

Universidad Latinoamericana de Ciencia y
Tecnología

Facultad de Ingeniería

Escuela de Informática

Trabajo final para optar por el grado de
*Licenciatura en Ingeniería Informática con énfasis en Redes y
Sistemas Telemáticos*

Tema

Wimax Móvil

Nombre

*Alejandro Murillo Carmona
Cédula: 1-1054-0282*

Tutor

Lic. Miguel Pérez Montero

I Cuatrimestre 2009

INDICE

INDICE	2
Introducción	4
Wimax Móvil	5
¿Qué es Wimax?	5
IEEE 802.16-2004	5
IEEE 802.16e-2005	6
Estándar para Wimax Móvil	6
1. Capa Física	6
1.1. Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM):	6
1.1.1. Importancia de la ortogonalidad	7
1.1.2. Multitrayecto	7
1.1.3. OFDMA	8
1.1.4. SOFDMA	8
2. Acceso al medio (MAC)	9
2.1. Soporte de calidad de servicio (QoS)	9
2.2. Movilidad	10
2.3. Seguridad	11
3. Wimax móvil y otras tecnologías de banda ancha inalámbrica	11
3.1. Tercera Generación (3G)	12
3.1.1. Acceso múltiple por División de Código (CDMA2000)	12
3.1.2. CDMA2000 1xEV-DO	12
3.1.3. WCDMA	13
3.1.4. HSDPA/HSUPA (HSPA)	13
3.2. WiBro	13

3.3. Cuarta Generación (4Gmobile)	13
4. Implementación de Wimax	14
4.1. Arquitectura	14
4.1.1. Servicios y Aplicaciones	15
4.1.2. Modelo de referencia	15
4.1.3. Estación base	17
4.1.4. Red de Servicio	17
4.1.5. Redes de conectividad	18
4.1.6. Aspectos por tomar en consideración en la arquitectura	18
5. Bandas de frecuencias	18
5.1. Bandas sin licencia	19
5.2. Bandas con licencia	19
5.2.1. Banda de 2.5 GHz	19
5.2.2. Banda de 3.5 GHz	20
5.2.3. Banda de 700 MHz	20
6. Implementación de Wimax Móvil en Costa Rica	20
7. Conclusiones	21
8. Bibliografía	22

Introducción

En el pasado, las comunicaciones de voz estaban limitadas por el lugar físico al cual llegaba la línea de cobre. Con la aparición de las tecnologías celulares, el tráfico de voz ha dejado de estar limitado a una edificación física, para pasar a ser un servicio móvil, mediante el cual el usuario puede comunicarse desde casi cualquier lugar.

En la actualidad, esta tecnología se ha convertido en una parte fundamental de la vida diaria, e Internet ha sido tal vez la que ha tenido un mayor crecimiento. En este ámbito, Internet móvil ha sido uno de los servicios que más expectativas ha creado entre los usuarios debido a las facilidades que presenta.

Además, hay que destacar el incremento en la cantidad de computadoras portátiles, asistentes digitales personales PDA y otros dispositivos portátiles, lo cual obliga a ofrecer un mejor acceso inalámbrico y una mayor cantidad de servicios móviles de Internet. Esto deriva en un aumento en la competencia en términos del campo de aplicación. Sin embargo, Wimax móvil es considerada una tecnología clave en el desarrollo de la banda ancha inalámbrica personal.

La presente investigación pretende mostrar las características principales del estándar IEEE 802.16e de Wimax móvil y las ventajas que presenta frente a tecnologías móviles de tercera generación, así como las posibles aplicaciones futuras que se puedan brindar en Costa Rica..

Wimax Móvil

¿Qué es Wimax?

El término Wimax significa *Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas*, basado en la familia de estándares 802.16 del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), la cual es una norma de transmisión por ondas de radio de última generación que permite la recepción de datos mediante microondas y retransmisión por ondas de radio. Tal tecnología fue desarrollada para ofrecer el acceso de última milla a redes de comunicaciones de banda ancha, la cual se plantea como una alternativa a las técnicas cableadas de acceso, como DSL y cable. El nombre Wimax fue creado por el *Wimax Fórum*, que se creó en junio del 2001 con la finalidad de promover la conformidad y la interoperabilidad de la norma.

Wimax es un protocolo para redes de área metropolitana que proporciona acceso concurrente con varios repetidores de señal superpuestos y ofrece cobertura total promedio de 50 kilómetros de radio, a velocidades de hasta 124 Mbps. Una red Wimax móvil puede ofrecer capacidades hasta de 15 Mbps, en un radio típico de al menos 3 kilómetros. Asimismo, la tecnología inalámbrica Wimax puede proveer acceso tanto a equipos fijos como móviles, sin la necesidad de tener línea vista entre el equipo terminal y la estación transmisora.

En abril del 2002, se publicó la norma 802.16 para las frecuencias de 10-66 GHz. Con el paso de los años y a raíz de diversas revisiones, la IEEE también ha publicado la nueva versión 802.16e para las transmisiones móviles.

IEEE 802.16-2004

En octubre de 2004, la IEEE publicó la norma 802.16-2004, después de realizar una revisión a la norma original 802.16. Este estándar especifica la interface para el acceso a banda ancha inalámbrica fija (BWA) para ser aplicada a diversos servicios multimedia. La capa de control de acceso al medio (MAC) soporta una arquitectura punto-multipunto y está estructurada para soportar múltiples capas físicas. Sus frecuencias se ubican entre los 10 y los 66 GHz y presenta la ventaja de utilizar únicamente estaciones-base formadas por antenas que envían y reciben la señal con la capacidad de brindar un servicio a unas 200 estaciones suscriptoras, las cuales pueden dar servicio a edificios completos.

Esta tecnología de acceso convierte las señales de voz y datos en ondas de radio dentro de una determinada frecuencia. Está basada en Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) y puede cubrir un área de 48 kilómetros, aun con

obstáculos. La capacidad de transmisión de datos alcanza una velocidad de hasta 75 Mbps, tomando en cuenta, además, la excelente calidad del servicio.

IEEE 802.16e-2005

El 7 de diciembre de 2005, la IEEE aprobó la norma 802.16e, conocida como 802.16e-2005, la cual ha sido orientada a las comunicaciones móviles. Éstas permiten obtener velocidades y anchos de bandas que andan entre los 10 y 20 Mbps, muy superiores a los de enlaces tradicionales de microondas.

Otro aspecto importante que cabe mencionar sobre la Wimax Fija y Wimax Móvil es que la móvil establece una conexión con un equipo base, la cual mantendrá la conexión cuando se salga del rango del alcance de una de las bases, ya que podrá trasladarse al rango de otra, tal y como sucede con la comunicación celular.

Una importante diferencia que existe entre el Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA) y Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM), es que aquella va un paso más allá, dado que agrupa subportadoras múltiples en subcanales, lo que permite que una sola estación cliente del suscriptor podría usar todos los subcanales dentro del periodo de la transmisión; gracias a ello, es posible brindar mayor velocidad y confiabilidad, y una reducción de las interferencias entre los subcanales.

Estándar para Wimax Móvil

1. Capa Física

1.1. Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales

(OFDM):

OFDM, patentada en 1979 por los laboratorios Bell, es una técnica de comunicación que combina la modulación y la multiplexación, en donde esta última hace referencia a señales diferentes que son producidas por fuentes independientes. Lo anterior quiere decir que son un subgrupo de señales de una principal, la cual se divide en subportadoras para así ser modulada y re multiplexada, y originar una portadora OFDM.

La tecnología OFDM toma un flujo de datos y los divide en varios subflujos, asignándole a cada uno una tasa de datos, para luego ser modulados y transmitidos en una subportadora ortogonal separada.

En la capa física se establece la utilización de 256 subportadoras: 192 son usadas para datos, 8 son pilotos que sirven de referencia para minimizar el desplazamiento de frecuencia y fase y las 56 restantes son nulas o guardas que se emplean para proteger la banda y la frecuencia central del canal.

1.1.1. Importancia de la ortogonalidad

La ortogonalidad indica que existe una relación matemática entre las frecuencias de las portadoras del sistema. Así, cada portadora posee un determinado número completo de ciclos en un tiempo dado. Para un Sistema de Multiplexación por División de Frecuencia (FDM), las portadoras se encuentran espaciadas en distintas frecuencias para que en el receptor se pueda utilizar un filtro, y así extraer una determinada portadora.

En los receptores se introducen bandas nulas o guardas entre las diferentes portadoras y, si se introducen en el dominio de la frecuencia, da como resultado una ineficiencia del espectro de frecuencias. La solución para esto está en arreglar las portadoras en la señal de OFDM con la finalidad de que las bandas laterales de las portadoras individuales se traslapen y por consiguiente la señal pueda ser recibida sin que ocurran interferencias entre portadoras. Por esta razón, las portadoras siguen el principio de Ortogonalidad.

1.1.2. Multitrayecto

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan las comunicaciones inalámbricas es el efecto multitrayecto durante la fase de transmisión. Este efecto incide en el camino entre el transmisor y el receptor, dado que la señal es reflejada, y por ende obstaculizada, por los objetos que encuentra durante la transmisión. Así pues, el efecto multitrayecto implica una disminución considerable en la potencia de la señal, lo cual implicaría que el receptor no podrá captar dicha señal.

Por otro lado, en una señal OFDM se presenta la característica de que cuando ocurre un retardo, el espectro de la señal se ve afectado sólo en aquellas subportadoras que estén usando frecuencias con gran debilitamiento. Para poder resistir este efecto y eliminar cualquier interferencia en la modulación OFDM, se introduce un intervalo nulo o de guarda, de tal manera que este sea mayor al retardo y así darle un mayor espacio para que en la siguiente transmisión no sufra interferencias.

1.1.3. OFDMA

Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA), está basada en la modulación de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM). En esta técnica, el usuario tiene asignado uno varios números de subportadoras del tipo acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), y el ancho de banda es compartido entre todos los usuarios y además cambian con el tiempo. Todas las señales moduladas restantes por cada subportadora son ortogonales entre sí.

Esta modulación permite dividir una señal de banda ancha en subportadoras paralelas sin que estas se traslapen. Asimismo, este traslape puede ocurrir sin que afecte la información que se envía, debido a que las subportadoras son ortogonales, lo que quiere decir matemáticamente que el valor promedio a través del tiempo de la multiplicación de dos señales da como resultado cero, por lo cual la información enviada puede ser tomada de manera individual, sin importar el traslape entre subportadoras. Gracias a esto, se reduce la interferencia provocada por subportadoras cercanas, dando como resultado una mayor eficiencia en el uso del espectro OFDM.

Como se ha mencionado, OFDMA es muy similar a FDMA, sin embargo es más eficiente en el espectro, debido al espacio reducido existente entre subportadoras. Además, en este tipo de tecnología, el receptor y transmisor deben estar sincronizados, lo cual significa que deben estar en la misma frecuencia de modulación y con la misma escala de tiempo, para poder realizar la transmisión y por si fuera necesario recuperar la información sin confundirla con la de otro usuario.

1.1.4. SOFDMA

SOFDMA se localiza en la capa física de las comunicaciones con tecnologías inalámbricas de nueva generación. Basa su tecnología en OFDMA, lo que permite que muchos usuarios puedan tener acceso a las comunicaciones mediante la asignación de un determinado número de subportadoras a cada uno. Además, SOFDMA aplica la tecnología de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), lo cual permite asignar diferentes segmentos de tiempo a diferentes grupos de usuario.

Si bien es cierto SOFDMA utiliza OFDMA, aquél posee más ventajas, por ejemplo:

- No cambia el ancho de las subportadoras por otros anchos de banda de canal y permite determinar los números de las subportadoras, tomando una muestra directa y proporcional del ancho de banda de canal.

- El ancho de la portadora constante adquiere un uso de espectro más alto en los canales anchos.
- Disminuye el costo de los canales angostos y permite disminuir la interferencia durante la transmisión de la señal por medio de distintos anchos de banda de canal, lo que da como resultado gran capacidad de soporte de movilidad.
- (Huawei Technologies Co., 2009):

SOFDMA permite manejar un rango del ancho de banda dinámico entre 1.25 MHz y 20 MHz. Para el caso de un ancho de banda de 10MHz, las tasas de descenso y ascenso del enlace son de alrededor de 28 Mbps y 63 Mbps respectivamente.

2. Acceso al medio (MAC)

Cuando hablamos de la “MAC”, nos referimos a la capa que se encuentra por arriba de la capa física, la cual es el medio físico real para la convergencia de datos. La “MAC” determina tanto el modo en que los usuarios accederán a la red, así como la forma en que los recursos de la red les serán asignados.

En la norma IEEE 802.16, se menciona la capa MAC y destaca que esta fue planteada inicialmente para arquitecturas de red punto-multipunto, sin embargo, puede además soportar arquitecturas punto a punto y punto a multipunto. También fue diseñada para permitir entregar servicios de ancho de banda, tráfico de voz, datos y video.

Una de las características de la capa MAC es que su diseño permite soportar elevados incrementos en la demanda del tráfico, mientras que al mismo tiempo procesa datos de voz y video, los cuales presentan sensibilidad a la latencia del canal.

Los recursos que MAC asigna a un terminal pueden variar, ya sea la asignación de una ranura temporal hasta una trama completa, lo que permite tener un rango dinámico de salida para una terminal de un usuario, en especial en el tiempo que se desee.

2.1. Soporte de calidad de servicio (QoS)

Wimax Móvil posee características que le permiten cumplir con los requerimientos de calidad para diversos servicios y aplicaciones, entre los que se pueden destacar el manejo de tráfico, tanto ascendente como descendente, y tener mecanismos flexibles para poder así asignar distintos recursos.

Existen cuatro tipos de servicios soportados dentro de Wimax móvil que permiten optimizar la transmisión de información, dentro de los cuales se encuentran:

- “*Servicio Subvencionado no solicitado (UGS): soporta flujos de datos en tiempo real, formado por paquetes de datos de un tamaño fijo, los cuales son enviados en intervalos periódicos. Ejemplo Voz sobre Ip (VOIP)*”. (Steller, 2006, pág. 46)
- “*Servicio de registro en tiempo real (RTPS): soporta flujos de datos en tiempo real, está constituido por paquetes de datos de un tamaño variable, emitidos en intervalos periódicos. Ejemplo Audio y video*”. (Steller, 2006, pág. 46)
- “*Servicio de Registro (NTRS): diseñado para los flujos de datos tolerantes al retardo, además, de ser paquetes de un tamaño variable en donde su atributo principal es mantener una velocidad mínima. Ejemplo: Protocolo de transferencia de archivos (FTP)*.” (Steller, 2006, pág. 46)
- “*Servicio al mejor esfuerzo (BE): este soporta flujos de datos en los que no es necesario un nivel mínimo y que pueden ser manejados en los espacios disponibles. Ejemplo: transferencia de datos, navegación en la Web*.” (Steller, 2006, pág. 46)

2.2. Movilidad

Uno de los mayores problemas a los que se enfrentan los diseñadores de las aplicaciones móviles es determinar el tiempo de duración de la materia y el “handoff” (proceso de transferir una llamada en curso o sesión de datos de un canal conectado a la red de base a otra). Para tales factores, el estándar 802.16e ha establecido:

- Administración adecuada de la energía: Wimax Móvil permite dos tipos de acciones para administrar la energía: modo de espera y modo de reposo o suspensión, lo cual permite alargar la duración de la batería de los dispositivos móviles.
- “Handover”: Al igual que el “handoff”, este es un sistema usado en comunicaciones móviles celulares con el fin de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente, permitiendo la realización del servicio cuando se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

(Wikipedia, 2009) *Existen tres tipos de Handover a nivel de Usuario:*

- *“Hard-Handover”:* Antes del proceso de traspaso hacia otra estación base, el dispositivo móvil se encuentra conectado a su estación base origen. Durante este proceso se desconecta de ésta y por un deja de estar conectado a ninguna otra estación base. Mediante este procedimiento se usa un solo canal, lo que permite que la conexión con la estación base original se corta antes de realizar la nueva conexión a la nueva estación base.”
- *“Soft-Handover”:* para este caso, durante el traspaso, el móvil estará conectado a un canal a la estación base origen y mediante otro canal a la estación base destino. Durante el transcurso, la transmisión se hace en paralelo por los dos canales, lo que permita que no se exista interrupción del enlace, por lo que el sistema se asegura una conexión con la estación base de la nueva celda antes de cortar con la conexión antigua.”
- *“Sin “handover”:* este mecanismo se da en caso de que no se realice “handover”, por lo que no se realiza ningún traspaso entre las estaciones bases origen y destino. Simplemente se establece una nueva llamada al salir del área de cobertura de la estación base.”

2.3. Seguridad

En el tema de la seguridad, Wimax móvil aplica eficientes técnicas de seguridad, lo que le permite a los usuarios tener privacidad, autenticación, encriptación de tráfico, control y confidencialidad para las conexiones entre la estación base y la de origen.

Un aporte importante a la seguridad es que provee a los usuarios de una red de alto grado de protección contra el robo del servicio, debido a que la estación base se protege las comunicaciones mediante la encriptación para evitar accesos no autorizados de accesos no autorizados. También emplea un protocolo de autenticación en donde la estación base maneja la distribución de los datos codificados para el usuario. Además, emplea como mecanismo de seguridad el uso de certificados digitales.

3. Wimax móvil y otras tecnologías de banda ancha inalámbrica

El rápido avance de las tecnologías inalámbricas en el mundo actual ha dado lugar a que surjan muchas soluciones paralelas en el campo de la tecnología de banda ancha. Por tal razón, a continuación se presentan algunas de dichas tecnologías inalámbricas:

3.1. Tercera Generación (3G)

La tecnología de tercera generación presenta servicios asociados con la transferencia de voz y datos, en la cual se destaca la velocidad de transmisión que ronda entre los 144 Kbps y los 3 Mbps; lo anterior proporciona una mejor calidad en los servicios en comparación con las generaciones anteriores. En la transferencia de datos, se aplica la conmutación de paquetes IP, y para la transmisión de voz utiliza la conmutación de circuitos.

Las tecnologías de 3G que actualmente se usan basan su funcionamiento en el Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA) y el Acceso Múltiple por División de Código (CDMA2000).

3.1.1. Acceso múltiple por División de Código (CDMA2000)

Este es un grupo de estándares para los servicios móviles de tercera generación (3G) que emplean la tecnología de Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) y que además permite dar acceso a múltiples redes digitales entre los dispositivos móviles y las estaciones bases, para así prestar servicios de transmisión de voz y datos a altas velocidades.

3.1.2. CDMA2000 1xEV-DO

Esta es una versión mejorada de CDMA2000 la cual presenta una alta velocidad en la transmisión de datos y está diseñada para canales de 1.25 MHz. El diseño original permite manejar velocidades de descenso de hasta 2.4 Mbps y en ascenso de 156 Kbps. Dentro de las nuevas modificaciones que se han hecho a versiones más recientes, se pueden destacar:

- El canal de bajada cambió de CDM a TDM.
- Uso de código adaptivo.
- Inclusión de “*Hard-Handover*”.
- “*Soft-Handover*” se sustituye por el “*Soft-Handover*” virtual, el cual hace un mejor uso del ancho de banda.

La última modificación al estándar se realizó en el 2004, y originó la versión REV.A. Esta presenta características más sofisticadas a su antecesor 1xEVDO, y se logró disminuir el tamaño de los paquetes y al mismo tiempo aumentar la tasa de datos de 3.1 Mbps en el enlace descendente, por su parte, para el ascendente se alcanzaron los 1.8 Mbps.

Cabe mencionar que para el 2007 se estaba desarrollando la versión REV.B. Dentro de las características que se pretendían alcanzar está aumentar las velocidades en el ascenso, a 27 Mbps, y en el descenso, a 46 Mbps.

3.1.3. WCDMA

Esta es una tecnología de acceso a radio que soporta todos los servicios multimedia que estarán en disposición de las terminales de Tercera Generación (3G). Dicha tecnología permite contar con tasas de datos de 144 hasta los 512 Kbps, para la cobertura de áreas extensas y locales, en cuyo caso permite 2 Mbps.

Dentro de los aspectos técnicos por rescatar se tienen: *“permite protocolo IP, fácil fabricación de terminales y aplica la técnica de duplexación por división de frecuencia (FDD).”* (Steller, 2006, pág. 57)

3.1.4. HSDPA/HSUPA (HSPA)

Sus siglas quieren decir “acceso a alta velocidad de paquetes” y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente, lo que mejora la capacidad máxima en la transferencia de la información, consiguiendo alcanzar tasas de hasta 14 Mbps. Cabe subrayar que presenta compatibilidad con WCDMA. Dentro de los servicios que ofrece esta tecnología, está la transmisión de video en tiempo real, con una mejor calidad, y por último la descarga de archivos multimedia.

3.2. WiBro

Esta es una tecnología coreana de banda ancha inalámbrica móvil que se basa en el estándar 802.16. Permite ofrecer a los usuarios capacidades de transferencias aproximadas a los 20 Mbps, para una cobertura de 1 Kilómetro en la banda de frecuencia de 2.3 GHz.

WiBro utiliza el acceso múltiple OFDMA y emplea técnicas apropiadas para soportar la calidad del servicio, lo que permite alcanzar velocidades de hasta 60 Km/hr.

3.3. Cuarta Generación (4Gmobile)

Esta tecnología se encuentra aún en desarrollo. Se espera que aparezca entre 2010 y 2015, primeramente en Asia para luego ir expandiéndose por todo el planeta.

Dentro de los aspectos que se pueden ir adelantando es que está basada en el protocolo IP, lo que permite dar servicios de VoIP y servicio de Internet de banda ancha, llegando hasta los 300 Mbps. De igual manera, mantendrá una buena calidad en el servicio, autorización, autenticación y movilidad. Se estima que aplicará la Multiplexación OFDM o WOFDM y, además, esta generación usará OWA (Arquitectura Inalámbrica Abierta) con la finalidad de integrar distintas tecnologías de acceso.

4. Implementación de Wimax

4.1. Arquitectura

A continuación, se explica de manera clara y sencilla la arquitectura básica para la implementación de Wimax:

(Infowaimax Blogspot, 2008):

“Según la norma IEEE 802.16, define sólo la capa física (PHY) y la capa de Control de Acceso al medio (MAC), las cuales aplicando este enfoque han dado buenos resultados para tecnologías tales como Ethernet y WiFi, quienes a su vez aprovecharon la ayuda brindada por organizaciones como la IETF (“Internet Engineering Task Force”), para así promover la norma de capa superior de protocolos como TCP/IP, SIP, VoIP e IPsec.

Para las tecnologías móviles inalámbricas también se han establecido normas tales como el 3GPP y 3GPP2 que establecen un amplio rango de interfaces y protocolos, esto porque ellos necesitan interoperabilidad en la interfaz del aire, así como, con los distintos fabricantes de redes. Ante todo esto, los fabricantes son conscientes de la necesidad de la interoperabilidad, lo que ha provocado que mediante un trabajo en grupos se desarrollen nuevos modelos de referencia para crear estándares tal y como es el caso de Wimax Fórum.

El Wimax móvil tiene una arquitectura de red basada en una plataforma completamente IP, en donde basan su tecnología en paquetes sin legado de circuitos. Esto trae como ventaja la reducción en los costos totales de una red Wimax.

La aplicación de una plataforma “All-IP” permite la utilización de un núcleo en común, sin la necesidad de mantener dos núcleos de redes y circuitos, para así reducir costos en mantenimiento e implementación y poder aumentar la escalabilidad que permita un rápido despliegue de redes.

Con el propósito de tener un exitoso desarrollo comercial del sistema es necesario ir más allá de las capas física y control de acceso al medio de la 802.16, para eso

es indispensable que exista un núcleo de funciones de red que sean parte de la arquitectura del sistema. Los principios que han enmarcado el desarrollo de la arquitectura Wimax son:

- *La arquitectura se basa en conmutación de paquetes, incluyendo procedimientos basados en el estándar 802.16e.*
- *La arquitectura permite la separación de acceso de los servicios de conectividad IP.*
- *Permite la modularidad y la flexibilidad para dar una amplia gama de opciones de despliegue, tales como:*
 - *Capacidad de desarrollo de redes a gran y baja escala.*
 - *Propagación en ambientes urbanos, sub-urbanos y rurales.*
 - *Bandas de frecuencias libres o bajo licencia.*
 - *Distintos tipos de topologías como jerárquicas, malla así como sus respectivas variantes.*

4.1.1. Servicios y Aplicaciones

La arquitectura punto a punto permite dar soporte:

- *Servicios de voz, multimedia y otros servicios de índole obligatoria como servicios de emergencia.*
- *Acceso a una gran variedad de aplicaciones de servicio del proveedor (ISP).*
- *Aplicación en las comunicaciones móviles de telefonía VoIP*
- *Soporte a la entrega de servicios de IP "Broadcast" y "Multicast", mediante redes de acceso de Wimax Móvil."*

4.1.2. Modelo de referencia

Dentro de Wimax Fórum se ha identificado un modelo de referencia de la red, que permite mostrar una representación lógica de la arquitectura. Ésta última se ha creado con la finalidad de dar apoyo unificado de funcionalidad para diversos modelos de red y la aplicación de distintos escenarios que pueden ir desde servicios fijos hasta nómadas, portátiles y móviles.

El modelo de referencia de la red presenta una variedad de características, entre las que podemos destacar:

- Interoperabilidad entre entes funcionales, la cual se puede implementar sin la necesidad de forzar a los fabricantes a limitar los puntos de referencia.
- Inexistencia de una topología física obligatoria.
- Se aplica el concepto de entidades funcionales, las cuales se pueden combinar o separar por fabricantes, o bien por operadores.

Además, sobre el modelo de referencia, se enumeran los elementos de mayor importancia, tales como:

(Steller, 2006) menciona lo siguiente:

- *Red de Servicio de Acceso (ASN): que permite brindar el acceso inalámbrico a los suscriptores.*
- *Proveedor de servicios de red (NSP): esta es una entidad de índole comercial que da conexión IP y servicios a los usuarios de acuerdo con el contrato acordado.*
- *Proveedor de acceso a la red (NAP): entidad comercial que brinda la infraestructura de acceso de radio para uno o varios proveedores de servicio, mediante la implementación de una o más redes de servicio de acceso.*
- *Proveedor de servicios de aplicaciones (ASP): da servicios de valor agregado, superiores a la capa 3 tales como acceso corporativo y servicios de aplicaciones IP.*
- *Red de conectividad (CSN): este permite:*
 - *Conectar Internet a los proveedores de servicios de aplicaciones*
 - *Brindar servicios de autenticación a usuarios, terminales, autorización.*
 - *“Roaming” entre los proveedores de servicios de red.*
 - *Administrar direcciones IP.*
 - *Movilidad.*
 - *Administrar calidad de servicio (QoS).*

Todas las funciones antes mencionadas pueden ser llevadas a cabo por uno o varios dispositivos.

El objetivo que persigue el modelo de referencia es el de brindar múltiples opciones de implementación para una entidad funcional dada, para así alcanzar

interoperabilidad entre las diferentes operaciones que realizan las entidades. Dicha interoperabilidad se basa en la definición de los protocolos de comunicación y el manejo que se le da a los datos entre los entes, con el fin de alcanzar funciones punto a punto, como la seguridad y la movilidad.

4.1.3. Estación base

Dentro de las funciones que tienen las estaciones bases, podemos mencionar las siguientes:

- Excelente calidad del servicio en la interfaz del aire.
- Manejo de la interfaz de aire basado en la norma 802.16.
- Administración de los recursos de radio.
- Clasificación del tráfico.
- Manejo de contraseñas.
- Control de las sesiones.

4.1.4. Red de Servicio

Este define unos límites lógico y de interoperabilidad con los usuarios del servicio. Sus principales funciones son:

- Control y manejo de sesiones de la red.
- Movilidad
- Manejo regional de los recursos de radio
- Control de admisión.
- Manejo de la movilidad del usuario.
- Toma de los perfiles de los suscriptores y las claves de encriptación.
- Alta calidad en el servicio.
- Enrutamientos a las redes de conectividad.

4.1.5. Redes de conectividad

El servicio de conectividad se ha definido como un grupo de funciones de red que suministra servicios de conexión IP a los usuarios. Estos pueden abarcar elementos de red tales como enrutadores y bases de datos con información de los usuarios.

4.1.6. Aspectos por tomar en consideración en la arquitectura

- Separación lógica entre procedimientos y direccionamiento IP.
- Conectividad de rutas y procedimientos de gestión.
- Protocolos para permitir el uso de las arquitecturas primitivas en el acceso independiente.
- Apoyo de un solo proveedor de servicios de red para darlos en varias redes de acceso.
- Soporte a los programas de acción empleados para una o más topologías de red de servicios.
- Apoyo de acceso a los servicios de operador por medio de funciones de interconexión.
- Sostén a la evolución de las rutas entre los diferentes modelos de uso.

5. Bandas de frecuencias

La tecnología Wimax Móvil puede ser utilizada en espectros que requieren licencia y también para aquellas que no las requieran por ubicarse debajo de los 11 GHz.

También está la posibilidad de un despliegue en las bandas celulares de 700 MHz, siempre y cuando sea permitido y en las bandas. Dentro de esta gama de opciones de espectro, encontramos incompatibilidades o bien la necesidad de dispositivos multibanda.

Dentro de este rango de frecuencias, el espectro más probable está disponible en 2.3GHz, 2.4GHz, 2.5GHz, 3.5GHz, 5.8GHz y, potencialmente, en 700MHz.

5.1. Bandas sin licencia

En la mayor parte de los mercados a nivel mundial, el espectro no requiere licencia y por lo tanto pueden emplearse las frecuencias de 2.4GHz y 5.8GHz. Aunque el espectro no requiere licencia, la barrera para ingresar es baja, por lo que es más fácil que un operador pueda ofrecer diversos servicios. Lo anterior puede ser muy ventajoso, sin embargo, existe una serie de desventajas que en virtud de las cuales resulta inadecuado el uso de estas bandas, a saber:

- **Interferencias:** al no requerir licencia, puede ser utilizado por varios sistemas diferentes de radio frecuencia, lo genera altas probabilidades de que ocurran interferencias.
- **Mayor competencia:** Los operadores que no necesitan licencia deben aceptar que otro operador ingrese en el mercado empleando el mismo espectro.
- **Potencia limitada:** Los entes reguladores del Gobierno por lo general limitan la cantidad de potencia que puede transmitirse. Esta limitación es especialmente importante en 5.8GHz, donde la mayor potencia podría compensar la pérdida de propagación relacionada con el espectro en frecuencias más altas.
- **Disponibilidad:** Mientras el espectro de 2.4GHz está disponible universalmente, en la actualidad el de 5.8GHz no lo está en varios países.

5.2. Bandas con licencia

El operador que solicite la licencia debe de pagar un alto precio por el uso exclusivo del espectro y protegerse de la interferencia externa, mientras que sus competidores sólo pueden ingresar en el mercado si también poseen la licencia. El espectro que requiere licencia se encuentra en las bandas de frecuencia de 700MHz, 2.3GHz, 2.5GHz y 3.5GHz.

5.2.1. Banda de 2.5 GHz

Está disponible para uso terrestre en América del Norte, América Latina y en un futuro en Europa. En Estados Unidos, tiene asignado 200 MHz de espectro de radio con licencia entre 2.5 y 2.7 GHz.

5.2.2. Banda de 3.5 GHz

Disponible en casi todos los países, excepto en Estados Unidos. Por ser una banda de licencia europea, se restringe la manera en que se puede hacer uso del espectro. En algunas regiones del mundo, como , Japón y Corea, se están usando partes del espectro para ofrecer servicios satelitales. Cabe mencionar que existe una parte de la industria que no es adecuada para la movilidad, en gran parte debido a la propagación de radiofrecuencia en esta banda.

5.2.3. Banda de 700 MHz

Ésta es utilizada en muchas regiones del mundo, entre ellas América del Norte y la mayor parte de Europa. Su espectro está siendo empleado para la transmisión analógica de televisión, lo cual significa que la capacidad de desplegar Wimax está limitada, debido a la posibilidad de que haya interferencias entre los servicios. Con la transición de la televisión digital, finalmente liberarán este espectro para que pueda ser empleado como soporte de otras tecnologías.

6. Implementación de Wimax Móvil en Costa Rica

Actualmente, en nuestro país se ha podido comercializar primeramente el servicio de Wimax Fijo y el encargado de brindar este servicio ha sido Radiográfica Costarricense S.A. (Racsa) en conjunto con el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), los cuales ofrecen este servicio a los usuarios con el atractivo de ser una conexión inalámbrica y con altas tasas de transmisión de datos.

(Fonseca Q., 2008) *menciona:*

“Las velocidades que se están ofreciendo tanto a los usuarios domésticos como a empresas están entre los 512 Kbps y los 2 Mbps de bajada. Las radios bases que se están usando se encuentran ubicadas en sitios como Santa Ana, San José, Alajuela, Desamparados, Heredia, Cartago, Curridabat, Coronado y estas permiten brindar una cobertura de 8 Km. La forma de transmisión para Wimax fijo es que de una estación base se emita una señal en forma de microondas la cual llegará a una antena fija que previamente estará colocada en los exteriores de la vivienda o de la empresa, una vez que esta señal es recibida por la antena esta pasa a una terminal que se encarga de codificarla, y es esta la que recibe la computadora.”

Por otro lado, la implementación de Wimax móvil se encuentra en la etapa de planificación, esto porque primeramente empresas como el ICE o Racsa están tratando de consolidar el mercado en Wimax fijo y robustecer la infraestructura, la cual servirá al mismo tiempo para dar el servicio de Wimax móvil. Asimismo, es seguro que las primeras

etapas de despliegue de este servicio se darán en San José y en algunas zonas rurales, utilizando la banda de los 2.5 GHz. Se espera que para este 2009 haya un avance en la implementación de este servicio móvil.

7. Conclusiones

Dado que esta tecnología se encuentra en auge a nivel mundial, presenta características muy atractivas para tomarla en consideración en el momento de optar por una tecnología inalámbrica de banda ancha. Por tal motivo, a raíz de esta investigación, se formularon las siguientes conclusiones:

- Es una tecnología de gran proyección debido a la versatilidad, ya que permitirá transmisiones con un gran ancho de banda, lo cual permitirá brindar soluciones de transmisión de voz y datos destinados a hogares y comercios.
- Para que Wimax Móvil logre el éxito deseado, es indispensable que exista un ente regulador que permita definir una arquitectura de red y los requerimientos del sistema, en aras de asegurar que exista compatibilidad e interoperabilidad entre todos los fabricantes.
- Las técnicas de modulación empleadas por Wimax Móvil permiten brindar una alta capacidad de asignación de recursos, dado que los enlaces ascendentes son más eficientes y, por ende, soportan un amplio rango de cobertura..
- Provee técnicas de comunicación que permiten brindar una excelente calidad en el servicio, en virtud de que se evitan las interferencias durante la transmisión, además de que permite acceso múltiple y posee una gran capacidad de escalamiento para permitir la movilidad.
- Wimax Móvil cuenta con velocidades superiores y mayor eficiencia en comparación con redes tales como 3G. Sin embargo, la cobertura de ésta última es mayor. Ahora bien, estas tecnologías pueden emplearse de manera complementaria, sin que una desplace a la otra.
- Wimax Móvil permite transportar tráfico DSL y de cable a bajo costo y mediante un ambiente móvil, lo cual posibilita servicios como VoIP, transmisión de audio y video, juegos interactivos y aplicaciones en tiempo real.
- Wimax móvil aplica eficientes técnicas de seguridad, lo que le permite a los usuarios tener privacidad, autenticación, encriptación de tráfico, control y confidencialidad para las conexiones entre la estación base y la de origen. Además, el usuario puede emplear como mecanismo adicional de seguridad el uso de certificados digitales.

- La tecnología Wimax Móvil permite ser utilizada en espectros que requieren licencia y también para aquellas que no la requieran, y además está la posibilidad de un despliegue en las bandas celulares.

Por último, se puede esperar que la tecnología de banda ancha móvil tenga en un futuro un mayor crecimiento, con el fin de fomentar el surgimiento de numerosas opciones tecnológicas por parte de distintos fabricantes.

8. Bibliografía

- Capisto M., C., & Hidalgo E., N. (2008). "Worldwide Interoperability for Microwave Acces (Wimax): Evolución, principios de funcionamiento y su aplicación práctica. Tesis de Bachillerato no publicada, Universidad Argentina de la Empresa. Argentina.
- Fonseca Q., P. (8 de Enero de 2008). Racsa ofrece 20.000 conexiones a Internet sin cables vía WiMax. Recuperado el 6 de Marzo de 2009, de http://www.nacion.com/ln_ee/2008/enero/09/aldea1377109.html
- Hinostroza, V. (s.f.). Técnicas de Acceso Múltiple. Recuperado el 11 de Febrero de 2009, de <http://docentes.uacj.mx/vhinostr/Nuevo%20Formato/CLASES/COM%20II/Unidad%20III%20tecnicas%20de%20acceso%20multiple.pdf>
- Huawei Technologies Co. (2009). Mobile Wimax. Recuperado el 18 de Febrero de 2009, de <http://www.huawei.com/es/catalog.do?id=701>
- IEEE Standars. (2005). Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Recuperado el 3 de Febrero de 2009, de <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16e-2005.pdf>
- IEEE Standars. (2004). Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. Recuperado el 3 de Febrero de 2009, de <http://standards.ieee.org/getieee802/802.16.html>
- Infowimax Blogspot. (Abril de 2008). Arquitectura Wimax. Recuperado el 26 de Febrero de 2009, de <http://infowimax.blogspot.com/2008/04/arquitectura-wimax.html>
- Lamelas, A. (2006). Wimax. Recuperado el 9 de Febrero de 2009, de <http://observatorio.cnice.mec.es/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=349>
- Marca J., R., & Chen, K.-C. (2008). Mobile Wimax. Jhon Wiley&Sons.
- Muro, L. (2008). Tecnología WiMax. Recuperado el 4 de Febrero de 2009, de <http://www.monografias.com/trabajos63/tecnologia-wimax/tecnologia-wimax.shtml>

- Pozo, C. A. (2007). Wimax: Banda Ancha Móvil y comparación con HSDPA. Tesis de Bachillerato no Publicada, Universiada Mayor, . Santiago, Chile.
- Racsa. (2009). Racsa Evolucion, Internet Inalámbrico Wimax. Recuperado el 6 de Marzo de 2009, de http://www.racsa.co.cr/servicios/residenciales/banda_ancha/wimax/index.html
- Rojas, O. (2006). Aprobada la segunda norma IEEE 802.16e de Wimax para Móviles. Recuperado el 9 de Febrero de 2009, de <http://www.compostelawireless.net/modules/news/article.php?storyid=241>
- Steller, J. M. (2006). Wimax Movil. Tesis de Bachillerato no publicada, Universidad de Costa Rica . San Pedro, San Jose, Costa Rica.
- Talbert, M. (s.f.). Wimax, VoIP y el Metropolitan Area Network. Recuperado el 3 de Febrero de 2009, de <http://www.content4reprint.com/view/spanish-21494.htm>
- Wikipedia. (2009). Handover. Recuperado el 19 de Febrero de 2009, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Handover>