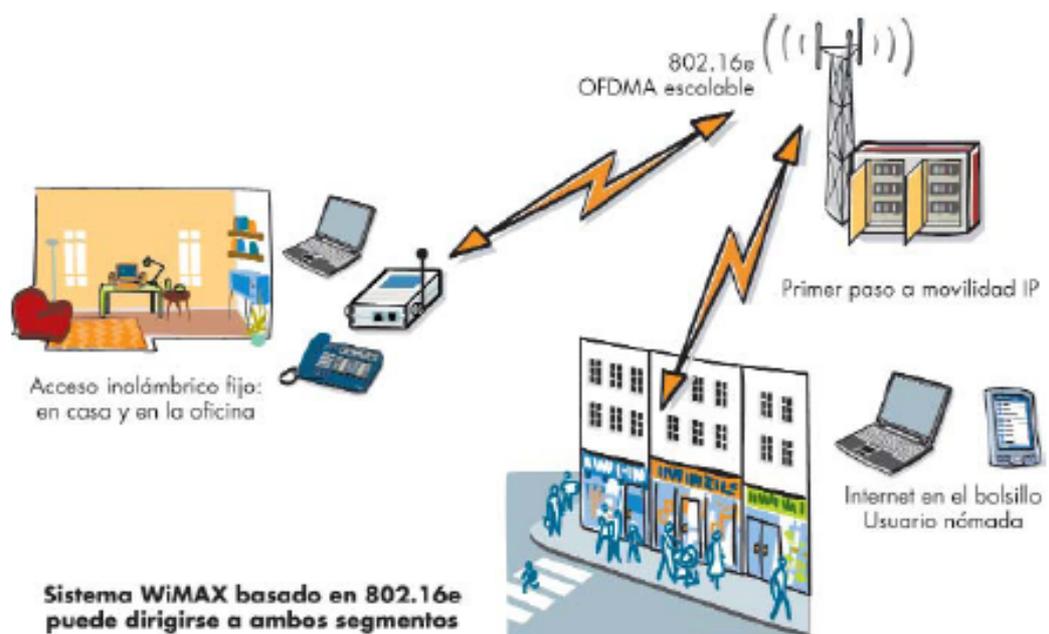
OFDM es una solución óptima para una robusta transmisión de ondas de radio bajo selectivas condiciones de desvanecimiento que son típicas del entorno sin visibilidad directa con propagación de trayectos múltiples, para velocidades de datos muy elevadas usando moduladores y demoduladores de poca complejidad. La modulación adaptativa individual por subcanal (QPSK, 16QAM, 64QAM) aumenta la eficacia espectral hasta 3,75 bit/s/Hz con buenas condiciones de propagación. En condiciones reales sin visibilidad directa con una mezcla de formatos de modulación, la eficacia espectral media es de casi 2 bit/s/Hz.

SOFDMA proporciona la flexibilidad de asignación de recursos adicionales en los dominios del tiempo y de la frecuencia (ver figura 13). Al asignar dinámicamente el número de subcanales (SOFDMA) hace la asignación de capacidad más flexible.

Concerniente a las capacidades descendentes y ascendentes de WiMAX el clásico modo FDD (dúplex por división de frecuencia) lleva a sistemas simétricos. Sin embargo, a corto y medio plazo, el tráfico asimétrico es probable que sea más común, haciendo del TDD (dúplex por división de tiempo) el modo preferido. Además, los sistemas TDD son más flexibles, menos complejos y más rentables.

A largo plazo, y en vista de la necesidad correlacionada de más cobertura multicelda extendida, el FDD puede convertirse en el más apropiado. El estándar permite asignar varios anchos de banda en el canal radio: 1,5 MHz (o 1,75 MHz en Europa) y múltiples hasta casi 20 MHz. Así el sistema WiMAX y los recursos del espectro se pueden adaptar a las necesidades de regiones pobladas densamente y esparcidas, haciéndole apropiado para usar en áreas urbanas y rurales para uso portátil y de acceso fijo<sup>6</sup>.

**Figura 13. WiMAX basándose en el 802.16e**



**OFDMA:** Acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia

<sup>6</sup> D. Renaudeau, D. Boettle, H. Steyaert; WIMAX: Desde Acceso Inalámbrico Fijo A Internet En El Bolsillo; Revista de Telecomunicaciones de Alcatel - 2º trimestre de 2005.

## 2.6 Movilidad de WiMAX (Roaming)

La movilidad es una de las características principales de las redes inalámbricas. Roaming es un concepto utilizado en comunicaciones wireless que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra. Es una palabra de procedencia inglesa que significa vagar o vagabundear.

Con la penetrante adopción de las redes inalámbricas en hotspots empresariales, residenciales y públicos, con base en los estándares Wi-Fi, WiMAX y 3GPP (3rd Generation Partnership Project) las plataformas móviles deben ser cada vez más compatibles con radios múltiples y heterogéneas. La conectividad continua y en todo lugar pasará a ser una característica de la vida de los usuarios finales, que confiarán en sus comunicadores y otros dispositivos móviles para proporcionarles el mejor servicio del sector. Atender esta visión exige que el sector asuma desafíos técnicos, siendo uno de los más importantes la implantación de tecnologías de roaming inteligente capaces de hacer transiciones transparentes dentro de una red inalámbrica y a través de múltiples redes inalámbricas.

**Figura 14. Roaming en WiMAX**



La conectividad transparente requiere movilidad y compatibilidad con transiciones homogéneas y heterogéneas. Las transiciones heterogéneas incluyen el paso por diferentes redes tales como WLAN, WiMAX y redes celulares. Las transiciones homogéneas incluyen el paso a través de puntos de conexión (Points of Attachment) tales como puntos de acceso a WLAN o estaciones base WiMAX, dentro de la misma red.

En el caso de transiciones homogéneas dentro de un ambiente WLAN, el primer paso es que la plataforma móvil reconozca de forma inteligente el ambiente inalámbrico inmediato del usuario y que seleccione automáticamente el mejor punto de acceso disponible. En el segundo paso, se deben designar recursos de calidad del servicio y se deben computar las asociaciones de seguridad, tanto antes o durante el intervalo de reasociación. IEEE 802.11k y 802.11r son los principales estándares del sector actualmente en desarrollo que permitirán transiciones de Conjunto de Servicio Básico en el ambiente LAN. El estándar IEEE 802.11k proporciona información para descubrir el mejor punto de acceso disponible. El IEEE 802.11r define mecanismos para transiciones rápidas y seguras entre los puntos de acceso con el mismo Conjunto de Servicio.

Podemos definir tres escenarios fundamentales de roaming dentro del ambiente Wi-Fi y WiMAX:

- **Cliente en movimiento:** En este escenario, cuando el cliente se separa de un punto de acceso (AP), pasa a un nuevo AP con mayor fuerza de recepción de la señal.
- **Balanceado de la carga:** A medida que el tráfico de voz y datos aumenta en un AP, una estación puede ser dirigida por el AP actual para hacer la transición a otro AP para aumentar la capacidad total de la red inalámbrica.
- **Disponibilidad del servicio:** Los problemas de calidad de señal,

incluyendo interferencia, ruido y pérdida de paso, además de las condiciones del canal tales como nodos ocultos pueden no continuar iguales durante toda la duración de la conexión. Los parámetros iniciales de la Calidad de Servicio, como especificaciones de tráfico que se negocian inicialmente cuando una nueva sesión de voz/video es solicitada por una estación, pueden no continuar aplicables con los cambios en los ambientes inalámbricos. Siendo así, la estación necesitará renegociar parámetros de Calidad de Servicio con el AP actual o realizar la transición para otro AP para obtener un mejor servicio.

El cliente móvil utiliza el ***neighbor report*** IEEE 802.11k proporcionado por el AP actual para encontrar otros APs candidatos en la vecindad. El algoritmo de roaming inteligente en el cliente analiza las condiciones de canal y la carga de servicio de AP en los APs candidatos.

El cliente entonces selecciona el AP capaz de proporcionar el mejor resultado y de mantener una Calidad de Servicio adecuada. Una vez encontrado un candidato adecuado para la transición, la estación debe realizar una transición de conjunto de servicio básico (basic service set BSS). Para hacerlo, debe romper su asociación con el AP actual y asociarse con el nuevo AP. El proceso de transición incluye ajustar la radio para el nuevo canal, cambiando la solicitud de asociación y respuesta con el nuevo AP, realizando la autenticación y gestión clave, y estableciendo otros aspectos de estados de conexión tales como la Calidad del Servicio (QoS).

### 3. INVESTIGACION Y DESARROLLO DE WIMAX

En la actualidad hay muchos fabricantes de equipos y proveedores de servicios de la tecnología WiMAX. El objetivo principal de este capítulo es dar a conocer los avances tanto en la parte de productos como en la tecnología, para esto se creó una organización promovida por la industria, sin ánimo de lucro, llamada **WiMAX Forum** para apoyar, fomentar y certificar la compatibilidad e interoperabilidad de productos inalámbricos que soporten el estándar IEEE 802.16.

El objetivo del Forum es acelerar la introducción de estos mecanismos en el mercado. Los productos de WiMAX Forum Certified, serán totalmente interoperables y apoyarán aplicaciones en los ámbitos móvil, fijo y metropolitano en banda ancha.

El WiMAX Forum está formado por más de 230 miembros entre los que destacan nombres como Intel, Nokia, Siemens, Motorola, Samsung, Qwest y donde no faltan operadores de telefonía como Deutsche Telekom, British Telecom, Telecom Italia.

Figura 15. Algunos miembros del WiMAX Forum



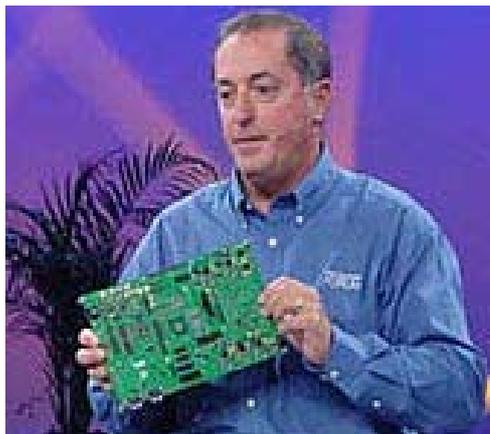
### 3.1 Solución de Intel para WiMAX

La corporación anunció recientemente el lanzamiento de su primer producto WiMAX. Que ofrecerá tanto a fabricantes de equipos como a operadoras, la posibilidad llevar a la siguiente generación tecnológica los sistemas de redes inalámbricas de banda ancha en todo el mundo.

Para Intel, WiMAX es una tecnología inalámbrica basada en estándares que ofrece conectividad de banda ancha de alta velocidad de última milla para hogares, empresas y para redes inalámbricas móviles.

“Como solución de acceso a Internet de alta velocidad basado en estándares, WiMAX puede proporcionar la plataforma para la siguiente generación de la expansión de Internet, conectando a los siguientes 1,000 millones de usuarios”, afirmó Richardson<sup>7</sup> “Además de ofrecer el primer sistema WiMAX flexible y altamente integrado en un chip, Intel ha trabajado con varias compañías, incluidos fabricantes de equipo y operadoras, para preparar a la industria para la siguiente ola de la tecnología inalámbrica”.

**Figura 16. Scott Richardson, gerente general de la División Inalámbrica de Banda Ancha de Intel**



Desde hace algún tiempo, algunos proveedores de servicios de todo el mundo habían venido anunciando el inicio de planes y ensayos comerciales sobre tecnología WiMAX de silicio de Intel, que ofrece las características que se necesitan para distribuir módems inalámbricos de alta velocidad de bajo costo para hogares y empresas.

---

<sup>7</sup> Scott Richardson, Gerente general de la División Inalámbrica de Banda Ancha de la compañía Intel; Boletín informativo de Intel, Abril de 2005.

Las implementaciones iniciales permitirán la distribución de acceso a Internet de banda ancha a áreas remotas que actualmente no cuentan con servicio de DSL o cable y harán posible la conexión inalámbrica de edificios hasta a varios kilómetros de distancia. Como está basada en estándares, se espera que la tecnología WiMAX haga más fácil y económico a usuarios de banda ancha nuevos y existentes disfrutar el acceso inalámbrico a Internet.

Con nombre en código original "**Rosedale**", el dispositivo interfaz Intel PRO/Wireless 5116 de banda ancha está basado en el estándar IEEE 802.16 2004, que da a operadoras y usuarios finales la confianza de que el equipo de diferentes fabricantes funcionará en forma conjunta. Las soluciones WiMAX basadas en el estándar 802.16 permiten la creación de redes inalámbricas fijas de banda ancha de alta velocidad, ofreciendo conectividad en Internet, recursos Internet Protocol (IP) y de voz TDM, además de video en tiempo real basado en IP a altas velocidades. La interfaz de banda ancha Intel PRO/Wireless 5116 es el primer sistema 802.16 en un chip optimizado para módems WiMAX y gateways residenciales de bajo costo.

Estas unidades se pueden instalar en hogares o en empresas para recibir y transmitir una señal de banda ancha inalámbrica. El producto está diseñado con un alto nivel de integración para optimizar el proceso de desarrollo y reducir los costos para los fabricantes de equipo.

También ofrece una arquitectura programable que facilita a los fabricantes de equipo agregar aplicaciones sobre la solución basada en estándares de Intel. Para ofrecer conectividad WiMAX a un público más numeroso, la interfaz de banda ancha Intel PRO/Wireless 5116 hace posibles productos WiMAX para exteriores y también nuevas soluciones para interiores, como módems WiMAX y gateways residenciales que se instalan automáticamente.

**Figura 17. Dispositivo interfaz Intel PRO/Wireless 5116**



### **3.1.1 Fabricantes que trabajan con Intel para desarrollar WiMAX**

Entre las operadoras que trabajan junto a Intel para poder ofrecer las redes WiMAX a un mercado amplio podemos destacar a AT&T\* (EE.UU.), Altitude Telecom\* (Francia), BT\* (Reino Unido), Brasil Telecom\* (Brasil), ETB\* (Columbia), Iberbanda\* (España), Millicom\* (Argentina), Qwest\* (EE.UU.), Sify\* (India), Speakeasy\* (EE.UU.), Telkom\* (Sudáfrica), Telmex\* (México), TowerStream\* (EE.UU.), UHT\* (Ucrania).

Un ejemplo claro de la aplicación de tecnología WiMAX es el caso de **Iberbanda** que “ha desplegado una de las principales redes con tecnología 802.16 en Europa, con cobertura en cerca del 25% del territorio español y especial incidencia en zonas rurales de Andalucía y Cataluña que carecían de otro tipo de infraestructuras de telecomunicación de banda ancha. Esta red está lista para implantar WiMAX y realizar las primeras pruebas en los próximos meses” ha afirmado Morell<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Carlos Morell, Director General de Iberbanda, Boletín informativo de Intel (19, abril, 2005).

“El chip de Intel nos permitirá optimizar los costos en los equipos de cliente y al mismo tiempo, facilitar el despliegue de nuevas redes de banda ancha en otras áreas. Gracias a nuestra licencia de uso exclusivo del espectro, Iberbanda ofrecerá servicios WiMAX con precios similares a otras soluciones de banda ancha pero con mayores anchos de banda, conexiones simétricas y calidades de servicio garantizadas.”

Asimismo, los principales fabricantes de equipos han anunciado el desarrollo de sus propios productos basados en la interfaz de banda ancha Intel PRO/Wireless 5116, incluyendo Airspan\*, Alvarion\*, Aperto Networks\*, Axxcelera Broadband Wireless\*, Gemtek\*, Huawei\*, Proxim Corporation\*, Redline Communications\*, Siemens Mobile\*, SR Telecom\* y ZTE\*. Con la incorporación de la interfaz de banda ancha Intel PRO/Wireless 5116, estas empresas esperan participar en las próximas pruebas para certificación del WiMAX Forum, un grupo del sector encargado de realizar pruebas y certificaciones de interoperabilidad en productos WiMAX elaborados por diferentes fabricantes.

### **3.1.2 Desarrollo de Nokia e Intel en la tecnología WiMAX**

Las compañías Nokia e Intel van a colaborar en varias áreas en soporte de tecnología WiMAX móvil (IEEE 802.16e) incluyendo clientes móviles, infraestructura de red y desarrollo de mercado. Para dispositivos móviles y plataformas de red, Intel y Nokia, están trabajando cercanamente para identificar y entregar la corriente única y requerimientos de rendimiento de la tecnología, y estrategias de estaciones base para ayudar a desplegar una infraestructura de red móvil que proveerá cobertura adecuada y confiable.

Además, las empresas están comprometidas en desarrollar esfuerzos de mercado para demostrar a los proveedores de servicios y a la industria como WiMAX puede realzar las capacidades de servicios de datos de la red mientras complementa las redes 3G existente. Finalmente, Nokia e Intel van a trabajar juntos para asegurar exitosa finalización del estándar 802.16e en IEEE y trabajo de especificación relacionado en el WiMAX Forum.

“La estrategia multiradio fin-a-fin de Nokia cubre muchas tecnologías inalámbricas optimizadas para usuarios de conectividad local y rápido transporte de datos, para difundir tecnologías y movilidad completa de voz y datos”, dijo Ojanpera<sup>9</sup> “WiMAX va a ser una importante tecnología complementando las tecnologías 3GPP y 3GPP2. Esto también creará nuevas oportunidades para los mercados de consumo y empresarial”.

“Las tecnologías de banda ancha de todos tipos representan una enorme oportunidad para empresas e individuos alrededor del mundo”, dijo Maloney<sup>10</sup>.

### **3.2 Solución de Nortel Networks para WiMAX**

Nortel Network es una de las compañías más importantes que pertenece al WiMAX Forum; esta tiene la oportunidad de contribuir con su experiencia y capacidad en tecnologías inalámbricas, fija y de acceso a banda ancha.

---

<sup>9</sup> Tero Ojanpera, Vice Presidente Señor y Chief Strategy Officer Nokia; Comunicados de prensa de Nokia (20, junio, 2005).

<sup>10</sup> Sean Maloney, Vicepresidente Ejecutivo y Gerente General, Mobility Group, Intel; Comunicados de prensa de Nokia (20, junio, 2005).

Además, Nortel Networks ofrecerá sus conocimientos especializados en el desarrollo de dos tecnologías emergentes, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) y Multiple-Input Multiple-Output (MIMO).

OFDM y MIMO amplían significativamente el potencial de WiMAX para la adopción generalizada a través de la mejora de la eficiencia del espectro y la velocidad de los datos con OFDM y MIMO, los proveedores de servicio pueden usar menos espectro para dar servicio a más clientes con una sola estación base.

"El compromiso y el aporte de Nortel Networks con el WiMAX Forum es el de acelerar la expansión de servicios avanzados de banda ancha dentro de las opciones de acceso a la vez que se disminuyen los costos de los operadores", dijo Hoadley<sup>11</sup> "Hemos contribuido al estándar 802.16 ayudando a desarrollar tecnologías subyacentes como OFDM o MIMO durante más de cinco años. Creemos firmemente que la combinación de OFDM y MIMO puede llevarse a cabo en 802.16 y WiMAX".

OFDM es la tecnología base de radio utilizada por Wireless Fidelity (Wi-Fi)/802.11 y WiMAX/802.16. MIMO es una antena de tecnología avanzada que potencia el rendimiento de WiMAX, multiplicando por cuatro la capacidad de envío de datos y la eficiencia del espectro estimado por Nortel Networks.

Los futuros sistemas de acceso al área de redes inalámbricas fuera de la tercera generación (3G) probablemente estarán basados en las tecnologías OFDM y MIMO.

---

<sup>11</sup> Joan Hoadley, vicepresidente de tecnología avanzada de Redes Móviles de Nortel Networks, Comunicado de prensa Nortel Networks (7, Septiembre, 2004).

Las tecnologías MIMO de Nortel Networks han sido verificadas en una amplia gama de entornos. En 2001 Nortel Networks completó una extensa prueba de propagación en el centro de Londres, comprobando la viabilidad de MIMO de aumentar de forma sustancial el rendimiento en un despliegue urbano. En febrero del 2003, Nortel Networks mostró una velocidad máxima de datos de hasta 20 megabites por segundo a través del aire utilizando tecnología OFDM/MIMO con una portadora de 5MHz.

Nortel Networks es miembro de numerosos organismos de la industria inalámbrica, como por ejemplo Internacional Telecommunications Union (ITU), Third Generation Partnership Project (3GPP), 3GPP2, Cellular Telecommunications & Internet Association (CTIA), IEEE, Wi-Fi Alliance y Wireless Communications Association (WCA). Nortel Networks ha diseñado, instalado y lanzado más de 300 redes inalámbricas en más de 50 países. Fue el primer proveedor de redes inalámbricas de la industria en trabajar con todas las tecnologías de radio avanzadas (GSM/GPRS/EDGE, CDMA2000 1X y 1xEV-DO, UMTS y WLAN) y es el único proveedor de soluciones inalámbricas de principio a fin de próxima generación.

### **3.3 Solución de Motorola para WiMAX**

La gama **Moto Wi4** de productos WiMAX incluye una solución de “infraestructura liviana” para países en vías de desarrollo que ofrece costos muy bajos de implementación, el desarrollo de nuevas soluciones de banda ancha inalámbrica móvil se basa en la utilización de competencias en base IP, acceso de radio, servicios de red y dispositivos. Motorola ha sido el principal miembro del Foro de WiMAX desde 2004, ya que los estándares universales son un elemento clave al brindar soluciones Wimax al mercado.

Motorola Inc. Líder mundial en comunicaciones inalámbricas y movilidad, ha expandido su enfoque estratégico para introducir al mercado soluciones WiMAX (802.16e) con el objetivo de satisfacer la creciente demanda de soluciones de banda ancha inalámbrica fija y móvil.

La iniciativa incluye una combinación de mayor investigación y desarrollo, recursos y relaciones tecnológicas y la introducción de la nueva gama de productos Moto Wi4 que llevará a los operadores a la cuarta generación de redes inalámbricas móviles.

“Motorola ha alineado nuestras actividades de Networks a fin de respaldar una iniciativa en toda la empresa para desarrollar WiMAX y otras soluciones de banda ancha inalámbrica móvil, que constituyen una forma efectiva para que los operadores brinden servicios de banda ancha a sus clientes, cuándo y dónde ellos lo necesiten y a un precio accesible”, dijo Coombes<sup>12</sup> “Con nuestra larga trayectoria de proveedores líderes de sistemas de acceso de banda ancha inalámbrica y redes celulares, una gama de innovaciones tecnológicas de todos los sectores y los esfuerzos concentrados de nuestros equipos de ingeniería, Motorola está bien encaminada para brindar soluciones WiMAX.”

Según Maravedis, una empresa de investigación y análisis que se centra en tecnologías de acceso de banda ancha inalámbrica, se espera que el mercado mundial de banda ancha fija y móvil (incluyendo WiMAX) alcance hasta U\$S 1 mil millones en 2007 y que posiblemente llegue a los U\$S 4 mil millones en 2010.

---

<sup>12</sup> Dan Coombes, Vicepresidente Senior, Gerente General de Wireless Broadband Networks y principal funcionario de tecnología de Motorola Networks; Comunicado de prensa Motorola (20, julio, 2005)

Bajo el liderazgo de Coombes, Motorola se basará en su negocio, altamente exitoso, de banda ancha inalámbrica Canopy™ y utilizará su conocimiento práctico en las tecnologías subyacentes – Modulación por división ortogonal de frecuencia (OFDM); redes con IP; toda su arquitectura de punto de acceso de proveedor (CAP) plano basada en IP; y teléfonos con IP – para desarrollar soluciones fijas, y móviles que podrán satisfacer las distintas necesidades de los clientes de Motorola en sus mercados de consumidores finales, empresas y gobiernos.

“El enfoque sostenido de Motorola en el desarrollo de 802.16e tendrá un impacto significativo en el progreso del estándar en la tendencia dominante. Una empresa de la envergadura de Motorola necesita liderar y no seguir las tecnologías clave, sus recientes decisiones muestran que su objetivo es nada menos que crear otro punto de inflexión en la industria de las telecomunicaciones, tal como lo hizo con la introducción del primer teléfono móvil en 1983”, dijo Gabriel<sup>13</sup>.

La gama Moto Wi4 de soluciones WiMAX incluye una solución de “infraestructura liviana” para las áreas rurales y los países en vías de desarrollo que ofrece costos muy bajos de implementación y propiedad, y una solución de clase portadora.

Esta solución incorpora la arquitectura CAP de Motorola que utiliza todas las tecnologías de acceso a IP, a fin de colocar la inteligencia en la base de la estación misma, eliminando de esta forma varios elementos de hardware de red de acceso de radio. Esta arquitectura punto a punto ofrece a los operadores la oportunidad de reducir los costos de capital y operativos al mismo tiempo que se reducen los requisitos de espacio.

---

<sup>13</sup> Caroline Gabriel, Directora de Investigación, Rethink Research Associates. Comunicado de prensa Morola (20, julio, 2005).

**Figura 18. Productos moto wi4 de Motorola**

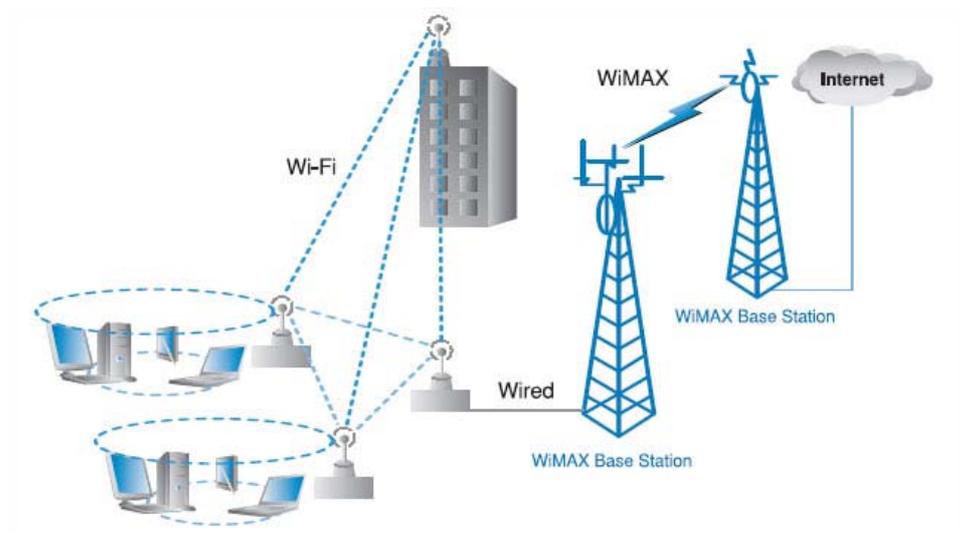


Motorola ha anunciado recientemente un importante acuerdo de desarrollo de tecnología conjunto con Sprint para las pruebas y ensayos de equipos de tecnología banda ancha inalámbrica WiMAX 802.16e. El acuerdo amplía los ensayos de laboratorio de la gama Moto Wi4 de las estaciones base, tecnología de antena inteligente y teléfonos multimedia WiMAX.

#### 4. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE WIMAX/WI-FI

La diferencia fundamental entre WiMAX y Wi-Fi radica en que están diseñados para aplicaciones totalmente diferentes. El Wi-Fi es una tecnología de red local diseñada para agregar movilidad a redes LAN cableadas privadas. El WiMAX fue diseñada para entregar servicio de acceso de banda ancha (BWA) al Área Metropolitana. La idea detrás del BWA es de proveer servicios de acceso de Internet inalámbrico a localidades físicas para competir con los servicios de cable modem y xDSL. Entonces mientras que Wi-Fi está pensado para oficinas o dar cobertura a zonas relativamente pequeñas, WiMAX ofrece tasas de transferencia de 70 mbps a distancias de hasta 50 kilómetros de una estación base. Por comparación, la tasa de transferencia de Wi-Fi es de 11 mbps y la distancia de hasta 350 metros en zonas abiertas.

**Figura 19. Operabilidad entre WiMAX y WiFi**



#### **4.1 Tecnología de Radio WiMAX/Wi-Fi**

Además de la diferencia obvia en el rango de transmisión hay un número de mejoras en la tecnología de enlace de radio que distinguen al WiMAX del Wi-Fi. El estándar de LAN inalámbrica IEEE 802.11 describe cuatro interfaces de enlace de radio que operan en la banda de radio no licenciada de 2.4 GHz o 5 GHz; las cuatro mostradas en la tabla siguiente. Los estándares WiMAX incluyen un rango mucho mayor de implementaciones potenciales para satisfacer los requerimientos de carriers alrededor del mundo.

La versión original del estándar 802.16 emitida en Diciembre de 2001 direcciona sistemas operativos en la banda de frecuencias entre 10-66 GHz. Estos sistemas de alta frecuencia requieren línea de vista (LOS) a la estación base lo cual incrementa el costo y los límites de las estaciones de clientes. Además en los sistemas línea de vista las antenas de usuario debe ser alineadas cuando una nueva celda es agregada a la red.

La versión del estándar 802.16 correspondiente a Enero del 2003 describe sistemas que operan en la banda de frecuencia que va de 2 GHz a 11 GHz. Esta banda de frecuencia inferior soporta enlaces sin línea de vista (NLOS), tal cual lo descrito en capítulos anteriores, eliminando la necesidad de alinear la unidad de cliente con la BS.

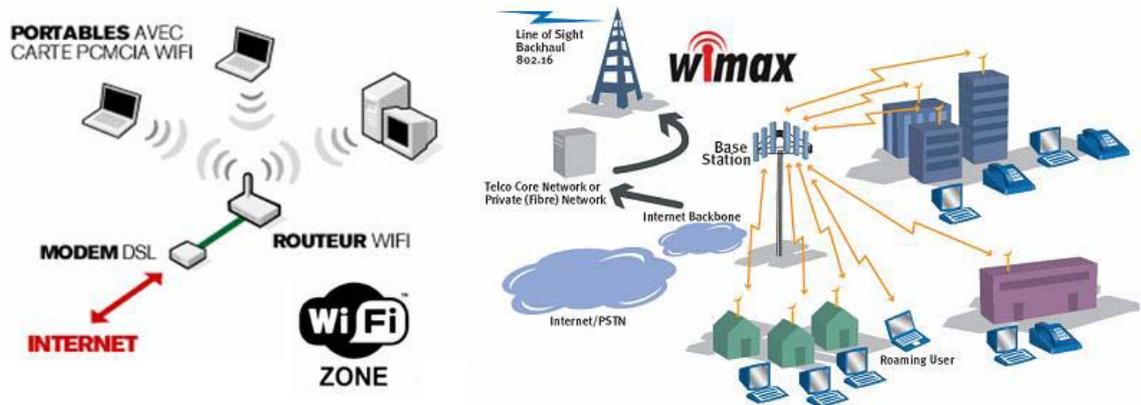
**Tabla 2. Interfaces de Radio WLAN IEEE 802.11**

ESTANDAR	VELOCIDAD DE DATOS MAXIMA	VELOCIDADES DE RETORNO	CANALES PROVISTOS	BANDA DE FRECUENCIAS	TECNOLOGIA DE RADIO
802.11	2 Mbps	1 Mbps	3	2.4 GHz	FHSS o DSSS
802.11b	11Mbps	5.5 Mbps 2 Mbps 1 Mbps	3	2.4 GHz	DSSS
802.11a	54 Mbps	48 Mbps 36 Mbps 24 Mbps 18 Mbps 12 Mbps 9 Mbps 6 Mbps	12	5GHz	OFDM
802.11g	54 Mbps	Igual que 802.11a	3	2.4 GHz	OFDM

Mientras que todas las implementaciones Wi-Fi usan bandas de frecuencia no licenciadas, WiMAX puede operar en el espectro licenciado o no licenciado. Dentro del rango de 2-11 GHz correspondiente a 802.11a, 4 bandas en USA son particularmente atractivas:

- Licenciada 2.5 Ghz MMDS
- Licenciada 3.5 GHz
- No Licenciada 3.5 GHz
- No Licenciada 5 GHz U-NII

**Figura 20. Comparación WiMAX y WiFi**



A modo de resumen comparativo, la siguiente tabla muestra las características de los enlaces de radio de IEEE 802.16.

**Tabla 3. Resumen de Enlaces de Radio 802.16**

	802.16	802.16a	802.16e
ESPECTRO	10 – 66 GHz	2 – 11 GHz	< 6 GHz
CONFIGURACION	LOS	NLOS	NLOS
VELOCIDAD DE DATOS	34 a 134 Mbps (Canal de 28 Mhz)	≤ 70 o 100 Mbps (Canal de 20 Mhz)	Hasta 15 Mbps
MODULACION	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	256 Subportadoras OFDM usando QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM	Igual que 802.16a
MOVILIDAD	Fijo	Fijo	≤ 113 Km/h
ANCHO BANDA CANAL	20, 25, 28 Mhz	Seleccionable 1.25 a 20 Mhz	5 MHz (Planificado)
RADIO CELDA TIPICO	1.6 a 4.8 Km	4.8 a 8 Km	1.6 a 4.8 Km

La siguiente tabla muestra una comparación general de los atributos de ambas tecnologías, respecto de las características avanzadas.

**Tabla 4. Comparación de Tecnología WiMAX y Wi-Fi**

	<b>WiMax 802.16a</b>	<b>Wi-Fi 802.11b</b>	<b>Wi-Fi 802.11a/g</b>
<b>Aplicación Primaria</b>	Acceso Inalámbrico de Banda Ancha	LAN Inalámbrico	LAN Inalámbrico
<b>Banda de Frecuencia</b>	Licenciada/No Licenciada 2 – 11 GHz	2.4 GHz ISM	2.4 GHz ISM (g) 5 GHz U-NII (a)
<b>Ancho Banda Canal</b>	Ajustable 1.25 M a 20 Mhz	25 Mhz	20 MHz
<b>Half/Full Duplex</b>	Full	Half	Half
<b>Tecnología de Radio</b>	OFDM (256-canales)	DSSS	OFDM (64-canales)
<b>Eficiencia BW</b>	≤ 5 bps/Hz	≤ 0.44 bps/Hz	≤2.7 bps/Hz
<b>Modulación</b>	BPSK, QPSK, 16-, 64-, 256-QAM	QPSK	BPSK, QPSK, 16-, 64 QAM
<b>FEC</b>	Código Convolutacional Reed Solomon	No	Código Convolutacional
<b>Encriptado</b>	Obligatoria- 3DES Opcional- AES	Opcional- RC4 (AES en 802.11i)	Opcional- RC4 (AES en 802.11i)
<b>Protocolo de Acceso</b>	Requerido/Garantizado	CSMA/CA	CSMA/CA
• <b>Mejor Esfuerzo</b>	Si	Si	
• <b>Prioridad Datos</b>	Si	802.11e WME	802.11e WME
• <b>Retardo Consistente</b>	Si	802.11e WSM	802.11e WSM
<b>Movilidad</b>	WiMax Móvil (802.11e)	En Desarrollo	En Desarrollo
<b>Mesh</b>	Si	Propietario Fabricante	Propietario Fabricante

## 5. APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA WIMAX

WiMAX es interesante para todo tipo de operador, fijo y móvil, establecido y alternativo. Al desplegar una red de acceso WiMAX, los operadores fijos no sólo son capaces de ofrecer acceso inalámbrico, sino también de ofrecer servicios Internet portátiles y nómadas para complementar sus ofertas DSL y WiFi. En este capítulo se estudia la integración de WiMAX con otras tecnologías y sus aplicaciones en diferentes ciudades del mundo.

### 5.1 Integración de WiMAX en una red global

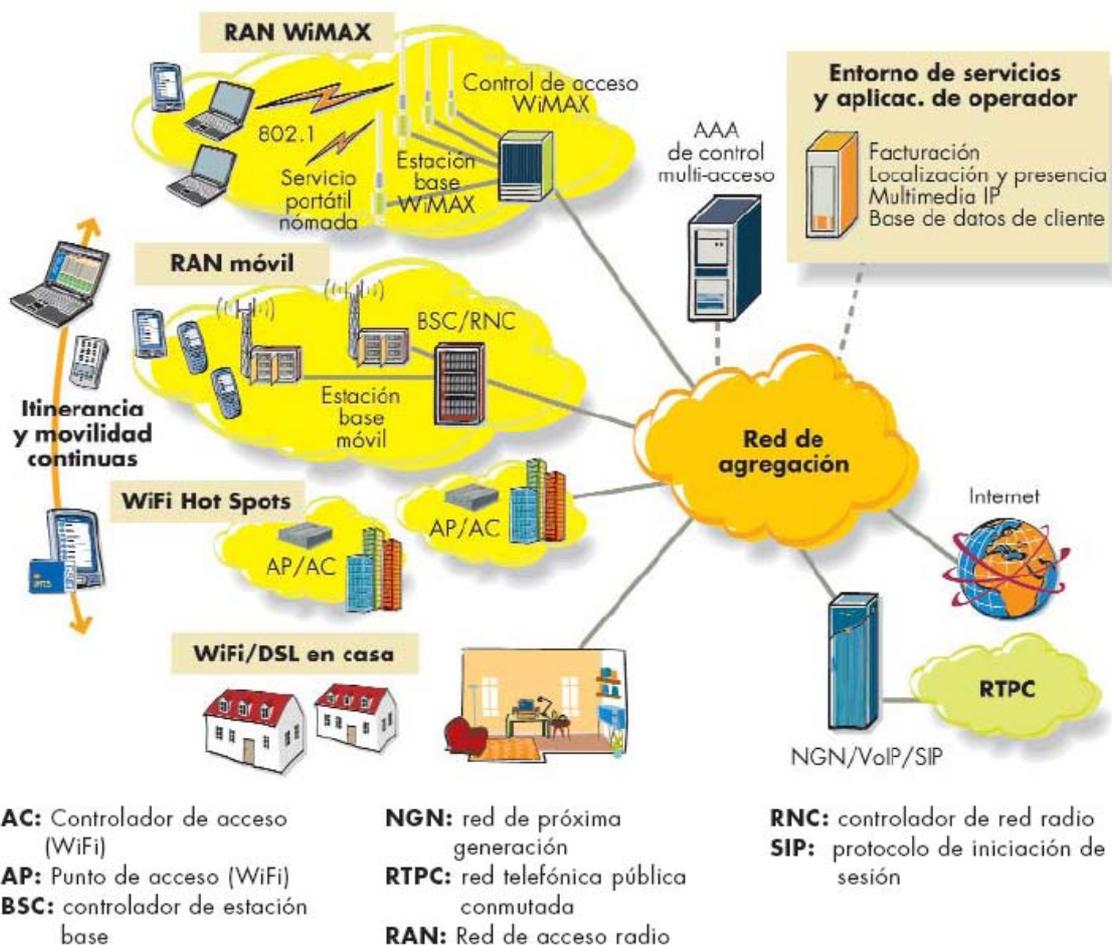
Los operadores móviles pueden integrar WiMAX en sus redes para relanzar sus carteras de productos añadiendo servicios de elevado ancho de banda para complementar sus servicios de datos existentes. El acceso a las mismas aplicaciones (mensajería, agenda, portal, etc.) sobre diferentes de accesos de radio se ofrece con una única factura y un único perfil de abonado. Un requisito clave de las arquitecturas de red WiMAX es integrar uniformemente abonados fijos y nómadas en las arquitecturas de redes móviles y fijas existentes. El método de la arquitectura de servicios comunes proporciona a los usuarios las siguientes facilidades, independientemente del tipo de red de acceso:

***Autenticación y control de acceso comunes:*** Los usuarios pueden tener una única suscripción y recibir una sola factura incluso aunque use diferentes redes de acceso. La solución se basa en mecanismos de AAA (autenticación, autorización y contabilidad).

**Acceso a servicios comunes:** Todos los flujos se enrutan a través de la red doméstica usando mecanismos de tunelado. Este escenario de interfuncionamiento da al operador doméstico el control total de la oferta de servicio (incluyendo facturación, control de políticas), y proporciona al usuario todos los servicios a los que se ha suscrito sea lo que sea la red de acceso.

**Continuidad de servicio:** a través de diferentes redes de acceso mediante el soporte de IP móvil. Inicialmente los usuarios sólo buscaban acceder a sus servicios habituales, pero rápidamente demandaron la continuidad de servicios mientras se estaban desplazando y pasando de una celda a otra. La solución les permite disfrutar de una experiencia “siempre mejor conectado” cuando acceden a sus aplicaciones por la mejor red disponible cuando se está en casa, lejos de casa o desplazándose.

Figura 21. Integración de WiMAX en una solución global



### 5.1.1 Integración de WiMAX en un entorno de red DSL

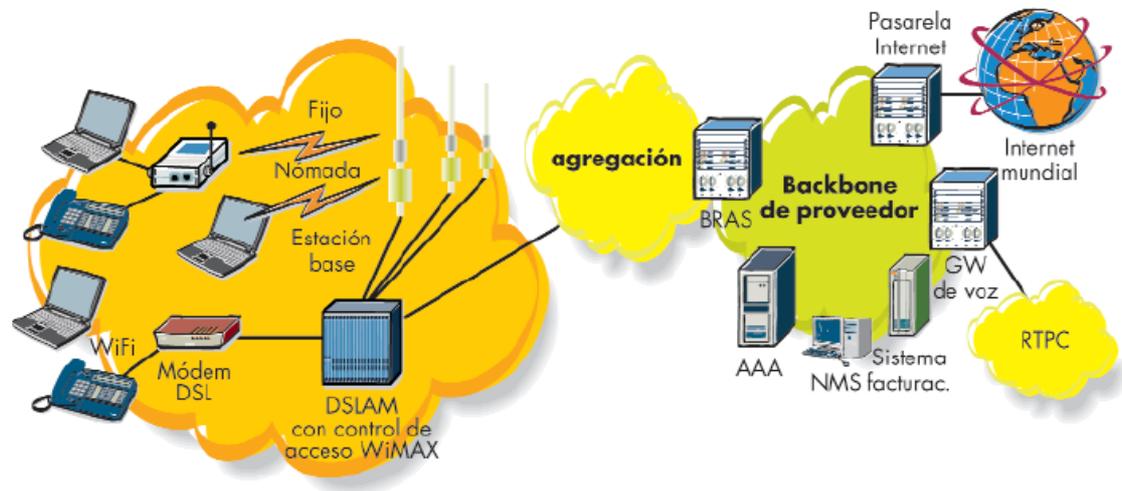
WiMAX permite a los operadores desplegar servicios DSL inalámbricos en sus infraestructuras existentes:

- En zonas donde una infraestructura de cobre no esté disponible o sea de pobre calidad.
- En zonas escasamente pobladas donde una infraestructura cableada no sería

rentable.

En la Figura 22 podemos observar como conectar la estación base WiMAX al DSLAM (multiplexor de acceso de la línea de abonado digital), que permite que se ofrezca el DSL inalámbrico de la misma forma que hoy el ADSL (línea de abonado digital asimétrica) reutilizando las redes de acceso y agregación así como las existentes plataformas de aprovisionamiento y gestión. Las estaciones base WiMAX se pueden desplegar o en la central en DSLAMs casi remotos, usando así la infraestructura que ya es propiedad del operador. Colocar la estación base con el DSLAM y conectarla por Ethernet rápido elimina la necesidad de enlaces caros. Sin embargo, otras técnicas se podrían usar para conectar la estación base al DSLAM.

**Figura 22. WiMAX integrado en una arquitectura DSL**



**BRAS:** Servidor de acceso remoto de banda ancha

**NMS:** Sistema de gestión de red

Esta arquitectura tiene la ventaja de poder usar los modelos PPP (protocolo punto a punto) e IP/DHCP (protocolo dinámico de configuración de ordenador principal) para proporcionar servicios de Internet de alta velocidad y VoIP (voz sobre el protocolo Internet). Disponer de una conexión inalámbrica de “primera milla” permite a los operadores ofrecer uso nómada, dando a sus abonados la libertad para conectarse de igual forma a los mismos servicios se esté en casa, en el trabajo o en una zona caliente. Al optar por interconectar la estación base al DSLAM, tanto los servicios cableados como inalámbricos, fijos como nómadas se pueden ofrecer desde una única plataforma, dando la libertad de desplegar la tecnología más apropiada para un servicio específico y situación, extendiendo así el alcance de banda ancha y la oferta de servicios.

### **5.1.2 Integración de WiMAX en un entorno de red móvil**

La estrategia globalmente propuesta es usar mecanismos similares a los desarrollados para integrar LANs (redes de área local) inalámbricas en la arquitectura móvil, 3GPP (proyecto asociado de tercera generación) y 3GPP2, como se observa en la figura 22. Esta integración pretende proporcionar:

- Acceso, autenticación y autorización WiMAX a través del sistema móvil.
  
- Acceso IP, significando que además de acceder a una red IP localmente conectada desde la LAN inalámbrica, el usuario puede conectar a través de la red central del operador.

**Figura 23. WiMAX integrado en una arquitectura móvil**



Dicho método permite al usuario acceder a los servicios del operador y tener idénticos mecanismos de autorización y acceso basados en un SIM (módulo de identidad del usuario) y USIM (SIM universal).

La principal función de la unidad de interfuncionamiento PDG (pasarela de datos por paquetes) es proporcionar un TTG (Tunnel Termination Gateway) entre la red de acceso WiMAX y la red central móvil. También proporciona las siguientes funciones: interfaces de pasarelas de tarificación, asignación de direcciones IP, autenticación en redes externas, y acceso único a servicios de dominios de paquetes de datos de redes centrales móviles.

Se puede contemplar como un subconjunto de las funciones GGSN (nodo de soporte de la pasarela GPRS) en el caso 3GPP.

## **5.2 Tecnología WiMAX en diferentes partes del mundo**

### **5.2.1 WiMAX en Taiwán**

La compañía estadounidense Intel y el Gobierno de Taiwan han alcanzado un acuerdo para conectar inalámbricamente la isla asiática con la tecnología WiMAX. De este modo, se podrá ofrecer conexiones a Internet Wireless en toda la isla de Taiwan, ya que esta nueva tecnología permite transmitir y recibir datos a más de 70 Mbps. Para ello, los taiwaneses invertirán 32,9 millones de dólares en el proyecto y establecerán 15 campos de prueba en 10 ciudades para el 2007.

Con esto, Intel confirma su interés por establecerse en el mercado asiático, manteniendo contacto con distintos operadores de telecomunicaciones de Malasia, Tailandia, Filipinas y Corea del Sur. Intel considera que WiMAX será la clave para hacer realidad el concepto de hogar digital en Asia, en el que los ordenadores y electrodomésticos estarán ligados por conexiones de banda ancha.

### **5.2.2 WiMAX en España**

La compañía Española IBERBANDA realizó en Andalucía una de las primeras pruebas comerciales en Europa de servicios de telefonía y acceso a Internet de alta velocidad provistos con la tecnología Intel para WiMAX. En las pruebas se están empleando los chips PRO/Wireless 5116 Broadband Interface Chip de Intel y los equipos preWiMAX de la firma Alvarion.

Según Iberbanda, la experiencia piloto, basada en una red operativa preWiMAX con más de 300 estaciones base y 20.000 clientes, optimizará la tecnología para su lanzamiento comercial en el último trimestre del año. En una primera fase, la compañía implantará la tecnología WiMAX actualizando sus redes preWiMAX ya desplegadas en algo más del 25% del territorio español. La nueva oferta comercial de Iberbanda dará servicios de telefonía y acceso a Internet con velocidades de 10 Mbps por usuario y un alcance de más de 30 kilómetros.

A mediados del 2005, la compañía ha probado en 50 clientes de varios municipios de Almería (España), los nuevos equipos del fabricante Alvarion que incorporan el chip de Intel PRO/Wireless 5116, conocido con el nombre en código Roseadle. Iberbanda iniciará la oferta de servicios WiMAX, en primer lugar, en zonas rurales y suburbanas de Andalucía, Cataluña, Castilla y León y Navarra.

Donde la compañía ha resultado adjudicataria de concursos públicos para el despliegue de nuevas redes de telecomunicación de banda ancha en áreas sin cobertura ADSL. En la actualidad, gracias a estas redes provistas con tecnología preWiMAX, más de 20.000 usuarios ya cuentan con servicios de banda ancha y telefonía IP.

”Con este piloto hemos dado un paso decisivo para la estandarización de la tecnología WiMAX, la compatibilidad entre equipos y redes de distintos fabricantes y la reducción de costes para su despliegue”, señala Morell gerente de Iberbanda “Realizar el test del chip de Intel en equipos de cliente de forma pionera y haber desplegado una de las mayores redes preWiMAX de Europa, posicionan a Iberbanda en la vanguardia para la implantación de WiMAX”.

Maximoff<sup>14</sup>, dice que este es “el primer despliegue comercial a gran escala en Europa de WiMAX, basado en la tecnología de silicio de Intel. Iberbanda juega un papel pionero en el desarrollo de WiMAX, para llevar la banda ancha a las regiones españolas donde el cable o DSL no pueden llegar”.

### **5.2.3 WiMAX en Colombia**

La ciudad mejor conectada del país es Bucaramanga y su área metropolitana, que estrenó en el 2005 el revolucionario sistema WiMAX, el cual permite conectarse a Internet de manera inalámbrica desde cualquier lugar de la ciudad a altas velocidades.

El proyecto está en hombros de Telebucaramanga, un operador local del que Telecom tiene el 54 por ciento de la propiedad accionaria y el municipio, el 46 por ciento restante. Telebucaramanga, a pesar de ser una empresa de tamaño mediano, descuella en el país por su eficiencia y por la calidad de sus plataformas tecnológicas. Fue una de las primeras empresas colombianas en ofrecer el servicio ADSL. No satisfechos con ello, decidieron modernizar su plataforma y adquirieron de la compañía Ericsson la tecnología ADSL2+, una notable mejora que permitirá que los usuarios del sistema puedan recibir mediante el mismo MODEM servicios de Internet, datos y video.

Telebucaramanga ha invertido en total 12.000 millones de pesos en sus plataformas tecnológicas, que incluyen 4.000 usuarios de ADSL, 16 antenas Wi-Fi y 2 antenas WiMAX.

---

<sup>14</sup> Jesús Maximoff, director general de Intel Corporation Iberia, Comunicado de prensa de Intel (14, Septiembre, 2005).

Para ingenieros de Intel, este tipo de soluciones son todavía 'pre-WiMAX' pues el estándar no ha sido definido en su totalidad, pero en términos prácticos lo es.

Cualquier bumangués con un portátil o una PDA con tarjeta de red inalámbrica puede conectarse a Internet desde prácticamente cualquier punto de la ciudad, a velocidades de hasta 11 megabits por segundo.

La ingeniosa solución adoptada por Telebucaramanga consiste en instalar dos potentes antenas WiMAX de 20 kilómetros de alcance cada y en medio de ellas, 16 antenas Wi-Fi de un kilómetro de alcance cada una. Con ayuda de la topografía de la ciudad, una meseta en medio de dos cerros, y colocando una antena WiMAX en cada cerro, esta compleja red puede hacer un barrido total del área metropolitana y prestar el servicio inalámbrico en ese primer gigantesco HotSpot colombiano. Bucaramanga no tiene edificios muy altos, no hay montañas en medio que interrumpen la señal y la ciudad no está saturada de frecuencias como sucede en otros lugares<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Revista Semana; Artículo , Bucaramanga digital, (Enero, 2005)

## 6. CONCLUSIONES

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

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

El Forum WiMAX ([www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org)) es un grupo de la industria focalizado en la creación de perfiles de sistemas y programas de conformidad para ayudar a asegurar la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes.

Existen numerosos fabricantes de la talla de Intel, Alvarion, Motorola, Nokia, etc., que participan activamente en este esfuerzo de la industria para ayudar a reducir riesgos de inversión a operadores y proveedores de servicio mientras posibilitan a ellos tomar ventaja en forma del tremendo mercado potencial de los accesos de banda ancha inalámbrico.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- INTEL Corporation, Paper. Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions.
- Alcatel Corporation, White Paper. WiMAX, making ubiquitous high-speed data services a reality.
- INTEL Corporation , White Paper: Broadband Wireless Access. 2003.
- Eugene Crozier , White Paper: WiMAX NLOS Features, WiMax Forum. 2004.
- Michael F. Finneran, WiMax versus Wi-Fi, dBrn Associates Inc. 2004.

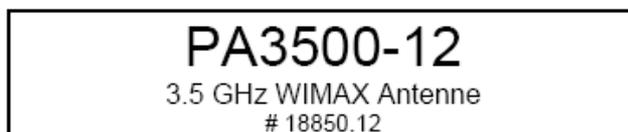
## **PAGINAS WEB**

- <http://www.wimaxforum.org>
- <http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax>
- <http://www.wimaxworld.com>
- <http://www.pc-news.com>
- <http://www.agalisa.es/article1039.html>

- [http://www.nokia.com.co/about\\_nokia/press/press\\_release/release](http://www.nokia.com.co/about_nokia/press/press_release/release)
- <http://www.nortel.com/corporate/news/>
- <http://www.intel.com/ebusiness/pdf/wireless/intel>
- <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=31>
- <http://www.motorola.com/content/0,,5918-8767,00.html>
- <http://www.blogwimax.com/>
- <http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/>
- <http://www.fujitsu.com/us/services/edevice/microelectronics/>
- <http://wimaxxed.com/>
- <http://wimax.com/solutions/overview>
- <http://ieee802.org/16/>

## **ANEXOS**

## Anexo A. Datasheets de Antenas Wimax de diferentes fabricantes



Flachantenne für Punkt-zu Punkt-Verbindungen für den 3.5GHz WIMAX-Bereich. Wetterfeste Ausführung für den Aussenbereich, aber auch ideal für die Versorgung von Innenräumen, z.B. im Treppenhaus. Mit universeller, rostfreier Neig/Kipphalterung und Montagematerial für Mast- und Wandmontage (inkl. Dübel & Schrauben), für Mastdurchmesser von 30 bis 55mm.

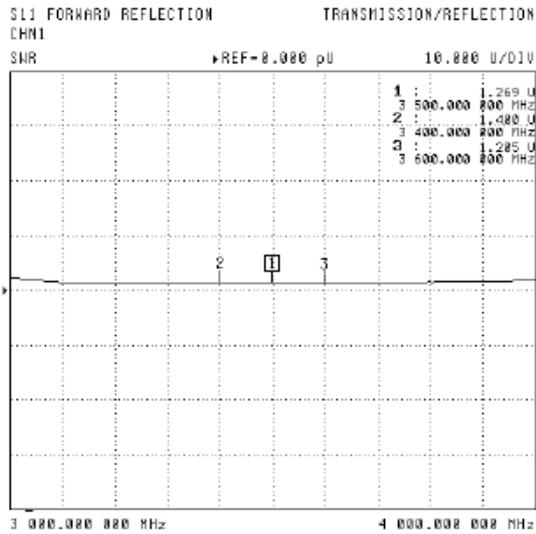
Antennenanschluß N-Buchse.

Directional panel antenna for 3.5Hz WIMAX. Weatherproof antennas for outdoor use, but also very well suitable for indoor use, e.g. staircases etc. Supplied with universal tilt mount and mounting hardware (stainless steel) for wall or mast mounting (30 - 55mm diameter). Antenna connector is N female.

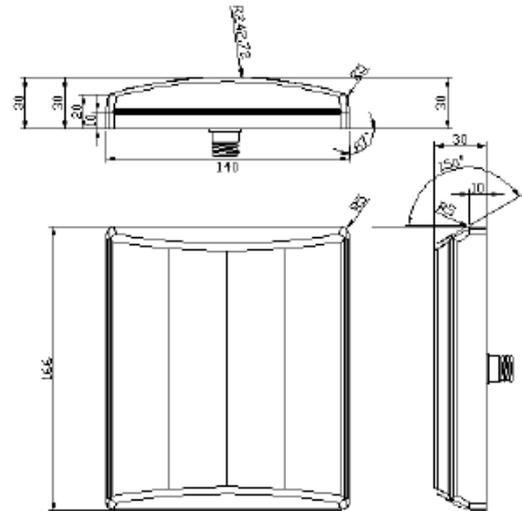
Technische Daten / specifications	
Antennenform type of antenna	Patch
Frequenzbereich Frequency range	3400-3600 MHz
Anschluß Connector	N-Buchse N female
Impedance	50 Ohm
Polarization	linear
Belastbarkeit Power rating	10 Watt
Gewinn / gain	12 dBi
Gehäuse/ cover	ABS
Halterung Mount	Edelstahl / Alu Druckguß Stainless steel / alu diecast
Gewicht weight	440 g
Abmessungen dimensions	140x166mm



### SWR

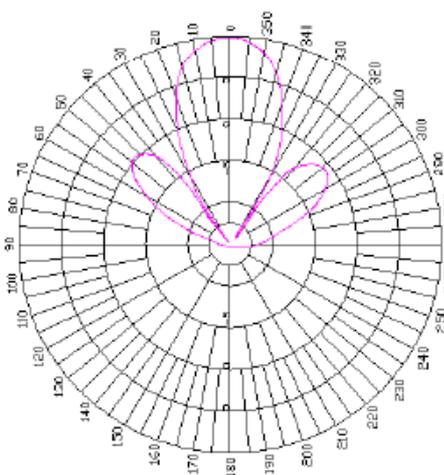


### Maße / dimensions

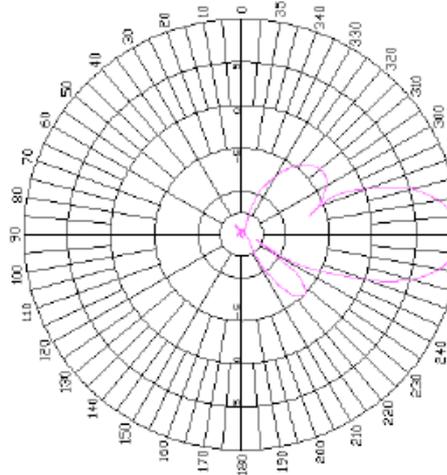


### Richtdiagramme

#### H-PLANE



#### E-PLANE





**PA3500-18**  
3.5 GHz WIMAX Antenne 18 dBi  
# 18850.18



Flachantenne für Punkt-zu Punkt-Verbindungen für den 3.5GHz WIMAX-Bereich. Wetterfeste Ausführung für den Aussenbereich, aber auch ideal für die Versorgung von Innenräumen, z.B. im Treppenhaus. Mit universeller, rostfreier Neig/Kipphalterung und Montagematerial für Mast- und Wandmontage (inkl. Dübel & Schrauben), für Mastdurchmesser von 30 bis 55mm.  
Antennenanschluß N-Buchse.

Directional panel antenna for 3.5Hz WIMAX. Weatherproof antennas for outdoor use, but also very well suitable for indoor use, e.g. staircases etc. Supplied with universal tilt mount and mounting hardware (stainless steel) for wall or mast mounting (30 - 55mm diameter). Antenna connector is N female.

Technische Daten / specifications	
Antennenform type of antenna	Patch
Frequenzbereich Frequency range	3400-3600 MHz
Anschluß Connector	N-Buchse N female
Impedance	50 Ohm
Polarization	linear
Belastbarkeit Power rating	10 Watt
Gewinn / gain	18 dBi
Gehäuse/ cover	ABS
Halterung Mount	Edelstahl / Alu Druckguß Stainless steel / alu diecast
Gewicht weight	2000 g
Abmessungen dimensions	290x330mm





## GP3500-xx

3.5 GHz Omnidirectional antenna for WIMAX  
# 18860.10 / 18860.12



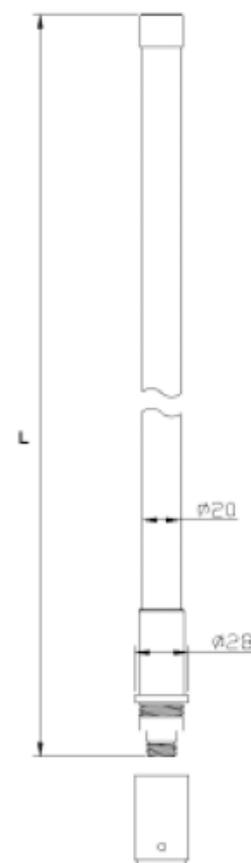
Professionelle Vertikalrundstrahler (Omnidirectional) für den 3.5GHz WIMAX-Bereich. Wetterfeste Ausführung für den Aussenbereich, aber auch ideal für die Versorgung von Innenräumen, z.B. im Treppenhaus. Das rostfreie Montagmaterial für Mast- und Wandmontage (inkl. Dübel & Schrauben) liegt bei, für Mastdurchmesser von 30 bis 55mm. Farbe weiß, Antennenanschluß N-Buchse.

Hinweis: Durch die versenkte N-Buchse kann ein üblicher Blitzschutz nicht unmittelbar am Fuß der Antenne angebracht werden, hier ist eine Verlängerung nötig. Oder Blitzschutz nicht an der Antenne sondern unten montieren.

Professional omni directional antenna for 3.5GHz WIMAX. Weatherproof antennas for outdoor use, but also very well suitable for indoor use, e.g. staircases etc. All mounting hardware (stainless steel) for wall or mast mounting (30 - 55mm diameter) is included. White color, Antenna connector is N female.

NB: The N jack is recessed, so a typical lightning arrester cannot be attached directly to the base of the antenna. Either use a short N extension or place the lightning arrester at the other end of the cable.

Technische Daten / specifications	
Antennenform type of antenna	Gestockte Dipole / stacked dipole array
Frequenzbereich Frequency range	3400-3600 MHz
Anschluß Connector	N-Buchse N female
Impedance	50 Ohm
Polarization	Vertical
Belastbarkeit Power rating	10 Watt
Gewinn Gain	GP3500-10: 10 dBi GP3500-12: 12 dBi
Öffnungswinkel vertikal vertical beamwidth	GP3500-10: 12° GP3500-12: 10°
Gehäuse/ cover	GFK / fibreglass
Halterung Mount	Edelstahl Stainless steel
Durchmesser diameter	20.0 mm
Gewicht weight	520 / 550 g
Länge Total length [L]	520/ 610 mm



## Specifications Sheet



### Motorola Canopy 5.4 GHz Advantage Access Point Module



Description	5.4 GHz Advantage Access Point Module
Canopy Part Number	5450AP
Market Availability	not currently available in the US
Signaling Rate	20 Mbps Maximum
Typical LOS Range	2 mi (3.2 km)
Typical Aggregate Useful Throughput	14 Mbps Maximum
Frequency range of band	U-NII 5470-5725 MHz
Non-overlapping Channels	3
Channel Width	20 MHz
Channel Spacing	every 5 MHz
Modulation Type	High Index 2-level Frequency Shift Keying (FSK) optimized for interference rejection
Encryption	DES capable
Latency	5 - 7 msec
Carrier to Interference ratio (C/I)	-3dB @ 10 Mbps, -10dB @ 20 Mbps at -65dBm
Nominal Receiver Sensitivity (dbm typical)	-86 dB
Antenna Gain (dB)	7 dB
EIRP (dB)	30 dB
Equivalent Isotropic Radiated Power (EIRP)	Adjustable to 1 W
DC Power (typical)	0.3 A @ 24 VDC = 7.2 W
Antenna Beam Width	3 dB antenna beam width 60 degrees, Azimuth and Elevation
Mean Time Between Failure (MTBF)	40 yr
Temperature	-40° C to +55° C (-40° F to +131° F)
Wind Survival	190 km/hr (118 miles/hr)
Dimensions	11.75 in H x 3.4 in W x 3.4 in D (29.9 cm H x 8.6 cm W x 8.6 cm D)
Weight	45 kg (1 lb)
Access Method	Time Division Duplexing/Time Division Multiple Access (TDD/TDMA)
Interface	10/100 Base T, half/full duplex, Rate auto negotiated (802.3 compliant)
Protocols Used	IPv4, UDP, TCP, ICMP, Telnet, HTTP, FTP, SNMP
Network Management	HTTP, TELNET, FTP, SNMP Version 2c
CE	*CE* marked & compliant to EN301 893, Implements DFS & TPC. DoCs are available at <a href="http://www.canopywireless.com/doc.php">http://www.canopywireless.com/doc.php</a>

Specifications Sheet



Motorola Canopy  
5.4 GHz Advantage SM



Description	5.4 GHz Advantage SM
Canopy Part Number	5450SM
Market Availability	Europe
Signaling Rate	20 Mbps Max
Typical LOS Range	2 Mi (3.2 km) max
Typical Aggregate Useful Throughput	14 Mbps to 1 Mi (1.6
Frequency range of band	U-NII 5470-5725 MHz
Channel Width	20 MHz
Modulation Type	High Index 2-level Frequency Shift Keying (FSK) optimized for interference rejection
Encryption	DES Capable
Latency	5 -7 msec
Carrier to Interference ratio (C/I)	-3dB @ 10 Mbps, -10dB @ 20 Mbps at -65dBm
Nominal Receiver Sensitivity (dbm typical)	-86 dB
Antenna Gain (dB)	7 dB
EIRP (dB)	Adjustable
Equivalent Isotropic Radiated Power (EIRP)	Adjustable
DC Power (typical)	0.3A @ 24VDC = 7.2 W
Antenna Beam Width	3 dB antenna beam width 60 degrees, azimuth and elevation
Temperature	-40° C to +55° C (-40° F to +131° F)
Wind Survival	190 km/hr (118 miles/hr)
Dimensions	11.75 in H x 3.4 in W x 3.4 in D (29.9 cm H x 8.6 cm W x 8.6 cm D)
Weight	.45 kg (1 lb)
Access Method	Time Division Duplexing/Time Division Multiple Access (TDD/TDMA)
Interface	10/100 Base T, half/full duplex. Rate auto negotiated (802.3 compliant)
Protocols Used	IPV4, UDP, TCP, ICMP, Telnet, HTTP, FTP, SNMP
Network Management	HTTP, TELNET, FTP, SNMP Version 2c
CE	*CE* marked & compliant to EN301 893, Implements DFS & TPC. DoCs are available at <a href="http://www.canopywireless.com/doc.php">http://www.canopywireless.com/doc.php</a>



## 2.4 GHz 8 dBi Wireless LAN Flat Patch Antenna

Model: HG2409P

### Applications and Features

---

- Applications:**
- 2.4 GHz ISM Band
  - IEEE 802.11b and 802.11g Wireless LAN
  - Bluetooth®
  - Public Wireless Hotspot
  - WiFi

- Features:**
- Superior performance
  - Compact size, 4.5" Square
  - Durable UV-stable, UL flame rated radome
  - Low loss solid brass element
  - DC Short lightning protecting
  - 12 inch coax lead
  - Can be installed for either vertical or horizontal polarization
  - Optional mounting brackets available



### Description

---

This very compact flat patch Wi-Fi antenna provides 8 dBi gain with very broad coverage. It is suitable for both indoor and outdoor applications in the 2.4GHz ISM band, including IEEE 802.11b and 802.11g, Bluetooth® and for public wireless hotspot applications. This WiFi antenna is lightweight and features an aesthetic UV-stable, UL flame rated white plastic radome which can also be painted to match the room or building structure. The HG2409P can be installed for horizontal or vertical polarization. It can be wall or ceiling mounted, as well as mast-mounted using U-bolts.

## Specifications

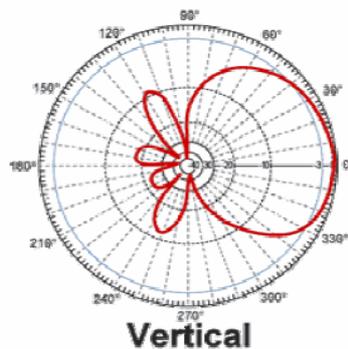
### Electrical Specifications

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	8 dBi
Horizontal Beam Width	75 degrees
Vertical Beam Width	65 degrees
Impedance	50 Ohm
VSWR	< 1.5:1 avg.
Lightning Protection	DC Short

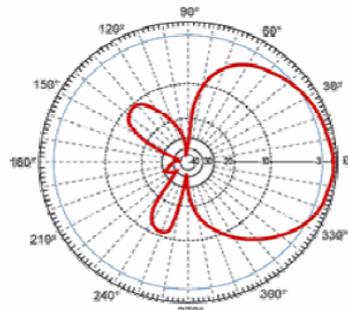
### Mechanical Specifications

Weight	0.4 lbs. (.18 Kg)
Dimensions	4.5 x 4.5 x .9 inches 114 x 114 x 23 mm
Radome Material	UV-inhibited Polymer
Flame Rating	UL 94HB
Operating Temperature	-40° C to to 85° C (-40° F to 185° F)
Mounting	Four ¼ in. (6.3 mm) Holes
Polarization	Horizontal or Vertical
Wind Survival	>150 MPH (241 KPH)

### Antenna Gain Patterns



**Vertical**



**Horizontal**



e-mail: sales@hyperlinktech.com • tel: 561-995-2256 • fax: 561-995-2432  
web: www.hyperlinktech.com • 1201 Clint Moore Road • Boca Raton FL 33487



## Mounting Options

Hyperlink's patch antennas offer several unique mounting options. They can be mounted flat against a wall, or to a mast using a pair of 2 inch U-bolts. The antennas also accept most tilt-and-swivel security camera brackets equipped with standard 1/4-20 threads.

	Description	Part Number
	Small Metal Tilt-and-Swivel Mounting Bracket for indoor wall mounting. Includes wall-mounting hardware.	HGX-PMT02
	Medium Plastic Tilt-and-Swivel Mounting Bracket for indoor wall mounting. Includes wall-mounting hardware.	HGX-PMT03
	Large Metal Tilt-and-Swivel Mounting Bracket for indoor and outdoor wall or mast mounting. Includes wall-mounting hardware. Can be mast-mounted using U-Bolt Kit (sold separately).	HGX-PMT04
	Universal Antenna Mount powder coated galvanized steel "DSS-style" arm for outdoor wall mounting. Requires a pair of 2 inch U-bolts (sold separately).	HGX-UMOUNT
	Stationary Mounting Kit for mounting to 1-1/4" to 2" dia. masts. Includes U-Bolts, nuts and mast clamp.	HGX-PMT07
	60 Degree Tilt-and-Swivel Mounting Kit for mounting to 1-1/4" to 2" dia. masts. Mounting hardware included.	HGX-PMT06
	Ceiling/Wall Universal Antenna Mount can be used with HyperLink's 4.5" sq and 8.5" sq. patch antennas as well as N-Type bulkhead and TNC/BNC bulkhead omni directional antennas. Includes ceiling/wall mounting hardware.	HGX-UMOUNT02
	Universal Corner Mounting Bracket: This bracket is designed to mount to an outside corner of a structure. It can be used with HyperLink's 4.5" and 8.5" sq. patch antennas, radome enclosed Yagi antennas, the HGX-PMT02 tilt & swivel bracket and can also accommodate the SC2402N and SC5802N 2-Way signal splitters as well as HyperAmp outdoor amplifiers.	HGX-UMOUNT03
	Window Mounting Kit Includes suction cups and mounting hardware.	HGX-PMT08



## 2.6 GHz MMDS 8.5 dBi Omnidirectional Wireless LAN Antenna

Model: HG2609U

### Applications and Features

- Applications:**
- 2.6 GHz MMDS Band
  - IEEE 802.16 and 802.20
  - WiMAX Technology
  - Non-Direct Line of Sight (NLOS)
  - Wireless Internet Service Providers (WISP)
  - Wireless LAN systems
  - Multipoint and Mobile Applications
  - Compatible with Navini™ Ripwave®
- Features:**
- Superior performance
  - Compact, lightweight design
  - Durable UV-stable fiberglass radome
  - Vented end cap and drain holes in base
  - All weather operation
  - Integral N-Male connector
  - Can be installed in up or down positions
  - Optional antenna mounts available



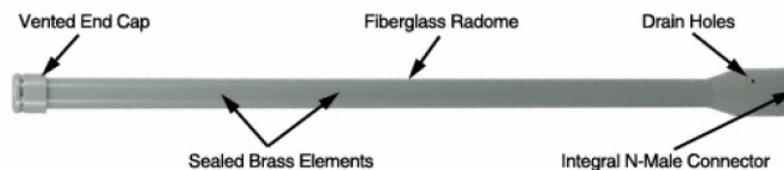
### Description

#### High Performance

The HyperGain® HG2609U is a high performance omnidirectional WiFi antenna designed for the 2.6GHz MMDS band. This compact and lightweight antenna is compatible with IEEE 802.16, 802.20 and WiMAX applications as well as NLOS applications. The HG2609U is ideal for Wireless Internet Service Providers (WISP) offering service in the less crowded 2.6GHz band and is compatible with Navini™ Ripwave®.

#### All Weather Operation

Constructed for all weather operation, the HG2609U features sealed collinear brass elements inside a durable UV-stable machine gray fiberglass radome. A vented end cap and drain holes in the base help prevent moisture build-up inside the antenna. These features allow the HG2609U to be mounted in up or down positions.

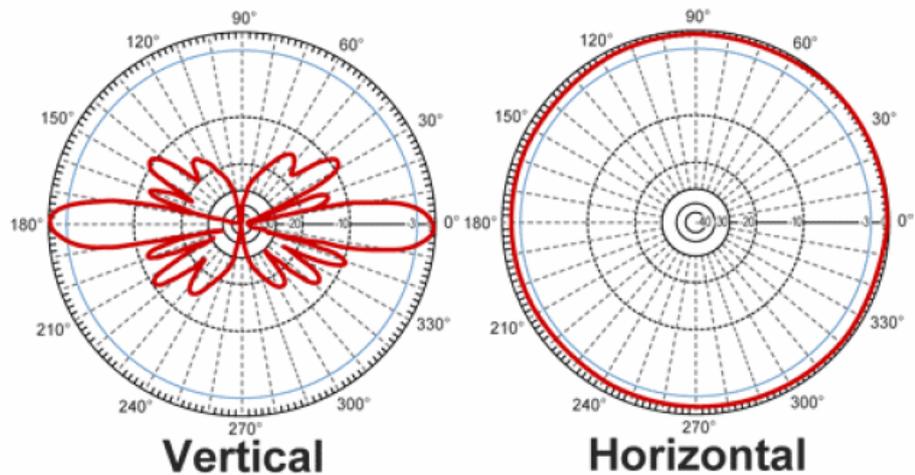



**Specifications**
**Electrical Specifications**

Frequency	2500-2700 MHz
Gain	8.5 dBi
Impedance	50 Ohm
VSWR	< 2.0:1 avg.
Maximum Input Power	100 W

**Mechanical Specifications**

Polarization	Vertical
Vertical Beam Width	15°
Horizontal Beam Width	360°
Weight	0.5 lbs. (.22 kg)
Length	20 in. (508 mm)
Radome Material	Gray Fiberglass
Wind Survival	>150 MPH
Operating Temperature	-40° C to to 85° C (-40° F to 185° F)
Antenna Connector	Integral N-Male

**Antenna Gain Pattern**

**Available Mounts for this RF Antenna**

Magnetic N-Series Mounts	
	Black (Domed) Magnetic Mount with N-Female Connector, 2-5/8 Inch Diameter Base (66.8 mm)
	Chrome Magnetic Mount with N-Female Connector, 3 Inch Diameter Base (76.2 mm)
	N-Female to N-Female Bulkhead Bullet Adapter with Right-Angle Mounting Hardware for Wall Mounting

## XtremeWave™ MFB Series

**MAXRAD**

### Public Safety Band, ISM, UNII and WiMAX Omnidirectional Base Station Antenna Series

The XtremeWave™ wireless broadband omnidirectional antennas are designed to provide maximum performance and reliability under the toughest weather conditions. These antennas feature a UV stable, vented radome that provides ultimate protection against weather elements. They can be mast or wall mounted.

#### General Specifications:

**Radome Material:**  
UV resistant pultruded fiberglass

**Polarization:**  
Vertical

**Lightning Protection:**  
Not standard, but all models can be ordered with DC grounding.  
Add "DC" to the part number to order the antenna with DC grounding.

**Nominal Impedance:**  
50 Ohms

**Mounting Base Diameter:**  
1.25 inches

**Mounting Method (sold separately):**  
MMK1924 - L bracket mount for wall or pipe mount  
MMK8A - Aluminum extruded bracket for mast mounting

**Termination:**  
N female  
N male connector option available. To order, add "NM" to part number.

#### Features and Benefits:

- UV stable, pultruded fiberglass radome. Allows outdoor installation even in harsh climates.
- Vented system design. Provides reliable performance by protecting the electrical design against extreme moisture and/or temperatures.
- Thread relief on connector. Improved accessibility for taping reduces installation time and improves overall effectiveness.
- Internal o-ring seal in the base of the antenna with integrated connector at the base. Assures a watertight seal to prevent water from migrating into the antenna connector.



MFB49009

MFB58009



Vented System



MMK1924

MMK8A

PCTEL Antenna Products Group, Inc.

ORDER (800) 323-9122

<http://www.maxrad.com>

251

# Specifications

## Electrical Specifications

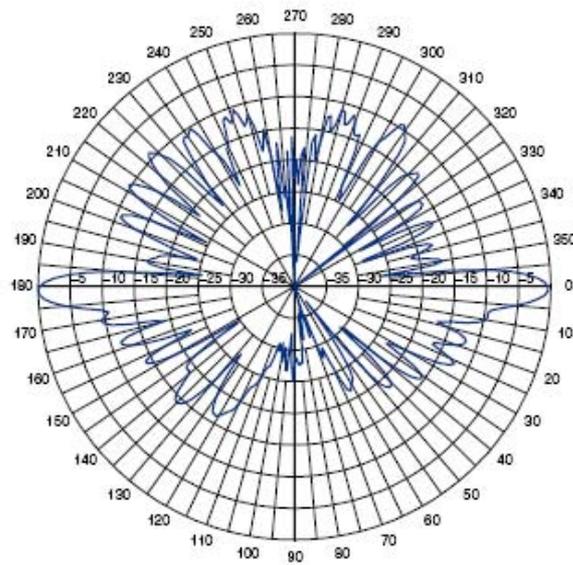
Model #	Frequency Range	Gain	Bandwidth @ 1.5:1 VSWR	Vertical	VSWR	Maximum Power
				Beamwidth @ 1/2 Power		
MFB49009	4.9-5.0 GHz	9 dBi	100 MHz	8°	< 1.5:1	25 Watts
MFB51510	5.15-5.35 GHz	10 dBi	200 MHz	7°	< 1.5:1	25 Watts
MFB58009	5.725-5.875 GHz	9 dBi	150 MHz	8°	< 1.5:1	25 Watts
MFB58010	5.725-5.825 GHz	10 dBi	100 MHz	6°	< 1.5:1	25 Watts

## Mechanical Specifications

Model #	Wind Survival	Equivalent Flat Plate Area	Lateral Thrust @ Rated Wind	Bending Moment @ Rated Wind	Height	Weight
MFB49009	125 mph	.06 ft <sup>2</sup>	5.2 lbs	4.4 ft-lbs	20.2" (513.1 mm)	0.5 lbs (0.226 kg)
MFB51510	125 mph	.06 ft <sup>2</sup>	5.2 lbs	4.4 ft-lbs	20.2" (513.1 mm)	0.5 lbs (0.226 kg)
MFB58009	125 mph	.046 ft <sup>2</sup>	4.1 lbs	2.7 ft-lbs	15.7" (398.8 mm)	0.43 lbs (0.195 kg)
MFB58010	125 mph	.06 ft <sup>2</sup>	5.2 lbs	4.4 ft-lbs	20.2" (513.1 mm)	0.5 lbs (0.226 kg)

# Patterns

**MAXRAD**



MFB49009 Elevation Cut

# Multi-Band Directional Panel



## 2.4 GHz, Public Safety Band, 5.8 GHz ISM, UNII, WiMAX Multiple Band Directional Panel Antenna

The XtremeWave™ multiple band directional panel antenna is designed to provide wireless coverage of 2.4 to 2.48 GHz ISM and 4.9 GHz to 5.85 GHz Public Safety, ISM, UNII and WiMAX frequencies, obtaining maximum

gain in an attractive, low-profile package. This antenna provides efficient and stable performance across its specified bands and can be mounted indoors or outdoors. Adjustable indoor mount is included.

### Features and Benefits:

- PCB design. Provides best performance-to-price ratio.
- UL94-V0 plastic and PC board conform to UL's high flame retardant rating, allowing maximum placement flexibility. Meets stringent building code requirements.
- Attractive, low profile housing. Blends well with indoor and outdoor environments where aesthetic considerations are important.
- Corner exit RG58 pigtail design. Permits the panel to be mounted in vertical or horizontal polarity.
- Optional UL910 rated Plenum cable. Allows the cable to be installed in strict indoor mounting locations, including air ducts.
- Adjustable mounting brackets for indoor installation are included. Indoor corner mounting bracket and heavy duty outdoor mounting brackets are also available. These provide maximum flexibility for indoor or outdoor installations.



MP24580809PT

Multiple Band

### General Specifications:

Radome Material:  
UL94-V0 plastic  
Polarization:  
Vertical or horizontal, linear  
Lightning Protection:  
DC grounded

### Mounting Method:

Adjustable azimuth/elevation MPAB11 mount included  
Adjustable azimuth/elevation MPAB12 indoor corner mount is sold separately.  
Nominal Impedance:  
50 Ohms

### Electrical Specifications

Model #	Frequency Range	Gain	Front-to-Back Ratio	3 dB Horizontal Beamwidth	3 dB Vertical Beamwidth	VSWR	Maximum Power Input
MP24580809PT	2.4-2.48 / 4.94-5.85 GHz	8 dBi / 9 dBi	> 22 dB / > 15 dB	60° / 50°	60° / 40°	< 2.0:1 / < 2.0:1	25 Watts

### Mechanical Specifications

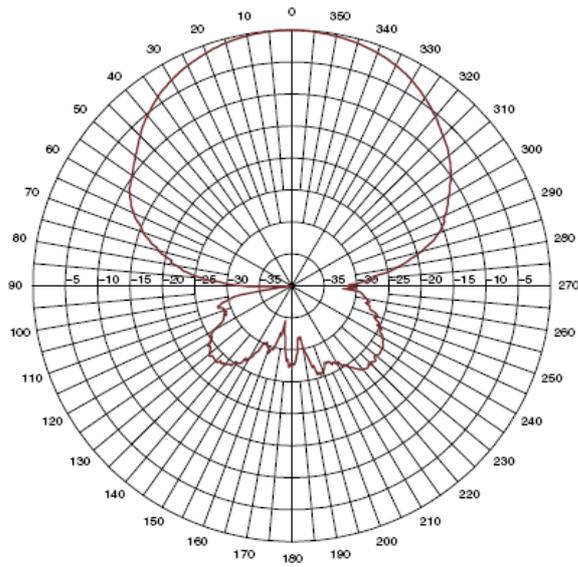
Model #	Temperature Range	Dimensions	Weight	Cable
MP24580809PT	-40°C to +70°C	5.1" x 4.7" x 1.5" (12.9 x 11.9 x 3.8 cm)	0.5 lbs (0.23 kg)	12" (30.5 cm) Plenum Rated ML195

PCTEL Antenna Products Group, Inc.

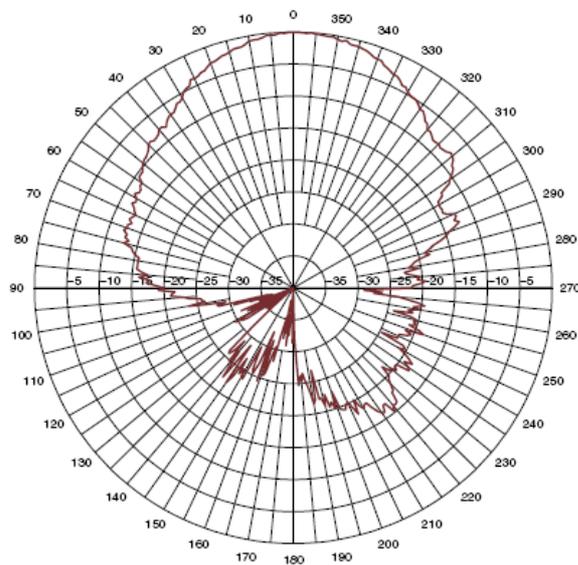
ORDER (800) 323-9122

<http://www.maxrad.com>

367



MP24580809PT Elevation Cut at 2.4 GHz



MP24580809PT Elevation Cut at 5 GHz

## Anexo B. Dispositivo Intel para WiMAX PRO/Wireless 5116

Product Brief

Intel® PRO/Wireless 5116  
Broadband Interface



### Intel® PRO/Wireless 5116 Broadband Interface

#### Innovation for WiMAX fixed wireless broadband platforms

The Intel® PRO/Wireless 5116 is a highly integrated, IEEE 802.16-2004 compliant system on chip (SoC) for both licensed and license-exempt radio frequencies.

The unmatched level of integration streamlines the design process and delivers a solid foundation for the development of cost-effective customer premise equipment (CPE).

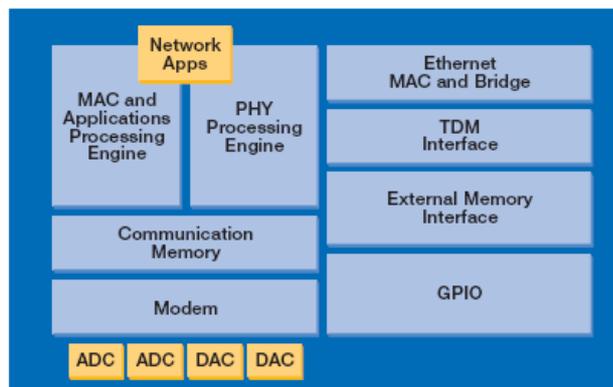


When combined with third-party RFICs and power amplifiers, manufacturers can create a broad range of outdoor and indoor self-installable WiMAX modems and residential gateways capable of delivering high-rate IP-based data, voice, and real-time video. To further reduce cost and speed hardware product development, Intel PRO/Wireless 5116 hardware implementations will be available through third-party ODMs.

The Intel PRO/Wireless 5116 is built around a high-performance OFDM modem. Channel bandwidths and data rates are programmable and support a wide range of applications and regulatory domains. The dual-core processor architecture provides manufacturers with functional flexibility and programmability for their MAC and software applications. Integration of a 10/100 MAC, inline security processing, and a TDM controller interface enables IP-based applications and legacy voice applications.

Included with the Intel PRO/Wireless 5116 is a software development kit (SDK) that provides developers with the necessary tools to harness the device's programmability. Modem and RF APIs, and reference drivers for radio, Ethernet, and TDM devices allow developers to abstract the complexity of the modem hardware and concentrate on their MAC and application development.

Figure 1: Intel® PRO/Wireless 5116 high-level block diagram



## Key Feature Highlights

### Modem

- Highly integrated SoC based on IEEE 802.16-2004 standard
- 256 OFDM PHY with support for channel bandwidths up to 10 MHz
- TDD and H/FDD duplexing modes
- Concatenated Reed-Solomon and Convolutional Encoding Forward Error Correction
- Adaptive modulation (BPSK, QPSK, QAM16, QAM64)
- Enhanced link budget support
  - Receive space time coding
  - Uplink sub-channelization
  - SNR, RSSI channel quality measurement
  - ARQ capable

### Processing

- Dual-core ARM® 946E-S engines for PHY, MAC, and application protocol processing
- DSP engine with three parallel ALUs allow three simultaneous complex multiply operations per cycle for OFDM processing
- In-line security processing using advanced encryption techniques (3DES, AES, and RC4)

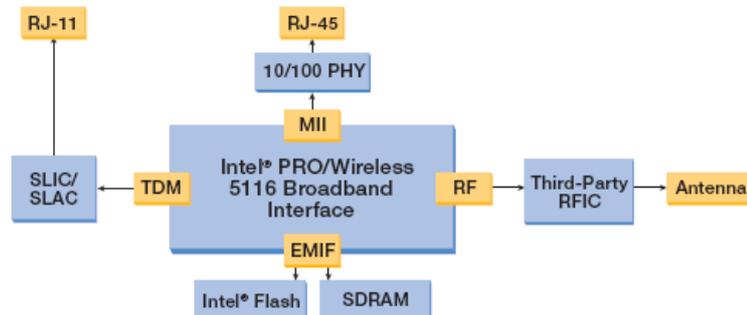
### I/O and Interfaces

- Modular RF interface supporting I/F or baseband I/Q radios designed for WiMAX licensed and unlicensed spectrum
- Integrated pair of ADCs and DACs and a high performance PLL to drive converters
- Integrated 10/100 Ethernet MAC with MII interface to external PHY
- TDM interface for legacy analog voice applications or T1/E1 connection
- Additional I/O and system interfaces
  - Extended memory interfaces – SDRAM and flash
  - Test and debug interfaces
  - Programmable GPIOs

### Packaging and Thermals

- 360-pin industrial-grade PBGA supporting temperatures ranging from -40° C to 85° C

Figure 2: Intel® PRO/Wireless 5116 CPE system diagram



For more information, visit us on the web at  
[www.intel.com/netcomms/technologies/wimax](http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax)

INFORMATION IN THIS DOCUMENT IS PROVIDED IN CONNECTION WITH INTEL CORPORATION (INTEL) PRODUCTS. EXCEPT AS PROVIDED IN INTEL'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE FOR SUCH PRODUCTS, INTEL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER, AND INTEL DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY RELATING TO SALE AND/OR USE OF INTEL PRODUCTS, INCLUDING LIABILITY OR WARRANTIES RELATING TO FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT, OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

Intel may make changes to specifications, product descriptions, and plans at any time, without notice.

Intel may have patents or pending patent applications, trademarks, copyrights, or other intellectual property rights that relate to the presented subject matter. The furnishing of documents and other materials and information does not provide any license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any such patents, trademarks, copyrights, or other intellectual property rights.

Intel products are not intended for use in medical, life saving, life sustaining, critical control or safety systems, or in nuclear facility applications.

The Intel® PRO/Wireless 5116 Broadband Interface may contain design defects or errors known as errata, which may cause the product to deviate from published specifications. Current characterized errata are available upon request.

ARM® is a trademark of ARM, Ltd., and Intel uses these marks under license from ARM, Ltd.

\*Other names and brands may be claimed as the property of others.

Copyright © 2005 Intel Corporation. All rights reserved.

Intel and the Intel logo are trademarks or registered trademarks of Intel Corporation or its subsidiaries in the United States and other countries.

Printed in USA

0405MKP/0CG/00PDF

Please Recycle

207327-001US

