

# Capítulo 4

## Aplicaciones



## 4. Aplicaciones

### 4.1. Introducción

Como ya hemos visto en capítulos anteriores WiMAX está basado en los estándares IEEE 802.16-2004 y 802.16-2005 para accesos inalámbricos fijos y móviles en redes de área metropolitanas (MAN). Puede llegar a enviar datos a una tasa de hasta 70Mbps, con un área de cobertura de 30km, y es capaz de proporcionar un envío seguro y soportar usuarios móviles moviéndose a la velocidad de un vehículo. La capa de control de acceso al medio de WiMAX (MAC) soporta servicios de calidad de servicio (QoS) como RtPS en los que se asegura el ancho de banda requerido y mínimas latencias para los servicios de voz y vídeo en tiempo real. También utiliza en la capa PHY como técnicas de multiplexación OFDM y OFDMA, las cuales son resistentes a la atenuación debida al multirrayecto. Por otra parte utiliza esquemas de modulación adaptativos y técnicas de corrección de error hacia adelante (FEC) para aumentar la calidad de servicio. Puesto que la capa PHY de WiMAX soporta tamaños de tramas variables y un ancho de banda escalable, WiMAX está considerada como una red de acceso IP y ofrece transparencia para núcleos de redes basadas en paquetes haciendo que WiMAX sea una elección ideal para aplicaciones de VoIP, IPTV y otros servicios basados en IP. Adicionalmente, los radios de cobertura de WiMAX están diseñados para no añadir ningún deterioro al contenido a enviar.

Por lo tanto las estaciones base, las estaciones de usuario y las móviles de WiMAX están idealmente adaptadas para el envío de servicios basados en IP como VoIP, IPTV, e internet sobre una red MAN inalámbrica. Esto hace que WiMAX sea la mejor elección por encima del cable convencional, del DSL, y sobre soluciones basadas en satélites. La red de acceso de WiMAX ofrecerá sus servicios en cualquier parte. Así mismo con el amplio despliegue de WiMAX permitirá que los servicios lleguen a zonas rurales y regiones fuera de cobertura con mayor velocidad, calidad de imagen y sonido a un precio permisible.

En este apartado vamos a ver más detalladamente dos aplicaciones, la televisión por IP o IPTV y la voz sobre IP o VoIP. Ambos servicios son los que mayor despliegue e investigación están teniendo. Ya que soportar estos dos servicios sobre WiMAX permite al usuario tener una libertad de movimiento y una calidad que hasta ahora no era posible.

## 4.2. Implementación propuesta sobre WiMAX.

Las capas PHY y MAC de WiMAX así como los transceptores de radio están organizados en subsecciones lógicas para realizar un envío eficaz de la carga útil basada en IP incluyendo voz, video, multimedia e Internet sobre una red inalámbrica. Estas están descritas a continuación en su respectiva sección.

### 4.2.1. Capa MAC

Como ya hemos visto la capa MAC está dividida en tres subcapas; la subcapa de convergencia (CS), la subcapa común (CPS) y la subcapa de seguridad (SS).

En la subcapa de convergencia, se reciben los paquetes de IP sobre Ethernet como SDUs de la capa MAC. A continuación los paquetes recibidos son clasificados basándose en el puerto TCP/UDP, en el origen/destino, en la dirección MAC, etc. Luego a cada paquete se le asigna a una conexión para ser transmitida a través del aire. En la subcapa común, los paquetes son fragmentados y/o empaquetados para poder hacer un uso eficiente del ancho de banda disponible. La fragmentación también permite el uso de servicios de solicitud de repetición automática (ARO) para minimizar las retransmisiones. Las PDUs de la capa MAC se construyen en esta capa. Tanto en el enlace descendente como en el ascendente los paquetes son organizados en base a los requisitos del acuerdo de nivel de servicios (SLA) y de los parámetros de calidad de servicios (QoS). Por último, la trama en la que se transmitirán los paquetes se prepara en esta subcapa. En la subcapa de seguridad, los paquetes se codifican para impedir el acceso no permitido al servicio. En esta subcapa se implementan tanto el intercambio de claves entre las estaciones de usuarios para una transmisión autenticada como la implementación de los códigos cíclicos de redundancia (CRC).

En la subcapa común se realizan las negociaciones de la entrada a la red, las fluctuaciones iniciales y periódicas, y distintas capacidades para establecer y mantener las conexiones entre la estación base y las estaciones de usuarios o móviles. La identificación de la calidad del enlace aéreo, del ancho de banda garantizado y de los parámetros de seguridad es también efectuada por la subcapa de convergencia utilizando los mensajes de administración de la capa MAC.

#### 4.2.1.1. Planificador MAC

La capa MAC del estándar 802.16 está orientada a conexión. La estación base asigna conexiones con un único identificador (llamado CID) a cada enlace de transmisión ya sea ascendente o descendente. En la subcapa de convergencia, el clasificador mapea los flujos de tráfico a conexiones con distintos servicios de planificación. Por lo tanto prevén que se implementaran múltiples planificadores para dirigir las demandas variables de los usuarios. Obviamente, esto es otro grado de dificultad en la implementación de la capa MAC.

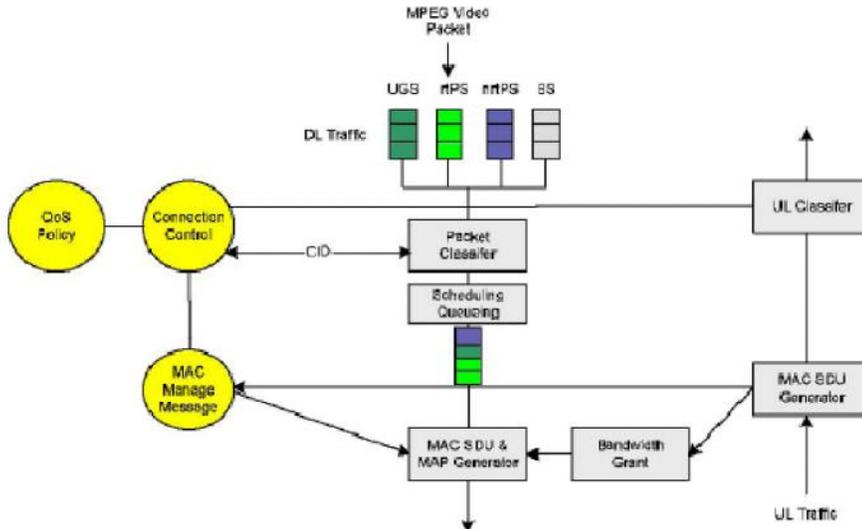


Figura 27. Planificador MAC.

En la figura 27 se muestra una implementación de un planificador MAC. Esta implementación incluye flujos de servicios de planificación de QoS, establecimiento de servicio dinámico, y el modelo de activación bifásico. Los servicios de planificación representan los mecanismos de gestión de datos soportado por el planificador MAC para el transporte de datos en una conexión. El bloque "Packet classifier" o clasificador de paquetes enviará la información de la cabecera de los paquetes al componente "Connection Control" o control de conexiones, el cual asignará la identificación de la conexión CID y la identificación del flujo de servicio o SFID a cada paquete o flujo. Cada SFID tendrá relacionado unos parámetros de calidad de servicio almacenados en el componente "QoS Policy" o política de QoS.

Tanto la estación base como la de usuario pueden iniciar la creación de los flujos de servicio. Los componentes administrativos de la capa MAC se encargan de la transacción y el cambio dinámico de los parámetros de QoS de los servicios dinámicos de acceso y de los

servicios dinámicos de cambio (DSA/DSC). Una transacción DSC exitosa cambia los parámetros QoS de un flujo de servicio mediante el reemplazamiento tanto de los parámetros de QoS admitidos y los activos.

El modelo bifásico realiza funciones como las siguientes: conservar los recursos de la red hasta que se establezca por completo una conexión extremo a extremo, realiza el control de políticas, y el control de admisiones a recursos lo más rápido posible, e impidiendo varios escenarios potenciales de robo del servicio.

Los bloques "Scheduling and Queuing" y "MAP Generator" desempeñan la función de reservar los recursos en una ruta de datos basándose en los parámetros asignados y en los ajustes de QoS.

#### 4.2.2. Capa PHY

La capa PHY soporta múltiples tipos de modulación como BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM con diferentes tasas de codificación. Para cada tipo de modulación hay una tasa de codificación óptima para conseguir un ancho de banda más pequeño sin calidad comprometida. Se utiliza una modulación y una codificación adaptativa para proporcionar una mayor calidad para las estaciones de usuario servidas.

A continuación vamos a ver una implementación concreta de la capa PHY. Se trata de una FPGA de la marca Xilinx, la Virtex-4 y ha sido elegida por su capacidad de recursos y su optimización de los bloques IP como se especifica en el estándar 802.16d.

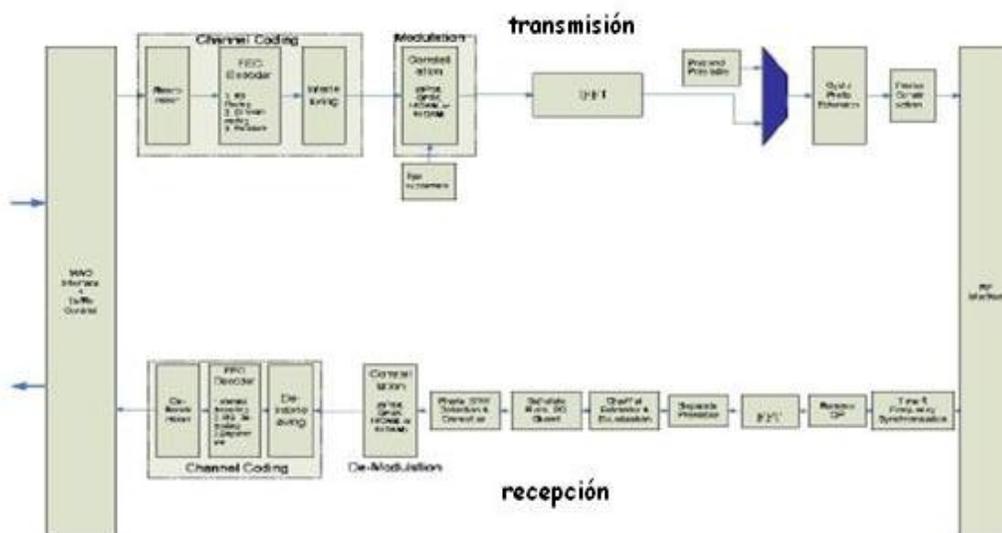


Figura 28. Diagrama bloques capa PHY.

La figura 28 muestra el diagrama de bloques una implementación de la capa PHY. Se muestran tanto el transmisor como el receptor. En la ruta del transmisor, se codifica el canal que contiene los datos para proteger el contenido de los errores del canal y garantizar la entrega de los paquetes IP con alta calidad. Los datos de la capa MAC son primero aleatorizados para suprimir la correlación entre los bits de información. El bloque FEC consiste en la concatenación de una codificación exterior con un código cíclico no binario llamado Reed Solomon (RS) y la codificación convolucional interna. La codificación se realiza pasando primero los datos en bloque hacia el codificador RS y después hacia el codificador convolucional. Todos los bits de datos codificados son intercalados por un bloque llamado "interleaver" que creará bloques con el tamaño correspondiente al número de bits codificados por los subcanales asignados a un símbolo OFDM. Tras el intercalado, los bits de datos se introducen en serie al mapeador de la constelación cuya salida se da en el dominio del tiempo tras pasar por el bloque IFFT. Después de la adición del preámbulo y un prefijo cíclico (CP), la señal se transforma en ondas de radio usando la interfaz radio de la capa PHY.

En la ruta del receptor de la capa PHY incluye operaciones duales del transmisor a lo largo de los bloques específicos del receptor. Estos incluyen una estimación del canal, ecualización, rastreador de fase, y sincronización en tiempo/frecuencia. Hay que especificar que los bloques específicos del receptor son específicos del vendedor y no están impuestos por el estándar 802.16 ni por el WiMAX Fórum. Además, estos algoritmos son exclusivos de cada vendedor, y por lo tanto estos son los bloques donde se hace diferente exclusivo a cada producto. Como criterio para la elección pueden evaluarse la ejecución de los algoritmos del receptor, la relación señal a ruido (SNR), la magnitud del vector error (EVM) o la tasa de error de bit (BER).

La capa física PHY soporta transmisiones basadas en tramas. Una trama consiste en una subtrama del enlace descendente y otra subtrama del enlace ascendente. Una subtrama del enlace descendente está compuesta de una única PDU de la capa PHY, mientras que una subtrama del enlace ascendente consiste en intervalos de contienda programados para propósitos de solicitud de ancho de banda y ajuste inicial en las cuales puede haber una o múltiples PDUs de la capa PHY, cada una transmitida desde un sistema de usuario diferente. Dado por ejemplo que el transporte de vídeo es asimétrico, se puede asignar a los usuarios más ancho de banda en el enlace descendente. Por tanto se obtiene una mejor utilización del ancho de banda.

### 4.2.3. Interfaz radio de PHY

La principal responsabilidad de la interfaz radio de la capa PHY es gestionar la comunicación de datos entre los parámetros de control de la capa MAC y la radio transmisión. Además la capa MAC configura y controla los dispositivos de radio programables a través de esta interfaz.

#### 4.2.3.1. Transceptor de radio

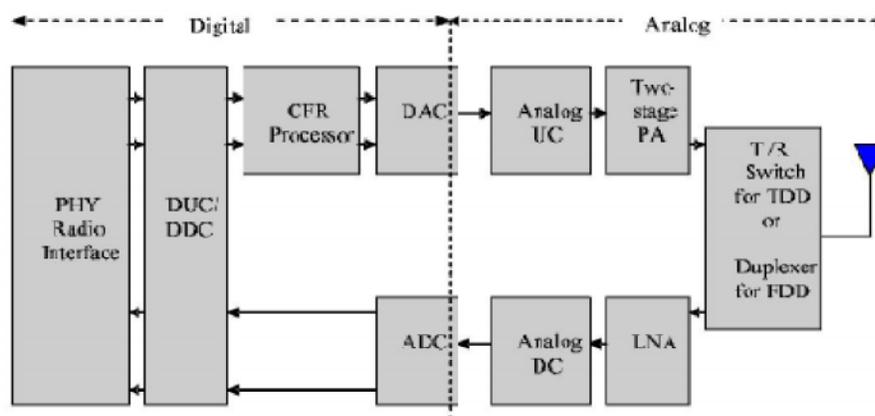


Figura 29. Transceptor Radio.

En la figura 29 se muestra el diagrama de bloques del transceptor de una estación base en WiMAX. El transceptor de radio consta de dispositivos digitales y analógicos. Esta estructura es flexible en el sentido que los parámetros de la transmisión radio, como la frecuencia central y los niveles de potencia de transmisión, pueden cambiar a través del software.

En el lado del transmisor, la señal digital está en muestras en forma de fase y cuadratura y pasa por el bloque DUC/DDC (Digital UpConverter/Digital DownConverter). En la fase DUC, la señal transmitida puede ser filtrada e interpolada. La señal transmitida resultante se enviará al procesador de reducción del factor de cresta (CFR- Crest Factor Reduction), donde se ajusta el PAPR (Peak-to-Average-Power-Ratio que es un ratio entre la potencia pico de la envolvente de la señal modulada y la potencia media) de la señal transmitida. La señal a transmitir cortada pasa a continuación por el convertidor digital a analógico (DAC) para convertir la señal digital en su correspondiente forma analógica. El DAC determina la frecuencia central de la primera etapa de frecuencia intermedia (IF) puesto que este introduce un mezclador excelente. La señal analógica es convertida por el upconverter (UC), que traduce frecuencias bajas a altas, a una

segunda etapa IF y finalmente a la etapa de radio frecuencia (RF) mediante el empleo de un convertidor analógico de dos etapas (UC). Para proporcionar un gran alcance, la señal RF es amplificada por un amplificador de dos etapas (PA). La señal amplificada pasa por la antena a través del dispositivo de duplexión.

En el lado del receptor, la señal recibida es amplificada usando un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA). La señal a la salida del LNA es convertida a la IF final usando un convertidor de dos etapas (DC o DownConverter). La señal analógica es digitalizada y se generan muestras en fase y cuadratura a la salida del convertidor analógico/digital (ADC). Las muestras en cuadratura y fase se filtran, se diezman, y luego son enviadas a la interfaz radio de la capa PHY para procesarla posteriormente.

## **4.3. IPTV**

### **4.3.1. Introducción**

La televisión por Internet o IPTV (Internet Protocol Television) se ha ido convirtiendo en una tecnología cada vez más popular debido a que puede ofrecer servicio a los usuarios cuando ellos requieran y donde quieran que estén. Las redes tradicionales basadas en cable solamente pueden dar servicio de televisión a puntos fijos. Por lo tanto se necesita una nueva tecnología que pueda ofrecer este servicio de televisión a usuarios móviles y que logre llegar a los sitios donde no puede llegar el cable.

Vamos a ver ahora un modelo de un sistema para ofrecer servicios de IPTV sobre WiMAX. Por último, discutiremos los desafíos encontrados en la implementación de IPTV sobre WiMAX como son las características de la capa MAC, de la capa PHY. A pesar de estos desafíos, la IPTV sobre WiMAX es factible y es una alternativa viable al cable y DSL para ofrecer servicios de televisión por IP.

### 4.3.2. Modelo del sistema

En la siguiente figura se muestra un diagrama de bloques funcional de una aplicación IPTV. Los programas de televisión ya sean grabados o emitidos en directo se codifican y comprimen en los servidores/codificadores que almacenan el contenido de audio/vídeo (A/V). Los servidores/codificadores de vídeo pueden estar tanto centralizados como distribuidos por todo el núcleo de la red.

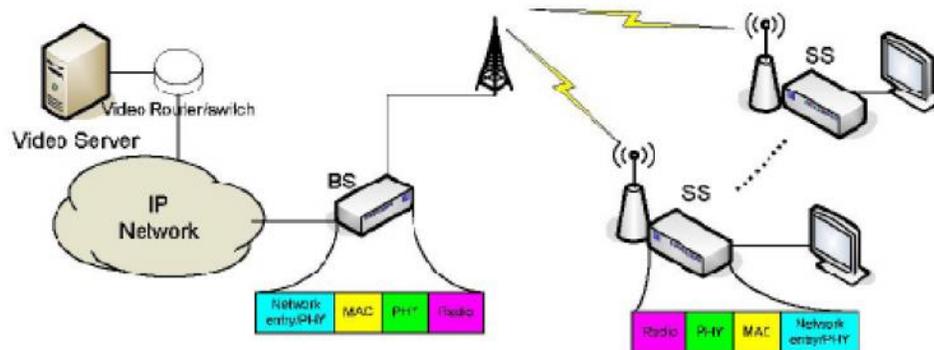


Figura 30. Diagrama funcional aplicación IPTV.

La estación base en asociación con la estación de usuario proporcionan un sistema de envío punto a multipunto (PMP) para aplicaciones IPTV y se ajustan al estándar del IEEE sobre WiMAX y a su certificación. La carga útil puede ser tanto SDTV (Standard Definition TV) como HDTV (High Definition TV). Para servicios de flujos en tiempo real de vídeo se usan los puertos UDP y para el vídeo bajo demanda (VoD) se usan los puertos TCP. Soporta también servicios de broadcast o difusión, multicast o difusión selectiva, y unicast o difusión punto a punto. Por consiguiente, puede haber múltiples paquetes de orígenes diferentes que deben ser enviados a usuarios específicos con diferentes parámetros de QoS que hacen que sea una tarea desafiante. El origen de los paquetes IPTV desempeña un papel importante en la estrategia de QoS para aplicaciones IPTV. Los paquetes broadcast de IPTV son normalmente gratuitos, mientras que los paquetes unicast de IPTV normalmente son de pago. Por lo tanto la entrega de los paquetes unicast es más crítica que la de los paquetes broadcast, requiriendo diferentes parámetros de QoS. La capa MAC de la estación base de WiMAX dirige este problema a través de servicios de planificación efectiva. Por esta razón, se espera que la planificación y la implementación de la capa MAC sea un diferenciador clave entre los productos de la competencia.

La siguiente figura muestra la torre de protocolos para una transmisión IPTV. El contenido de A/V de la fuente emisora se formatea, se comprime (utilizando mayoritariamente el

estándar de codificación y compresión MPEG-2) y es encapsulado como RTP. Esta carga es transportada tanto por datagramas UDP, como por datagramas TCP, y ambos se convertirán en carga útil dentro de los datagramas IP. La carga útil de IP es encapsulada como tráfico Ethernet 802.3 y 10/100/1G Base-T que recorrerá el núcleo de la red, en caso de que no se trate de una red WiMAX completa. La estaciones base de WiMAX que están situadas en los bordes del núcleo de la red reciben los paquetes encapsulados en 802.3 y su capa MAC desencapsulará sus cabeceras Ethernet para seguidamente encapsular la carga IP como PDUs 802.16 de la capa MAC y luego como PDUs 802.16 de la capa PHY de WiMAX. La capa física PHY del estándar 802.16 prepara estas PDUs para ser transportadas por interfaces aéreas inalámbricas mediante la implementación de técnicas FEC, el mapeado de símbolos, y una modulación OFDM. A continuación el transceptor de radio irradia estas señales a través de antenas a las diferentes estaciones de usuarios y estaciones móviles dentro de la celda. Para la recepción del contenido de audio y video a PCs o STB (Set Top Box que es un dispositivo encargado de la recepción y decodificación de señal de televisión digital) preparados para ello se realizara en el sentido inverso al mencionado en dichas estaciones de usuario.

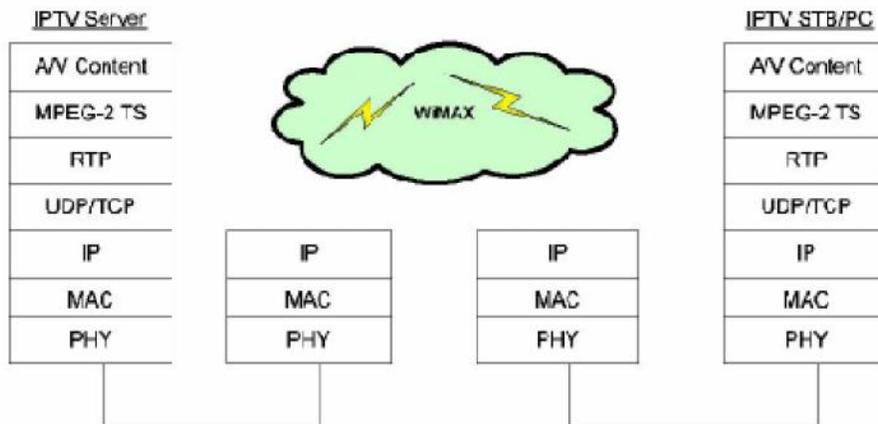


Figura 31. Proceso de recuperación del descompresor de ROHC.

Uno de los inconvenientes de las transmisiones basadas en paquetes es el exceso de cabeceras que se añaden en cada capa, que como resultado hacen que la carga útil se reduzca considerablemente. La transmisión de IPTV necesita una capacidad de carga útil elevada, por lo tanto se plantea un desafío para proporcionar este servicio con un rendimiento máximo. Los datagramas UDP, TCP e IP con sus asociadas cabeceras son parte de la carga útil de WiMAX, pero sin embargo la capa PHY y MAC del estándar 802.16 también añaden su parte.

### 4.3.3. Funcionamiento del MPEG-2

#### 4.3.3.1. Introducción

En los estándares de TV digital denominados DVB (Digital Video Broadcasting) se especifican los fundamentos de los sistemas para diferentes medios de transmisión. Cada estándar define los esquemas de codificación de canal y de modulación para el medio de transmisión de que se trate, pero en todos los casos la codificación de fuente es una adaptación del estándar MPEG-2.

Más concretamente, la señal de entrada y salida especificada para todos los sistemas es llamada Flujo de Transporte MPEG-2 (MPEG-2 Transport Stream o TS). Esta estructura debe complementarse con la denominada Información del Servicio (SI), que está especificada por DVB en la norma ETS 300 468. También estudiaremos el denominado Flujo de Programa MPEG-2 (MPEG-2 Program Stream o PS), aunque no tenga aplicación para DVB. Este tipo de flujo de señal se emplea para almacenamiento y recuperación de información digital en entornos libres de errores. A diferencia del anterior, que multiplexa varios programas, éste sólo puede acomodar un programa.

#### 4.3.3.2. Generación de los flujos de señal MPEG-2

Las siguientes operaciones dan lugar al flujo de transporte MPEG-2:

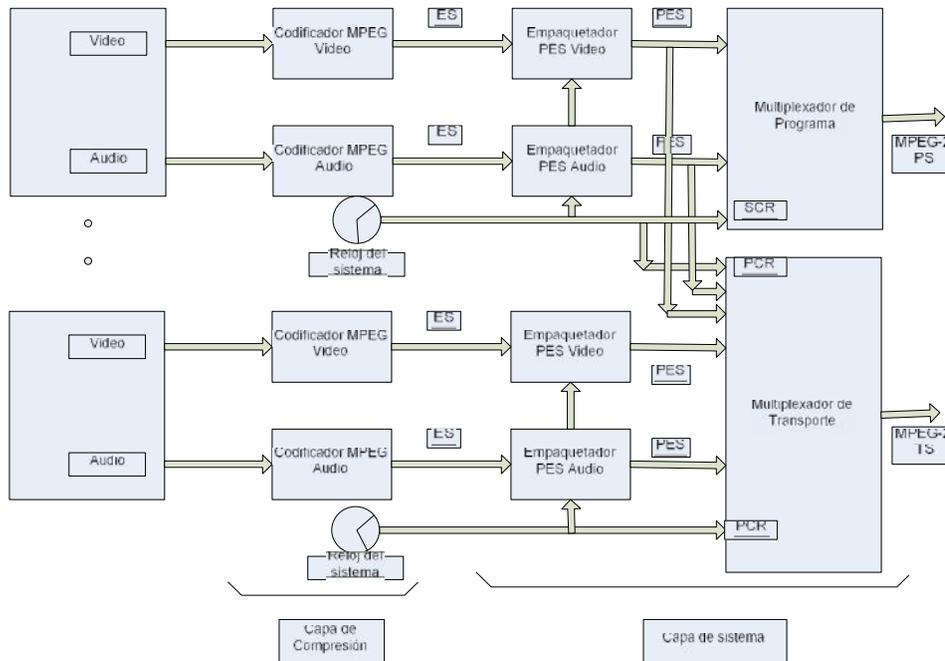


Figura 32. Generación de los flujos de señal MPEG-2.

Estas operaciones pueden dividirse en dos grandes bloques, uno llamado capa de compresión y el otro capa de sistema.

En la capa de compresión se realizan las operaciones propias de la codificación MPEG, recurriendo a los procedimientos generales de compresión de datos, y aprovechando además, para las imágenes, su redundancia espacial (áreas uniformes) y temporal (imágenes sucesivas), la correlación entre puntos cercanos y la menor sensibilidad del ojo a los detalles finos de las imágenes fijas.

En cuanto al audio, se utilizan modelos psicoacústicos del oído humano, que tienen en cuenta la curva de sensibilidad en frecuencia, los efectos de enmascaramiento frecuencial (señales simultáneas a diferentes frecuencias) y enmascaramiento temporal (un sonido de elevada amplitud enmascara sonidos más débiles anteriores o posteriores), para reducir la cantidad de datos que hay que transmitir, sin deteriorar de forma perceptible la calidad de la señal de audio.

En la capa de sistema se realizan las operaciones que llevan a la obtención de los flujos de señal MPEG-2 consistentes en la organización en paquetes, de los datos comprimidos y el posterior multiplexado de todas las señales asociadas al programa (vídeo, audio, datos, etc.).

Para el caso de los Flujos de Programa MPEG-2, se multiplexan todos los componentes del programa (vídeo, audio, datos, etc.) y se incorpora el reloj del sistema, pero solamente se transmite la información correspondiente a un único programa audiovisual.

En cambio, en el caso de los Flujos de Transporte MPEG-2, además de la posibilidad de multiplexado de varios programas audiovisuales, se añaden en el múltiplex diversas informaciones relativas al servicio: Tabla de Asociación de Programas (PAT), Tabla de Acceso Condicional (CAT), Mapa de cada Programa (PMT), Tabla de datos de la red (NIT), etc.

A continuación vemos algunos la definición de algunos otros elementos de la estructura:

- Programa (Program): Un servicio o canal simple de radiodifusión.
- Flujo Elemental (Elementary Stream o E.S.): Es el nombre que recibe cada componente simple de un programa, después de que se ha codificado digitalmente y comprimido según MPEG. Así, un programa ya comprimido de TV se compone de varios flujos elementales: Uno para el vídeo, varios para sonido estéreo en diferentes idiomas, otro para el teletexto, etc.

- Flujo Elemental Empaquetado (Packetised Elementary Stream o P.E.S.): Cada flujo elemental se estructura en paquetes, dando lugar a un flujo que se denomina flujo elemental paquetizado, y que está compuesto por "PES- packets". Como cada P.E.S. se obtiene directamente de cada E.S., y éstos son independientes, existirá por tanto un P.E.S. por cada E.S. original.

#### 4.3.3.3. Procesado de la señal

Se parte de un programa digitalizado sin comprimir, que se compone de varias informaciones simultáneas: Vídeo, varios audios estéreo en diferentes idiomas, teletexto, datos, etc. Cada una de estas informaciones digitales, todavía sin comprimir, está agrupada en bloques elementales denominados Unidades de Presentación (Presentation Units).

##### 4.3.3.3.1. Codificación MPEG

El proceso continúa en la denominada capa de compresión. Es aquí donde se reduce la velocidad binaria del flujo de señal, mediante la sustitución de las Unidades de Presentación por Unidades de Acceso (Access Units).

La siguiente figura muestra la operación asociada a la capa de compresión.

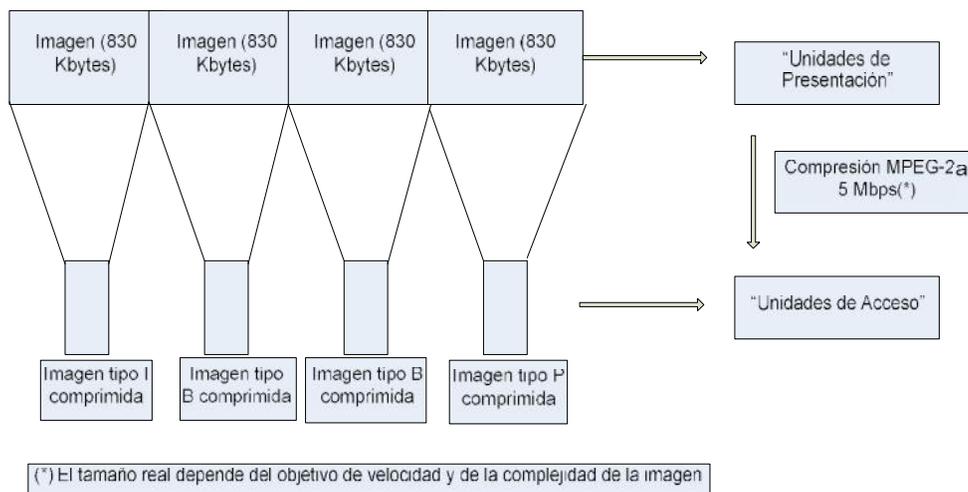


Figura 33. Generación de los flujos de señal MPEG-2.

En el caso de la señal de vídeo, las Unidades de Acceso son de 3 tipos, correspondiendo a otros tantos tipos de imágenes MPEG:

- Imágenes tipo I (Intra): Se codifican sin ninguna referencia a otras imágenes, es decir, contienen todos los elementos necesarios para su reconstrucción. Su tamaño es de 100Kbytes.
- Imágenes tipo P (Previstas): Se codifican con respecto a la imagen de tipo I o de otra P anterior, gracias a las técnicas de predicción con compensación de movimiento. Su tasa de compresión es claramente mayor que la de las imágenes I y su tamaño es de 33Kbytes.
- Imágenes tipo B (Bidireccionales): Se codifican por interpolación entre las dos imágenes de tipo I o P precedente y siguiente que las enmarcan. Ofrecen la tasa de compresión más alta consiguiendo un tamaño de 12Kbytes.

El tamaño real depende del objetivo de velocidad binaria buscado y de la complejidad de la imagen. Los valores citados corresponden a un flujo comprimido de 5Mbps.

En el caso de la señal de audio, las Unidades de Acceso típicamente contienen unas pocas decenas de milisegundos de audio comprimido.

El resultado de la codificación MPEG de una secuencia de vídeo, es una sucesión de Unidades de Acceso de Vídeo. Dicha sucesión de unidades de acceso constituye el denominado Flujo Elemental de Vídeo (Video Elementary Stream o Vídeo E.S.).

Paralelamente, el resultado de la codificación MPEG para el audio es una sucesión de Unidades de Acceso de Audio que componen el denominado Flujo Elemental de Audio (Audio Elementary Stream o Audio E.S.).

#### 4.3.3.3.2. Empaquetado P.E.S.

Ya en la capa de sistema nos encontramos con los Empaquetadores P.E.S., que constituyen el siguiente paso en la generación tanto del múltiplex de programa como del múltiplex de transporte MPEG-2.

Se trata de convertir cada flujo elemental compuesto exclusivamente por unidades de acceso, en un flujo elemental empaquetado (P.E.S). Un P.E.S. está compuesto íntegramente por paquetes P.E.S. (P.E.S.-Packets) como muestra la siguiente figura:

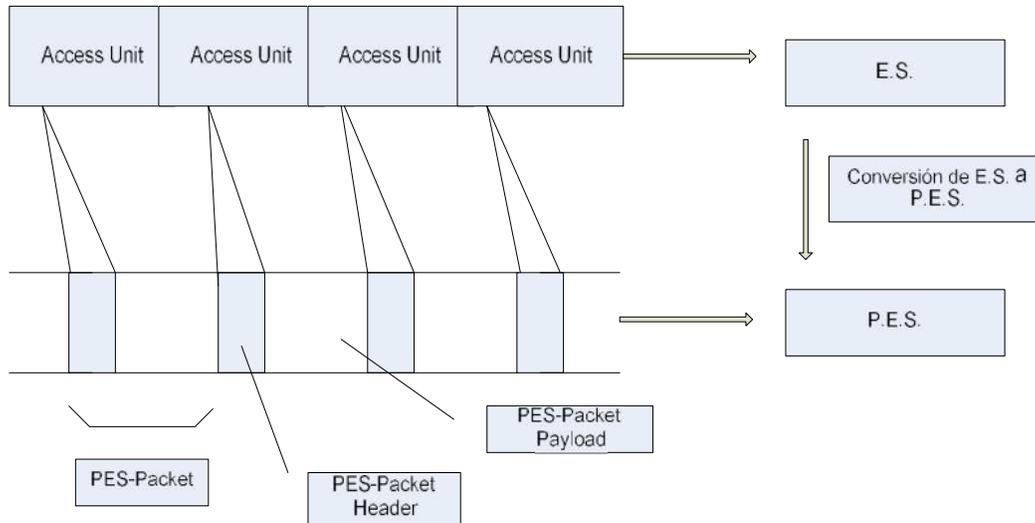


Figura 34. Empaquetado P.E.S.

Un PES-Packet se compone de una cabecera (header) y de una carga útil (payload). La carga útil consiste simplemente en bytes de datos tomados secuencialmente desde el flujo elemental original. No hay ningún requisito para alinear el comienzo de una unidad de acceso y el comienzo de la carga útil de un PES-Packet. Así, una nueva unidad de acceso puede comenzar en cualquier punto la carga útil de un PES-Packet, y también es posible que varias pequeñas unidades de acceso estén contenidas en un simple PES-Packet.

Los PES-Packets pueden ser de longitud variable, limitados normalmente a 64Kbytes, aunque la excepción a esta norma se da precisamente en los P.E.S. de vídeo, cuando se emplean en un flujo de transporte, donde pueden tener longitud indefinida.

Esta flexibilidad en la longitud de los paquetes PES puede ser explotada por los diseñadores de diferentes maneras: pueden usarse paquetes de longitud fija si interesa, o por ejemplo pueden ser de longitud variable de forma que siempre coincida el inicio de una unidad de acceso con el comienzo de la carga útil de cada paquete P.E.S.

#### 4.3.3.4. Múltiplex Tipo “Program Stream”

El tipo de múltiplex denominado Flujo de Programa (Program Stream) se crea a partir de uno o varios P.E.S. pertenecientes al mismo Programa Audiovisual, que deben compartir obligatoriamente el mismo reloj de referencia.

Este flujo de programa está compuesto por paquetes, que a su vez comprenden: una cabecera del paquete (pack-header), opcionalmente una cabecera de sistema (system- header), y un número indeterminado de paquetes P.E.S., tomados de los flujos elementales que componen el Programa Audiovisual, en cualquier orden.

No existe una especificación acerca de la longitud que debe tener cada paquete de un flujo de programa. Únicamente debe aparecer una cabecera de paquete al menos cada 0,7 segundos, puesto que la citada cabecera contiene información importante para la sincronización: la denominada Referencia del Reloj de Sistema (System Clock Reference o SCR).

En efecto en un flujo de programa puede contener únicamente un programa audiovisual, el reloj en el multiplexor se llama System Clock. Todas las unidades de acceso de los flujos elementales del programa tienen asignados unas marcas de tiempo basadas en este System Clock, que están contenidas en la cabecera de los paquetes P.E.S.

A su vez, muestras del System Clock o System Clock Referentes (SCR) se encuentran codificadas en los campos opcionales de las cabeceras de paquetes del flujo de programa. Son números binarios de 42 bits que expresan unidades de 27MHz.

En el campo opcional cabecera del sistema de un paquete se incluye un resumen de las características del flujo de programa tal como: su velocidad binaria máxima, el número de flujos elementales de vídeo y de audio que lo componen, información complementaria de temporización, etc. Así, un decodificador puede usar la información contenida en esta cabecera del sistema para establecer si es capaz de recuperar la información del flujo de programa o no.

El flujo de programas está concebido para su empleo en entornos libres de errores, puesto que es bastante vulnerable a ellos. Hay dos razones para esto:

- El flujo de programa comprende una sucesión de paquetes relativamente largos y de longitud variable. Cada paquete comienza con unas cabeceras que contienen información importante para su recuperación, por lo que cualquier error en dichas cabeceras puede provocar la pérdida entera del paquete. A su vez, como el paquete

de un flujo de programa puede contener muchos kilobytes de datos, la pérdida de un solo paquete puede representar la pérdida o corrupción de una trama de vídeo completa.

- En segundo lugar, la diferente longitud de los paquetes implica que un decodificador no puede predecir donde termina un paquete y comienza otro, por lo que se ve obligado a leer e interpretar el campo incluido en la cabecera que informa de la longitud del paquete. Si este campo que identifica la longitud del paquete se corrompe por un error, el decodificador perderá el sincronismo con el flujo de datos, resultando como mínimo la pérdida de un paquete.

#### 4.3.3.5. Múltiplex Tipo “Transport Stream”

El múltiplex tipo Flujo de Transporte (Transport Stream) está compuesto íntegramente por paquetes de transporte (Transport Packets) que tienen siempre una longitud fija de 188 bytes. Cada paquete de transporte incluye una cabecera (4 bytes) seguida a veces de un campo de adaptación (Adaptation Field) (usado eventualmente para rellenar el exceso de espacio disponible) y en cualquier caso, de una carga útil.

Los paquetes de transporte se forman a partir de los P.E.S.-Packets correspondientes a cada flujo elemental de señal (vídeo, audio, datos, etc.).

El proceso de formación de los paquetes de transporte está sujeto al cumplimiento de las dos condiciones fundamentales siguientes:

- El primer byte de cada P.E.S.-Packet debe ser el primer byte de la carga útil de un paquete de transporte.
- Un paquete de transporte solamente puede contener datos tomados de un PES-Packet.

Es improbable que un PES-Packet rellene las cargas útiles de un número entero de paquetes de transporte de forma exacta. Con frecuencia se dará el caso de que, para no contravenir las dos condiciones anteriores, el espacio sobrante del último paquete de transporte correspondiente a un PES-Packet, se rellene deliberadamente mediante un campo de adaptación de longitud apropiada.

Este despilfarro de espacio puede minimizarse mediante una elección cuidadosa de la longitud de los PES-Packets. En principio, PES-Packets muy largos asegurarían una mayor proporción de paquetes de transporte completamente llenos de datos útiles.

Además de la función de relleno, el campo de adaptación se utiliza también para la transmisión del Reloj de Referencia del Programa (Program Clock Reference o PCR). Estas marcas de tiempo, que permiten sincronizar el reloj del decodificador con el Program Clock del programa al que pertenecen los paquetes de transporte, deben aparecer en el flujo de transporte al menos una vez cada 0,1 segundos.

#### **4.3.4. Aplicaciones y desafíos**

WiMAX proporciona una gran variedad de aplicaciones de multitud de entornos como VoIP, Video sobre IP (IPTV), Internet, multimedia IP y pueden llegar a áreas donde no pueden acceder las redes convencionales. Una de estas aplicaciones, la IPTV sobre WiMAX, va a ser el objetivo a tratar en este apartado, sobre todo los desafíos relacionados con el transceptor de radio.

Una de las grandes características de WiMAX es su capacidad de difusión selectiva. La difusión selectiva es una tecnología de conservación del ancho de banda que permite a la estación base enviar paquetes (de vídeo en este caso) a un conjunto de estaciones de usuario. El número de cadena de TV disponibles está limitado y podría haber un gran número de usuarios a los cuales les gustaría ver la misma cadena de TV. Usando la difusión selectiva característica de WiMAX, todos estos usuarios podrán ser servidos consumiendo un ancho de banda muy pequeño. La idea puede extenderse a cualquier canal de televisión en el que se espere más de un usuario viéndola.

El hecho de que WiMAX móvil permita comunicaciones a velocidades de hasta 120km/h es otra de las grandes características de WiMAX. Los usuarios podrán usar servicios multimedia mientras viajan o están fuera de sus casas, cosa que es imposible con la televisión por cable.

Como se mencionó anteriormente en el modelo del sistema, las transmisiones basadas en paquetes tienen una gran cantidad de exceso de cabeceras que se va acumulando capa a capa. Esto reduce la capacidad de carga útil. El video sobre IP requiere una gran capacidad que se ve reducida por estos excesos de cabeceras. Mientras que las cabeceras IP, TCP/UDP permanecen en la carga útil y no pueden ser accedidas dentro de un sistema WiMAX, podemos reducir estos excesos de cabeceras significativamente mediante la optimización de la carga útil de datos transferida con el Payload Header Supresion (PHS) supresión de las cabeceras de protocolo que se mantienen constantes durante una sesión, y mediante la compresión robusta de cabeceras o ROHC (Robust Header Compression)

Los sistemas WiMAX necesitan transceptores de radio de alto rendimiento. Las características generales de los transceptores de radio de WiMAX son un amplio rango dinámico, un ruido de fase bajo, alta estabilidad, ruido bajo y linealidad elevada. Diseñar un transceptor de radio de alto rendimiento es una tarea desafiante especialmente para aplicaciones IPTV. Por ejemplo las aplicaciones IPTV necesitan anchos de bandas más elevados que otras aplicaciones multimedia como la voz o datos que introducen sus propios retos. Los parámetros principales de un transceptor de radio para poder soportar servicios IPTV son un amplio rango dinámico, un ruido de fase bajo, alta estabilidad, ruido bajo, linealidad elevada, ancho de banda grande y bajo rechazo de imagen.

Los dispositivos que se emplean en el transceptor tienen una capacidad excelente de rango dinámico libre de espúreas (Spurious Free Dynamic Range Capability o SFDR), lo cual es un parámetro crucial para las aplicaciones de televisión sobre IP. El ruido de fase es otra característica importante en el transceptor de radio que puede afectar a la calidad de los servicios IPTV.

El bajo ruido es otro de los criterios más importantes a conseguir para alcanzar un servicio IPTV de alta calidad. Los componentes de las partes de recepción y de transmisión contribuyen en el ruido compuesto. Sin embargo, los componentes usados en la estructura tienen que tener una alta capacidad de señal a ruido. Por otra parte se distribuyen atenuadores de potencia sintonizable por software y filtros por las partes de recepción y transmisión para controlar y suprimir los niveles de ruido.

Para poder soportar comunicaciones a grandes distancias se usan dos amplificadores de potencia lineales en cascada. Estos pasan por los procesadores de reducción del factor de cresta para mantener una mayor linealidad.

Un parámetro importante para WiMAX móvil es el rechazo fuera de banda, especialmente para los servicios IPTV. En la estructura propuesta esto se consigue mediante la supresión de armónicos usando una conversión en dos etapas hacia arriba y hacia abajo así como la ejecución de filtros de onda acústica superficial (SAW – Superficial Acoustic Wave). Por otra parte los mezcladores de rechazo de imagen en los convertidores añaden un rechazo adicional.

Al incorporar los servicios IPTV a los dispositivos WiMAX y suponiendo que el usuario móvil está viendo una película o una cadena de televisión durante un tiempo largo, el consumo de energía del dispositivo WiMAX se dispara. La estructura propuesta está diseñada para

minimizar el consumo de energía. Por ejemplo, la mayoría de los dispositivos están apagados y se irán activando dinámicamente por el procesador de la capa PHY. Por otra parte la sensibilidad del receptor es un parámetro de importancia para reducir el consumo de energía de las aplicaciones IPTV. Puesto que el nivel de energía del transmisor y la sensibilidad del receptor son inversamente proporcionales, teniendo una buena sensibilidad en el receptor menor será el nivel de energía requerida para transmitir, lo que conlleva a una duración mayor de la batería.

La figura de ruido (NF) es un buen indicador de la sensibilidad del receptor.

Al tener un procesador DUC/DDC y CFR programable la calidad de servicios de IPTV puede mejorarse. Estos dispositivos están diseñados para aplicaciones con procesamiento de señales digitales a altas velocidades y con un ancho de banda grande junto con la capacidad de filtrado digital flexible. Las aplicaciones de televisión sobre IP requieren generalmente estas características.

Mediante el uso de sistemas de antenas sectorizadas, se pueden enviar servicios IPTV con una gran calidad tanto a usuarios fijos como a móviles ya que se benefician de las ventajas de estos sistemas. Otra característica importante de la estructura propuesta aparte de poder soportar un sistema de antenas sectorizadas es que permite el uso de duplexión tanto TDD, FDD como H-FDD con un cambio mínimo en el hardware.

#### **4.3.5. Conclusión**

Con la posibilidad de WiMAX de ofrecer tasas de datos altas para usuarios tanto fijos como móviles, así como el deseo de los usuarios de ver la televisión en tiempo real o de usar servicios como video bajo demanda hacen que la implementación de IPTV sobre WiMAX sea una aplicación realmente interesante. La realización de la IPTV permitirá a los usuarios tener servicios de video bajo demanda VoD así como suscribirse a los canales que ellos elijan, es decir los usuarios tienen flexibilidad a la hora de elegir. La red inalámbrica WiMAX puede implementar servicios de IPTV para usuarios tanto fijos como móviles, y por lo tanto puede permitir la conectividad inalámbrica siempre y en cualquier parte.

## 4.4. Voz sobre IP

La voz sobre IP o VoIP es una aplicación en tiempo real que probablemente es la más desplegada en las redes de hoy en día. En este punto vamos a ver algunos aspectos básicos de la voz sobre IP.

### 4.4.1. Introducción

La Voz sobre IP o VoIP (Voice over IP) es una tecnología que permite la transmisión de la voz a través de redes IP en forma de paquetes de datos. La Telefonía IP es una aplicación inmediata de esta tecnología, de forma que permita la realización de llamadas telefónicas ordinarias sobre redes IP u otras redes de paquetes utilizando un PC, gateways y teléfonos estándares.



Figura 35. Voz sobre IP.

VoIP conjuga dos mundos históricamente separados: la transmisión de voz y la de datos. Se trata de transportar la voz, previamente convertida a datos, entre dos puntos distantes. Esto posibilitaría utilizar las redes de datos para efectuar las llamadas telefónicas, y yendo un poco más allá, desarrollar una única red convergente que se encargue de cursar todo tipo de comunicación, ya sea voz, datos, video o cualquier tipo de información.

La voz sobre IP, por lo tanto, no es en sí mismo un servicio, sino una tecnología que permite encapsular la voz en paquetes para poder ser transportados sobre redes de datos sin necesidad de disponer de los circuitos conmutados convencionales PSTN. Las redes desarrolladas a lo largo de los años para transmitir las conversaciones vocales, se basaban en el concepto de conmutación de circuitos, o sea, la realización de una comunicación que requiere el establecimiento de un circuito físico durante el tiempo que dura ésta, lo que significa que los recursos que intervienen en la realización de una llamada no pueden ser utilizados en otra hasta

que la primera no finalice, incluso durante los silencios que se suceden dentro de una conversación típica.

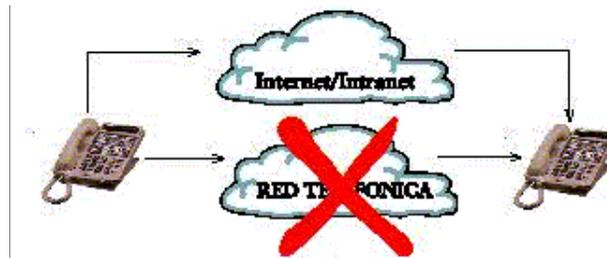


Figura 36. Voz sobre IP en vez de la PSTN.

En cambio, VoIP no utiliza circuitos para la conversación, sino que envía múltiples de ellas (conversaciones) a través del mismo canal codificadas en paquetes y flujos independientes. Cuando se produce un silencio en una conversación, los paquetes de datos de otras conversaciones pueden ser transmitidos por la red, lo que implica un uso más eficiente de la misma.

Es innegable la implantación definitiva del protocolo IP desde los ámbitos empresariales a los domésticos y la aparición de un estándar, el VoIP, no podía hacerse esperar. La aparición del VoIP junto con el abaratamiento de los DSP's (procesador digital de señal), los cuales son claves en la compresión y descompresión de la voz, son los elementos que han hecho posible el despegue de estas tecnologías. La VoIP va camino de ser un fenómeno tan importante como lo está siendo el de la telefonía móvil ya que puede haber VoIP allí donde haya IP como en PCs, ordenadores portátiles, dispositivos Wi-Fi.

#### 4.4.2. Funcionamiento de VoIP

En la figura se muestra el camino desde el emisor hasta el receptor de una comunicación VoIP, en ella vemos una serie de procesos por los que va pasando la voz.

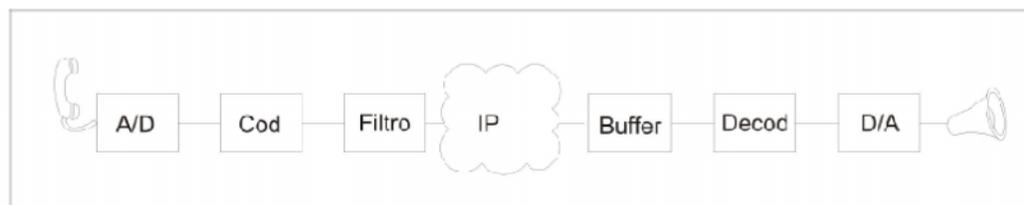


Figura 37. Comunicaciones VoIP punto a punto.

El primer proceso en un sistema de voz sobre IP es recoger la señal analógica proveniente del usuario llamante mediante un dispositivo de entrada de audio como puede ser un micrófono, es entonces cuando se produce la digitalización de la voz del usuario mediante los convertidores analógico a digital (A/D).

El siguiente paso es la supresión de las señales no deseadas y la compresión de la señal de voz. Este paso tiene dos etapas, la primera de ellas el sistema examina la información digitalizada recientemente para determinar si contiene una señal de voz o solamente ruido ambiental y descarta aquellos paquetes que no contengan voz. La segunda etapa comprende una serie de algoritmos empleados para reducir la cantidad de información que va a enviarse al receptor.

A continuación los paquetes pasan por un codificador en el que se emplean códecs sofisticados que permiten la supresión de ruido y la compresión de los flujos de datos. La mayor parte de los códecs están definidos por el ITU-T, y cada uno de ellos tiene diferentes propiedades respecto a la cantidad de ancho de banda que requiere y con respecto a la calidad de la calidad recibida de la señal codificada.

Tras esto la voz debe ser empaquetada y a estos paquetes se les añaden los protocolos de señalización de VoIP. Se almacenan parte de los datos durante la toma de muestras de voz porque el transmisor debe esperar a que se recoja una cierta cantidad de datos de voz antes de formar un paquete y transmitirlo por la red. Los protocolos se añaden en forma de cabeceras al paquete de datos para facilitarle su transmisión a través de la red. Por ejemplo cada paquete va a necesitar contener la dirección del destinatario, un número de secuencia por si los paquetes no llegan en el orden correcto, y datos adicionales para la comprobación de errores. Ya que IP es un protocolo diseñado para interconectar diferentes tipos de redes, y requiere mayor procesamiento que las pequeñas redes. El direccionamiento dentro de la red puede ser muy complicado requiriendo procesos de encapsulación de un paquete dentro de otro y, mientras el paquete siga en movimiento dentro de la red, los paquetes se empaquetaran de nuevo, se redireccionarán y se vuelven a montar los paquetes de datos.

Cuando cada paquete llega a su destino, este se almacena en un buffer para comprobar el número de secuencia e ir colocando los paquetes en el orden correcto. Tras esto los datos pasan por un algoritmo de descompresión para que los datos vuelvan a su forma original y para asegurar que el espaciado entre los datos es el correcto se usan técnicas de sincronización y de gestión de los retardos. Es probable que los paquetes no lleguen en el orden correcto ya que

pueden ser transportados por diferentes caminos dentro de la red hacia un mismo destinatario, para solucionar esto los paquetes se van almacenando en un buffer. La cantidad de tiempo que se guardan los datos en el buffer varía según las características de la red.

Para finalizar el flujo de datos digitales es convertido a analógico y reproducido en un dispositivo de salida como puede ser un altavoz.

#### 4.4.3. Análisis de protocolos

Para poder entender mejor los distintos protocolos que se van a desarrollar en el servicio, es necesario encuadrarlos dentro de una arquitectura multimedia basada en el marco de referencia OSI.

La voz sobre IP utiliza como soporte cualquier medio basado en routers y los protocolos usan como soporte de transporte UDP/IP.

Existen varios organismos involucrados en los estándares para la señalización:

- ITU-T: definió la suite de protocolos H.323, que es la primera aplicada para acciones dentro de una Intranet fundamental. Es una cobertura para un conjunto de protocolos como el H.225, H.245 y RAS, que se soportan sobre TCP y UDP.
- ETSI: con el proyecto Tiphon.
- IETF: es el organismo que administra los protocolos de Internet, entre ellos SIP aunque también define otros tipos de protocolos: el MGCP para el control de las gateways a la red pública PSTN y SIP hacia las redes privadas o públicas.

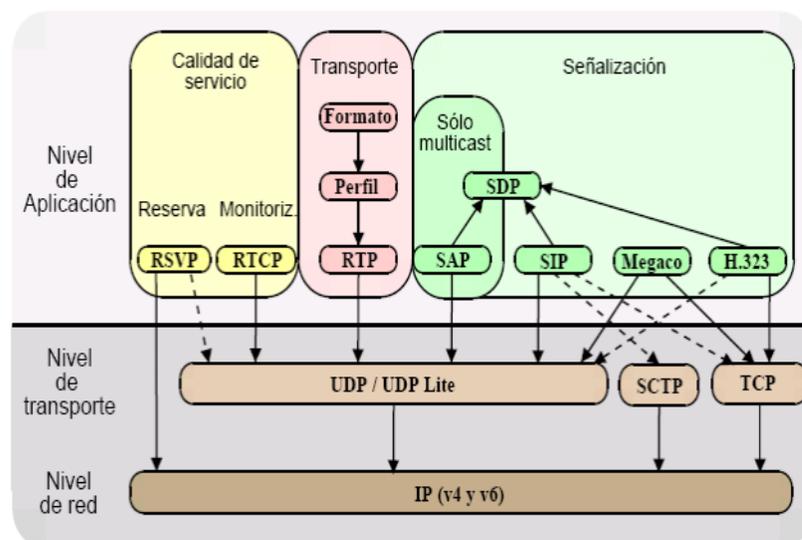


Figura 38. Torre protocolos VoIP.

Los protocolos más importantes son los siguientes:

- Control de flujos y sesión: SIP, H.323, Megaco.
- Descripción de los flujos: SDP (control de características de sesión).
- Transporte de datos en tiempo Real: RTP, protocolo de tiempo real, con el control RTPC; RTP es el protocolo sobre el que se transmite la señal vocal, con transporte sobre UDP/RTP/RTCP
- Reserva de recursos (QoS): RSVP, protocolo de reserva de ancho de banda; puede ser de utilidad en conexiones unidireccionales.
- La señalización SS7 se utiliza hacia la red pública PSTN, mientras que en H.323 se utiliza el protocolo Q.931 para establecer la llamada.
- ISUP/SCCP/TCAP: protocolos que se transmiten sobre MTP (Media Transfer Protocol), cuando tratamos con la red PSTN, y sobre TCP/IP en la red de paquetes.

#### 4.4.4. Limitaciones de VoIP

En la actualidad existen varios modelos de teléfonos IP que tienen la misma forma que los teléfonos regulares pero que en vez de estar conectados a una toma de la red telefónica convencional o una red de telefonía móvil, están conectados a una red de datos, ya sean teléfonos fijos como compatibles con tecnologías inalámbricas como WiMAX o Wi-Fi. De hecho hacer una llamada usando VoIP puede ser idéntico a la forma de usar los teléfonos convencionales. Sin embargo la calidad de la comunicación sí que puede ser diferente, y este es el aspecto más importante de la transición de las redes de telefonía estándar a las de telefonía IP.

Una de las razones para dicha transición es que las comunicaciones VoIP son mucho más flexibles que las de la telefonía convencional. Haciendo la elección apropiada del códec podemos controlar la cantidad de ancho de banda requerida y determinar la calidad intrínseca asociada.

Además, controlando adecuadamente la red se puede usar el códec que permita obtener la calidad de servicio deseada, ya que los recursos en las redes de datos se pueden usar de varias maneras para los diferentes usos. No obstante, la principal ventaja es que con la VoIP podemos usar la red de datos para las comunicaciones de voz y suprimir la necesidad de tener una infraestructura para la red de telefonía.

Sin embargo, ya que los canales de comunicación no están reservados sino que se comparte con las demás aplicaciones, los paquetes de voz pueden llegar al receptor con intervalos diferentes de los que tenían en el emisor, llegarían fuera de orden, y algunos de ellos incluso pueden perderse. Para cualquier ejecución y fiabilidad del análisis de la VoIP sobre las redes inalámbricas es un prerequisite calcular la relación entre los factores medidos como parámetros de QoS de la red y mediante la calidad percibida por el usuario.

Los principales parámetros de calidad de servicio que cuantifican la degradación de cierta conexión son los siguientes: caudal, retraso y jitter, y la pérdida de paquetes. En el caso de las redes inalámbricas están caracterizadas por más parámetros ya que hay más causas que introducen retraso y jitter por ejemplo, pero los factores que influyen en la ejecución de una aplicación son los mismos.

Vamos a analizar la influencia de cada uno de estos parámetros principales de la QoS. Dados los requisitos mínimos para la VoIP en términos de ancho de banda (64kb/s como máximo), el ancho de banda no suele ser un problema, al menos para llamadas individuales. Sin embargo varias llamadas simultáneas de voz pueden acumular un ancho de banda que sobrepase los límites de la red.

El retraso y jitter son probablemente son los parámetros más importantes para la VoIP como una aplicación con flujos en tiempo real. Los paquetes que contienen voz deben enviarse de una manera ordenada mediante marca de tiempos para asegurar la satisfacción del usuario. Los retrasos en el camino influyen en la interactividad de los usuarios: mientras mayor sea el retardo peor interactividad tendrán los usuarios que se comunican. Por otro lado está el jitter que influye también en la calidad del servicio si excede un valor máximo. Los paquetes de datos son enviados por la fuente a una tasa relativamente constante, pero, aunque los paquetes sean enviados a un ritmo constante, en general no se puede suponer que van a ser recibidos al mismo ritmo, pues las redes IP no son isócronas. En los terminales, la reproducción de la voz también ha de realizarse a una tasa mantenida, pues de lo contrario la comunicación se percibirá como entrecortada, a saltos. Por lo tanto, es necesario absorber la variación en el retardo de recepción con un buffer de compensación, que retrase los paquetes de forma adaptativa, de manera que al salir de él, el retardo acumulado por todos los paquetes ya sea el mismo, y sea posible la reproducción continua de las muestras de voz recibidas. El valor máximo del jitter depende del sistema, y está relacionado con el tamaño del buffer jitter usado. Un buffer demasiado grande significa que el flujo tendrá muy poco efecto en la calidad percibida, pero disminuye la

interactividad por el efecto del retraso. Si el jitter introducido supera el tamaño del buffer jitter, entonces los paquetes de VoIP no llegarán a tiempo para ser reproducidos, y la calidad de la señal se verá afectada. De hecho esta distorsión es el principal efecto que el jitter tiene sobre el usuario. Que los paquetes no lleguen a tiempo para ser reproducidos puede considerarse como perdidos; es por eso que este efecto a veces se llama pérdidas por jitter. Por tanto, el tamaño de dicho buffer debe estar ajustado para minimizar la pérdida de paquetes, manteniendo el retardo total de ida y vuelta en unos niveles aceptables.

Los flujos de datos VoIP normalmente son UDP, en estos casos la pérdida de paquetes tiene efectos momentáneos. Cuando los paquetes se pierden y no pueden ser reproducidos, el sistema deja un hueco en la reproducción, o intenta recuperarse de este error mediante el reemplazamiento de este hueco con algo más apropiado como muestras de voz anteriores, o una reconstrucción de la señal. No importa si la red es muy robusta, la pérdida de paquetes seguramente cause cierta degradación de la comunicación. Esta degradación es mayor cuando las pérdidas ocurren en ráfagas de datos completas, es decir un número seguido de paquetes se pierden, ya que tienen más influencia sobre la calidad de la VoIP recibida. Desafortunadamente las pérdidas normalmente ocurren en ráfagas completas en las redes reales, ya que la congestión de la red no afectará a un único paquete.

#### 4.4.5. Códecs VoIP

La señal de voz debe de ser codificada y comprimida para ser enviada sobre una red de paquetes. Para esta tarea se usan los codecs, cada códec tiene diferentes características dependiendo de la tasa de datos que use, el nivel de compresión y la calidad percibida por el usuario asociada. Por ejemplo el códec G.711, tiene dos versiones u-law (US, Japan) y a-law (Europa) para muestrear la señal, envía datos a 8KHz con 8 bits por muestra, resultando una tasa de datos de 64kbs. El sonido es en formato PCM, codificado usando  $\mu$ -law. Otro códec, G.726, convierte un canal  $\mu$ -law a 64Kb/s o un canal PCM A-law hacia y desde canales a 40, 32, 24 o 16kb/s. El códec GSM usa la codificación predictiva lineal (LPC- Lineal Predictive Coding) para comprimir datos de conversaciones a 13Kb/s. El códec G.729 se usa frecuentemente para comunicaciones VoIP. Envía datos a 8Kb/s usando CSACELP (Conjugate-Structure-Algebraic-Code-Excited Linear Prediction).

La siguiente tabla resume las principales características de estos codecs, incluyendo su valor MOS para la calidad percibida por el usuario, valores basados en resultados estudiados.

Códec	Tasa de datos [Kb/s]	Tasa red [Kb/s]	Datos de audio[ms]	MOS
G.711	64	76	40	4.3
G.726	32	38	80	3.8
GSM	13	19	80	3.4
G.729	8	17	80	3.5

Tabla 12. Características de los distintos códec.

#### 4.4.6. Equipamiento para llamadas VoIP

La forma más usual de hacer llamadas VoIP solía ser hacer las llamadas usando unos cascos y un micrófono mientras estabas sentado delante del ordenador. Sin embargo hoy en día hay empresas que proveen teléfonos VoIP. Todo el firmware necesario para realizar este tipo de llamadas está dentro de los dispositivos, y son idénticos a los teléfonos actuales. A pesar de ser más prácticos, estos sistemas tienen la desventaja de ser menos configurables que las soluciones software.

Recientemente los fabricantes de teléfonos móviles han introducido un dispositivo nuevo: El teléfono móvil que tiene capacidades GSM y WLAN, e incluso más capacidades. Un ejemplo de estos móviles es el HP 6300 de la serie Smartphone que tiene capacidades para redes GSM, GPRS, Wi-Fi y Bluetooth. Idealmente esto introduce la posibilidad de moverse suavemente de una red GPRS a una Wi-Fi, con la selección automática del teléfono a la red que le ofrezca mejores servicios en una localización particular.

En un futuro los teléfonos móviles incluirán una versión móvil de WiMAX (802.16e). Este futuro no está muy lejano y viene ligado al despliegue de las redes WiMAX. De momento Nokia, fabricante que apuesta por un lento divorcio de las operadoras de telefonía, ya ha dado detalles de cómo serán estos terminales y que los comercializará en el 2008. Claro está que implementar WiMAX no es solo cuestión de voluntad, supone mayor circuitería, mayor consumo y mayor espacio. Aunque, claro, si hay una compañía de telefonía capaz de afrontar el reto con éxito, esa es Nokia.

#### 4.4.7. Aplicación VoIP sobre Wi-Fi

Actualmente hay muy pocos dispositivos WiMAX en el mercado, y para hacer un ejemplo práctico de lo que podría ser el uso de VoIP sobre WiMAX hemos realizado una serie de experimentos sobre un terminal de telefonía móvil que integra acceso a redes Wi-Fi, viendo las posibilidades que nos ofrece, tanto las ventajas como los inconvenientes.

Para ello hemos adquirido un móvil de última generación, fijándonos concretamente en la "NSeries" de Nokia que fue creada con el fin de abarcar una nueva generación de productos que combinen multimedia y conectividad dentro del diseño a la moda que muestra la vanguardia que esta marca posee para marcar tendencias en el mercado. El Nokia N80 es sin dudas uno de los principales exponentes para describir esta categoría. Un terminal que integra conectividad inalámbrica a través de Wi-Fi y una derivación de sistema operativo Linux, además de una cámara de 3megapíxeles y por supuesto, una amplia compatibilidad para reproducir diferentes formatos de archivos multimedia. La posibilidad de acceder a internet desde cualquier lugar del mundo a través de conexiones inalámbricas ha hecho que este terminal sea el elegido para dichas pruebas.



Figura 39. Teléfono Nokia N80.

## Características:

Peso: 134 g

Largo: 95.4 mm

Ancho (Máx.): 50 mm

Espesor (Máx.)23.4 mm (26 mm en la altura de la cámara)

Teléfono mundial WCDMA 2100 y Quadband GSM / EDGE con antenas internas

WCDMA 2100 con datos simultáneos de voz y paquetes de datos (velocidad máxima de PS UL/DL=384/384 kbps, velocidad máxima de CS= 64kbps)

EGPRS, clase B, multislots clase 11 (UL/DL = 118.4/236.8 kbps)

Codecs de Habla: FR, EFR, WCDMA e GSM AMR

Cámara integrada con 3 megapíxeles y zoom digital 20x. Flash LED integrado y modo close.

Cámara VGA integrada en la parte frontal con zoom digital 2x.

Hasta 40 MB de memoria dinámica interna para datos del usuario.

IrDa integrada, Bluetooth y USB 2.0 con velocidad máxima.

WLAN integrada (802.11g) & UPnP(Universal Plug and Play)

Altavoz integrado para manos libres, y alerta vibratorio.

Entregas combinadas y separadas OMA DRM 1.X (para otros contenidos).

Modo offline con SIM.

MP3 y AAC, eAAC y eAAC+, WMA para reproducción musical.

Decodificador MPEG4 AVC para streaming de video.

Java™ MIDP 2.0, CLDC 1.1

Reloj en tiempo real y batería para backup con hasta 20 horas.

Pantalla a color con matriz activa (352 x 416, hasta 262,144 colores)

Lo primero de todo fue actualizar el firmware del teléfono móvil a su versión "Internet Edition" que es exactamente igual pero con una suite de software y atajos en el menú que mejoran la navegación y el uso de Internet. Realmente están pensadas para explotar las funciones del equipo y para aprovechar los puntos de acceso Wi-Fi y las funciones VoIP, incluyendo para ello un sistema basado en SIP para realizar llamadas VoIP.

En la actualidad se han implementado numerosas aplicaciones para hacer uso de los servicios SIP que ofrece el terminal. Incluso el teléfono con esta nueva versión del firmware que hemos nombrado anteriormente, incluye su propia aplicación para realizar llamadas por Internet. Pero nosotros vamos a intentar usar otras que nos ofrezca más servicios, no únicamente realizar llamadas por Internet.

Son aplicaciones que nos ofrecen una alternativa a los servicios tradicionales de telefonía móvil usando las características del terminal para conectarse a Internet. Estos programas no requieren un hardware específico, y funciona con teléfonos móviles que reúnan las condiciones de conectividad a redes 3G o Wi-Fi independientemente del operador. Por tanto podemos usar el teléfono móvil para mensajería instantánea por Internet en vez de mandar mensajes de texto, y para realizar llamadas VoIP Peer-To-Peer con canales full-dúplex y consiguiendo la mayor eficiencia de la red para alcanzar una gran calidad.

Vamos a ver una tabla con algunas de las aplicaciones que podemos encontrar en el mercado para realizar llamadas VoIP desde terminales móviles:

Nombre	Página Web	Descripción
Gizmo	<a href="http://www.gizmo5.com">www.gizmo5.com</a>	Permite llamadas SIP. Mensajería instantánea (MSN, Yahoo, AIM, Jabber y Gizmo). Posibilidad de transferencia de ficheros, y Chat por pestañas.
Voipbuster	<a href="http://gsm.voipbuster.com">gsm.voipbuster.com</a> (desde el móvil)	Posibilidad de realizar llamadas SIP y mandar mensajes de texto.
Skype	<a href="http://www.skype.com">www.skype.com</a>	Aun no disponible para muchos modelos
Nimbuzz	<a href="http://www2.nimbuzz.com">www2.nimbuzz.com</a>	Mensajería MSN, GoogleTalk, AIM, ICQ y Yahoo, también a su propia red Nimbuzz, las conferencia de voz las hace con llamadas por GSM, solo la mensajería de texto la hace por Wi-Fi
Truephone	<a href="http://www.truphone.com">www.truphone.com</a>	Tienen su propio sistema VoIP, no compatible con Skype, si compatible con el estándar SIP
Fring	<a href="http://www.fring.com">www.fring.com</a>	Servicios de mensajería y llamadas SIP con otros usuarios MSN, GoogleTalk, Skype, ICQ y usuarios fring.

Tabla 13. Aplicaciones VoIP para el teléfono móvil.

Entre todas las aplicaciones que se han desarrollado, hay una que ofrece un amplio rango de funciones y de servicios, por ello es la que vamos a implementar. Esta aplicación se llama "Fring", es una aplicación gratuita que permite realizar llamadas gratuitas vía Internet y mensajería instantánea entre usuarios de la aplicación, y con otros usuarios de los servicios Skype, Google Talk, ICQ, MSN Messenger y Twitter, usando para ello conexiones a Internet

mediante Wi-Fi o mediante GPRS en vez de usar el plan GSM que tengamos contratado. Para su instalación se ha incluido un anexo con un manual sobre este programa.

Con este tipo de aplicaciones obtendremos beneficios que anteriormente sólo podíamos obtener mediante un ordenador personal y todo ello con una capacidad de movilidad nunca antes conseguida: podremos realizar llamadas VoIP más baratas que con el plan GSM contratado, ver quien está conectado a alguno de estos servicios, usar mensajería instantánea en vez de mensajes de texto, tener varias conversaciones al mismo tiempo, ver el historial de conversaciones, y muchas más. Con Fring podemos tener a todos nuestros conectados de Skype, Google Talk, MSN Messenger, ICQ y Twittter integrados en una misma lista de contactos.

También es posible realizar llamadas más baratas a teléfonos fijos y móviles usando una cuenta SkypeOut o una de los muchos proveedores de servicios SIP como VoipStunt, VoipCheap, VoipBuster y GizmoProject a través de Fring, incluso sobre terminales que no soporten SIP, con unas tarifas bastantes competitivas. Esto en la actualidad tiene gran interés por ejemplo si te vas fuera de tu país, con estas aplicaciones podríamos llamar a nuestro país por unos precios ridículos, y todo sin la necesidad de acudir a las cabinas o locutorios, todo directamente desde tu teléfono móvil.

Fring incluye una característica muy curiosa, y es la posibilidad de hacer roaming automáticamente entre redes Wi-Fi o entre una red Wi-Fi y una red 3G, también nos da la posibilidad de acceder a puntos Wi-Fi conocidos automáticamente, todas estas opciones las podemos configurar como automáticas y no nos tenemos que preocupar de estar pendientes de que red nos ofrece mejores servicios, consiguiendo por tanto la mejor calidad de voz posible.

La aplicación Fring está diseñada para optimizar las capacidades de Internet dentro del teléfono móvil del suscriptor. Esta aplicación establece una conexión VoIP Peer-To-Peer entre las partes llamantes, habilitando sesiones VoIP entre usuarios Fring, entre el teléfono móvil y ordenadores personales, y entre el teléfono móvil y teléfonos de la red GSM y PTSN. Todo esto basándose en una tecnología que permite comunicaciones VoIP mediante redes 3G, GPRS y Wi-Fi. Vemos como funcionaría la aplicación en la siguiente imagen:



Figura 40. Funcionamiento de Fring.

Como ventajas de usar estas aplicaciones sobre un punto de acceso Wi-Fi, y realmente sobre cualquier tipo de red que sea inalámbrica o de 3G son las siguientes:

- Movilidad: Dispones de todos tus contactos de mensajería instantánea en el dispositivo móvil, y puedes conectarte siempre que quieras teniendo un acceso a Internet disponible.
- Ahorro: Ahorramos dinero usando la mensajería instantánea en vez de SMS, y también realizando llamadas a los usuarios conectados a los servicios. También podemos ahorrar haciendo las llamadas a teléfonos fijos y móviles con un proveedor SIP, haciéndolas a través de Internet en vez de por GSM que suele ser más caro. Además no hay cuota mensual.
- Integridad: Nos proporciona un servicio donde integramos a todos los contactos de diferentes servicios de mensajería instantánea.

Como desventajas principalmente están las limitaciones de la conectividad a Internet que en la actualidad disponemos, vamos a marcar algunas de ellas:

- Conexiones 3G: Aunque el tamaño de los paquetes se ha visto bastante reducido, siempre supone un coste para el usuario dependiendo del proveedor. Además aun no está totalmente establecido este tipo de tecnología debido a las grandes inversiones que tienen que hacer las operadoras para ofrecer dicho

servicio, y no todas las compañías tienen licencia. Así mismo ofrece velocidades no demasiado altas comparadas con las que puede ofrecer WiMAX.

- Conexiones Wi-Fi: Estas conexiones están bastante limitadas en cuanto a la poca movilidad que ofrece debido a la pequeña área de cobertura de este tipo de redes. También se pierden bastante calidad cuando hay muchos usuarios en ella y hay pocos puntos de acceso libres.
- Calidad: Las velocidades que actualmente podemos obtener en estos accesos a Internet no son muy elevadas, y conjunto con la calidad de la señal que nos llegue puede derivar en baja calidad de las llamadas VoIP, muchos retardos y pérdidas.

Si implementásemos todo esto sobre una red WiMAX vemos que muchas de las desventajas que nos proporciona las conexiones a Internet actualmente disponibles se ven solventadas gracias a los grandes alcances, movilidad, y velocidades que puede ofrecer una red WiMAX. WiMAX será capaz de enviar todos los servicios donde estas conexiones actuales no puedan ofrecerlos. Por ejemplo Wi-Fi no puede trabajar a grandes escalas. Con algunos trucos podemos sacar mayor provecho de esta tecnología, pero su señal de radio empezará a degradarse cuando más de 20 personas estén en la red. Con WiMAX, una estación base podrá encargarse de cientos, incluso miles, de usuarios. Vamos a ver a continuación algunas de las características de WiMAX vista desde el punto de las aplicaciones y servicios que un usuario usará:

- Ancho de banda: Los usuarios quieren recibir y enviar todo tipo de información – imágenes, archivos de gran tamaño, vídeo – y hacerlo en cualquier lugar. Con WiMAX conseguimos velocidades antes nunca conseguidas.
- Movilidad: Con WiMAX, un cliente móvil puede hacer uso de los servicios mientras viaja, sin tener interrupciones en el servicio debido a que las áreas de cobertura son mayores y con menos antenas podemos dar un servicio a grandes áreas. Con las redes WiMAX los proveedores disfrutaran de la flexibilidad de ofrecer servicios móviles, nómadas y fijos a los clientes en una única red, y con velocidades de banda ancha. Todo ello con un control extremadamente eficiente del acceso y del uso de los espectros de radio y los recursos de la red.
- Roaming entre varias redes: La clave es la estandarización los traspasos de modo que los periféricos operen con las distintas redes mientras se mueven de

un tipo de red a otra. La tecnología WiMAX lo consigue y lo adaptará a los operadores fijos y a los móviles.

- **Convergencia:** Actualmente queremos acceder a la red desde muchos tipos de dispositivos como por ejemplo teléfonos móviles, portátiles y PDAs. WiMAX es un potente sistema que ofrece una conectividad inteligente y lo suficientemente flexible como para soportar flujos de vídeo, telefonía VoIP, imágenes, correo electrónico, navegar por Internet, etcétera a través de una variedad de dispositivos. Esto significa libertad para los consumidores.
- **Eficiencia:** Además de ser mucho más rentable, WiMAX móvil es espectralmente eficiente, de modo que se puede hacer más con menos. WiMAX basado en OFDM también es espectralmente eficiente. También el ser una tecnología basada en IP proporciona un menor coste y una llegada al mercado más rápida.
- **Acceso a áreas inaccesibles:** Con los sistemas inalámbricos, los usuarios pueden estar conectado en casi todos los lugares y en cualquier momento. Tienen la característica de poder proveer servicios a lugares a los cuales no puede llegar el cableado, o redes inalámbricas de menos alcance.

Por tanto si realmente podemos obtener ventajas con estos servicios mediante las redes actuales, cuando las tengamos disponibles para dispositivos WiMAX estas ventajas se verán incrementadas por el simple hecho de las características de una red WiMAX.

## 4.5. Conclusión

Las tecnologías inalámbricas de banda ancha prometen hacer disponible todo tipo de información donde sea, cuando sea, y con un pequeño coste a gran parte de la población. Cada vez más periféricos son inalámbricos para conseguir tener movilidad y flexibilidad. WiMAX se considera una tecnología 4G que está siendo muy bien acogida y que ofrecerá servicios de banda ancha de datos, voz y vídeo. WiMAX junto con Wi-Fi permitirán a los operadores enviar servicios de voz, vídeo y datos con una gran calidad a escala metropolitana. Mientras que Wi-Fi permite proveer un acceso a Internet inalámbrico de alta velocidad y localizado, el emergente estándar WiMAX suministra una cobertura inalámbrica de varios kilómetros.

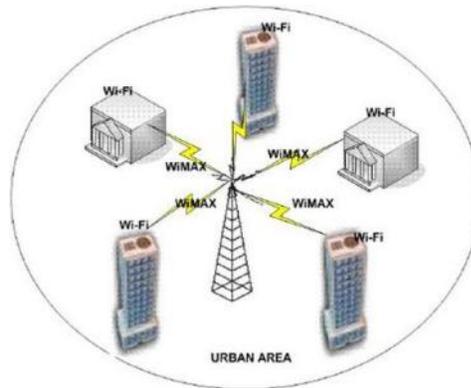


Figura 41. Células Wi-Fi para formar micro células de WiMAX.

Actualmente la tecnología WiMAX se basa en Wi-Fi de una manera muy complementaria, expandiendo estándares abiertos basados en redes inalámbricas hacia áreas metropolitanas y permitiendo movilidad y libertad a las aplicaciones, incluyendo VoIP ya que WiMAX conjuntamente con Wi-Fi puede ser un camino de migración hacia la 4G. En un futuro, esperamos que no muy lejano, WiMAX móvil será el sistema de la 4G.

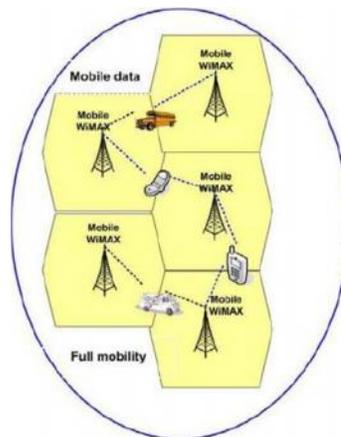


Figura 42. WiMAX movilidad completa.

La introducción de movilidad en WiMAX, así como el lento y costoso despliegue de las redes 3G en muchas zonas del mundo, ha cambiado el panorama, y WiMAX es visto como un competidor directo de los operadores 3G. Vamos a ver como conclusión porque WiMAX supone una importante amenaza para la telefonía móvil:

- Tecnología: Los sistemas 3G como UMTS, W-CDMA y EV-DO están quedando obsoletos cuando ni siquiera se han establecido por completo en el mercado de forma seria. Estas tecnologías se ven amenazadas por tecnologías que ofrecen

un mayor ancho de banda como WiMAX y FLASH-OFDM. WiMAX está basado en la tecnología OFDM junto con MIMO.

- Velocidad de datos: W-CDMA/HSDPA tienen un ancho de banda de 5Mhz y la máxima tasa de transferencia de datos que soporta es de 14.4Mbps (fijos y móviles). CDMA 2000/1x EV-DO con un ancho de banda de 1.25Mhz tiene velocidades de bajada de hasta 3.2Mbps (fijos y móviles). UMTS con un ancho de banda de 5Mhz soporta tasas de hasta 7.5Mbps (fijos y móviles). Y por último WiMAX para accesos fijos y nómadas con un ancho de banda de 20Mhz consigue tasas de hasta 75Mbps, y con un ancho de banda de 5Mhz de 4 a 18Mbps. Para WiMAX móvil el ancho de banda es de 5Mhz y consigue hasta 15Mbps.
- Rango de cobertura: Los requisitos de voz limitan el tamaño de las células W-CDMA, restringiendo el área de cobertura a dos o tres kilómetros desde la estación base. WiMAX tiene un rango de 7 a 13 kilómetros (cerca de 50 kilómetros como máximo)
- Rentabilidad sobre la inversión: WiMAX móvil permitirá a operadoras de telecomunicaciones por cable y a los de segunda fila que no tienen licencia 3G competir con los grandes operadores.
- Espectro: Una de las grandes ventajas de WiMAX sobre las tecnologías 3G es que pueden trabajar tanto en los espectros con licencia como en aquellos que no la requieren, mientras que los sistemas 3G requieren un espectro con licencia.
- Interferencias: Como WiMAX está basado en OFDM utiliza múltiples canales para mandar y recibir datos, lo cual hace que tenga menos interferencias que los sistemas de datos 3G como 1x EV-DO y HSDPA.
- Conectividad IP: WiMAX soporta servicios ATM, IPv4, IPv6, Ethernet y VLAN. Por lo que puede proveer un amplio rango de opciones para ofrecer servicios de voz y datos.
- Interoperabilidad: La arquitectura permite la integración con redes IP (ejemplos DSL, cable, o 3G) mediante interfaces basadas en IP

- Costes de despliegue: Además de las ventajas respecto a la convergencia de la movilidad, portabilidad y acceso fijo a Internet, el coste es un factor bastante importante para cualquier despliegue de una red. La infraestructura WiMAX es bastante más barata que las celulares.
- Backhaul (red de retorno): WiMAX provee conexiones en esta parte de la red con los servicios celulares.
- Estandarización: El WiMAX fórum trabaja para la estandarización y hará posible que múltiples soluciones de diferentes fabricantes estén disponibles. Esto significa que las grandes operadoras de telefonía móvil puedan migrar sus redes actuales a tecnología WiMAX móvil. Con la normalización viene la capacidad de producir masivamente productos, de modo que los costes de investigación y desarrollo disminuirán junto con los gastos de fabricación. Esto podría allanar el camino para ofrecer servicios a bajo coste y hará que los accesos inalámbricos de banda ancha sean factibles para despliegues masivos.

