

Anexo A:

Conceptos tecnológicos.

A.1. Compresión.

La compresión de vídeo es la técnica destinada a eliminar las similitudes o redundancias que existen en una señal de vídeo. En términos generales, una señal de vídeo digital es una secuencia temporal de imágenes o fotogramas (llamadas en inglés *frames*). Los *frames* consecutivos de una secuencia tienen redundancia temporal, ya que suelen mostrar el resultado de algún movimiento de objetos y para cada *frame* además existe redundancia espacial y de color, por lo que los píxeles cercanos están correlados. Además de eliminar la redundancia, las técnicas de compresión más utilizados producen pérdidas, donde se codifican sólo la percepción de la información relevante, reduciendo la de los datos irrelevantes y aumentando de esta manera la relación de compresión.

Un método de compresión está totalmente definido por los sistemas de codificación y decodificación, conjuntamente llamado *CODEC* (*COD*ificador / *DEC*odificador). Los principales *codecs* utilizados en la industria se basan en las normas propuestas por el Grupo de Expertos de Imágenes en movimiento (MPEG). El pilar principal de las normas de compresión es el MPEG-2. Varias de sus partes se desarrollaron en conjunto con la colaboración de la UIT-T (por ejemplo, los *codecs* H.261 y H.263). Tras el éxito de MPEG-2, MPEG-4 fue estandarizado por los mismos equipos, siendo sus partes más usadas el MPEG-4 parte 2 (utilizado por los *codecs* como Xvid) y MPEG-4 parte 10 (también conocido como MPEG-4 AVC/H.264). Además de *codecs* estándar, hay algunos propietarios, siendo dos de los más utilizados el *RealVideo*, el Windows Media Video y el nuevo códec libre de Google denominado VP8. Tanto los *codecs* estándar y como *codecs* propietarios utilizan los mismos principios de compresión.

Nos centramos en los dos formatos más usados, MPEG-2 y MPEG-4.

En cuanto a los formatos MPEG-2 y las especificaciones MPEG-4, hay diferencias importantes entre ellos. Tal vez la más básica es que MPEG-2 es una especificación orientada a píxel, mientras que MPEG-4 es uno orientado a objetos. Pero también hay muchas características comunes. Una de ellos es el método de compresión que utilizan. En ambas especificaciones la idea detrás de la compresión es la misma: las numerosas redundancias temporales entre *frames* son explotadas mediante la estimación y compensación de movimiento. El concepto clave en formato MPEG-2 es el *frame*, como unidad de transmisión, y el concepto correspondiente en formato MPEG-4 es el plano de objeto de vídeo (VOP). Ambos representan una imagen codificada.

En MPEG-2 existen tres tipos de fotograma principales: los *Intra-Frame* (*I-Frame*), los *frames* de predicción (*P-Frame*), y los *frames* bidireccional o interpolados (*B-Frame*).

Un *I-Frame* es una imagen completa, lo que significa que un *I-Frame* puede ser decodificado en una imagen con independencia de cualquier otro *frame* de la secuencia (*stream*).

Un *P-Frame* es un *frame* que se ha predicho por compensación de movimiento, basado en *P-Frame* o *I-Frame* decodificados previamente.

Un *B-Frame* es un *frame* que ha sido predicho basándose en pasados o futuros *P-Frame* o *I-Frame*.

Por tanto la relación que existe entre ellos es la que se muestra en la siguiente figura:

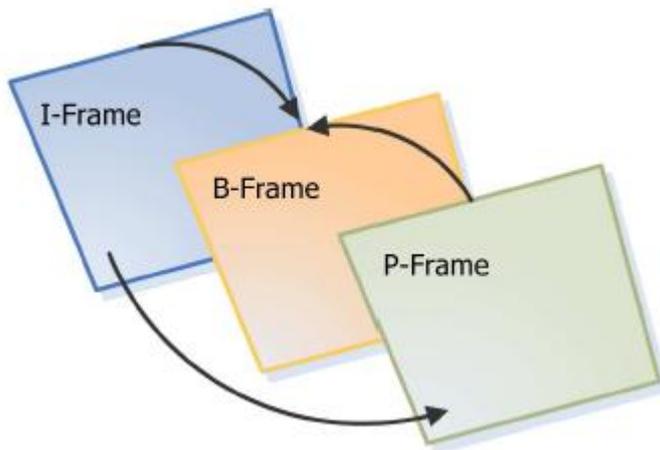


Figura A.1.1. Relación entre los tres tipos de frames.

La misma codificación MPEG-2 puede ser tanto 4:2:0 como 4:2:2, refiriéndonos a Y:U:V (Y, luminancia y U y V crominancia). Para este proyecto bastaría codificar en 4:2:0 dado que el uso que dicho sistema tiene es fundamentalmente orientado a noticias, donde las prestaciones del MPEG-2 4:2:0 cubren con creces las necesidades que pudieran plantearse.

En el caso de MPEG-4 hay otros tipos de *frames*, los más importante son los tres mencionados. La secuencia de vídeo se divide en conjuntos de *frames*, llamados Grupos de Imágenes (GOP). Un GOP, compuesto por un pequeño número de *frames*, puede ser decodificado independientemente sin necesidad de *frames* fuera de ese grupo. Típicamente, un GOP sólo tiene un *I-frame* al principio. Por lo general, un error en un *I-Frame* se propaga hasta el siguiente *I-Frame* debido a las interdependencias del otro *frame* en el GOP. Los errores en la propagación *P-Frames* se propagan hasta el siguiente *I-Frame* o *P-Frame*.

Y los *B-Frames* no propagan errores. Cuantos más *I-Frames* tiene la secuencia, más robusto ante fallos es la secuencia. Sin embargo, tener más *I-Frames* incrementa el tamaño del vídeo. Con el fin de ahorrar ancho de banda, videos preparados para emisiones en Internet suelen tener sólo un *I-frame* por GOP. En MPEG-2, el tamaño del GOP es de alrededor de 20 *frames*, mientras que en MPEG-4 alcanza los 250 marcos. Esto es posible debido a que la codificación MPEG-4 tiene más flexibilidad y expresividad que su predecesor, permitiendo una mejor compresión con un mayor uso de fotogramas P y B.

A.2. Calidad de la imagen.

La Definición Estándar en inglés SDTV (*Standard Definition Television*) es el acrónimo que reciben las señales de televisión que no se pueden considerar señales de alta definición (HDTV) ni de señal de televisión de definición mejorada (EDTV).

Es la resolución de vídeo dominante desde el origen de la televisión hasta la aparición de la alta definición (HD). El sistema está alrededor de una resolución de 500 líneas horizontales. PAL funciona con una resolución de 720×576, mientras que NTSC proporciona 720×486. Utiliza una velocidad entre 25 hasta los 29,97 cuadros por segundo en NTSC, y de 25 para formato PAL.

Hasta la aparición de los sistemas digitales, SDTV sólo tenía un significado, pero actualmente se usa para referirse a dos sistemas de codificación y envío de señales de vídeo:

Por un lado SDTV se usa por denominar las señales analógicas de 480 líneas (NTSC) o 576 (PAL y SECAM) y que han sido los estándares mayoritarios en los últimos 50 años. Su relación de aspecto siempre es de 4:3, mientras que la exploración es entrelazada.

Por otro lado, SDTV también se usa genéricamente por referirse a señales de televisión, analógicas o digitales, que tienen una calidad equivalente a la SDTV analógica. Así de los formatos como VCD, VHS, Beta o SVCD con calidades parecidas a la televisión analógica, también a menudo se dice que tienen una calidad SDTV. En este caso, la exploración puede ser progresiva en sistemas de poca resolución o entrelazada si llega a las 480 o 576 líneas. La relación de aspecto habitualmente es de 4:3 aun cuando también puede ser de 16:9.

Debido a la utilización del acrónimo SDTV para referirse a todo tipo de sistemas que no son HDTV, es habitual la confusión de los términos y clasificar sistemas EDTV como el DVD en el grupo de SDTV.

Desde la década de los 60 hasta hace 10 o 15 años, el único formato de televisión ha sido la SDTV, puesto que en todo este tiempo, las limitaciones de la electrónica de los aparatos de televisión, unidas a la poca longitud de la diagonal de sus pantallas (como mucho de 21 a 25 pulgadas) no hicieron necesarios sistemas de prestaciones superiores: entre 480 y 576 líneas horizontales (en función del formato) entrelazadas eran suficientes.

No obstante, la generalización de pantallas cada vez más grandes, junto a la aparición de los sistemas digitales, evidenciaron las limitaciones de la TV analógica y una imagen que en un aparato de 14 pulgadas se veía correcta, mostraba graves carencias en otro de 30, con un área más de cuatro veces superior.

Estas limitaciones se mostraban en forma de *aliasings* temporales (pestañeo de la imagen) y la sensación de estar contemplando una imagen borrosa e inestable (debido a la poca resolución de la señal y a qué televisores de gran tamaño, obligan a visualizar la imagen desde más cerca).

Las limitaciones anteriores incentivaron los fabricantes a diseñar y fabricar sistemas que ampliaran las capacidades de la SDTV y el primero de estos sistemas fue la EDTV. Este sistema actualmente es el más extendido, utilizado en el DVD, la TDT, la TV por satélite, las cámaras *miniDV* o las videoconsolas y ha relegado a las emisiones analógicas.

Como característica principal, EDTV incorpora la eliminación del entrelazado en la exploración de la imagen. Esta característica mejora sensiblemente la calidad, eliminando el *aliasing* espacial y temporal asociado a los sistemas SDTV. También es el principal motivo por el que la calidad de la EDTV es claramente superior a la SDTV.

Sus principales características son:

Resolución de 480p o 576p

Relación de aspecto de 4:3 o 16:9

24 o 25 imágenes por segundo

En la siguiente figura se muestra la comparativa de los distintos sistemas SDTV, EDTV y HDTV:

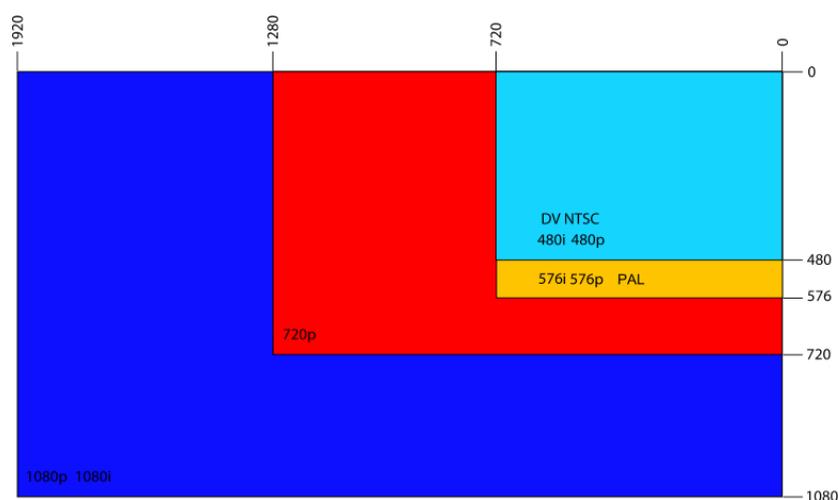


Figura A.2.1. Comparativa entre sistemas de pantalla.

El sistema más extendido que usa este formato es el DVD, que trabaja con una resolución de 720 x 480 (576 para Europa) en formato progresivo. No obstante, para disponer de ésta calidad, es necesario además que el reproductor envíe al aparato de televisión una señal progresiva (muchos reproductores, sobre todo los antiguos, la envían en SDTV, por lo tanto entrelazada) y que la televisión también sea capaz de trabajar en este formato.

La EDTV se considera adecuada sobre todo para pantallas de medida inferior a las 20 o 25 pulgadas de diagonal, puesto que a partir de estos tamaños, sobre todo si se quiere mirar la pantalla desde cerca, es necesario utilizar el formato HDTV (720p o 1080i/p).

Actualmente la EDTV es el sistema más utilizado, sobre todo en Europa, a pesar de ser también el más desconocido, debido sobre todo a qué a menudo se confunde con la SDTV y a qué los fabricantes de sistemas audiovisuales están incentivando el mercado a

qué haga el paso a la HDTV y a qué se desprenda de todos los sistemas SDTV y EDTV, que conforman la mayoría de aparatos instalados en la actualidad.

Así, exceptuando la televisión analógica, todos los sistemas actuales funcionan con EDTV. Esta situación es de esperar que no cambie demasiado en los próximos 3 o 4 años, puesto que a pesar de que desde el 2007 se extienden los sistemas HDTV cómo HD DVD y BRD y también saldrán al mercado videoconsolas de nueva generación que puedan generar imágenes HDTV, el resto de sistemas, como televisores, TDT y televisión por satélite todavía tardarán unos años a pasar A HDTV.

El motivo principal de esta tardanza es la gran cantidad de aparatos SDTV y EDTV instalados y el hecho que, sobre todo los últimos, han sido adquiridos en los últimos 3 o 4 años y no será fácil para los fabricantes convencer los consumidores que los vuelvan a cambiar, sobre todo si se tiene en cuenta que por diagonales de pantalla inferiores a las 30 pulgadas (la gran mayoría de aparatos) la diferencia de calidad entre un sistema EDTV y un HDTV se hace difícil de apreciar debido a las limitaciones del sistema visual humano..

A.3. Streaming de vídeo.

Vídeo *streaming* significa una entrega simultánea y reproducción de vídeo a través de redes de paquetes. Cada *frame* debe ser entregado, decodificado y reproducido en tiempo real de reproducción. Básicamente, en un mecanismo de *streaming*, el vídeo se divide en piezas, en un contenedor de formato determinado, que se transmiten secuencialmente a través de la red con un protocolo de transporte, y el receptor decodifica y reproduce el vídeo conforme las componentes del *streaming* le van llegando.

Hoy en día hay muchos formatos diferentes de contenedores, como MPEG-TS, MPEG-PS, AVI, OGM y así sucesivamente. Muchos de estos formatos se centran en algún tipo de aplicación específica. Por ejemplo, MPEG-PS es conveniente para la transmisión en un ambiente relativamente libre de errores, mientras que MPEG-TS (*Transport Stream*) es adecuado para la transmisión en entornos en los que es probable que haya pérdidas de paquetes o corrupción por el ruido.

Dado que MPEG-2 fue creado como un instrumento de *broadcasting* de forma satelital o por cable, otra ventaja es que se encuentra en los *STBs* (Set-Top Box) para recepción de señal digital en la televisión. También se debe mencionar que mientras en un principio la capa de transporte no se encuentra definida en el estándar MPEG-4, adaptaciones a capas de transporte ya existentes han sido definidas para el transporte sobre MPEG-2 TS. Por tanto, el formato MPEG-2 como el formato MPEG-4 pueden ser transmitidos haciendo uso de la corriente de transporte MPEG-2 (*MPEG-2 Transport Stream*).

Por estas razones en este proyecto se utiliza MPEG-TS como formato contenedor.

La especificación MPEG-TS, básicamente, hace referencia a dos características principales, la multiplexación de vídeo y audio digital y la sincronización en la salida. También define las reglas para la gestión de acceso condicional y transporte de programas de múltiples *streamings* (es decir, el envío de más de una secuencia a la vez). La salida de audio o vídeo codificado se llama una ES (*Elementary Streaming*, secuencia primaria). En un siguiente paso, los ES son empaquetados en unidades más pequeñas, generando el denominado PES (*Packetized Elementary Streaming*). Después, estos PES son empaquetados a su vez en paquetes más pequeños todavía llamados paquetes *Transport Stream* (TS). En este nivel es donde se hace el multiplexado del audio y del vídeo, creando un único *streaming* llamado *Transport Stream* (TS). Por último, este flujo de transporte se encapsula en algunos paquetes de protocolo de transporte con el fin de enviarlo a través de la red.

En la figura A.2.1. se muestra el formato de una trama MPEG TS:

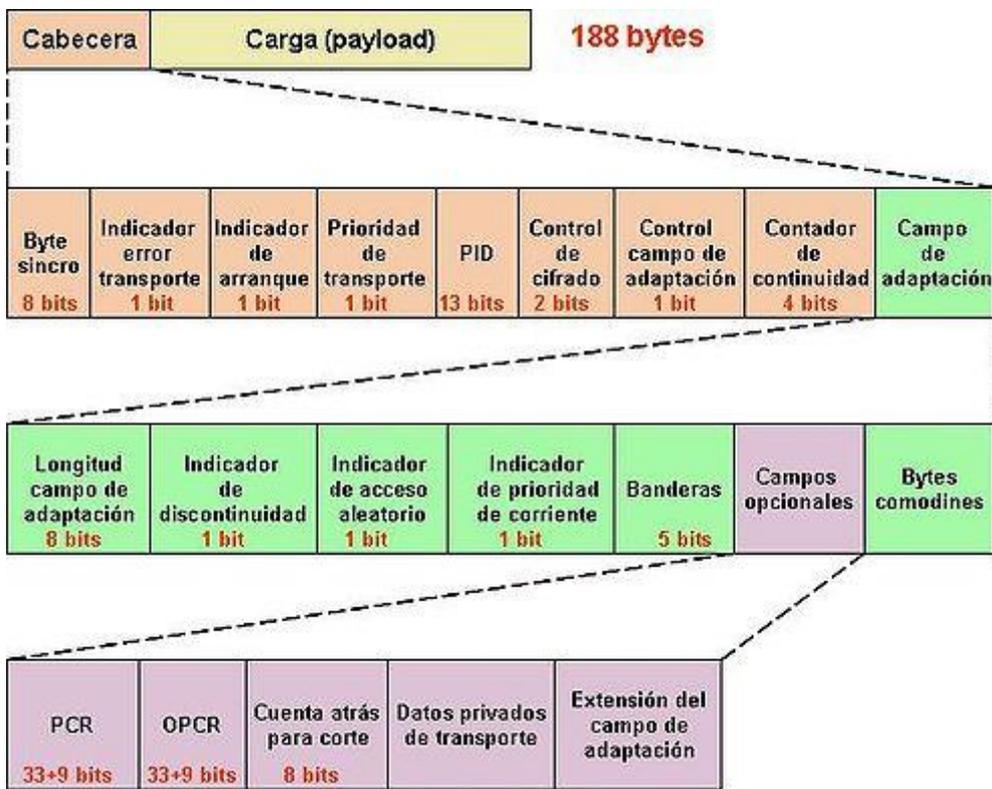


Figura A.3.1: Trama MPEG TS.

Hoy en día existen varios protocolos de transporte adecuados para el transporte de *streaming* en una red, siendo algunos de ellos no propietarios: Transferencia de Hipertexto (HTTP), *User Datagram Protocol* (UDP), *Real-time Transport Protocol* (RTP)... y otros propietarios: *Microsoft Media Server* (MMS), *RealMedia*...

Cada uno de estos protocolos tiene sus propias ventajas en una situación determinada, como con algunas desventajas cuando se utilizan en otros escenarios.

HTTP es un protocolo orientado a la conexión que garantiza la entrega correcta de cada bit. El 40% del *streaming* de Internet es transportado a través de HTTP. Una secuencia HTTP tiene la enorme ventaja de eludir las protecciones de firewalls, lo que hace que sea muy popular en Internet, es el protocolo normalmente utilizado en los sistemas de

televisión por Internet, pero poco común en codificadores profesionales de *broadcasting* de TV.

En cambio, UDP es un protocolo no orientado a conexión, adecuado para *streaming* en directo. RTP fue diseñado específicamente para transmitir contenido multimedia a través de redes. Fue construido en la capa superior a UDP y, como su nombre indica, está diseñado para la transmisión en tiempo real. Es el más utilizado en codificadores profesionales de *broadcasting* de TV y, por tanto, el usado en este PFC.

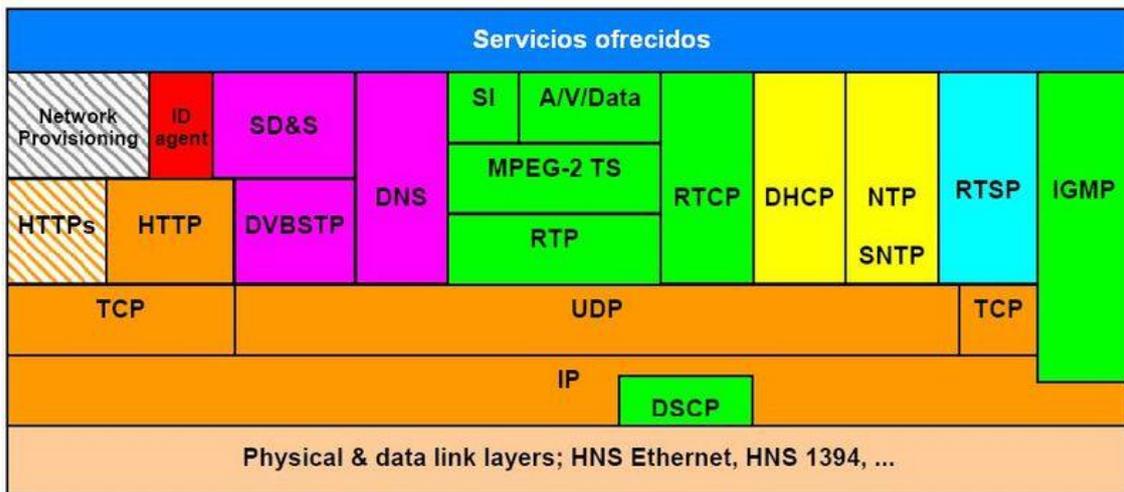


Figura A.3.2. Pila de protocolos.

A.4. Tipos de redes.

Una red puede ser definida por su tamaño, topología, medio físico y protocolo utilizado. En este proyecto nos centramos en la clasificación por tamaño:

LAN (*Local Area Network, o Red Local*). ES una red donde su tamaño se limita a sólo una pequeña región física.

CAN (*Campus Area Network, o red campus*). Una red que comprende una área más amplia, donde se puede contener varios edificios dentro de un espacio continuos conectados en red.

MAN (*Metropolitan Area Network, o red metropolitana*). La MAN es una red donde tenemos por ejemplo, una red farmacia, en una ciudad, donde todas accesan una base de datos común.

WAN (*Wide Area Network, o red de larga distancia*). Una WAN integra equipamientos en diversas localizaciones geográficas, envolviendo diversos países y continentes como internet.

VAN (*Vertical Area Network, o red de vertical*). Una VAN es usualmente utilizada en redes prediais, vista la necesidad de una distribución vertical de los puntos de red.

SAN (*Storage Area Network, o Red de almacenamiento*). SAN sirve de conexión de dispositivos de almacenamiento remoto de ordenador para los servidores de forma a que los dispositivos aparecen como locales conectados al sistema operativo.

PAN (*Personal Area Network, o red personal*). Una PAN es una red de ordenadores usados para comunicación entre dispositivos de ordenador (incluyendo teléfonos y asistentes personales digitales) cerca de una persona.

A.5. Control de acceso al medio.

La multiplexación es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión usando un dispositivo llamado multiplexor. El proceso inverso se conoce como demultiplexación. Un concepto muy similar es el de control de acceso al medio. Existen muchas estrategias de multiplexación según el protocolo de comunicación empleado, que puede combinarlas para alcanzar el uso más eficiente; los más utilizados son:

FDMA: El Acceso múltiple por división de frecuencia (*Frequency Division Multiple Access* en inglés) es una técnica de multiplexación usada en múltiples protocolos de comunicaciones, tanto digitales como analógicos, principalmente de radiofrecuencia, y entre ellos en los teléfonos móviles de redes GSM.

En FDMA, el acceso al medio se realiza dividiendo el espectro disponible en canales, que corresponden a distintos rangos de frecuencia, asignando estos canales a los distintos usuarios y comunicaciones a realizar, sin interferirse entre sí.

Es el predecesor de COFDM, aún en muchas aplicaciones, como por ejemplo, la FM comercial y las emisoras de televisión, así como los sistemas de telecomunicaciones de alto volumen. Dentro de cualquiera de las bandas de transmisión comercial, las transmisiones de cada estación son independientes de las demás.

TDMA: El Acceso múltiple por división de tiempo (*Time Division Multiple Access* en inglés) es una técnica de multiplexación que distribuye las unidades de información en ranuras ("*slots*") alternas de tiempo, proveyendo acceso múltiple a un reducido número de frecuencias.

También se podría decir que es un proceso digital que se puede aplicar cuando la capacidad de la tasa de datos de la transmisión es mayor que la tasa de datos necesaria requerida por los dispositivos emisores y receptores. En este caso, múltiples transmisiones pueden ocupar un único enlace subdividiéndole y entrelazándose las porciones.

Esta técnica de multiplexación se emplea en infinidad de protocolos, sola o en combinación de otras, pero en lenguaje popular el término suele referirse al estándar D-AMPS de telefonía celular empleado en América.

CDMA: La multiplexación por división de código, acceso múltiple por división de código (*Code Division Multiple Access* en inglés) es un término genérico para varios métodos de multiplexación o control de acceso al medio basados en la tecnología de espectro expandido (*spread spectrum* en inglés), también llamado espectro ensanchado, expandido, difuso o disperso para referirse en todos los casos al mismo concepto.

Su funcionamiento se basa en la división por códigos ortogonales y se emplea en múltiples sistemas de comunicación por radiofrecuencia, tanto de telefonía móvil (como IS-95, CDMA2000, FOMA o UMTS), transmisión de datos (WiFi) o navegación por satélite (GPS), aunque también puede usarse en sistemas de fibra óptica o de cable.

Por su parte, su evolución, CDMA2000, es un estándar perteneciente a la familia 3GPP2 (Japón, China, Korea del Sur y Norteamérica), de telecomunicaciones móviles de tercera generación (3G) que utilizan CDMA, un esquema de acceso múltiple para redes digitales, para enviar voz, datos, y señalización (como un número telefónico marcado) entre teléfonos celulares y estaciones base. Ésta es la segunda generación de la telefonía celular digital IS-95.

WCDMA: La multiplexación por división de código de banda ancha, acceso múltiple por división de código de banda ancha (*Wideband Code Division Multiple Access* en Inglés) es una tecnología móvil inalámbrica de tercera generación que aumenta las tasas de transmisión de datos de los sistemas GSM utilizando la interfaz aérea CDMA en lugar de TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y por ello ofrece velocidades de datos mucho más altas en dispositivos inalámbricos móviles y portátiles que las ofrecidas hasta el momento.

WCDMA es la conexión 3G para GSM, mientras que EV-DO lo es para IS-95/cdmaONE (conocido popularmente como CDMA).

WCDMA soporta de manera satisfactoria una tasa transferencia de datos que va de 144 hasta 512 Kbps para áreas de cobertura amplias y éstos pueden llegar hasta los 2Mbps para mayor cobertura en áreas locales. En sistemas de WCDMA la interfaz aérea de CDMA se combina con las redes basadas en GSM. El estándar de WCDMA fue desarrollado como el proyecto de la sociedad de la tercera generación (3GPP) que apunta a asegurar interoperabilidad entre diversas redes 3G.

El estándar que ha surgido con este proyecto de la sociedad 3GPP, se basa en el sistema móvil universal de la telecomunicación de ETSI (UMTS) y se conoce comúnmente como acceso de radio terrestre de UMTS (UTRA). El esquema del acceso para UTRA es el acceso múltiple por división de códigos por espectro expandido en secuencia directa (DS-CDMA). La información se extiende por una ventana de aproximadamente 5 MHz. Este ancho de banda amplia es el que ocupa un canal *Wideband* CDMA o WCDMA.

En WCDMA, existen dos modos de operación:

TDD: En este método bidireccional, las transmisiones del enlace ascendente y del descendente son transportadas en la misma banda de frecuencia usando intervalos de

tiempo (slots de trama) de forma síncrona. Así las ranuras de tiempo en un canal físico se asignan para los flujos de datos de transmisión y de recepción.

FDD: Los enlaces de las transmisiones de subida (*uplink*) y de bajada (*downlink*) emplean dos bandas de frecuencia separadas para este método a dos caras. Un par de bandas de frecuencia con una separación especificada se asigna para cada enlace. Puesto que diversas regiones tienen diversos esquemas de asignación de la frecuencia, la capacidad de funcionar en modo de FDD o TDD permite la utilización eficiente del espectro disponible.

Las características operacionales de la interfaz de radio de WCDMA se enumeran a continuación:

Alta velocidad de transmisión de datos: 398 Kbps con área de cobertura amplia, 2 Mbps de cobertura local.

Alta flexibilidad del servicio: ayuda a que los servicios varíen de acuerdo con las características de cada conexión.

Dúplex de la división de la frecuencia (FDD) y dúplex de división de tiempo (TDD).

Ayuda para la capacidad futura y la cobertura que realizan las tecnologías a gusto de las antenas adaptativas, de las estructuras avanzadas del receptor y de la diversidad del transmisor.

Ayuda de la inter-frecuencia entregada y esta es entregada a otros sistemas, incluyendo al GSM.

Acceso eficiente del paquete.

SDMA: El Acceso múltiple por división de espacio (*Space Division Multiple Access* o SDMA, del inglés) es una tecnología que segmenta el espacio en sectores utilizando antenas unidireccionales.

Se utiliza generalmente en comunicaciones por satélite, pero también en redes celulares para reducir el número de estaciones base.

A.6. Certificadoras y reguladoras.

Todos los dispositivos inalámbricos cumplen con algunas normas y estándares para su operación, de manera que exista una interoperabilidad entre estos sin necesidad de que sean del mismo fabricante. Además, existen regulaciones sobre el uso de estos equipos, los cuales deben ser aprobados para su uso según las regulaciones de cada país. Existen regulaciones para el uso del espectro de frecuencia o espectro de radio, el impacto ambiental, etc.

A.6.1. FCC (*Federal Communications Commission*).

Es la agencia gubernamental de Estados Unidos. Es responsable de regular las comunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, satélite y cable.

Casi todos los países tienen una agencia reguladora que vigila el uso del espectro de radio o espectro de frecuencias en ese país.

En otros países lo hacen los ministerios de correos y telecomunicaciones, por ejemplo, en Perú el encargado es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

A.6.2. (ETSI) European Telecommunications Standards Institute.

Es una organización sin ánimos de lucro cuya misión es producir los estándares de telecomunicaciones que se utilizaran en Europa y otros lugares.

El ETSI tiene miembros de 52 países que se extienden más allá de Europa. El ETSI representa a operadores, fabricantes, proveedores de servicios, investigadores y usuarios. Las actividades del ETSI están determinadas por las necesidades del mercado expresadas por sus miembros. El ETSI juega un papel importante en el desarrollo de estándares y documentación técnica.

A.6.3. UL (Underwriters Laboratories Inc.).

Es una organización sin fines de lucro de certificación y prueba de la seguridad de los productos o equipos, tiene una reputación de ser líder en la prueba y certificación de productos en cuanto a su seguridad. UL es uno de los asesores más reconocidos y acreditados del mundo.

El logotipo de UL significa que el producto ha sido aprobado en cuanto a requisitos de seguridad para su normal operación.

También significa que las comprobaciones periódicas de las instalaciones de fabricación certificadas por UL han reafirmado este estado de seguridad.

En el año 2001, 64482 fabricantes diferentes fabricaron productos certificados por UL y alcanzó 190 millones de clientes con mensajes de seguridad en Estados Unidos y Canadá.

A.6.4. WiFi (Alianza WiFi).

La Alianza WiFi (*Wireless Fidelity*) es una asociación internacional sin fines de lucro que fue formada en 1999. Se formó para certificar la interoperabilidad de productos WLAN basados en la especificación IEEE 802.11.

El objetivo de la alianza WiFi es mejorar la experiencia del usuario mediante la interoperabilidad de los productos.

WiFi CERTIFIED, es el logotipo que se otorga a los equipos de WLAN que pasan las pruebas de funcionalidad y interoperabilidad de la Alianza WiFi. Un equipo certificado con este logotipo, funciona con cualquier otra pieza de red inalámbrica que también cuente con el mismo logotipo.

WiFi ZONE, son redes *hot spot* inalámbricas a las que los usuarios pueden acceder cuando están en lugares públicos. Generalmente se encuentran en aeropuertos, cafés, etc. Solo los proveedores de servicios que cumplen los estándares de implantación y servicio de zonas WiFi pueden mostrar este logotipo.

A.6.5. WLANA (*Wireless LAN Association*).

Es una asociación comercial educativa sin ánimo de lucro, cuyo objetivo es brindar información al público en general, usuarios e industrias sobre temas relacionados con WLAN, como por ejemplo, aplicaciones, tendencias, problemas, disponibilidad, etc.

También cuenta con programas de certificación como por ejemplo la CWNA (*Certified Wireless Network Administrator*).

A.7. Bandas frecuenciales WiMAX.

Las bandas frecuenciales existentes en España para WiMAX son:

Banda de 5,4GHz: Va de 5470-5725 MHz y es libre.

Banda de 5,8GHz: También es libre y permite una potencia PIRE de hasta 4w.

Se está trabajando actualmente en la definición del uso que se dará a la banda de 2.5GHz, la de menor frecuencia y por tanto útil para transmisiones robustas a larga distancia y donde ya existen fabricantes con equipamiento disponible comercialmente.

Banda de 3,5 GHz: En España existen 4 operadores con licencia [12] para proveer WiMAX en la banda regulada de 3.5 GHz que se van alternando en bandas de 20 MHz, perteneciendo la quinta a los radares del ejército:

Neo-Sky: Filial de la eléctrica española Iberdrola (*y la empresa en la que trabajo, por cierto...*).

Iberbanda: Filial de operadora española Telefonica.

Clearwire: Filial de la operadora americana Clearwire Corporation.

Ono: Propiedad de varios fondos de inversión de distintas nacionalidades (CCMP Capital Advisor, Thomas H. Lee Partners, Providence Equity Partners, Grupo Multitel,

Quadrangle Capital Partners, GE Capital, Caisse de Dépôt et Placement du Québec, Val Telecomunicaciones, Ontario Teachers Pension Plan, Grupo Santander, Sodinteleco, Nortwestern y Bregal Co-Invest).

La realidad es que el espectro radioeléctrico está cada vez más poblado e incluso la banda licenciada no garantiza operar libre de interferencias. El equipamiento sin licencia puede ayudar a tolerar el incremento del uso del espectro, ofreciendo un buen funcionamiento para extender la capacidad de las redes complementando, o sustituyendo, el equipamiento licenciado.

El Gobierno está planeando en el 2010 sacar a concurso una serie de nuevas bandas para dar más posibilidades.

La banda que sin duda presenta un mayor interés para despliegues de banda ancha móvil es la de 2.6Ghz, justo al final del segmento UHF, por su excelente relación en el compromiso ancho de banda y cobertura.

La siguiente en interés es la de los 900Mhz, por su excelente alcance y especialmente apta para áreas rurales o suburbanas, donde típicamente tenemos celdas de cobertura más grandes.

De esta manera se habilitarían bandas GSM en desuso para 3G, con el objeto de permitir el acceso a internet en zonas infraservidas por tecnologías de cable, así como destinar las bandas de frecuencia que están quedando libres de la TV analógica a transmisión de datos en banda ancha.

A.8. Femtoceldas.

Una femtocelda es similar a un punto de acceso WiFi, salvo que proporciona cobertura y conexión a teléfonos móviles utilizando señales propias de éstos como son GSM o 3G. La conexión de la femtocelda con la red de datos se realiza a través de una conexión conexiones de banda ancha basadas en IP a Internet común, como es el caso de DSL, fibra óptica, cable o conexiones inalámbricas.

De este modo las femtoceldas amplían el alcance de las redes de telefonía móvil, bien hacia el interior de edificios donde el alcance de las señales de radio es débil -hay por tanto poca cobertura móvil- o en zonas donde las señales de las redes móviles están saturadas o pierden parte de su capacidad debido por ejemplo a interferencias.

El uso de este tipo de dispositivos tiene claras ventajas para las operadoras: todo el tráfico de telefonía móvil que se deriva a través de las femtoceldas es tráfico que no pasa por las antenas de la red. Además mejora la percepción de la calidad del servicio por parte de los usuarios, tanto de aquellos que utilizan una femtocelda privada como de los que no pero que gracias a ellas tampoco padecen la saturación de las antenas de uso público.

A.9. Zona de Fresnel.

Se refiere al espacio entre el emisor de una onda -electromagnética, acústica, etc.- y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°:

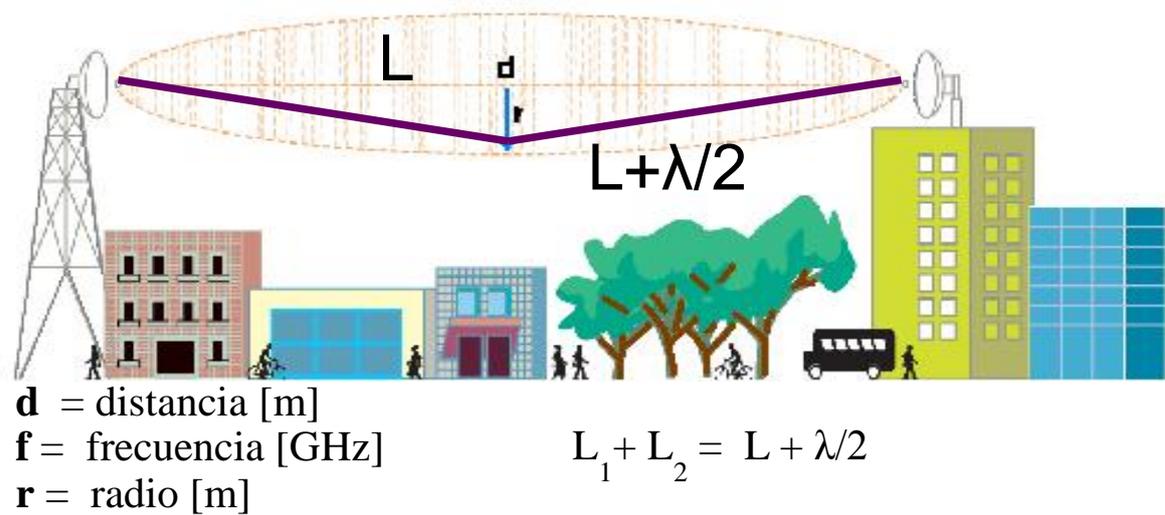


Figura A.9.1. Explicación gráfica de la zona de Fresnel.

De esta manera podemos distinguir entre la línea de vista óptica y de radio:

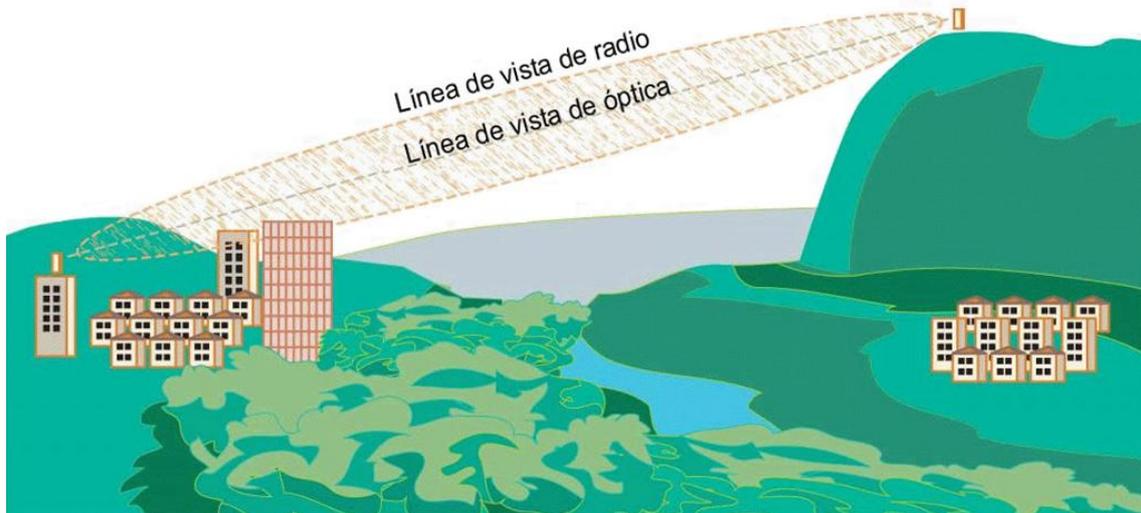


Figura A.9.2. Línea de vista óptica y de radio.

A.10. Antenas MIMO.

MIMO es el acrónimo en inglés de *Multiple-input Multiple-output* (en español, Múltiple entrada múltiple salida). Se refiere específicamente a la forma como son manejadas las ondas de transmisión y recepción en antenas para dispositivos inalámbricos como enrutadores. En el formato de transmisión inalámbrica tradicional la señal se ve afectada por reflexiones, lo que ocasiona degradación o corrupción de la misma y por lo tanto pérdida de datos.

MIMO aprovecha fenómenos físicos como la propagación multicamino para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error. En breves palabras MIMO aumenta la eficiencia espectral de un sistema de comunicación inalámbrica por medio de la utilización del dominio espacial.

Durante los últimos años la tecnología MIMO ha sido aclamada en las comunicaciones inalámbricas ya que aumenta significativamente la tasa de transferencia de información utilizando diferentes canales en la transmisión de datos o la multiplexación espacial por tener las antenas físicamente separadas.

Distintas versiones de la tecnología MIMO son:

MIMO: *Multiple input multiple output*; este es el caso en el que tanto transmisor como receptor poseen varias antenas.

MISO: *Multiple input Single output*; en el caso de una única antena de emisión y varias antenas en el receptor.

SIMO: *Single input multiple output*; en el caso de varias cadenas de emisión pero únicamente una en el receptor.

Este conjunto de antenas es usado en función de la tecnología dentro de MIMO que se vaya a usar. A partir de las siguientes técnicas se logra un uso de ancho de banda menor y, sobre todo, minimizar el riesgo de interferencias RF y mejorar el rendimiento en entornos ruidosos:

Beamforming: Consiste en la formación de una onda de señal reforzada mediante el desfase en distintas antenas. Sus principales ventajas son una mayor ganancia de señal además de una menor atenuación con la distancia. Gracias a la ausencia de dispersión, el *beamforming* da lugar a un patrón bien definido pero direccional. En este tipo de transmisiones se hace necesario el uso de dominios de *beamforming*, sobre todo en el caso de múltiples antenas de transmisión. Hay que tener en cuenta que el *beamforming* requiere el conocimiento previo del canal a utilizar en el transmisor.

Spatial multiplexing(multiplexación espacial): Consiste en la multiplexación de una señal de mayor ancho de banda en señales de menor ancho de banda iguales transmitidas desde distintas antenas. Si estas señales llegan con la suficiente separación en el tiempo al receptor este es capaz de distinguir las creando así múltiples canales en anchos de banda mínimos. Esta es una muy buena técnica para aumentar la tasa de transmisión, sobre todo en entornos hostiles a nivel de relación señal ruido. Únicamente

está limitado por el número de antenas disponibles tanto en receptor como en transmisor. No requiere el conocimiento previo del canal en el transmisor o receptor. Para este tipo de transmisiones es obligatoria una configuración de antenas MIMO.

Diversidad de código: Son una serie de técnicas que se emplean en medios en los que por alguna razón solo se puede emplear un único canal, codificando la transmisión mediante espaciado en el tiempo y la diversidad de señales disponibles dando lugar al código espacio-tiempo. La emisión desde varias antenas basándose en principios de ortogonalidad es aprovechada para aumentar la diversidad de la señal.

La multiplexación espacial puede ser combinada con el *Beamforming* cuando el canal es conocido en el transmisor o combinado con la diversidad de código cuando no es así. La distancia física entre las antenas ha de ser grande en la estación base para así permitir múltiples longitudes de onda. El espaciado de las antenas en el receptor tiene que ser de al menos 0,3 veces la longitud de onda para poder distinguir las señales con claridad.

A.11. Protocolo SNMP.

Las estaciones base acostumbran a ser configuradas, gestionadas y controladas con un programa web gestor SNMP. *Simple Network Management Protocol* opera en el nivel de aplicación, utilizando el protocolo de transporte TCP/IP, por lo que ignora los aspectos específicos del hardware sobre el que funciona. La gestión se lleva a cabo al nivel de IP, por lo que se pueden controlar dispositivos que estén conectados en cualquier red accesible desde Internet, y no únicamente aquellos localizados en la propia red local. Evidentemente, si alguno de los dispositivos de encaminamiento con el dispositivo remoto a controlar no funciona correctamente, no será posible su monitorización ni reconfiguración.

El protocolo SNMP está compuesto por dos elementos: el agente (*agent*), y el gestor (*manager*). Es una arquitectura cliente-servidor, en la cual el agente desempeña el papel de servidor y el gestor hace el de cliente.

El agente es un programa que ha de ejecutarse en cada nodo de red que se desea gestionar o monitorizar. Ofrece un interfaz de todos los elementos que se pueden configurar. Estos elementos se almacenan en unas estructuras de datos llamadas "*Management Information Base*" (MIB) y se puede encontrar información sobre ellas en varios RFC's. Representa la parte del servidor, en la medida que tiene la información que se desea gestionar y espera comandos por parte del cliente. Este estándar define los datos mantenidos por un dispositivo de red, así como las operaciones que están permitidas. Los datos están estructurados en forma de árbol; en el que sólo hay un camino desde la raíz hasta cada variable. El gestor es el software que se ejecuta en la estación encargada de monitorizar la red, y su tarea consiste en consultar los diferentes agentes que se encuentran en los nodos de la red los datos que estos han ido obteniendo.

La posibilidad de ampliación del protocolo está directamente relacionada con la capacidad del MIB de almacenar nuevos elementos. Si un fabricante quiere añadir un

nuevo comando a un dispositivo, como puede ser un encaminador, tan sólo tiene que añadir las variables correspondientes a su base de datos (MIB).

En SNMP hay un comando especial llamado *trap*, que permite a un agente enviar datos que no han sido solicitados de forma explícita al gestor al detectar una condición predeterminada, para informar de eventos tales como: errores, fallos en la alimentación eléctrica, etc. o cualquier otra alarma que se pueda configurar.

Por otro lado, SNMP ofrece muy poco soporte para la autenticación. Tan sólo ofrece el esquema de dos palabras clave (*two-passwords*). La clave pública permite a los gestores realizar peticiones de valores de variables, mientras que la clave privada permite realizar peticiones de escritura. A estas palabras clave se les llama en SNMP *communities*. Cada dispositivo conectado con una red gestionada con SNMP, ha de tener configuradas estas dos *communities*.

Es muy común tener asignando por defecto el valor "public" al *community* público, y "private" al privado. Por lo que es muy importante cambiar estos valores para proteger la seguridad de la red.

Anexo B:

Análisis de tecnologías.

B.1. Telefonía móvil.

La telefonía móvil ha ido evolucionando verticalmente los últimos años, clasificada en distintas generaciones, como puede verse en la siguiente tabla:

v · d · e	Mobile telephony standards		[hide]
0G (radio telephones)	MTS · MTA · MTB · MTC · IMTS · MTD · AMTS · OLT · Autoradiopuhelin		
1G	AMPS family	AMPS · TACS · ETACS	
	Other	NMT · Hicap · Mobitex · DataTAC	
2G	GSM/3GPP family	GSM · CSD	
	3GPP2 family	CdmaOne (IS-95)	
	AMPS family	D-AMPS (IS-54 and IS-136)	
	Other	CDPD · iDEN · PDC · PHS	
2G transitional (2.5G, 2.75G)	GSM/3GPP family	HSCSD · GPRS · EDGE/EGPRS	
	3GPP2 family	CDMA2000 1xRTT (IS-2000)	
	Other	WIDEN	
3G (IMT-2000)	3GPP family	UMTS (UTRAN) · WCDMA-FDD · WCDMA-TDD · UTRA-TDD LCR (TD-SCDMA)	
	3GPP2 family	CDMA2000 1xEV-DO (IS-856)	
3G transitional (3.5G, 3.75G, 3.9G)	3GPP family	HSPA · HSPA+ · LTE (E-UTRA)	
	3GPP2 family	EV-DO Rev. A · EV-DO Rev. B	
	Other	Mobile WiMAX (IEEE 802.16e-2005) · Flash-OFDM · IEEE 802.20	
4G (IMT-Advanced)	3GPP family	LTE Advanced	
	WiMAX family	IEEE 802.16m	
5G	unconfirmed	unconfirmed	

Tabla B.1.1. Evolución de la telefonía móvil y lugar donde se enmarcaría WiMAX móvil.

Las que nos interesan por tener prestaciones que se adaptan a nuestro problema son las generaciones 3G (UMTS – *Universal Mobile Telecommunications System*) y, sobre todo, 3G+ (HSDPA - *High-Speed Downlink Packet Access*, HSUPA - *High-Speed Uplink Packet Access*, HSPA - *High-Speed Packet Access*, HSPA+, HSPA+ MIMO - *High-Speed Packet Access Multi Input Multi Output...*, explicados en el anexo B.1.3 y las antenas inteligentes MIMO en el anexo A) y, a medio plazo, como vemos en el apartado B.7, la tecnología de 4G LTE (*Long Term Evolution*).

El requisito más restrictivo para telefonía móvil es el ancho de banda. Con la llegada de la tecnología 3G empiezan a ser aceptables los 2 Mbps de UMTS y se

sobrepasa con creces con las tecnologías 3G+, llegando en HSPA+ hasta 56 Mbps en descarga (42 Mbps reales) y 22 Mbps en subida (11.5 Mbps reales) y pudiendo alcanzar hasta 168 Mbps usando múltiples portadoras. Ahora la limitación se halla en la implantación definitiva de estas redes en el ámbito nacional.

B.1.1. Inicial y primera generación.

Ambas son generaciones analógicas.

La 0G consistía en sistemas radio normalmente montados en vehículos y de uso de la administración pública.

Por su parte, la 1G fue la primera generación de teléfonos sin cables y, aunque al igual que 2G usaba señales digitales para conectar a las torres, las señales de voz son moduladas analógicamente en frecuencias de 150 MHz o superiores.

B.1.2. Segunda generación.

Es un sistema estándar de segunda generación. La telefonía móvil 2G no es un estándar o un protocolo sino que es una forma de marcar el cambio de protocolos de telefonía móvil analógica a digital.

La llegada de la segunda generación de telefonía móvil fue alrededor de 1990 y su desarrollo deriva de la necesidad de poder tener un mayor manejo de llamadas en prácticamente los mismos espectros de radiofrecuencia asignados a la telefonía móvil, para esto se introdujeron protocolos de telefonía digital que además de permitir más enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, permitían integrar otros servicios, que anteriormente eran independientes, en la misma señal, como es el caso del envío de mensajes de texto o Pagina en un servicio denominado *Short Message Service* o SMS y una mayor capacidad de envío de datos desde dispositivos de fax y módem.

P-GSM 900 es la banda que nació en Europa y es la más extendida.

E-GSM es una extensión de GSM 900.

R-GSM es la banda ferroviaria.

Por último, para lograr unas mayores tasas de transmisión de datos se duplicó el ancho de banda con GSM-1800: 1710-1785MHz y 1805-1880MHz, pero transmite a poca distancia porque su potencia va de 0,25 a 1w.

En la siguiente tabla vemos las características de todas ellas:

Banda	Nombre	Número de canales	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
<i>GSM 900</i>	P-GSM 900	1-124	890,0 - 915,0	935,0 - 960,0
<i>GSM 900</i>	E-GSM 900	975 - 1023	880,0 - 890,0	925,0 - 935,0
<i>GSM 900</i>	R-GSM 900	n/a	876,0 - 880,0	921,0 - 925,0
<i>GSM1800</i>	GSM 1800	512 - 885	1710,0 - 1785,0	1805,0 - 1880,0

Tabla B.1.2. Características de las bandas de GSM.

El primer gran paso en la evolución al 2G ocurrió con la entrada del Servicio General de Paquetes vía Radio (**GPRS** - *General Packet Radio Service*), basado en GSM, pero de la generación 2.5G.

El GPRS podía dar velocidad de datos desde 56 kbit/s hasta 114 kbit/s. Puede usarse para servicios como el acceso al protocolo de aplicaciones inalámbricas (WAP - *Wireless Application Protocol*), servicio de mensajes cortos (SMS - *Short Messaging Service*), sistema de mensajería multimedia (MMS - *Multimedia Messaging Service*), y para servicios de comunicación por Internet como el email y el acceso a la web. La transmisión de datos GPRS es normalmente cobrada por cada megabyte transferido, mientras que la comunicación de datos vía conmutación de circuitos tradicional es facturada por minuto de tiempo de conexión, independientemente de si el usuario está realmente usando la capacidad o si está parado.

El GPRS es una gran opción para el servicio de intercambio de paquetes, al contrario que el intercambio de circuitos, donde una cierta calidad de servicio (*QoS*) está garantizada durante la conexión para los no usuarios de móvil. Proporciona cierta velocidad en la transferencia de datos, mediante el uso de canales no usados del acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). Al principio se pensó en extender el GPRS para que diera cobertura a otros estándares, pero en vez de eso esas redes están convirtiéndose para usar el estándar GSM, de manera que el GSM es el único tipo de red en la que se usa GPRS. El GPRS está integrado en el lanzamiento GSM 97 y en nuevos lanzamientos. Originariamente fue estandarizado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI), pero ahora lo está por el 3GPP.

Poco después, camino a la 3G, apareció **EDGE**. Lo sobresaliente a recatar en EDGE, es la oportunidad que le da a las operadoras de implementar servicios de tercera generación y mayor cobertura, utilizando una red de segunda generación. Lo cual es muy conveniente ya que GSM es la principal norma a escala mundial, tanto en número de operadoras como en usuarios.

EDGE puede alcanzar una velocidad de transmisión de 384 Kbps en modo de paquetes, con lo cual cumple los requisitos de la ITU para una red 3G, también ha sido aceptado por la ITU como parte de IMT-2000, de la familia de estándares 3G

Por su parte, **EvDO** es una evolución muy común de redes 2G y 2.5G basadas en redes CDMA2000, significativamente más rápido que EDGE (*Enhanced Data rates for GSM*

of Evolution, Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM) EDGE/EGPRS, utilizado en redes GSM (2G). Provee acceso a dispositivos móviles con velocidades de hasta 2.4 Mbit/s con Rev 0 y hasta 3.1 Mbit/s con Rev A.

B.1.3. Tercera generación.

UMTS hereda mecanismos de redes móviles: SIM + IMEI a nivel de usuarios y terminal para acceso a la red y 802.1x (EAP) + RADIUS para acceso a servicios de datos. A nivel de aplicación se puede implementar mecanismos adicionales de seguridad. El algoritmo de encriptación es más fuerte e incluido en el Nodo-B, la aplicación de algoritmos de autenticación es más estricta y el suscriptor es confidencialmente más firme en relación a GSM, cuyos principales elementos de seguridad utilizados son: Autenticación a nivel de Suscriptor, confidencialidad de la identidad del suscriptor, módulo de identidad del Usuario (SIM), encriptación de la interfaz de radio. Adicionalmente a esto, UMTS en su campo de seguridad proporciona:

- Seguridad contra el uso de estaciones de base falsas con autenticación mutua.
- Encriptación extendida de la AI solo para incluir un Nodo-B a la conexión de RNC.
- Se protegen datos de seguridad de la red en los almacenamientos de datos mediante cifrado de llaves y datos de autenticación en el sistema.
- Mecanismos para actualización de seguridad.

Las características técnicas de UMTS son las siguientes:

Bandas de Frecuencia: 1920 MHz -1980 MHz y 2110 MHz - 2170 MHz en UL y DL.

Banda de frecuencia mínima requerida: ~ 2x5MHz.

Modulación: QPSK.

Reuso de frecuencia: 1.

Longitud de trama: 10ms (38400 chips).

Número de slots / trama: 15.

Número de chips / slot: 2560 chips.

Handovers: Soft, Softer, (inter frecuencia: Hard).

Falta de soporte para servicios de baja latencia.

Eficiencia media de datos en DL y baja eficiencia en UL.

Tamaño de canal: 200 kHz.

Espaciamiento entre portadoras: 4.4MHz - 5.2 MHz.

Soporte global de movilidad y *roaming*.

Velocidad máxima de datos de usuario (ofrecida): 384 kbps (año 2002), velocidades mayores (~ 2 Mbps) en un futuro cercano. HSDPA ofrece velocidades de datos de hasta 8-10 Mbps y hasta 20 Mbps para sistemas MIMO.

Velocidad de Chip: 3.84 Mcps.

Velocidad máxima de datos de usuario (canal físico): ~ 2.3Mbps (factor de ensanchamiento 4, códigos paralelos (3 DL / 6 UL), codificación de velocidad 1/2), pero interferencia limitada.

Velocidad de bit por canal: 5.76Mbps.

Tipo de datos: Conmutación de paquetes y circuitos.

Arquitectura orientada a circuitos, evolucionado para paquetes en el DL.

Rango de control de Potencia para UL y DL de 80dB y 30dB respectivamente.

Soporte de múltiples antenas y diversidad de las mismas.

Mecanismos de seguridad heredados de redes móviles: SIM + IMEI a nivel de usuarios y terminal para acceso a la red y 802.1x (EAP) + RADIUS para acceso a servicios de datos.

Acuerdo y autorización de la llave de autenticación.

QoS en UMTS se da en 4 capas y QoS extremo a extremo se basa en la calidad que proporcionan los servicios portadores.

Soporta IPv4 e IPv6 con calidad de servicio (QoS).

Permite una cobertura desde radios inferiores a 50m en picoceldas hasta 40km en macroceldas.

Número máximo de canales (voz) sobre 2x5MHz: ~196 (factor de ensanchamiento 256 UL, AMR 7.95kbps) / ~98 (factor de ensanchamiento 128 UL, AMR 12.2kbps).

Codificación de voz: AMR codecs (4.75 kHz - 12.2 kHz, GSM EFR=12.2 kHz) y SID (1.8 kHz).

Codificación de canal: Codificación convolucional, código Turbo para Duplexor de datos de alta velocidad (separación de 190MHz). Conexión asimétrica soportada.

Potencia pico del Móvil: Clase de potencia 1: +33 dBm (+1dB/-3dB) = 2W; clase 2 +27 dBm, clase 3 +24 dBm, clase 4 +21 dBm.

Número de códigos para identificación de estación base única: 512 /frecuencia

Factores de ensanchamiento de capa física: 4 - 256 UL, 4 - 512 DL.

Receptor: Rake.

Sensibilidad del Receptor: Nodo B: -121dBm, Móvil -117dBm con BER de 10^{-3} .

HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*, Acceso descendente de paquetes a alta velocidad, nombrado popularmente como 3.5G) es la optimización de la tecnología espectral UMTS/WCDMA, incluida en las especificaciones de 3GPP release 5 y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (*downlink*) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información pudiéndose alcanzar tasas de hasta 14 Mbps. Soporta tasas de *throughput* promedio cercanas a 1 Mbps y con una menor latencia.

HSUPA, acceso ascendente de paquetes a alta velocidad (*High-Speed Uplink Packet Access*) es un protocolo de acceso de datos para redes de telefonía móvil con alta tasa de transferencia de subida (de hasta 7.2 Mbit/s). Calificado como generación 3.75 (3.75G) o 3.5G Plus, es una evolución de HSDPA. La solución HSUPA potencia inicialmente la conexión de subida UMTS/WCDMA (3G).

HSPA está formado por HSDPA y HSUPA, mejoras para el canal descendente y ascendente respectivamente.

Europa Occidental es también líder en HSPA, la versión más rápida de WCDMA típicamente utilizada para dar soporte a la **banda ancha móvil**. En la actualidad, HSPA supone el 46% del total de conexiones basadas en la familia WCDMA de la región, frente al 30% de hace un año. En los mercados maduros, la gran mayoría de dispositivos 3G ofrecidos por los operadores móviles admiten HSPA, con sólo un 5% de terminales que sólo soportan WCDMA. Mientras, en muchos países emergentes donde la penetración de la banda ancha fija es muy baja, HSPA supone el principal medio por el que los consumidores acceden a **Internet**.

A partir de HSPA se fue optimizando el servicio con distintas versiones **HSPA+**.

La convergencia inevitable entre el mundo de las redes sociales y la telefonía móvil de banda ancha dará paso en el futuro inmediato a una red multiservicio y multiacceso más

segura, núcleo de la arquitectura de las nuevas redes de próxima generación (NGN). Para ello, los avances técnicos pasan por las soluciones radio **HSPA+** (*Evolved High-Speed Packet Access*) y la implantación del estándar **IMS** (*IP Multimedia Subsystem*). También llamado *HSPA evolved*, es la evolución de HSPA, aumentando la velocidad modulando los datos con 64QAM si la señal es suficientemente buena. La modulación 64 QAM transporta más información con los mismos recursos radioeléctricos. Dentro del *Release 7* puede alcanzar velocidades de pico de hasta 28 Mbps de descarga 11.5 Mbps de subida, tres veces mayor que los dispositivos de banda ancha móvil con HSPA.

HSPA+ MIMO (3GPP *Release 8*) usa estas antenas inteligentes para transmitir varias señales en paralelo, con un pico teórico de 56 Mbps en descarga (42 Mbps reales) y 22 Mbps en subida (11.5 Mbps reales). MIMO, basado en CDMA, funciona como sectores virtuales que dan una capacidad extra cerca del mástil. En cambio, en el borde de la célula la mejora es escasa respecto a los 14.4 Mbps de HSDPA a no ser que usemos un canal mayor de 5 MHz. Las revisiones futuras de HSPA+ soportarán hasta 168Mbps usando múltiples portadoras.

Por último, la tecnología **3.9G** es intermediaria previa a 4G. Con esta se podrán obtener grandes cantidades de datos (llegando a 100 Mbps) con solo modificar las redes 3G actuales.

Las ventajas de utilizar esta tecnología sobre 4G (prevista para 2010, con conexiones de 1 Gbps), radica en que no es necesario el crear y construir una nueva red, ya que utiliza como base la actual red 3G. NTT DoCoMo, planea invertir gran cantidad de dinero (se eleva a los 1000 millones de dólares aprox.) para cambiar la infraestructura, y de esta manera hacerla apta a estas conexiones de alta velocidad.

Basándose en uno de los conceptos de 4G, el operador Mosaic Telecom está ofreciendo estaciones base 3G personales (femtoceldas) pensando en las zonas rurales donde la cobertura de banda ancha móvil está menos extendida. Estas estaciones, están conectadas a través de una conexión de banda ancha fija que permite ofrecer a los vecinos y visitantes cobertura 3G. La empresa ha elegido el estándar 3GPP a Nokia Siemens Networks y la femtocelda HSPA de Airvana para crear esta cobertura 3G personalizada.

B.2. OFDM.

En este apartado analizamos el funcionamiento y características comunes para las tecnologías basadas en OFDM, como son WiFi, WiMAX, COFDM, la futura LTE o la por el momento parada Mobile Fi (*Mobile Fidelity*), que analizamos en el apartado B.4.

Los pasos para llevar a cabo la modulación OFDM son:

- Adaptación del flujo de transporte y randomización para dispersar energía
- Codificado exterior (código Reed-Solomon)
- Entrelazado exterior (entrelazado convolucional)

- Codificado interior (código convolucional punteado)
- Entrelazado interior (entrelazado de bit y símbolo)
- Mapeado y modulado
- Adaptación en tramas (inserción de señales piloto y TPS)
- Modulación OFDM
- Inserción del intervalo de guarda
- Conversión de D/A
- Transmisión(amplificación y antena)

B.2.1. Ventajas.

Protección contra desvanecimiento selectivo de las portadoras

Un desvanecimiento es una distorsión provocada por las variaciones de las características físicas del canal, que tiene como resultado una disminución de la potencia recibida, que es la desventaja de OFDM. Como solución, se agrega a la modulación OFDM un codificador de canal compuesto de dos elementos: un código convolucional y un entrelazador de portadoras, ya sea al nivel de bit o símbolos. El efecto conjunto del código convolucional y del entrelazador puede verse como un promediado de los desvanecimientos locales sobre todo el espectro de la señal.

Modulación Jerárquica

La modulación jerárquica permite integrar la modulación QPSK dentro de la constelación de QAM de 16 o más niveles, permitiendo transmitir dos servicios al mismo tiempo, y hace que la transmisión QPSK sea menos susceptible a las interferencias que en el caso de QAM de 16 o de más niveles no jerárquicos. Bajo este criterio se puede transmitir, por ejemplo, en un flujo de datos de baja prioridad, el servicio de HDTV, mientras que en el flujo de alta prioridad enviamos el servicio de SDTV.

Alta eficiencia espectral

Debido a que cada portadora es traslapada una con otra con la técnica o esquema de modulación por multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), se logra incrementar notablemente la tasa binaria útil a transmitir, en comparación con respecto a la técnica de FDM.

Simplificación de la ecualización

Una de las características de este esquema de modulación es que facilita la ecualización en el receptor, debido a que distribuye una serie de portadoras llamadas portadoras pilotos a lo largo de todo el ancho de banda que se va a usar en la transmisión. Por lo tanto, es fácil hallar la respuesta en frecuencia del canal mediante la transmisión de una secuencia de entrenamiento, es decir, una serie de portadoras pilotos, con lo que se consigue reducir, e incluso eliminar, la influencia del canal sobre los datos transmitidos.

Protección contra interferencias intersimbólicas (ISI)

La utilización del intervalo de guarda provee la tolerancia contra la interferencia de intersímbolo. Mientras el retardo de las señales que llegan al receptor COFDM sea menor que el intervalo de guarda se consigue con esto evitar que unos símbolos OFDM

se vean afectados por otros, solo permaneciendo de este modo la interferencia intrasímbolo.

La tasa binaria de datos puede escalarse para diferentes condiciones

El sistema COFDM se puede adaptar al canal de comunicaciones variando la tasa binaria útil a transmitir perforando el código base del codificador convolucional para canales menos selectivos o de baja interferencia. También se puede reducir cuando se requiere ajustar la distancia máxima entre el transmisor y un receptor ajustando la duración del intervalo de guarda.

Redes de Frecuencia Única (SFN: *Single-Frequency Networks*)

La posibilidad de crear una red de SFN constituye una de las grandes ventajas de un sistema basado en COFDM. Un aspecto a destacar de dicha técnica es que permite la operación tanto en áreas pequeñas como en grandes. En este tipo de redes, es posible la recepción en un área de cobertura donde los transmisores radian a la misma frecuencia y todas las emisiones modulan la misma señal, teniendo para ello que estar sincronizados todos los transmisores. Como desventaja podemos decir que no se pueden realizar desconexiones, pues la señal debe ser la misma para todos los equipos transmisores del área de cobertura.

Por el contrario, en estas condiciones, su planificación es más sencilla y se obtiene la máxima eficiencia del espectro, lo cual adquiere especial relevancia cuando se usa en las bandas de UHF asignadas para TV. En recepción se producen ganancias de la señal por los propios ecos que se generan durante la transmisión, debido a la utilización del intervalo de guarda la señal, que se utiliza para reducir los efectos del multitrayecto ya sea natural o artificial pudiendo así utilizar varias transmisores separados a una distancia adecuada generando así multitrayecto artificial, entonces se produce una suma de todas las señales de la red que llegan al receptor COFDM.

B.2.2. Inconvenientes.

Muy sensible a la sincronización en tiempo y frecuencia

Para el receptor es difícil encontrar el comienzo del símbolo OFDM, proceso necesario para así poder establecer la sincronización en tiempo y en frecuencia. También le es difícil encontrar la posición de las portadoras dentro del símbolo OFDM, aún con la ayuda de las portadoras piloto, que poseen una potencia superior al resto.

Mayor complejidad del sistema

Los requerimientos de la corrección del error de fase común, la alta linealidad del amplificador de potencia para el transmisor, la utilización de un codificador secundario más entrelazamiento para mejorar el BER en el receptor y otros requerimientos adicionales, son funciones que incrementan la complejidad del sistema.

Perdida de eficiencia espectral

Es causada por la duración del intervalo de guarda y las tasas de codificación utilizadas, ya que es necesario ajustar dichas características del sistema COFDM por varias

condiciones de funcionamiento, prescindiendo en ocasiones de tasa binaria por mejorar la prevención de futuros errores.

Más sensible al ruido de fase y al desplazamiento en frecuencia en las portadoras

El ruido de fase es causado por todos los osciladores locales que hay desde la salida de la IFFT del transmisor hasta la entrada de la FFT en el receptor que trae como consecuencia la rotación de la constelación del esquema de la modulación de las portadoras. El desplazamiento de frecuencia puede dar lugar a causar interferencia interportadora (ICI) y una reducción en la potencia en las portadoras.

Alta relación de potencia pico-promedio (Peak to average power ratio)

Por ser una modulación multiportadora que causa gran fluctuación en la envolvente de la señal transmitida, reduciendo de esta manera la eficiencia del amplificador de potencia de RF del transmisor, causando a la vez productos de intermodulación en la señal transmitida. Este efecto es reducido por filtros.

B.3. WiFi.

Tal como WiMAX, COFDM y la futura LTE, está basada en la modulación OFDM, aunque WiFi se diferencia de las anteriores en que es la única que va destinada sólo a redes LAN (*Local Area Network*), en lugar de redes MAN (*Metropolitan Area Network*) como el resto de tecnologías mencionadas excepto LTE que correspondería a redes WAN (*Wide Area Network*).

Uno de los mayores inconvenientes de esta tecnología es la seguridad implícita en su naturaleza ‘abierta’. Sin embargo la empresa sueca Anyfi Networks afirma haber combinado los beneficios de la seguridad de las transmisiones IP tradicionales con la flexibilidad de WiFi. De esta manera rompe la unión entre una red lógica y una infraestructura física y permite que los usuarios puedan utilizar las mismas credenciales en casa, en la oficina y en una red WiFi de acceso público, dado que las comunicaciones radio WiFi son transmitidas a través de internet.

Un buen ejemplo de la viabilidad de esta tecnología para el envío de secuencias de vídeo es el récord mundial *Guinness* que Motorola consiguió por el “Punto de Acceso Inalámbrico Más Potente”. Quedó demostrado por el número más alto de conexiones inalámbricas 802.11n que transmitían video unicast a 84 laptops desde un único Punto de acceso AP 7131N. Para establecer el récord, Motorola utilizó el punto de acceso AP 7131N, el controlador inalámbrico RFS 4000 que ejecutó el más reciente sistema operativo WiNG 5, y el firmware 5.0.0.0-107R, además de 84 laptops. Durante el intento, las laptops transmitieron video MPEG 2/4 sobre una conexión inalámbrica 802.11n a un único punto de acceso AP 7131N.

Además esta tecnología es la más económica de las que estudiamos, en parte por la está proliferación de dispositivos compatibles con WiFi, tales como *smartphones*, tabletas y laptops.

Cabe destacar que por medio de un *router*, que entre otros se conoce como MiFI, se puede convertir una conexión 3G en WiFi, por lo que aún cuando no haya una red WiFi la podemos crear a partir de la telefonía móvil, cuya cobertura cubre prácticamente el 100% del territorio nacional.

El IEEE 802.11 o WiFi [13] denota una serie de estándares de redes inalámbricas desarrolladas por el grupo de trabajo 11 del comité de estándares del IEEE. Esta familia de estándares incluye los siguientes tipos de modulación desde 1997:

- 802.11: estándar original, 1 y 2 Mbit/s, en la banda de 2,4GHz
- 802.11a: 54Mb/s en la banda de 5GHz
- 802.11b: mejoras en el 802.11 que soporta 5.5 Mbit/s y 11 Mbit/s
- 802.11d: extensiones internacionales para *roaming*
- 802.11e: Introducción de mejoras de QoS
- 802.11f: Protocolo *Inter-access Point Protocol (IAPP)*
- 802.11g: 54Mbit/s en la banda de 2,4 Ghz
- 802.11i: mejora en la seguridad
- 802.11j: adaptación para Japón
- 802.11k: medidas de recursos radio
- 802.11n: mejoras de *throughput*
- 802.11p: WAVE: *Wireless access for Vehicular Environment*
- 802.11r: *Roaming* rápido
- 802.11s: Redes *ad-hoc wireless*
- 802.11t : Predicción de rendimiento *wireless* (WPP)
- 802.11u: *Interworking* con otras redes
- 802.11v: Gestión de redes *Wireless*

Los estándares más usados son a/b/g/n, cuyas principales características se incluyen en la siguiente tabla:

Tecnología Wi-Fi	Banda frecuencial	Velocidad de transmisión máxima
IEEE 802.11a	5 GHz	54 Mbps
IEEE 802.11b	2,4 GHz	11 Mbps
IEEE 802.11g	2,4 GHz	54 Mbps
IEEE 802.11n	2,4 GHz 5 GHz 2,4 ó 5 GHz (seleccionable) 2,4 y 5 GHz (concurrente)	600 Mbps

Tabla B.3.1. Ancho de banda y frecuencia de transmisión de los estándares a/b/g/n.

Los estándares 802.11b y 802.11g usan la banda sin licencia de 2,4GHz, sujeta a interferencias de microondas o teléfonos inalámbricos, mientras que el estándar 802.11a cubre la banda de 5GHz.

Estándar original 802.11.

La versión original del estándar 802.11, publicada en 1997, especificaba dos tasas de transmisión a 1 y 2 Mbps para transmitir señales infrarrojas o en la banda de frecuencia ISM (*Industrial Scientific Medical*) a 2,4 GHz. Este estándar también definía como método de acceso al medio el CSMA/CD, de manera que una parte significativa de la capacidad del canal se sacrifica para poder garantizar las transmisiones.

Un problema de este estándar es que ofrecía tantas opciones que hacía difícil garantizar la interoperatividad, de manera que se dejaba bastante libertad a los fabricantes. Este estándar fue rápidamente superado por 802.11b.

Estándares más comunes, 802.11a/b/g/n.

El **estándar 802.11a** fue aprobado en 1999. Se basa en el estándar original, operando en la banda de 5GHz, pero utilizando la técnica OFDM de modulación con 52 canales, alcanzando tasas de transmisión de hasta 54Mbps, que se puede corresponder con un *throughput* real de 20 Mbps. Como en el estándar 802.11b la tasa se puede reducir a 48, 36, 24, 18, 12,9 y 6 Mbps. El estándar dispone de 12 canales no solapados. Utilizar la banda de 5GHz permite disponer de menos interferencias, pero condiciona las instalaciones a disponer de línea de vista, además de tener una mayor absorción.

En un primer momento fue utilizado en Estados Unidos y Japón, sin obtener licencia para operar en Europa, que en ese momento optaba por apostar por el estándar HIPERLAN, hasta que en 2003 fue admitido.

De las 52 subportadoras, 48 se utilizan para datos y cuatro actúan como pilotos, con una separación de 312,5 KHz. Cada subportadora puede ser BPSK, QPSK, 16 QAM o 64 QAM. La duración del símbolo es de 4 microsegundos, con un periodo de guarda de 0,8 microsegundos. Esta tecnología no fue tan adoptada como la basada en el 802.11b, ya que tenía un rango menor y estaba limitada en Europa. Hoy en día está plenamente incluido en equipamiento dual.

El **estándar 802.11b** fue aprobado en 1999, permitiendo una tasa de transmisión máxima de 11Mbps. Debido a las cabeceras de este método, en la práctica no era posible superar los 6Mbps en TCP y los 7Mps en UDP.

Los primeros equipos aparecieron muy rápidamente, ya que era una extensión a una modulación DSSS del estándar original. El aumento de velocidad y el reducido coste consiguieron un rápido crecimiento de la oferta y demanda.

El protocolo se puede utilizar en topologías punto a multipunto (las más habituales) o punto a punto, con enlaces con distancias proporcionales a las características de las antenas y potencia utilizada. Además, si existen problemas de calidad de señal, es posible transmitir a 5,5, 2 y 1 Mbps, que utilizan métodos más redundantes de codificación de datos.

El estándar divide el espectro en 14 canales que se solapan, a una distancia de 5MHz cada uno de ellos. Esto provoca que cada canal interfiera con los dos adyacentes a cada lado, ya que el ancho de banda es de 22MHz, a partir de donde la señal cae en 30 dB como mínimo. Es por ello que se recomienda optar por los canales 1, 6 u 11, que no presentan especiales solapamientos, produciéndose interferencias mínimas.

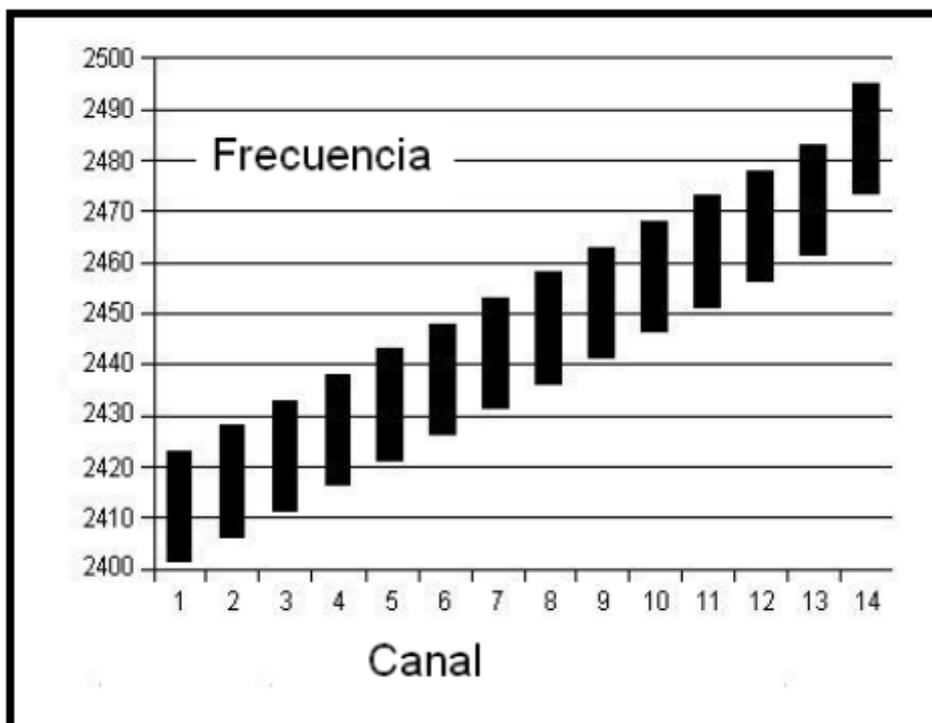


Figura B.3.2: Relación canales/frecuencia del estándar WiFi 802.11b.

Los canales disponibles en cada país difieren de acuerdo a la reglamentación del mismo. Así, mientras en los Estados Unidos hay 11 canales disponibles, en España son sólo 2 y en Francia 4.

En Junio de 2003 se aprobó **estándar 802.11g**, que funciona en la banda de los 2,4 GHz, como el 802.11b, pero con un tasa máxima de 54Mbps (y efectiva de 24,7Mbps). Es compatible con el 802.11b y utiliza las mismas frecuencias.

Desafortunadamente, los conflictos con los equipos 802.11b, las interferencias y el hecho de que las frecuencias más altas están más expuestas a sufrir pérdidas, han reducido la efectividad de la tecnología. El hecho de que hayan aparecido chips y equipos tribanda, ha favorecido el despliegue de la tecnología. Una característica adicional, llamada SuperG, hace posible duplicar la señal, pero provoca conflictos con otros equipos provocando que no sea compatible en muchos casos.

En enero de 2004 se formó un nuevo grupo de trabajo con el objetivo de generar un nuevo estándar que alcanzara una mayor tasa de transferencia y una mayor distancia de funcionamiento que los estándares actuales.

El **estándar 802.11n** puede trabajar en dos bandas de frecuencias: 2,4 GHz (la que emplean 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (la que usa 802.11a). Gracias a ello, 802.11n es compatible con dispositivos basados en todas las ediciones anteriores de WiFi. La velocidad real de transmisión podría llegar a los 600 Mbps, y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. También se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con este nuevo estándar gracias a la tecnología MIMO.

B.4. Mobile-Fi.

Mobile FI (o también *Mobile Broadband Wireless Access*, Mobile BWA) es el nombre por el que se conoce al estándar IEEE 802.20, cuyo objetivo es el desarrollo de un protocolo de acceso inalámbrico de conmutación de paquetes y optimizado para el soporte de servicios IP que posibilite el desarrollo de redes inalámbricas de acceso móvil asequibles, interoperables y con la característica de “permanentemente conectado”. Hay que decir que el estándar 802.20 se encuentra parado en la actualidad y no es fácil encontrar equipamiento comercial de esta tecnología.

Está específicamente diseñado desde el principio para manejar tráfico IP nativo para un acceso móvil de banda ancha, que provee velocidad entre 1 y 16 Mbit/s, sobre distancias de hasta 15 o 20 km, utilizando frecuencias por debajo de la banda de 3,5 GHz.

Cabe destacar que como Mobile-Fi está enfocado a usuarios móviles debe tener parámetros definidos similares a los usados en comunicaciones móviles como:

- Ancho de Banda del Canal: 1,25MHz *paired* FDD; 2,5MHz *unpaired* TDD
- Sectorización: 6 Sectores/Celda (uso típico 3 sectores/celda)
- Reutilización de la misma frecuencia en distintos sectores y celdas (factor de reutilización ≤ 1)
- Tolerancia Doppler (400Hz) y retardo multipropagación (10ms)
- Con una relación SNR=1.5dB se consigue BER=10⁻².

Las características técnicas de Mobile-Fi (802.20) son las siguientes:

Bandas de frecuencia: Bandas bajo licencia por debajo de los 3.5GHz (500MHz-3.5GHz).

Modulación: $\pi/2$ -BPSK, QPSK, 8-PSK, 12-QAM, 16-QAM, 24-QAM, 32-QAM y 64-QAM.

Reuso de Frecuencia Universal de 1.

Longitud de trama: 911.46 us (8 símbolos OFDM).

Soporte de Inter-tecnología *roaming* y *handoff*, por ejemplo: de Mobile-Fi hacia WLANs.

Handoff Inter-celda e Inter-sector.

Soporte transparente en aplicaciones de tiempo real y de tiempo no real.

Siempre en conectividad y baja latencia.

Soporta múltiples estados de protocolo MAC con rápidas transiciones inter estado.

Asignación rápida de recursos para DL y UL.

Ancho de banda: menor a 5 Mhz (FDD: 1.5MHz, TDD:5MHz), hasta 20MHz.

Movilidad global y soporte de *roaming*.

Tasas de datos hasta 260 Mbps con MIMO en 20MHz de ancho de banda.

Tasa de datos hasta 1Mbps para velocidades de 250 km/h.

Arquitectura orientada a paquetes.

Gestión de velocidad de transmisión del usuario: Soporte de selección automática para optimización de la velocidad de datos del usuario en entornos de RF.

La interfaz de aire (AI) provee de mensajes para autenticación mutua.

Permite el co-despliegue con sistemas celulares existentes.

Interfaces abiertas al manejo de otros protocolos en la AI que pueden ser implementados por servicios proveedores y fabricantes como entidades de red separadas.

Capacidad de soporte de múltiples antenas y diversidad de las mismas.

Uso de alcance de tecnologías mejoradas.

Algoritmo de Seguridad: AES será el obligatorio y un algoritmo subyacente predefinido para el

encriptación aprobado por los estándares nacionales o internacionales de la IEEE.

Seguridad de red la misma que debe ser parte de una solución extremo a extremo que incluya capas superiores.

Acuerdo y autorización de la llave de autenticación.

Soporte de QoS con resolución consistente en la AI y QoS extremo a extremo a nivel de núcleo de red (*core network*).

Métodos de integridad de mensaje y privacidad para proteger los datos del usuario y mensajes de señalización.

Soporta IPv4 e IPv6 con calidad de servicio (QoS).

Permite una cobertura de 2.5Km aproximadamente hasta 15 km mediante celdas.

Negación de servicio (DoS) a ataques.

Uso de antenas adaptativas (AAS) para permitir la máxima eficiencia espectral y de energía de ambos extremos de la comunicación.

Estándar nuevo. Capas PHY y MAC nuevas optimizadas para transporte de datos por paquetes y antenas adaptables.

Optimizado para movilidad completa y coexistencia con otras tecnologías de acceso inalámbrico.

Adicionalmente al modo 625k-MC propuesto por Kyocera en modo TDD el cual se basa en una interfaz aérea basada en HC SDMA, MBWA define dos perfiles en su modo *Wideband*:

-MBTDD (*Mobile Broadband Time Division Duplex*): Resultado de combinar las tecnologías iBurst (HC-SDMA) de Kyocera y QTDD de Qualcomm.

-MBFDD (*Mobile Broadband Frequency Division Duplex*): Es una evolución de QFDD de Qualcomm.

B.5. WiMAX.

Los dos estándares IEEE 802.16 más comunes son el estándar de WiMAX fijo (802.16d) y el estándar de WiMAX móvil (802.16e), ambos orientados a sistemas de acceso radio de banda ancha (BWA: *Broadband Wireless Access*) punto a multipunto que proporcionen a los usuarios tasas de transmisión elevadas (hasta casi 40 Mbps por canal) y puedan operar en condiciones NLOS (*Non Line Of Sight*) con radios de cobertura de varias decenas de kilómetros. Estos estándares pueden operar en bandas con y sin licencia.

El ancho de banda máximo que se puede conseguir está dado por la siguiente limitación teórica. Puede llegar hasta 37,7 Mbps en capa física y, con una eficiencia mayor del 90%, se llega a una tasa de 34,5 a 35 Mbps en la capa Ethernet para el mejor de los casos:

Ancho de banda de 10MHz, el máximo ancho de banda del estándar.

Modulación 64 QAM $\frac{3}{4}$. Es la que proporciona mayor tasa de transmisión, aunque es la menos robusta.

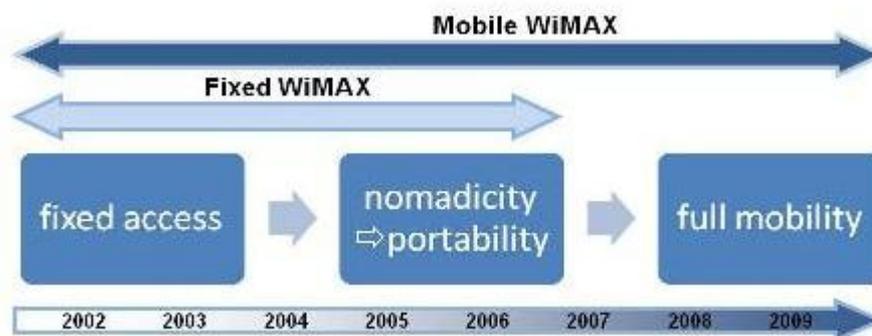
En WiFi el acceso aleatorio y un usuario más cercano al emisor puede quitarle el servicio a uno más lejano, mientras que la capa MAC de WiMAX está mucho más controlada. Se trata de un acceso totalmente determinista puesto que la estación base reserva los slots al principio de la trama (TDMA – *Time Division Multiplexing Access*, explicado en el apartado A.5 del anexo A), por lo que se garantiza la QoS.

Por otra parte, se dispone de la posibilidad de controlar desde la estación base cada equipo final desde la capa 3 del modelo OSI (*Open System Interconnection*) por MAC (*Media Access Control*). También en la estación base se puede asignar a cada suscriptor un ancho de banda propio e independiente del resto con diferentes prioridades para cada tipo de transmisión: datos, voz, vídeo... De esta manera, además de garantizarse QoS, el enlace se hace seguro frente ataques, inundaciones...

Para tomar la decisión de qué canal se va a utilizar dentro de la banda de frecuencias de actuación del equipo, se recomienda el uso de un analizador de espectro para encontrar una región libre de otras transmisiones en dicho canal, puesto que esta tecnología es muy vulnerable a interferencias. Posteriormente, se usan otras técnicas para la detección automática de interferencias para vigilar que no haya interferencias que pueden aparecer después de montar el enlace.

Los posibles escenarios de uso se dividen en nomádicos para soluciones fijas, dado que sí permiten cierta movilidad, pero sin llegar a los 120Km/h de los escenarios móviles que pueden soportar las soluciones móviles. Se aconseja línea de visión directa, pero funcionaría con pequeños obstáculos en la línea de visión (OLOS) y con reflexiones (NLOS). En estas condiciones y con antenas de 20dBi se llega a transmitir a distancias de 20Km sin descender la tasa de transmisión. Dichas antenas tienen ángulos de visión típicos de 60° y 90°, por lo que con 6 o 4 antenas en la misma torre respectivamente estaremos emitiendo en todas las direcciones como si usásemos una antena omnidireccional. Entre otras ventajas está la de ser muy configurable y que su latencia es del orden de los mseg.

En los últimos años WiMAX ha evolucionado del llamado estándar móvil al fijo:



Fuente: CEDITEC

Figura B.5.1. Evolución de WiMAX.

Es una especificación para redes metropolitanas inalámbricas (WMAN) de banda ancha desarrollada y promovida por el WiMAX Forum, un consorcio de empresas (inicialmente 67 y hoy en día más de 100) dedicadas a diseñar los parámetros y estándares de esta tecnología, y a estudiar, analizar y probar los desarrollos implementados. Como sucedió con la tecnología WiFi, que garantiza la interoperabilidad entre distintos equipos la etiqueta WiMAX se asociará globalmente con el propio nombre del estándar.

Esta tecnología de acceso transforma las señales de voz y datos en ondas de radio. Está basada en OFDM, con 256 subportadoras en WiMAX fijo y 1024 en el caso de WiMAX móvil. Permite la conexión sin línea vista, es decir, con obstáculos interpuestos, con capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 37 Mbps con una eficiencia espectral de 5,0 bps/Hz y dar soporte para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1,5 MHz a 20 MHz. Este estándar soporta niveles de servicio (SLAs) y calidad de servicio (QoS).

La publicación de algunas de las versiones más importantes es la siguiente:

802.16 (2002) - Utiliza espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz, necesita línea de visión directa (LOS), con una capacidad de hasta 70 Mbps (12 Mbps típica) en distancias de 3,22 a 8,05 kilómetros, soportando calidad de servicio (QoS). Además, como ventaja añadida, no requiere de torres LOS, sino únicamente del sencillo y económico despliegue de estaciones base (BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio de última milla punto-multipunto a unas 200 estaciones suscriptoras (SS) que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos. Su instalación es muy sencilla y rápida (culminando el proceso en dos horas) y su precio competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico como WiFi.

802.16a (2003) - Ampliación del estándar 802.16 a bandas de 2 a 11 GHz (con y sin licencia) y parte del cual es de uso común, con sistemas NLOS y LOS, y protocolo PTP y PTMP. Fue entonces cuando WiMAX, como una tecnología de banda ancha inalámbrica, empezó a cobrar relevancia. También se pensó para enlaces fijos, dado que

llega a extender el rango alcanzado hasta 45 km, operando con tasas de transmisión de hasta 70 Mbps (12 Mbps típica).

802.16b (2003) - Delimita redes de área metropolitana inalámbricas en bandas de frecuencia desde 10 a 60 GHz.

802.16c (2003) - Ampliación del estándar 802.16 para definir las características y especificaciones en la banda de 10-66 GHz.

802.16d (2004) - Revisión del 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles aprobados por el WiMAX Forum. Aprobado como 802.16-2004, la última versión fija del estándar. En Europa trabaja en la banda de 3,5 GHz, con una velocidad máxima de 75 Mbps y un rango de hasta 10 Km.

802.16e (2005) - Extensión del 802.16 que incluye la conexión de banda ancha nómada para elementos portables (ordenadores portátiles, PDA, móviles...), incluyendo handover. Su banda de actuación es de 2 - 3 GHz, con una velocidad máxima de 30 Mbps y un rango de hasta 3,5 Km.

802.16j (2009) Incluye la operación *Multi-hop Relay*.

P802.16m (2009) Interfaz avanzada con tasas de 100 Mbps en móvil y 1 Gbps en fijo.

En la actualidad están vigentes la 802.16d, perteneciente a las conexiones WiMAX fijas y la 802.16e, que regula las conexiones WiMAX móviles.

802.16e usa OFDMA escalable, soportando anchos de banda de entre 1.25 MHz y 20 MHz, con hasta 2048 subportadoras. Soporta modulación adaptativa y codificación, así que en buenas condiciones de señal se usa eficientemente un esquema de codificación 64 QAM, mientras que si la señal es más pobre se puede usar un mecanismo de codificación más robusto como BPSK. Para condiciones intermedias también pueden usarse 16 QAM y QPSK. Otras características físicas incluidas son antenas *Multiple-in Multiple-out* (MIMO) para proveer de NLOS (*Non-line-of-sight*) y un mayor ancho de banda y *Hybrid automatic repeat request* (HARQ) para un mayor funcionamiento de corrección de errores.

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

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

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

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

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

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

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

Las redes WiMAX son redes que trabajan bajo la tecnología NLOS (es decir, que no necesitan tener una línea de visibilidad entre las antenas) a frecuencias más bajas (2 – 11 Ghz), pero en la práctica este sistema solo permite atravesar pequeños obstáculos (una casa pequeña, árboles, pequeños muros), pero no puede atravesar obstáculos mayores, como un edificio o una montaña. Además, cuando no hay una línea de visión directa (LOS) entre ambos, tanto la velocidad como la distancia (rango) se reducen notablemente. En este sentido les ocurre lo mismo que a las redes WiFi.

Para una transmisión a distancias mayores (en teoría puede llegar hasta los 50 Km) es necesario que las antenas tengan una línea de visión directa (LOS) y se usa una banda de frecuencias más alta. Así se consigue una transmisión más estable y robusta, con una mayor tasa de transmisión de datos, ancho de banda mayor, menos interferencias y, por tanto, una menor tasa de error.

Resumiendo, las principales ventajas de las redes WiMAX son:

- Facilidades para añadir más canales.
- Anchos de banda configurables y no cerrados, con la flexibilidad implícita de poder usar variedad de bandas, licenciadas o no.
- Soporte nativo para calidad de servicio (QoS)
- Seguridad

- Soporte de topología punto-multipunto o de malla basadas en estándares.
- Es escalable.
- Modulación OFDM por lo que tiene la posibilidad de usar diferentes tamaños de la FFT y diferentes canalizaciones.
- Distancias de transmisión de km. incluso sin línea de vista.
- Buena tasa de bits/segundo/HZ en distancias largas.
- Interoperabilidad de quipos WiMAX-Certified (certificación de compatibilidad), lo que permite a los operadores comprar dispositivos de más de un vendedor.

Como conclusión, son redes más rápidas, seguras y estables que las redes WiFi y, si se trata de redes privadas, más económicas que la creación de una red de cable o fibra.

B.6. COFDM.

COFDM es una mejora de OFDM para canales muy selectivos o variantes ya que puede soportar multitrayecto severo, la presencia de interferencias de banda estrecha de co-canal, la cancelación de la señal, el ruido de impulsos y la reducción rápida de la amplitud de la señal. La codificación (la “C” en COFDM) es el ingrediente clave. Sin embargo, los resultados deseados solo se logran cuando la codificación se integra estrechamente con el sistema de OFDM junto con el entrelazamiento de portadoras.

Las características comunes de COFDM y OFDM son:

- La ortogonalidad.
- Los esquemas de modulación de las portadoras.
- La adición del intervalo de Guarda.
- La sincronización.
- La ecualización.

Aunque la ortogonalidad y los esquemas de modulación de las portadoras son propios de OFDM, la adición del intervalo de guarda, la sincronización y la ecualización ya son mejoras pertenecientes de OFDM. Las mejoras de COFDM sobre OFDM son:

- La codificación contra errores.
- El entrelazamiento de las portadoras de datos en frecuencia o en tiempo y frecuencia.
- La información de estado del canal (*Channel State Information*) combinado con la decodificación con decisión Flexible (*Soft-Decision Decoding*) para incrementar el desempeño del codificador de Viterbi.

Tener una menor tasa de símbolos por portadora se traduce en un periodo de símbolo más grande, lo que proporciona protección contra los ecos producidos por los múltiples caminos que toma la señal en su propagación. Este caso se da frecuentemente en las grandes ciudades, donde se puede recibir una señal directa del transmisor más una cierta cantidad de señales retardadas por las reflexiones con los edificios.

El hecho de tener un gran número de portadoras sobre las que se distribuye la información proporciona una protección contra interferencias co-canal, ya que si se

pierde la información de una portadora debido a estas interferencias se pierde una pequeña porción de información que no tiene por qué ser relevante para la calidad de la transmisión.

La señal modulada tiene un intervalo de guarda, que es un período en el que la señal se mantiene constante, repitiendo un símbolo. De esta forma las señales que lleguen con un retardo menor que ese tiempo de guarda se pueden aprovechar como señales constructivas para mejorar la recepción.

Bloques de la modulación COFDM:

Modulación QPSK: la trama se distribuye en 1536 portadoras (en modo 1), que cada una de ellas están moduladas QPSK a la correspondiente baja velocidad. Las portadoras están colocadas de forma que una no influya en las demás. Como resultado, el periodo de cada símbolo que se obtiene es considerablemente superior que cualquier retardo de señal.

Intervalos de Guarda: la modulación emplea una técnica que consiste en habilitar un cierto intervalo temporal que se añade al intervalo de tiempo necesario para la transmisión de un supersímbolo.

Codificador de Convulsión: compuesto por dos elementos: un código convolucional y un *scrambler*. El funcionamiento del código convolucional está basado en registros de memoria (de capacidad un bit) y sumas módulo dos. La codificación de los bits se realiza a partir del valor del bit presente a la entrada y los valores de los m bits anteriores que están guardados en los registros.

El *scrambler* (aleatorizador): Introduce un cierto desorden de manera que las portadoras adyacentes no sean moduladas por datos consecutivos. Si se produce una pérdida de información llevada por portadoras adyacentes, al deshacer el desorden debido al aleatorizador, el error debido a cada portadora queda aislado, acortándose la longitud de la ráfaga.

FFT (Transformada Rápida de Fourier): después de la asignación de información a las subportadoras, se lleva a cabo la transformación rápida de Fourier, obteniéndose la banda base DAB que está disponible como una señal en fase (I) y en cuadratura (Q), es decir, una vez que se tienen todos los datos distribuidos en frecuencia, el siguiente paso que establece la norma es la aplicación de la FFT Inversa (IFFT) con lo cual, a partir de este punto, se pasa a trabajar en el dominio temporal.

Funcionamiento del COFDM:

La modulación COFDM realiza una división del canal de transmisión tanto en el dominio de la frecuencia, como en el dominio del tiempo. En el dominio de la frecuencia es en sub-bandas estrechas de frecuencia, y en el dominio del tiempo se divide en un conjunto de segmentos de tiempo.

Cada parte resultante de la división frecuencia/tiempo tendrá una portadora.

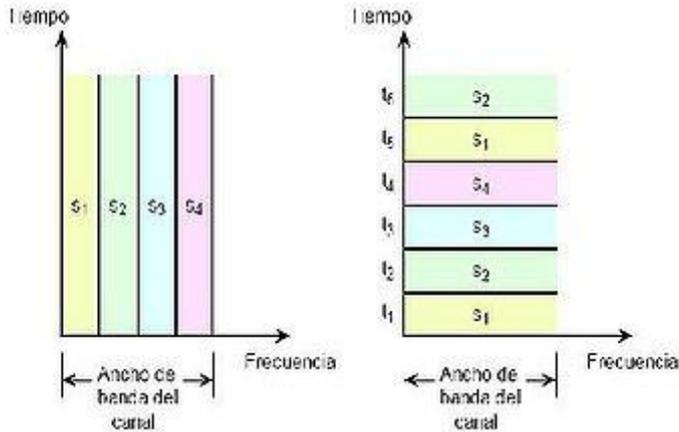


Figura B.6.1. División frecuencial y temporal.

El estándar COFDM define diferentes posibles modos de transmisión según el número de portadoras utilizadas, 2K (2.048 portadoras), 8K (8.192 portadoras) ... En cada segmento de tiempo las subportadoras son moduladas en QPSK ó 16-QAM. Un conjunto de subportadoras en un instante determinado, forman un símbolo COFDM. En un símbolo COFDM, para evitar la interferencia entre portadoras, las subportadoras se separan ortogonalmente, es decir, el espacio entre subportadoras será igual a la inversa del tiempo de símbolo. Gracias en eso cada subportadora té un pico en la frecuencia en la que está centrada, y se anula donde la tienen las otras frecuencias. De esta manera las interferencias entre las diferentes subportadoras se anulan para poder así utilizar subportadoras muy próximas.

Como consecuencia de la distribución de los datos en las portadoras la tasa de símbolos en cada una de ellas es mucho más baja que si se utilizara un sistema de portadora única.

Las ondas transmitidas pueden realizar recorridos diferentes provocando que en el receptor se reciba el mismo símbolo varias veces con cierto retraso, o bien que se produzcan interferencias entre símbolos próximos. Para evitar eso, se utiliza el intervalo de guarda.

Intervalo de Guarda: Si en una transmisión COFDM nos fijamos en dos símbolos próximos, símbolo n y símbolo $n+1$ en el dominio del tiempo, primero transmitimos el símbolo n y cuando hemos acabado, empezamos a transmitir el símbolo $n+1$.



Figura B.6.2. Esquema del tiempo de guarda.

Si debido a ecos por múltiples trayectos se generan diferentes trayectorias en el receptor, recibiremos los símbolos tantas veces como trayectorias lleguen. La primera

señal recibida será la que realice la trayectoria más directa entre el emisor y el receptor, y a consecuencia tendrá el mínimo retraso respecto a la señal emitida. El receptor coge el símbolo y lo desmodula en el momento de empezar la demodulación del siguiente símbolo $n+1$, con lo cual que el receptor se encontrará interferencias debidas a la recepción de partes del símbolo n que han llegado más tarde por otros trayectos. Con el fin de evitar este tipo de interferencias, en el emisor se inserta un intervalo de tiempo después de la transmisión de cada símbolo, denominado intervalo de guarda. Durante este tiempo el receptor ignorará las señales recibidas. Este tiempo del intervalo de guarda tiene que ser superior al máximo retraso que se produzca por múltiples trayectos, pero tiene que ser inferior al tiempo que dura un símbolo. Con eso evitaremos las interferencias.

B.7. Tecnologías futuras, la 4G.

En realidad, las únicas tecnologías calificadas como 4G son la futura versión de LTE, llamada *LTE-Advanced*, y la próxima generación de WiMAX, oficialmente conocida como IEEE 802.16m o *WirelessMAN-Advanced*, de acuerdo con la decisión del Sector de Radiocomunicaciones de la UIT. Y ninguna de ellas estará disponible comercialmente hasta 2014 ó 2015, porque, según la UIT, la velocidad de descarga proyectada para 4G es de 100 Mbps en situaciones de alta movilidad y de 1Gbps en movilidad limitada.

Por tanto, ni LTE ni WiMax, publicitadas ambas como 4G durante años, pueden reclamar para sí tal categoría. Las dos son redes IP de extremo a extremo y emplean la tecnología OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access*).

La tecnología que se está implantando en España más cercana a la 4G son las redes HSPA+, que ofrecen a los *smartphones* una velocidad de descarga media de 5 Mbps y de 12 Mbps a los portátiles. En comparación, el servicio WiMAX de Clearwire, también comercializado por Sprint Nextel, proporciona velocidades medias de 3 a 6 Mbps, mientras que Verizon Wireless asegura que la red LTE que abrirá al público a finales de año garantiza una capacidad de 5 a 12 Mbps.

B.7.1. LTE.

La telefonía móvil está evolucionando a la cuarta generación, caracterizada por una cobertura dividida en femtoceldas y funcionando con modulación OFDM, que implica las ventajas comentadas anteriormente. Las mejoras respecto a la 3G son:

Mayores tasas binarias de pico, 100 Mbps en canal descendente y 50 Mbps en canal ascendente. aunque hay que tener en cuenta que si hay varios usuarios la tasa se reduce más allá de la repartición equitativa, puesto que hay que realizar el control de acceso al medio.

Se reduce la latencia y posee mayor capacidad para la voz.

Aumenta la eficiencia espectral y la eficiencia cobertura/potencia.

Usa antenas MIMO, antenas inteligentes que, con cálculo de microelectrónica, duplican la tasa de transmisión sin aumentar el espectro usando dos antenas para transmisión y dos para recepción. Además se hace más robusto frente a rebotes, interferencias...

Se pretende realizar una estandarización de frecuencias mundial.

Las redes son inteligentes, autogestionadas ante caídas de nodos y existe la posibilidad de controlar los servicios, calidad y destinatarios, eficientemente.

Soportan QoS, una de las mayores ventajas frente a 3G para el problema tratado en este PFC.

En cuanto a sus problemas cabe destacar que al basarse en el uso de femtoceldas, aunque en algunos casos aprovecha emplazamientos de GSM, existe el problema de *Backhaul*, cómo llevar la señal a los nuevos emplazamientos. Y además la señal decae notablemente en los bordes de la celda, por lo que el número de femtoceldas ha de ser muy elevado.

B.7.2. WiMAX 802.16m.

Aunque la tecnología LTE se está imponiendo a la WiMAX, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), creadores de WiMAX, y sus propulsores de la industria se están moviendo para actualizar el estándar a tiempo para un lanzamiento comercial en Estados Unidos a partir de 2012.

El IEEE ha estado desarrollando un nuevo estándar, 802.16m, conocido como WiMAX 2, desde 2006. Mientras tanto, en el Foro WiMAX un grupo de la industria está trabajando en un perfil de certificación 802.16m que espera tener listo para cuando el IEEE termine su trabajo.

Además, durante el 2010, un grupo de grandes compañías, entre las que se encontraban Intel, Motorola y Samsung, anunció una nueva iniciativa para acelerar la interoperabilidad de 802.16m, con el objetivo de probar las aplicaciones en forma conjunta sobre WiMAX y 4G y realizar las pruebas de interoperabilidad.

802.16m será significativamente más rápido que su predecesor. Mohammad Shakouri, vicepresidente del WiMAX Forum, ha señalado que el objetivo es que el nuevo estándar presente velocidades de bajada en promedio de más de 100 Mbps, aunque no se espera que amplíe el radio de alcance más allá de la tecnología actual.

802.16m también será compatible con 802.16e, el estándar que actualmente utilizan los operadores en los Estados Unidos, lo que permitirá una actualización con unos costes menores.

Anexo C:

Soluciones en el mercado actual.

Algunas soluciones del mercado actual para la transmisión de señales audiovisuales basadas en las tecnologías explicadas anteriormente y alternativas al satélite o COFDM ya usados por Aragón TV son:

Soluciones WiMAX:

EMBOU, la empresa aragonesa de WiMAX tienen radioenlaces por todo el territorio aragonés, por lo que podría contratarse dicho servicio en caso de que en un momento concreto no fuera posible con la red REPITA (Red Pública de Infraestructuras de Telecomunicaciones de Aragón), que se explica en el apartado 1.1.3.

Clearwire, una de las operadoras con banda licenciada en 3.5 GHz está diseñando una red WiMAX en Zaragoza con una banda propia reservada para la policía municipal de Zaragoza y el resto para uso doméstico previo contrato. En una primera fase, la destinada a la policía municipal, se han planificado 17 estaciones base creando una red de 33 a 40 sectores en los que junto a la estación base se obtienen unos 20 Mbps. En las siguientes fases se pretende dar una cobertura total a Zaragoza, con una serie de nuevas estaciones base y repetidores, con el problema de que en cada retransmisión, de unos 100 m, se pierden unos 6 Mbps de ancho de banda.

Telconomics (Consultoría Global de Telecomunicación) despliega una plataforma radio TMAX®, que opera en configuración punto a multipunto en alta frecuencia (28 GHz) soportando un flujo bidireccional de banda ancha (175 MHz). Por su parte, Digilink también posee la solución propietaria Mascarell Microwaves.

CITYNET es una empresa dedicada al despliegue y mantenimiento de redes de fibra óptica por el alcantarillado de las ciudades. En Zaragoza están planeados 200 Km de fibra a lo largo de 85 centros municipales. Para alcanzar esta cifra no sólo se está utilizando la red de CITYNET, sino que se están aprovechando las obras del tranvía, nuevas instalaciones...

Redes WiFi (*Wireless Fidelity*) públicas, en las que se asocia el SSID (*Service Set Identifier*) de la comunicación entre *routers* a una VLAN (Virtual LAN, red de área local virtual), de manera que se crean redes lógicamente independientes dentro de la misma red física. A pesar de que no se puede garantizar QoS (*Quality of Service*), se hicieron pruebas con éxito de transmisión de vídeo en la Plaza del Pilar (Zaragoza) con una cámara IP (*Internet Protocol*) y un módem Ruckus en el 2009.

Por último, existen tres soluciones completas muy similares entre sí, pero propietarias de tres empresas privadas distintas, basadas en telefonía móvil de las siguientes generaciones: 3G, 3G+ y 4G. Todas ellas proporcionan movilidad total, sin necesidad de un técnico. Además, incluyen un disco duro para guardar el vídeo y así evitar el traslado de cintas al registro entre transmisiones consecutivas. Las tres soluciones y sus correspondientes empresas desarrolladoras son las siguientes:

LiveU de MEDIAPRO y Park 7: Solución basada en 6 conexiones 3G, 2 por operador nacional: Movistar, Vodafone y Orange o conexiones WiFi. Puede alcanzar tasas de 1 a 2 Mbps (SDTV) usando los *codecs* MPEG-4 o H.264 para *broadcast* TV y WME (*Windows Media Encoder*) para aplicaciones de internet. No se puede garantizar el canal y para tasas superiores a los 2 Mbps se pixela o se precisa un gran buffer, por lo que el retardo hace inviable el uso en directos con interlocutor en plató. Como no es un único producto que se compra, sino un servicio que se contrata a la empresa, se encarece la solución, aunque no tanto como el satélite.



Figura C.1.1. Solución LiveU de Mediapro y Park 7.

WENG de Movistar: Requiere cuatro o más conexiones usando la tecnología de mayor capacidad disponible en cada zona (HSUPA, HSDPA o UMTS) para permitir en cada momento a la unidad móvil transmitir imagen y sonido con la máxima calidad posible. El resto de características coinciden con el anterior, excepto que carece del *codec* WME para aplicaciones de internet.

DMNG de AVIWEST: Basado en 4 conexiones 3G, 3G+, WiFi o WiMAX, está dotado de compresión únicamente de H.264 e incluye canal de retorno. Igualmente se pixela o retarda para tasas superiores a los 2 Mbps, pero en este caso no se contrata un servicio, sino que se compra el equipo, por lo que la solución es más económica que las anteriores.

Anexo D:

Emisión y captura.

D.1. Uso del VLC.

El servidor utilizado para emitir *streaming* de video es VideoLAN, un servidor de *streaming* de vídeo *open source* (de código abierto).

Para empezar debemos instalar el VLC en el ordenador de origen y en el de destino, conectados al cliente y a la estación base WiMAX respectivamente.

El proceso de emisión llevado a cabo para realizar la emisión de vídeo con el protocolo RTP con el software VLC se realiza en el equipo conectado al cliente y es el siguiente:

- 1- Accedemos al submenú Medio - Emisión:

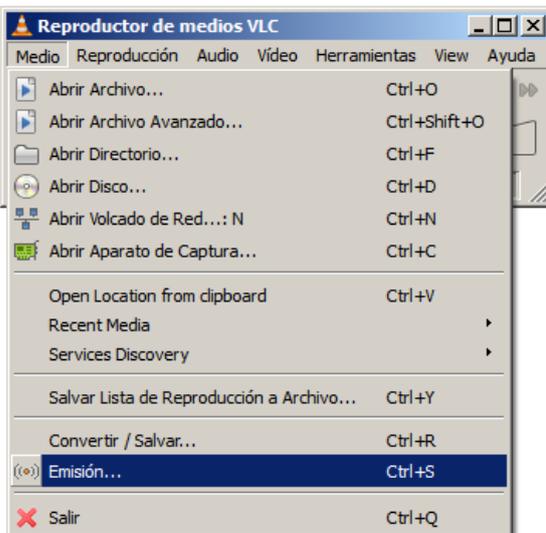


Figura D.1.1. Paso 1 de la emisión de vídeo con el protocolo RTP con el software VLC.

- 2- Añadimos el archivo de vídeo y pulsamos “Emisión”:

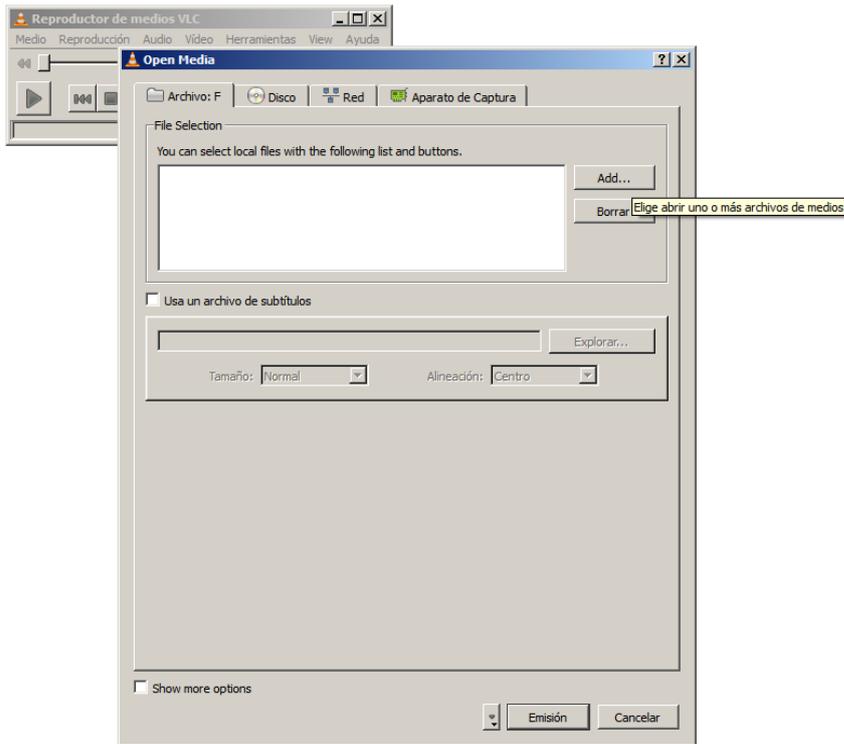


Figura D.1.2. Paso 2 de la emisión de vídeo con el protocolo RTP con el software VLC.

3- Pulsamos en “Siguiente”:

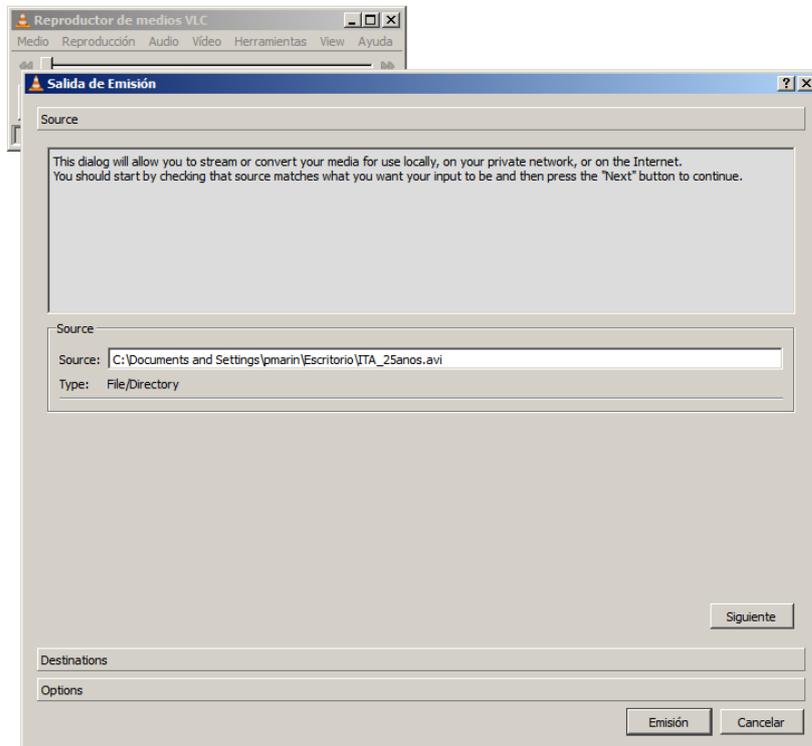


Figura D.1.3. Paso 3 de la emisión de vídeo con el protocolo RTP con el software VLC.

4- Elegimos el protocolo deseado, en nuestro caso RTP, por lo que debemos insertar la dirección rtp://IPdelequipedestino y especificar el puerto deseado.

Si se desea, podemos marcar “Display locally” para que se reproduzca en el equipo emisor simultáneamente al envío.

Por otro lado, si queremos recodificar el archivo de vídeo, seleccionaremos la codificación que se desee para el vídeo y para el audio y se activa la casilla transcodificación.

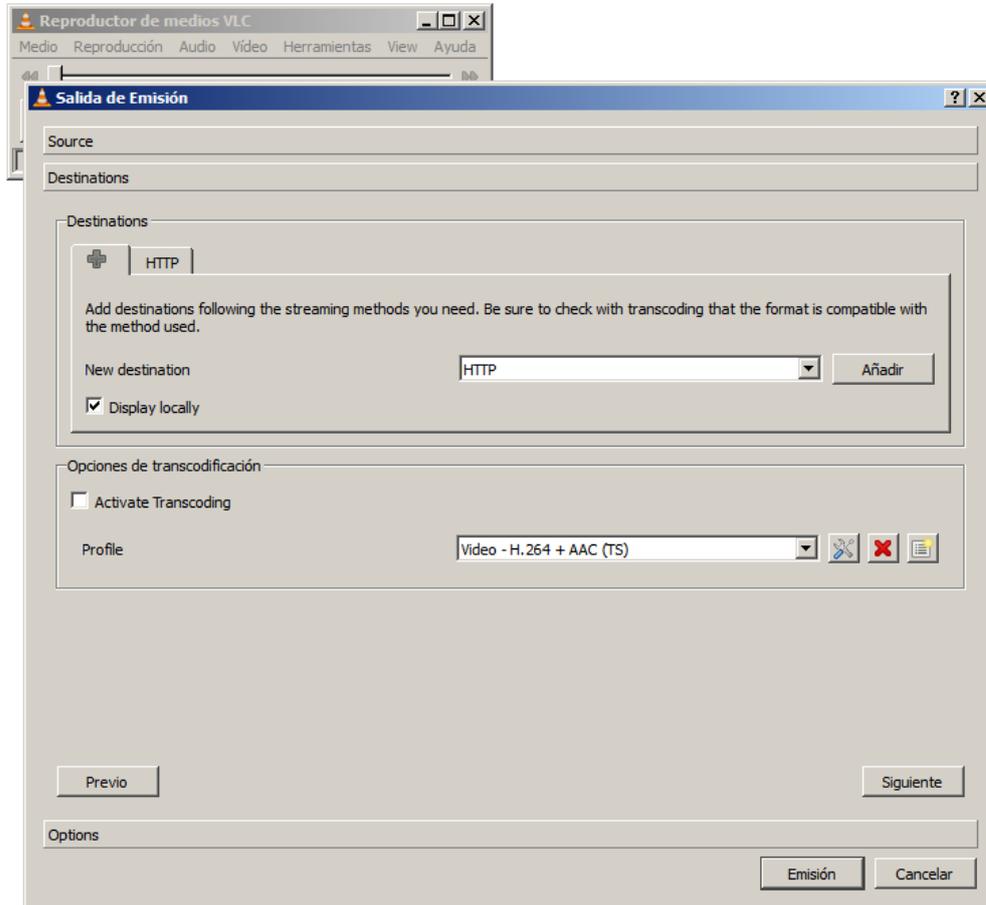


Figura D.1.4. Paso 4 de la emisión de vídeo con el protocolo RTP con el software VLC.

5- Por último, se presiona en Emisión para empezar a emitir.

Por su parte, el proceso de recepción se realiza en el equipo conectado a la estación base y consta de un único paso.

1- Entramos al submenú Medio – Abrir volcado de red e introducimos la siguiente dirección, especificando el puerto decidido en la emisión (en nuestro caso es el 5004): rtp://@:Puerto

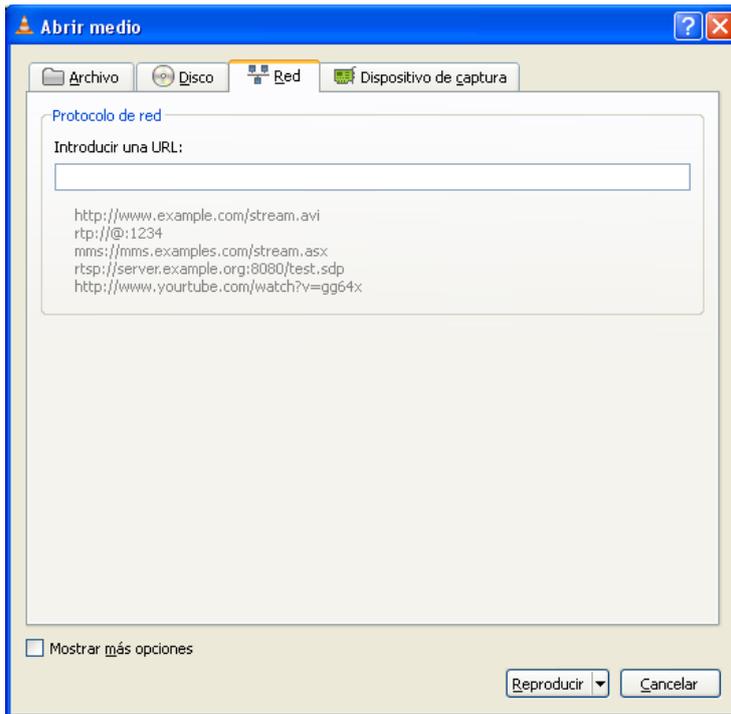


Figura D.1.5. Recepción del vídeo.

También cabe resaltar que debido al funcionamiento del VLC, se pierde parte de la recepción de la secuencia de vídeo. Como el VLC para la reproducción en cuanto no recibe más señal emitida, se pierde el fragmento de vídeo que en dicho momento se estuviera almacenando en el búfer. Esto provoca que en la recepción de los vídeos de alta tasa (ya sea por una alta resolución, mucho movimiento de píxeles o una menor codificación), se precisa mucho almacenaje en el búfer y se pierde más tiempo de secuencia. En el equipo WiMAX también se aprecia un búfer mayor que en el preWiMAX para iguales condiciones. Esto no se debe valorar negativamente porque no es un problema en un directo real en el que la transmisión comienza antes de conectar con el directo y finaliza después.

D.2. Capturadora HD Blackmagicdesign.

- 1- Conectamos la salida HDMI de nuestro PC1 a capturar a la capturadora.
- 2- Conectamos la capturadora por medio de un USB 3.0 a un PC2 donde guardaremos la captura.
- 3- Configuramos en el PC1 extensión de escritorio dual a una resolución de 720p y 60Hz. Para ello entramos al Nvidia Control Panel y en Pantalla - Cambiar configuración del escritorio - Cambiar atributos de resolución. Elegimos el "monitor de salida" (en realidad se refiere a la salida HDMI y lo llama BMD HDMI) y elegimos la resolución, calidad de color y frecuencia de refresco que nos interese.

- 4- Configuramos en el Blackmagic Control Panel desde Panel de control del PC2 la entrada HDMI para vídeo y audio.
- 5- Finalmente, abrimos en el PC2 el software Blackmagic Media Express y en el submenú *Edit - Preferences* establecemos el mismo *Project Video Format* que hemos elegido en el PC1, en nuestro caso: HD 720p 60Hz.

Anexo E: Equipos estudiados y/o utilizados en el proyecto.

E.1 Equipo preWiMAX fijo en banda libre de Alvarion.

E.1.1. Configuración de la red.

- 1- Cambiamos la IP de la red local de nuestro PC portátil y del sobremesa a la red del cliente: 10.0.0.x (excepto la 1, que es la del cliente y la de la estación base por defecto). Tomamos por ej. la 10.0.0.10 en el portátil conectado a la estación base y la 10.0.0.100 en el Macbook conectado al cliente.
- 2- Desde una ventana de DOS accedemos por Telnet al equipo WiMAX poniendo: telnet 10.0.0.1
- 3- Y entramos como administrador con la contraseña por defecto “private”.
- 4- Aquí podemos consultar y modificar los parámetros que deseemos moviéndonos por el menú presionando el número del submenú al que queremos acceder y presionando escape para volver al nivel anterior.

E.1.2. Configuración del equipo.

En este menú podemos mostrar y modificar los parámetros de rendimiento en el submenú: *Advanced Configuration – Performance Parameters*.

Debemos especificar que hemos conectado a nuestra estación base una antena de una ganancia de 17dBi.

En las hojas de características de la estación base, dice que para una antena de 16,5 dB la potencia máxima transmitida es de 28 dBm, que calculándolo en lineal, $10^{(28-30)/10}$, obtenemos unos 630 mW aprox. En nuestro caso el valor logarítmico asciende a 28,5 dBm, que en lineal se corresponderá a $10^{(28,5-30)/10}$, unos 708 mW.

En la configuración de la estación base podemos controlar la potencia de transmisión, así que no tenemos por qué emitir al máximo de potencia, aunque sí que sería útil para ver la capacidad máxima de los equipos en las pruebas que queremos realizar.

E.1.3. Monitorización.

Podemos ver las tramas recibidas, descartadas, retransmitidas... en el submenú: *Site Survey – Traffic Statistics – Display Counters*.

Y para volver a poner a 0 estos valores y poder medir desde dicho momento: *Site Survey – Traffic Statistics – Reset Counters*.

Por otra parte, podemos cuantificar el ruido del sistema en: *Site Survey - Continuous Noise Floor Display*, obteniendo un valor del nivel de ruido y otro del ratio señal a ruido.

Las modulaciones van desde la 1 hasta la 8, cambiando automáticamente dependiendo del valor de la SNR, siendo la más robusta y, por tanto, la que da mejores prestaciones de distancia, la 1 y la que da mejores prestaciones de tasa, la 8.

E.2. Equipo WiMAX móvil estándar en banda licenciada de Motorola.

E.2.1. Configuración de la red.

- 1- Hacemos un ping de nuestro PC portátil al cliente.
- 2- En caso de que no pueda acceder, cambiaremos la IP de la red local de nuestro PC portátil a la red del cliente: 192.168.4.x (excepto la 20, que es la del cliente. Por ej. la 100).
- 3- Para asegurar que funciona correctamente hacemos otro ping o conectarnos desde el explorador web al SNMP *WiMAX Mobile Station* del cliente introduciendo como dirección su IP: 192.168.4.20 y usuario/contraseña: admin/admin.
- 4- Configuramos la dirección del Gateway de la red local como la dirección IP del cliente que tenemos cableado en red local, para que lo use como puerta de salida de esa red.
Finalmente quedará así:

The image shows a network configuration window with two main sections. The first section is for IP configuration, where the radio button 'Usar la siguiente dirección IP:' is selected. Below it, three text boxes contain the values: 'Dirección IP: 192 . 168 . 2 . 100', 'Máscara de subred: 255 . 255 . 255 . 0', and 'Puerta de enlace predeterminada: 192 . 168 . 2 . 101'. The second section is for DNS configuration, where the radio button 'Usar las siguientes direcciones de servidor DNS:' is selected. Below it, two text boxes are present: 'Servidor DNS preferido:' and 'Servidor DNS alternativo:', both containing three dots as placeholders.

Figura E.1.1. Configuración de la red local del equipo conectado el cliente.

- 5- Comprobamos que funciona haciendo un ping a un elemento de esa misma red que se enrute a través del cliente WiMAX.
- 6- Si perdemos la conexión a internet habrá que mirar la tabla de rutas (route print), ver por qué ruta se llega a determinadas IP (tracert "IP destino") y eliminar (route delete "IP origen") y añadir (route add "IP origen" Mask "máscara" "IP destino") como convenga para que las conexiones a internet las realice a través de la red inalámbrica WiFi y no de la red cableada local.
- 7- Hacemos un ping del Macbook a la estación base.
- 8- En caso de que no pueda acceder, cambiamos la IP de nuestro PC de sobremesa a la red de la estación base: 192.168.2.x (excepto la 101, que es la de la estación base. Por ej. la 100).
- 9- Para asegurarnos podemos hacer otro ping o conectarnos desde el explorador web al software AP Web Admin de la estación base introduciendo como dirección su IP: 192.168.2.101 y usuario/contraseña: admin/admin.
- 10- Configuramos la dirección del Gateway de la red local como la dirección IP de la estación base que tenemos cableado en red local, para que lo use como puerta de salida de esa red.
Finalmente quedará así:

Obtener una dirección IP automáticamente
 Usar la siguiente dirección IP:

Dirección IP:
 Máscara de subred:
 Puerta de enlace predeterminada:

Obtener la dirección del servidor DNS automáticamente
 Usar las siguientes direcciones de servidor DNS:

Servidor DNS preferido:
 Servidor DNS alternativo:

Figura E.1.2. Configuración de la red local del equipo conectado a la estación base.

- 11- Comprobamos que funciona haciendo un ping a un elemento de esa misma red que se enrute a través del cliente WiMAX.
- 12- Desde el cliente tenemos que dar al portátil acceso a la red externa, dado que hace de zona desmilitarizada (DMZ) que debe dar permiso a las IP que desee, en este caso la de nuestro portátil:

Dirección IP de host:

Figura E.1.3. Configuración de la DMZ del cliente.

- 13- Por último hemos de ir al apartado “Port Forwarding” de la configuración del cliente y repetir el puerto que deseemos (en nuestro caso hemos añadido el 5004 por ser el que usamos en el envío del protocolo RTP), de manera que lo que enviamos por este puerto a la dirección inalámbrica del cliente éste lo redirige a dicho puerto del PC que tenemos conectado a él (en nuestro caso el portátil). La manera de hacer esto es como sigue:

No.	WAN Port		LAN IP Address	LAN Port		Protocol	Enable
	Begin	End		Begin	End		
1	<input type="text" value="5004"/>	<input type="text" value="5004"/>	<input type="text" value="10.1.1.100"/>	<input type="text" value="5004"/>	<input type="text" value="5004"/>	<input type="text" value="UDP"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura E.1.4. Configuración de la continuación de puertos en el cliente.

Por seguridad el cliente tiene restringido el acceso a la IP de la estación base para que éste no pueda cambiar su configuración, pero si puede acceder a los equipos de su red a través de ella.

Otra posibilidad sería cambiar la máscara de manera que estemos en la misma red (255.255.0.0), por lo que no hará falta la puerta de salida (*gateway*), puesto que no hay

que salir a otra red. El problema puede ser que el cliente intente saltar a otra red para ir a la estación base y no puede porque estarían en la misma.

E.2.2. Configuración del equipo.

La estación base es muy configurable. Nosotros nos centramos en los siguientes parámetros:

- 1- En el menú *Configuration - Air Interface* especificamos la frecuencia deseada (misma que en cliente) en MHz y el ancho de canal deseado eligiendo entre 3,5, 5, 7 y 10 MHz. En nuestro caso la licencia la obtuvimos para un canal de 10 MHz (el máximo estándar de WiMAX) a partir de 3495 MHz.
- 2- En este mismo menú también seleccionamos la potencia de emisión, sin olvidar especificar que estamos usando una antena de 17 dBi (que corresponde a una ganancia $10^{17/20} = 7,08$ en lineal). El fabricante recomienda una potencia máxima de emisión de 28 dBm para no saturar el equipo. Haciendo el cálculo ($10^{(28-30)/20}$), se corresponde con una potencia de 800 mW aprox. en lineal.
- 3- Por último, también en el menú *Configuration - Air Interface* elegimos el ratio *DownLink/Uplink* entre un 75-25% o un 65-35%. Asignamos el 65-35%, por ser el que proporciona un mayor ancho de banda del canal ascendente.
- 4- En el menú *Internal AAA - Authorized CPE List* introducir la MAC de nuestro cliente en la lista de autorizados.
- 5- También en el menú *Internal AAA* introducir el flujo *downLink* y *upLink* de nuestro CPE especificando su MAC y dos *SF Index* diferentes para que pueda comunicarse con la estación base.
- 6- En el menú *Configuration - DHCP Server - Dynamic Pools* elegir el rango de IP's de clientes que va a buscar y la IP del *Gateway* por defecto.
- 7- Una vez terminado de modificar menús hay que guardar pulsando sobre el icono de disquete de la esquina superior derecha.

El cliente es mucho menos configurable. En él sólo modificamos su frecuencia a la misma que hayamos configurado en la estación base, 3495 MHz.

E.2.3. Características de la red desde el cliente.

En la monitorización del cliente podemos ver el estado de la red una vez conectada:

LAN
 Tipo: Static
 IP: 10.1.1.254

Máscara de red: 255.255.255.0
 Dirección MAC: 64:ED:57:10:01:A7
 Bytes de RX: 433936
 Bytes de TX: 656348
 Paquetes de RX: 2895
 Paquetes de TX: 2391

WAN

Tipo: DHCP
 IP: 192.168.4.20
 Máscara de red: 255.255.255.0
 Gateway: 192.168.4.1
 Dirección MAC: 64:ED:57:10:01:A6
 Bytes de RX: 3360
 Bytes de TX: 36142
 Paquetes de RX: 16
 Paquetes de TX: 459

DHCP Client List

N.º	IP	Dirección MAC	Expire Time
1	10.1.1.2	00:1F:29:7B:03:FA	2011/01/30 18:52:29

E.2.4. Características del tráfico desde el cliente.

De igual manera que en el caso anterior, en el cliente también se monitoriza el estado de la transmisión:

Frecuencia: 3495MHz Ancho de banda: 10MHz
 BSID: 00:01:02:03:04:05
 Estado: OPERATIONAL
 Tiempo de actividad: 00:52:14

E.2.5. Monitorización.

En el menú *Performance Monitor – Active Service Flows* vemos cómo aumenta el contador de paquetes y de bytes al hacer un ping del CPE a la estación base.

E.3. Analizador de calidad subjetiva TEKTRONIX PQA500:

El PQA500 toma dos archivos de vídeo como entrada: una secuencia de vídeo de referencia y ese mismo vídeo tras ser codificado, decodificado y/o recibido. En primer lugar, el equipo realiza un alineamiento espacial y temporal entre las dos secuencias. Después, analiza la calidad del vídeo a testear, utilizando mediciones basadas en el sistema de visión humana, entre otros modelos, y de esta manera la calidad de las medidas están altamente correladas con las evaluaciones subjetivas.

Las dos entradas debían ser SDI, por lo que precisábamos de dos reproductores con salida SDI que reprodujeran simultáneamente la secuencia original y una grabación de la señal recibida. Como no nos fue posible conseguirlos, tuvimos que desestimar el uso de este equipo.

Los resultados que pueden obtenerse son medidas de calidad general, medidas fotograma a fotograma y un mapa de deterioro del valor de cada fotograma. El PQA500 también proporciona medidas tradicionales de calidad de imagen como PSNR (pico de la relación señal / ruido), una medida referencia en la industria de herramientas de diagnóstico para medir alteraciones típicas en la transmisión de señal.

Los vídeos soportados pueden ser clips de larga duración o sometidos a varios procesos de conversión y cada secuencia de vídeo de referencia y el vídeo a prueba puede tener diferentes resoluciones y frecuencia de fotogramas. Por ejemplo, se puede realizar una medida de calidad de imagen entre HD vs SD, SD vs CIF, o cualquier otra combinación.

En cuanto al sistema de visión humana, el equipo tiene en cuenta los tipos de visualización diferentes para ver el video (por ejemplo, entrelazado o progresivo y CRT o LCD) y las diferentes condiciones de visualización (por ejemplo iluminación de la habitación, y la distancia de visualización).

El modelo del sistema de visión humana ha sido desarrollado para predecir la respuesta ante estímulos de luz con respecto a los siguientes parámetros:

Contraste, incluyendo por encima del umbral humano.

La media de la luminancia.

Frecuencia espacial.

Frecuencia temporal.

Medida angular.

Medida temporal.

Excentricidad.

Orientación.

Efectos de adaptación.

E.4. Equipos usados en el resto de la cadena del piloto.

E.4.1. Generación de vídeo.

Opción 1: Disco duro multimedia con salida en componentes.

Opción 2: Cámara profesional Sony XDCAM PDW510 de Aragon TV con salida en componentes con posibilidad de módulo extra para salida SDI o cámara HD Panasonic AVC con salida SDI.

Opción 3: Magnetoscopio XDCAM portátil con salida SDI de Aragón TV. No es más que un reproductor de discos XDCAM, los mismos que usan las cámaras profesionales.

Opción 4: Con un equipo “Dektec” de Aragon Telecom se podría generar un *transport stream* de mpeg-2 con una salida SDI, similar a lo que obtendríamos a la salida del codificador.

E.4.2. Conversión entre generación de vídeo y codificación.

En caso de ser necesario, tres conversores RCA a BNC para los 3 componentes de salida de la cámara o el disco duro multimedia.

Conversor AJA de componentes con conector BNC a SDI u otro conversor de componentes a SDI enracable o no.

E.4.3. Codificación y decodificación.

Dependiendo del uso que se vaya a querer dar podría estudiarse la posibilidad de usar un codificador compacto no profesional de cámaras IP, solución mucho más barata que los codificadores profesionales, como pueden ser los de SAPEC. La comparativa entre ellos se encuentra en la tabla 2.5.1.

		Codif.	In/Out	Resolución	Audio	PVP(sin IVA)
<i>SAPEC XAVIC</i>	COD	Doble MPEG4 + MPEG2	Componentes y SDI	HD	4 canales de audio profesional	21.895,00€ + 7.760,00€
<i>SAPEC XAVIC</i>	DECOD	Doble MPEG4 + MPEG2	Componentes y SDI	HD	4 canales de audio profesional	5.210,00€ + 1.500,00€
<i>SAPEC SIVAC</i>	COD	MPEG2	Componentes y SDI	HD	4 canales de audio profesional	5.575,00€
<i>SAPEC SIVAC</i>	DECOD	MPEG2	Componentes y SDI	HD	4 canales de audio profesional	2.835,00€
<i>AXIS Q7401</i>	COD	H.264	SDI (precisa compra de cámara SDI o conv. AJA)	SD	1 canal de audio (se usa para cámaras IP no profesionales, máx 30 fps)	399,20 €
<i>AXIS 247S</i>	COD	MPEG4	SDI (precisa compra de cámara SDI o conv. AJA)	SD	1 canal de audio (se usa para cámaras IP no profesionales, máx 30 fps)	359,20 €
<i>AXIS P7701</i>	DECOD	Doble H.264 MPEG4	SDI (precisa compra de cámara SDI o conv. AJA)	SD	1 canal de audio (se usa para cámaras IP no profesionales, máx 30 fps)	287,20 €

Tabla E.5.1. Comparación entre codificadores.

Cabe destacar que los equipos de Axis van destinados a uso con cámaras IP (tienen funcionalidad de activarse por alarma, detección de movimiento por vídeo...), no cámaras de uso profesional. Aunque las características parece que se adaptan bien, en alguna cosa van un poco justas: soportan un máximo de 30 imágenes por seg. y una resolución máxima de 720 x 576 píxeles en PAL y poseen un sólo un canal de audio. A su favor podemos decir que al alimentarse por POE podría estudiarse la posibilidad de su portabilidad.

Además, si se elige la solución de Axis, es necesaria una cámara con salida SDI o conversor AJA para pasar de la salida en componentes a la SDI que precisa.

Por su parte, ambos productos de SAPEC poseen entrada en componentes, por lo que podría usarse un disco duro multimedia o cámaras únicamente con salida en componentes, en lugar de SDI.

E.4.4. Alimentación.

El *PoE injector* que tenemos ha de alimentarse con VAC 90-264, 50-60Hz, por lo que en caso de trabajar con continua necesitaríamos adquirir otro. En otro caso, deberemos comprar un ondulator u otro *PoE injector* y una batería o SAI.

En este punto elegimos un SAI del ITA, por su disponibilidad inmediata y duradera y así evitar la compra de otro equipo. Entre sus inconvenientes, al ser enracable de 2 U's, resultó muy pesado y dado que éste no es su uso habitual, su duración fue de menos de una hora transmitiendo.

Otras alternativas que se estudiaron fueron:

Batería o varias baterías en serie.

Ondulador para conectar a la batería de un vehículo, aunque existe el peligro de que se consuma la batería demasiado rápido.

Comprar o alquilar un pequeño grupo electrógeno para alimentar el CPE.

E.4.5. Vehículo y anclaje.

Sólo en las pruebas de Loarre y Bolea dispusimos de un vehículo para pruebas con mástil.

El resto de las pruebas las realizamos con un carro para llevar la alimentación y un mástil para la sujeción del cliente.

E.4.6. Recepción.

Para visualizar la señal recibida y decodificada podemos usar un monitor con entrada SDI. En Aragón TV podrían dejarnos uno de la marca Marshall.

Anexo F:

Ampliación de resultados de las medidas.

F.1. Evaluación objetiva.

F.1.1. En el laboratorio.

Con la estación base alimentada y conectada a un PC en el que accedemos a su servidor web SNMP, reseteamos el cliente para estudiar el funcionamiento de WiMAX. En la monitorización de la estación base podemos ver los flujos de tráfico que nos interese, por lo que obtenemos los siguientes datos de la comunicación entre ambos:

El cliente transmite 6 paquetes, 1440bytes, y recibe 2 paquetes, 1236 bytes, en el establecimiento de la conexión.

Para mantenerse sincronizado periódicamente transmite paquetes de distinto tamaño sucesivamente, con lo que se van acumulando 1768 bytes, 2096 bytes, 2172 bytes... y de la misma manera en recepción.

F.1.2. En Walqa.

En las siguientes páginas adjuntamos las tablas con los valores obtenidos en la monitorización de los equipos preWiMAX y WiMAX móvil estándar en distintos escenarios en Walqa:

PreWiMAX						
LOS	Tramas descartadas	Tramas retransmitidas	Fragmentos erróneos (CRC)	Porcentaje de errores de recepción CRC	Porcentaje de retransmisión	Tramas duplicadas descartadas
<i>Aragón TV 576i MPEG-2</i>	0	0	247	2 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 480p MPEG-2</i>	0	0	47	1 %	0 %	2
<i>Big Buck Bunny 480p MPEG-4</i>	0	0	54	3 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 720p MPEG-4</i>	0	0	63	2 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 480p MPEG-4</i>	0	0	128	4 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 2 480p MPEG-2</i>	0	0	68	1 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 2 480p MPEG-4</i>	0	0	52	2 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 2 720p MPEG-4</i>	0	0	74	2 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 2 1080p MPEG-4</i>	0	0	106	1 %	0 %	0
<i>Chair MPEG-2</i>	0	0	26	1 %	0 %	0
<i>Softboy MPEG-2</i>	0	0	63	3 %	0 %	0
<i>Alicia 480p MPEG-4</i>	0	0	216	3 %	0 %	0
<i>Alicia 720p MPEG-4</i>	0	0	165	2 %	0 %	0
<i>Alicia 1080p MPEG-4</i>	0	1	191	1 %	4 %	0
<i>Harry Potter 480p MPEG-4</i>	0	0	123	2 %	0 %	0
<i>Harry Potter 720p MPEG-4</i>	0	0	115	2 %	0 %	1
<i>Harry Potter 1080p MPEG-4</i>	0	0	93	1 %	0 %	0

Tabla F.1.1. Monitorización del equipo preWiMAX para un escenario LOS a 100 m. aprox. de distancia.

WiMAX						
LOS	Paquetes enviados	Paquetes descartados	Porcentaje de paquetes descartados	Bytes enviados	Bytes descartados	Porcentaje de bytes descartados
<i>Aragón TV 576i MPEG-2</i>	14127	2	0,01415729 %	19147336	2114	0,0110407 %
<i>Big Buck Bunny 480p MPEG-2</i>	2376	0	0 %	3219292	0	0 %
<i>Big Buck Bunny 2 480p MPEG-2</i>	5955	1	0,01679261 %	8071176	1356	0,01680053 %
<i>Big Buck Bunny 2 720p MPEG-4</i>	3632	0	0 %	4921188	0	0 %
<i>Big Buck Bunny 2 1080p MPEG-4</i>	8268	5	0,06047412 %	11206344	4240	0,03783571 %
<i>Softboy MPEG-2</i>	1985	1	0,05037783 %	2689124	1356	0,05042534 %
<i>Alicia 480p MPEG-2</i>	8041	1	0,01243626 %	10895988	1356	0,01244495 %
<i>Alicia 720p MPEG-4</i>	8219	0	0 %	11135915	0	0 %
<i>Alicia 1080p MPEG-4</i>	13852	5	0,03609587 %	18775704	2899	0,01544017 %

Tabla F.1.2. Monitorización del equipo WiMAX móvil estándar para un escenario LOS a 100 m. aprox de distancia.

preWiMAX						
OLOS	Tramas descartadas	Tramas retransmitidas	Fragmentos erróneos (CRC)	Porcentaje de errores de recepción CRC	Porcentaje de retransmisión	Tramas duplicadas descartadas
<i>Aragón TV 576i MPEG-2</i>	0	0	130	1 %	0 %	1
<i>Big Buck Bunny 480p MPEG-2</i>	0	0	32	1 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 480p MPEG-4</i>	0	0	26	1 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 720p MPEG-4</i>	0	0	168	7 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 480p MPEG-4</i>	0	0	32	1 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 2 480p MPEG-2</i>	0	0	50	1 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 2 480p MPEG-4</i>	0	0	31	1 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 2 720p MPEG-4</i>	0	0	48	1 %	0 %	0
<i>Big Buck Bunny 2 1080p MPEG-4</i>	0	0	75	1 %	0 %	2
<i>Chair MPEG-2</i>	0	0	23	1 %	0 %	0
<i>Softboy MPEG-2</i>	0	0	26	1 %	0 %	0
<i>Alicia 480p MPEG-4</i>	0	0	69	1 %	0 %	0
<i>Alicia 720p MPEG-4</i>	0	0	84	1 %	0 %	0
<i>Alicia 1080p MPEG-4</i>	0	0	92	0 %	0 %	0
<i>Harry Potter 480p MPEG-4</i>	0	0	1	3 %	0 %	0
<i>Harry Potter 720p MPEG-4</i>	0	0	45	1 %	0 %	0
<i>Harry Potter 1080p MPEG-4</i>	0	0	80	1 %	0 %	0

Tabla F.1.3. Monitorización del equipo preWiMAX para un escenario OLOS a 100 m. aprox. de distancia.

WiMAX						
OLOS	Paquetes enviados	Paquetes descartados	Porcentaje de paquetes descartados	Bytes enviados	Bytes descartados	Porcentaje de bytes descartados
<i>Aragón TV 576i MPEG-2</i>	14127	6	0,04247186 %	19147336	5438	0,02840082 %
<i>Big Buck Bunny 2 480p MPEG-2</i>	5955	0	0 %	8071176	0	0 %
<i>Big Buck Bunny 2 720p MPEG-4</i>	3632	0	0 %	4921188	0	0 %
<i>Big Buck Bunny 2 1080p MPEG-4</i>	8268	0	0 %	11206344	0	0 %
<i>Softboy MPEG-2</i>	1985	1	0,05037783 %	1985	1356	68,3123426 %
<i>Alicia 480p MPEG-2</i>	8041	2	0,02487253 %	8041	2638	32,8068648 %
<i>Alicia 720p MPEG-4</i>	8219	1	0,01216693 %	8219	1247	15,1721621 %
<i>Alicia 1080p MPEG-4</i>	13852	1	0,00721917 %	13852	1356	9,78920012 %

Tabla F.1.4. Monitorización del equipo WiMAX móvil estándar para un escenario OLOS a 100 m. aprox. de distancia.

preWiMAX						
NLOS con reflexión	Tramas descartadas	Tramas retransmitidas	Fragmentos erróneos (CRC)	Porcentaje de errores de recepción CRC	Porcentaje de retransmisión	Tramas duplicadas descartadas
<i>Aragón TV 576i MPEG-2</i>	0	0	304	2 %	0 %	64
<i>Big Buck Bunny 480p MPEG-2</i>	0	0	53	1 %	0 %	17
<i>Big Buck Bunny 480p MPEG-4</i>	0	0	55	3 %	0 %	10
<i>Big Buck Bunny 720p MPEG-4</i>	0	0	62	2 %	0 %	13
<i>Big Buck Bunny 480p MPEG-4</i>	0	0	84	2 %	0 %	13
<i>Big Buck Bunny 2 480p MPEG-2</i>	0	0	118	2 %	0 %	33
<i>Big Buck Bunny 2 480p MPEG-4</i>	0	2	130	5 %	16 %	15
<i>Big Buck Bunny 2 720p MPEG-4</i>	0	0	207	5 %	0 %	22
<i>Big Buck Bunny 2 1080p MPEG-4</i>	0	0	137	2 %	0 %	27
<i>Chair MPEG-2</i>	0	0	49	2 %	0 %	14
<i>Softboy MPEG-2</i>	0	0	25	1 %	0 %	11
<i>Alicia 480p MPEG-4</i>	0	0	58	1 %	0 %	27
<i>Alicia 720p MPEG-4</i>	0	0	169	2 %	0 %	31
<i>Alicia 1080p MPEG-4</i>	0	0	174	1 %	0 %	49
<i>Harry Potter 480p MPEG-4</i>	0	0	48	1 %	0 %	22
<i>Harry Potter 720p MPEG-4</i>	0	0	61	1 %	0 %	23
<i>Harry Potter 1080p MPEG-4</i>	0	0	147	2 %	0 %	30

Tabla F.1.5. Monitorización del equipo preWiMAX para un escenario NLOS con una reflexión a 100 m. aprox. de distancia.

WiMAX						
NLOS con reflexión	Paquetes enviados	Paquetes descartados	Porcentaje de paquetes descartados	Bytes enviados	Bytes descartados	Porcentaje de bytes descartados
<i>Aragón TV 576i MPEG-2</i>	14127	10	0,07078644 %	19147336	10836	0,05659273 %
<i>Big Buck Bunny 2 480p MPEG-2</i>	5955	2	0,03358522 %	8071176	1359	0,0168377 %
<i>Big Buck Bunny 2 720p MPEG-4</i>	3632	0	0 %	4921188	0	0 %
<i>Big Buck Bunny 2 1080p MPEG-4</i>	8268	3	0,03628447 %	11206344	3328	0,02969746 %
<i>Softboy MPEG-2</i>	1985	0	0 %	2689124	0	0 %
<i>Alicia 480p MPEG-2</i>	8041	9	0,11192638 %	10895988	8024	0,07364178 %
<i>Alicia 720p MPEG-4</i>	8219	1	0,01216693 %	11135915	1057	0,00949181 %
<i>Alicia 1080p MPEG-4</i>	13852	4	0,0288767 %	18775704	2608	0,01389029 %

Tabla F.1.6. Monitorización del equipo WiMAX móvil estándar para un escenario NLOS con una reflexión a 100 m. aprox. de distancia.

preWiMAX						
NLOS sin reflexión	Tramas descartadas	Tramas retransmitidas	Fragmentos erróneos (CRC)	Porcentaje de errores de recepción CRC	Porcentaje de retransmisión	Tramas duplicadas descartadas
<i>Alicia 480p MPEG-4</i>	1	12	437	12 %	85 %	1

Tabla F.1.7. Monitorización del equipo preWiMAX para un escenario NLOS en el que comenzamos apuntando hacia una caseta que refleja hacia espacio abierto, después de manera que la señal llegue con doble reflexión y finalmente orientada hacia el espacio abierto, todo a 100 m. aprox. de distancia.

WiMAX						
NLOS sin reflexión	Paquetes enviados	Paquetes descartados	Porcentaje de paquetes descartados	Bytes enviados	Bytes descartados	Porcentaje de bytes descartados
<i>Alicia 480p MPEG-4 sin apuntar pero con la inclinación correcta</i>	5538	1	0,018057 %	7501920	4	0,00005332 %
<i>Alicia 480p MPEG-4 sin apuntar y con inclinación hacia el cielo y el suelo</i>	5307	13	0,244959 %	7188684	14047	0,1954043 %
<i>Alicia 720p MPEG-4 apuntando al cielo y al suelo</i>	8161	16	0,196054 %	11058708	20920	0,1891722 %
<i>Alicia 1080p MPEG-4 apuntando al cielo y al suelo</i>	18579	22	0,118413 %	25184248	20362	0,0808521 %

Tabla F.1.8. Monitorización del equipo WiMAX móvil estándar para un escenario NLOS en el que apuntamos tal y como se indica en cada caso, todo a 100 m. aprox. de distancia.

preWiMAX						
Móvil	Tramas descartadas	Tramas retransmitidas	Fragmentos erróneos (CRC)	Porcentaje de errores de recepción CRC	Porcentaje de retransmisión	Tramas duplicadas descartadas
<i>Alicia 480p MPEG-4 (10 Km/h)</i>	4	45	1939	17 %	107 %	17
<i>Alicia 480p MPEG-4 (20 Km/h)</i>	3	24	1869	29 %	82 %	51
<i>Alicia 720p MPEG-4 (20 Km/h)</i>	1	1	1880	32 %	5 %	18

Tabla F.1.9. Monitorización del equipo preWiMAX para un escenario móvil a unos 100 m. aprox. de radio de distancia.

WiMAX						
Móvil o estático a larga distancia	Paquetes enviados	Paquetes descartados	Porcentaje de paquetes descartados	Bytes enviados	Bytes descartados	Porcentaje de bytes descartados
<i>Alicia 720p MPEG-4 (25-30 Km/h vuelta a Walqa, 500 m. de radio)</i>	18590	747	4,018289 %	25181378	538997	2,140459 %
<i>Alicia 720p MPEG-4 (25-30 Km/h vuelta al edificio, 100 m. de radio)</i>	14751	905	6,135177 %	19967949	754554	3,778826 %
<i>Alicia 720p MPEG-4 (25-30 Km/h recorrido de unos 3 km NLOS)</i>	5874	133	2,264215 %	7957193	100689	1,265383 %
<i>Alicia 480p MPEG-4 (100 Km/h de 5 Km. a 6 Km. de distancia).</i>	5091	23	0,451778 %	7578128	21573	0,284675 %
<i>Alicia 480p MPEG-4 estático a 6 Km.</i>	4236	6	0,141643 %	5738944	77537	1,351067 %
<i>Alicia 720p MPEG-4 (100 km/h desde 6 Km. a 5 Km. de distancia).</i>	6006	35	0,582751 %	8105984	23075	0,284666 %

Tabla F.1.10. Monitorización del equipo WiMAX móvil estándar para escenarios móviles y estáticos a larga distancia.

Anexo G: Metodología del análisis subjetivo.

G.1. Procedimiento.

Una medida subjetiva cuantitativa requiere de los siguientes pasos:

1. Primero se eligen una serie de secuencias de video. Estas secuencias deben ser representativas de la realidad que se pretende medir. En nuestro caso bastaría con una imagen fija (que representaría un reportero) y un fondo móvil. De todas maneras para ponernos en el peor de los casos haremos pruebas de vídeo con imagen dinámica.
2. Se le solicita a un conjunto de observadores que evalúen las características de las secuencias utilizando una escala numérica de 1 a 5 como sigue:
5 – Excelente. La señal recibida no puede ser diferenciada de la fuente.
4 – Buena. La señal recibida posee imperfecciones, pero es perceptible.
3 – Aceptable. La señal recibida presenta suficientes imperfecciones como para empezar a ser difícil de percibir.
2 – Molesta. La señal recibida es prácticamente imposible de percibir.
1 – Percepción imposible. La señal recibida es imperceptible.
3. Utilizando criterios estadísticos se eliminan observadores que por falta de atención (u otros factores externos) no son consistentes con el grupo.
4. Se determina el valor de calidad subjetiva para cada vídeo a partir del valor medio evaluado por los observadores consistentes. A este valor habitualmente se le llama MOS – *Mean Opinion Score*, y puede ser considerada como definición de la calidad de la experiencia. Para obtenerlo se exponen las puntuaciones individuales de los sujetos y a partir de ellas se calcula la media y desviación típica.

Aunque el proceso de medida subjetiva tiene la ventaja de que es, por definición, la medida más precisa de la calidad de experiencia, presenta grandes desventajas. Entre otras, se precisa la secuencia decodificada y requiere mucho tiempo para ejecutarse y es costosa en recursos humanos, provocando que sea de difícil repetición e imposible de utilizarse en un proceso automático. En nuestro caso utilizamos un conjunto de recursos humanos muy inferior al que se aplicaría en un estudio profesional, donde participarían cientos o miles de personas.

A pesar de que el número N de observadores de nuestro visionado no es demasiado elevado, además de hallar el MOS de las evaluaciones q_{is} , es interesante calcular la desviación de estas evaluaciones para definir si la opinión de los usuarios es consistente o muy dispar.

$$\bar{q}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_{is} \qquad \delta_s = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(q_{is} - \bar{q}_s)^2}{N - 1}}$$

Fórmula del MOS.

Fórmula desviación típica del MOS.

Por último, es importante señalar que cuando se examina el entorno completo de un servicio en los planos expuestos, se hace necesario considerar tres capas a efectos de medir la QoE:

- Capa de Servicio: capa expuesta al usuario, donde se mide el QoE.
- Capa de aplicación: varios parámetros son configurados en esta capa, por ejemplo, la resolución media, el tipo de *codec*, el *bitrate*, mecanismos de corrección de errores, etc.
- Capa de Transporte: donde suelen presentarse varias dificultades como retardos, *jitter*, etc. En esta capa se emplean los mecanismos de corrección de errores y de QoS.

G.2. Motivos por los que usamos este método.

Las medidas basadas en la percepción hacen uso de los umbrales de enmascaramiento derivados de la señal de ingreso, en orden de compararlos con el ruido de codificación actual del codificador. Resultados recientes han demostrado que tales medidas dan altas correlaciones entre los puntajes MOS y puntajes objetivos aunque también dependerán del códec usado.

Por ejemplo, la medición de la calidad de audio perceptible se ha aplicado a señales de audio en el CCIR en pruebas de transmisión de sonido digital obteniéndose una correlación de 0,98 y una desviación estándar de 0,17.

Esta correlación puede apreciarse en la siguiente gráfica:

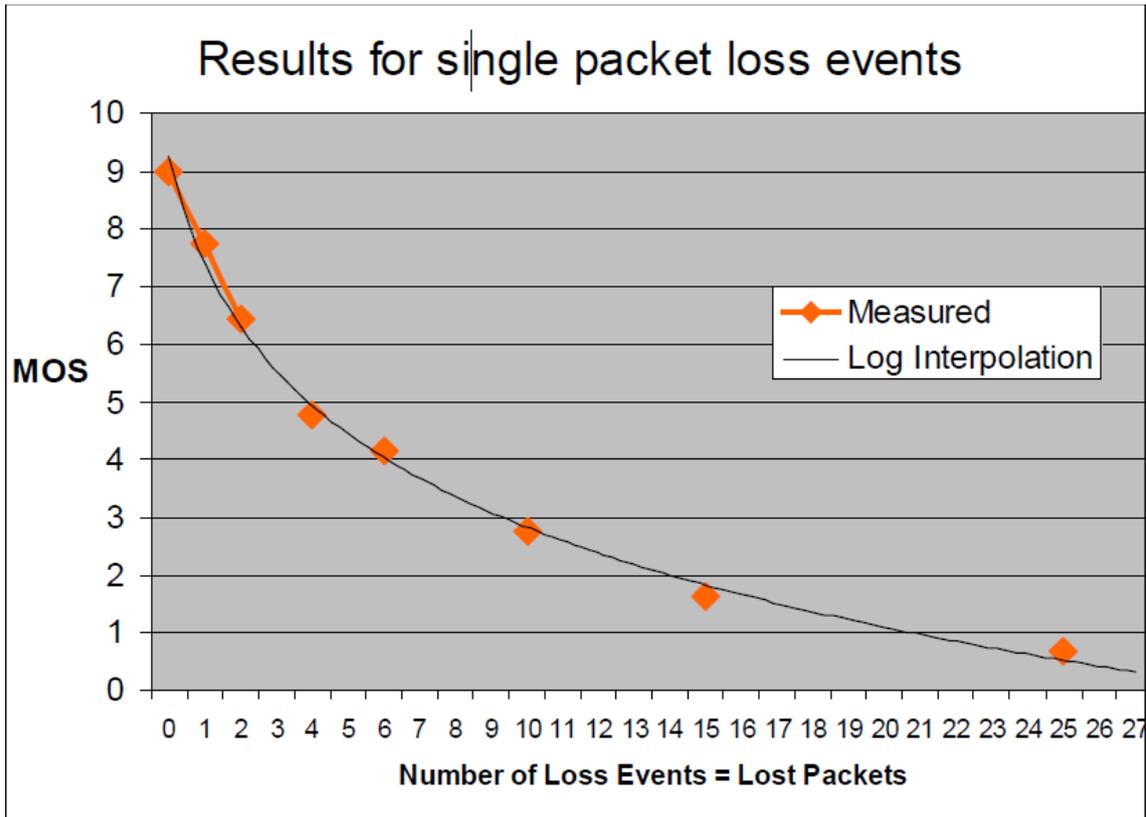


Figura G.2.1. Relación entre el MOS y los paquetes perdidos en una transmisión de vídeo.

G.3. Elección de los vídeos.

Consisten en la evaluación de un conjunto de secuencias de video con las siguientes características:

Duración de cada secuencia inferior a 1 minuto.

Intervalo entre secuencias de unos segundos para distinguir mejor entre vídeos sin verse influenciado por el anterior. Se utilizará para realizar un breve test a los observadores en el que valoren la calidad de imagen y expliquen qué factores creen que son los causantes de la degradación, en su caso.

Cantidad de secuencias: No hay un valor explícito, pero se recomienda que sea mayor de 10.

Los vídeos que escogimos fueron: uno prestado por Aragón TV calidad SD comprimido con MPEG-2, varios vídeos en distintas resoluciones, incluidos vídeos HD de la página web del software de diseño Bender y dos trailers, el de Alicia en el país de las maravillas y el de Harry Potter, ambos en distintas resoluciones.

Una vez descargados los vídeos los recortamos sin modificarlos con el software libre VirtualDubMod 1.5.10.2, VirtualDubMod -MPEG2- 1.6.19 según el caso. Para conservar la codificación inicial seleccionamos la opción “Direct Stream Copy”. Cuando además de recortar, quisimos transcodificar, usamos el software libre Avidemux 2.5, puesto que da más posibilidades que el VirtualDubMod.

Para el caso de necesitar tasas aún superiores a las que nos proporcionan estos vídeos HD, usamos el VirtualDubMod seleccionando *Full Processing Mode*, obteniendo tasas de unos 30 Mbps para formato SD con audio sin compresión PCM y vídeo sin compresión *Raw BitmapRGB*. Si aún no es suficiente, podemos aumentarla añadiendo un filtro “resize” y aplicando resoluciones 1280x720 progresivo con tasas de unos 70Mbps y 1920x1080 progresivo con tasas de unos 150 Mbps.

La selección final de los vídeos es la siguiente:

Vídeo de Aragón TV 576i MPEG-2: Tasa de 1 Mbps a 4 Mbps (aprox. 2,5 Mbps de media).

Big Buck Bunny: Animación con colores puros, por lo que la compresión es mayor. Aun así usamos vídeos HD y conseguimos todo tipo de tasas.

Softboy.mkv: Tasa de 1 Mbps a 3.5 Mbps (aprox. 1.5 Mbps de media, pero tiene un momento de alta frecuencia, mucho movimiento de píxeles).

Trailer de Alicia en el país de las maravillas en distintas resoluciones y tasas.

Trailer de Harry Potter en distintas resoluciones y tasas.

La selección final de vídeos del visionado, de manera que fueran variados y se pudieran evaluar todos los escenarios, fue la siguiente:

Vídeo 1: Corto Big Buck Bunny (recorte 1) comprimido con MPEG-4 con resolución 720p y escenario LOS transmitido con el equipo preWiMAX.

Vídeo 2: Corto Big Buck Bunny (recorte 1) comprimido con MPEG-4 con resolución 720p y escenario LOS transmitido con el equipo WiMAX móvil estándar.

Vídeo 3: Corto Big Buck Bunny (recorte 2) comprimido con MPEG-4 con resolución 720p y escenario OLOS transmitido con el equipo preWiMAX.

Vídeo 4: Corto Big Buck Bunny (recorte 2) comprimido con MPEG-4 con resolución 720p y escenario OLOS transmitido con el equipo WiMAX móvil estándar.

Vídeo 5: Vídeo de Aragón TV comprimido con MPEG-2 con resolución 576i y escenario OLOS transmitido con el equipo preWiMAX.

Vídeo 6: Vídeo de Aragón TV comprimido con MPEG-2 con resolución 576i y escenario OLOS transmitido con el equipo WiMAX móvil estándar.

Vídeo 7: Tráiler Harry Potter comprimido con MPEG-2 con resolución 480p y escenario NLOS con reflexión transmitido con el equipo preWiMAX.

Vídeo 8: Tráiler Alicia en el país de las maravillas comprimido con MPEG-2 con resolución 720p y escenario NLOS con reflexión transmitido con el equipo WiMAX móvil estándar.

Vídeo 9: Softboy comprimido con MPEG-2 de alta tasa con resolución 720x320 y escenario LOS transmitido con el equipo preWiMAX .

Vídeo 10: Softboy comprimido con MPEG-2 de alta tasa con resolución 720x320 y escenario LOS transmitido con el equipo WiMAX móvil estándar.

Vídeo 11: Tráiler Alicia en el país de las maravillas comprimido con MPEG-4 con resolución 480p y escenario NLOS sin visión posible ni reflejando transmitido con el equipo preWiMAX.

Vídeo 12: Tráiler Alicia en el país de las maravillas comprimido con MPEG-4 con resolución 480p y escenario NLOS sin visión posible ni reflejando transmitido con el equipo WiMAX móvil estándar.

Vídeo 13: Tráiler Alicia en el país de las maravillas comprimido con MPEG-4 con resolución 720p y escenario móvil pasando por diferentes escenarios transmitido con el equipo preWiMAX.

Vídeo 14: Tráiler Alicia en el país de las maravillas comprimido con MPEG-4 con resolución 720p y escenario móvil pasando por diferentes escenarios transmitido con el equipo WiMAX móvil estándar.

G.4. El visionado.

Se organiza una sesión de no más de 30 min, por lo que hacemos una selección previa de los vídeos y los reproducimos simultáneamente al original en dos monitores iguales y cercanos, como se muestra en la imagen:



Figura G.4.1. Televisores preparados para el visionado.

La cantidad de observadores por visionado debe ir entre 4 y 40, típico 10, para que no haya demasiada diferencia entre sus puntos de vista. En nuestro caso realizamos dos visionados, uno en Aragón Telecom y el otro en el CETVI (ITA) inferiores a 10 personas cada uno, pero si el número de personas fuera mayor se debería hacer en distintas repeticiones para conseguir iguales condiciones y también se pueden repetir secuencias para corroborar la coherencia del observador.

La puntuación de la calidad se puede medir en escala de 5, 9 u 11 puntos. Como comentábamos anteriormente nosotros elegimos la valoración de 1 a 5 puntos.

Como utilizamos el método de doble estímulo, en el visionado ponemos los vídeos que se capturaron en recepción y simultáneamente el vídeo original para que el observador pueda identificar mejor las imperfecciones.

G.5. Criterios para la preparación del escenario de visualización.

El sistema de visión humana es extremadamente complejo y algunas de sus propiedades todavía no se comprenden bien, siendo su comprensión aún más complicada con secuencias de vídeo, en las que entran en juego la dimensión temporal, la espacial y las interacciones entre ellas.

Los factores que pueden alterar la valoración de las personas que vean el vídeo y hay que mantener constantes para todos los visionados son:

Tamaño y distancia a la pantalla.

Resolución.

Condiciones de luz.

Brillo.

Contraste.

Saturación del color.

Longitud de la secuencia.

Número de videos por visionado (uno, dos a la vez, uno tras otro...).

Número de observadores en cada visionado.

En nuestro caso usamos una configuración idéntica en dos monitores iguales.

Los observadores son particularmente sensibles a la falta de naturalidad en la imagen y distorsiones debidas a la compresión digital o pérdida de información, pero pueden no apreciarlas si la imagen tiene colores vivos y brillantes, por lo que también es importante la elección de vídeos variados.

G.6. Test para los observadores tras el visionado.

Tras el visionado del primer fragmento, puntúa el vídeo según corresponda:

5 – Excelente. La señal recibida no puede ser diferenciada de la fuente.

4 – Buena. La señal recibida posee imperfecciones, pero es perceptible.

3 – Aceptable. La señal recibida presenta suficientes imperfecciones como para empezar a ser difícil de percibir.

2 – Molesta. La señal recibida es prácticamente imposible de percibir.

1 – Percepción imposible. La señal recibida es imperceptible.

Puntuación:

En caso que tu puntuación no haya sido 5, ¿cuál(es) de los siguientes factores crees que ha(n) afectado más a la degradación de la calidad de vídeo?

1. Nitidez de la imagen:

- 1. Pixelado
- 2. Desenfoque
- 3. Distorsión de bordes
- 4. Vibraciones
- 5. Datos de la imagen incorrectos (debidos a pérdidas de paquetes, multicamino que produce ecos, baja señal...)

2. Calidad de la imagen:

- 1. Intensidad de color en general
- 2. Intensidad de uno o varios colores concretos

3. Fluencia:

- 1. Movimiento errático
- 2. Congelación de imagen
- 3. Audio entrecortado

4. Velocidad del vídeo:

- 1. Secuencia de imágenes ralentizadas
- 2. Sincronismo con el audio

Otros:

G.7. Resultados del test.

Los resultados para los distintos observadores de los catorce vídeos seleccionados en el apartado G.3 se representan en la siguiente tabla. Las razones vienen dadas por la numeración del apartado G.6.

	Observador 1	Razones	Observador 2	Razones
Vídeo 1	5		4	3.1
Vídeo 2	5		4	3.1
Vídeo 3	4	1.5 3.3	3	1.1 1.5 3.2 3.3
Vídeo 4	5		4	4.2

Vídeo 5	2	1.1 3.2 3.3	1	1.1 1.5 3.1 3.3
Vídeo 6	3	1.1 3.3	2	1.1 3.2 3.3
Vídeo 7	4	3.3	2	1.2 (pantalla?) 3.3 4.2
Vídeo 8	1	1.1 1.5 3.2 3.3	1	1.1 1.4 3.2 3.3 4.4
Vídeo 9	2	1.5 3.2	2	1.5 3.2 4.1
Vídeo 10	2	1.1 1.5	3	1.2 1.5 3.1 3.2
Vídeo 11	3	1.1 1.5	3	1.5 3.1
Vídeo 12	2	1.1 1.2 1.5 3.2	3	1.1 1.5 3.1 4.1
Vídeo 13	1	1.1 1.4 3.1 3.2	1	1.1 1.5 3.2 3.3 4.1
Vídeo 14	1	1.1 1.5 2.2 3.2	2	1.1 1.5 3.2 3.3

	Observador 3	Razones	Observador 4	Razones
Vídeo 1	5		5	
Vídeo 2	5		5	
Vídeo 3	5		4	1.5 3.2
Vídeo 4	5		4	1.1 3.2
Vídeo 5	1	1.5 3.1 3.2 3.3	2	1.1 1.5 3.2 3.3
Vídeo 6	4	3.2 3.3	3	1.1 1.5 3.2 3.3
Vídeo 7	5		3	1.5 3.2
Vídeo 8	1	1.5 2.1	2	1.1 1.5 3.2 3.3 4.1
Vídeo 9	2	3.2	3	1.1 1.5 3.2 4.1
Vídeo 10	3	3.1	2	1.1 1.3 1.5 3.1 3.2 4.1
Vídeo 11	2	3.2 3.3	3	1.1 1.5 3.2 4.1
Vídeo 12	2	2.2 3.2 3.3	3	1.1 1.5 3.2 4.1
Vídeo 13	1	1.5 2.1 3.1 3.3 4.1	2	1.1 1.5 3.1 3.2 3.3 4.1
Vídeo 14	2	2.2 3.1 3.2	3	1.1 1.5 3.1 3.2 3.3

	Observador 5	Razones	Observador 6	Razones
Vídeo 1	5		5	
Vídeo 2	5		5	
Vídeo 3	5		4	3.2 3.3 4.2
Vídeo 4	5		5	
Vídeo 5	1	1.1 2.1 3.1 4.1	3	1.1 3.2 3.3 4.1 4.2
Vídeo 6	4	1.1 3.3 4.2	4	1.1 3.3
Vídeo 7	4	4.2	5	
Vídeo 8	2	1.1 3.1 3.2 3.3 4.2	2	1.1 2.1 3.2 3.3 4.1
Vídeo 9	3	3.2 3.3 4.1	2	1.1 3.2 4.1
Vídeo 10	2	1.1 3.1 3.2 3.3 4.1	3	1.1 3.2 4.1
Vídeo 11	3	1.1 1.4 3.2 3.3 4.2	3	1.1 3.3 4.1 4.2
Vídeo 12	2	1.1 1.2 2.2 3.2 3.3	3	1.1 3.2 3.3 4.1
Vídeo 13	1	1.1 1.2 1.3 2.1 3.2 3.3 4.1 4.2	1	1.1 1.2 1.3 3.2 3.3 4.1 4.2
Vídeo 14	2	1.1 1.2 1.3 2.2 3.2 3.3	1	1.1 2.1 3.1 3.2 3.3 4.1 4.2

	Observador 7	Razones	MOS	Desviación típica
<i>Vídeo 1</i>	5		4,857143	0,377964
<i>Vídeo 2</i>	5		4,857143	0,377964
<i>Vídeo 3</i>	4	1.1 1.4 1.5 2.1	4,142857	0,690066
<i>Vídeo 4</i>	5		4,714286	0,48795
<i>Vídeo 5</i>	2	1.1 3.2 3.3	1,714286	0,755929
<i>Vídeo 6</i>	4	1.1 1.3 3.2 3.3	3,428571	0,786796
<i>Vídeo 7</i>	4	2.1 3.3	3,857143	1,069045
<i>Vídeo 8</i>	2	1.1 1.5 3.3	1,571429	0,534522
<i>Vídeo 9</i>	4	1.1 1.2 3.2 4.1	2,571429	0,786796
<i>Vídeo 10</i>	4	4.1	2,714286	0,755929
<i>Vídeo 11</i>	3	1.1 3.3	2,857143	0,377964
<i>Vídeo 12</i>	3	1.1 1.5 3.2 3.3	2,571429	0,534522
<i>Vídeo 13</i>	1	1.1 3.2 3.3 4.1	1,142857	0,377964
<i>Vídeo 14</i>	2	1.1 1.5 3.2 3.3	1,857143	0,690066

Tabla G.7.1. Resultados subjetivos del visionado.

Anexo H:

Solicitud banda licenciada.

H.1 Propuesta técnica.

Afección temporal para pruebas de transmisión de video sobre equipamiento WiMAX™

Muy Señores míos,

Se desea realizar un proyecto piloto para el cual se realiza la siguiente afección temporal de 6 meses de duración y 10 MHz en la banda de 3,5 GHz, preferiblemente de 3490 a 3500 MHz.

Dicho proyecto consiste en un único radioenlace unidireccional para realizar una transmisión de datos, vídeo con el protocolo RTP (*MPEG Transport Stream*), a una tasa entre 2 y 10 Mbps como máximo.

La transmisión se realiza desde un cliente WiMAX hacia la estación base, generando diferentes escenarios LOS, nLOS y NLOS gracias al traslado del cliente en un radio de unos 20m, por lo que el área de la red es inferior a 0,01Km².

Para el desarrollo de las pruebas que se desean realizar en este radioenlace se trabajará con las siguientes modulaciones sobre OFDM:

64QAM 5/6, 64QAM 3/4, 64QAM 2/3, 64QAM 1/2, 16QAM 3/4, 16QAM 1/2, QPSK 3/4, QPSK 1/2.

En cuanto al receptor, su valor umbral para un BER de 10^{-6} es de -88dB, el CINR cocanal va de 4 dB a 28 dB dependiendo de la modulación y canal ascendente o ascendente y, para canales adyacentes se tolera una señal que es típicamente 8 dB mayor que la deseada antes de tener alguna degradación en el rendimiento.

En la página siguiente se adjunta un esquema sobre el mapa de la zona de pruebas, dado que, al ser un radioenlace de corto alcance, no se aprecia correctamente en el mapa escala 1:50000 que se solicitaba y adjuntamos a la documentación.

Por último, también se adjunta a la documentación los diagramas de radiación de la antena.

En espera de verme favorecido en mi petición, quedo de Usted.

Atentamente, (Firma)

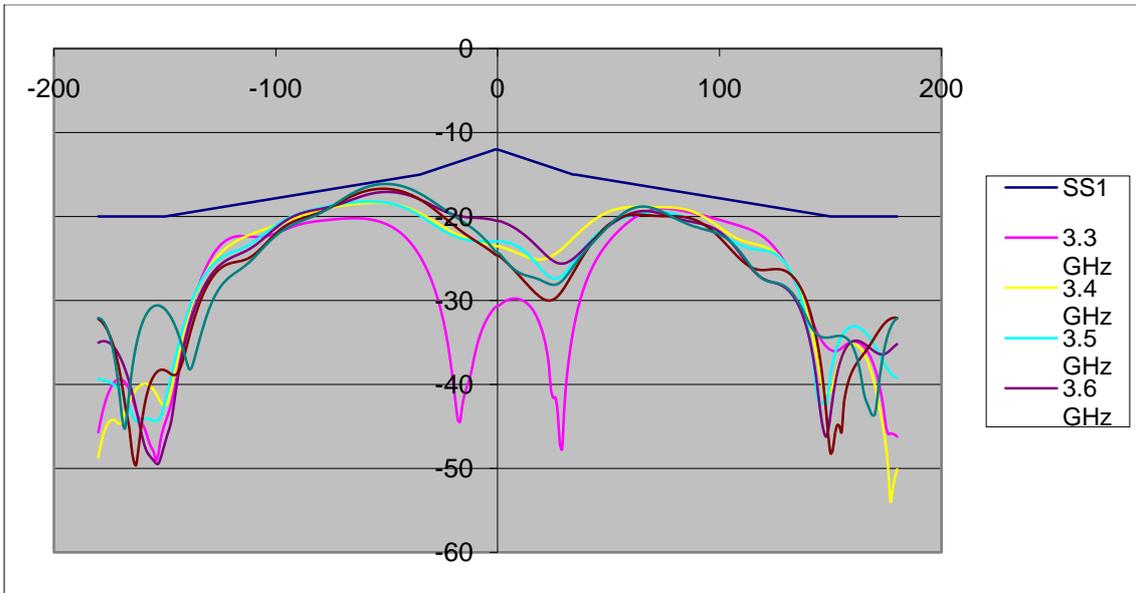


Figura H.1.2. Elevación de la antena principal.

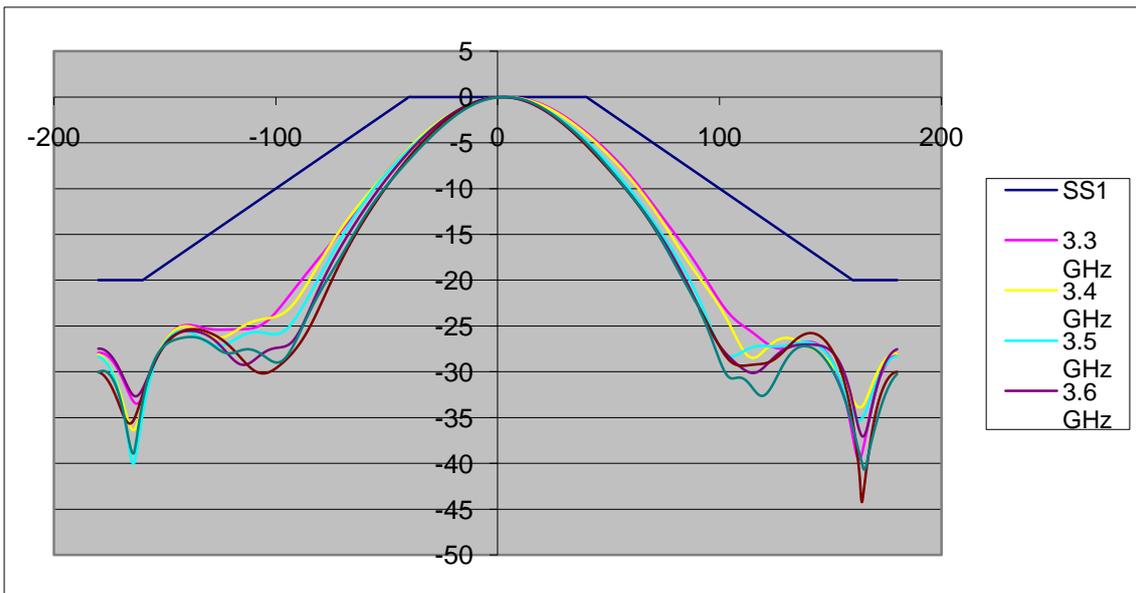


Figura H.1.3. Azimut de la antena principal (en la misma polaridad).

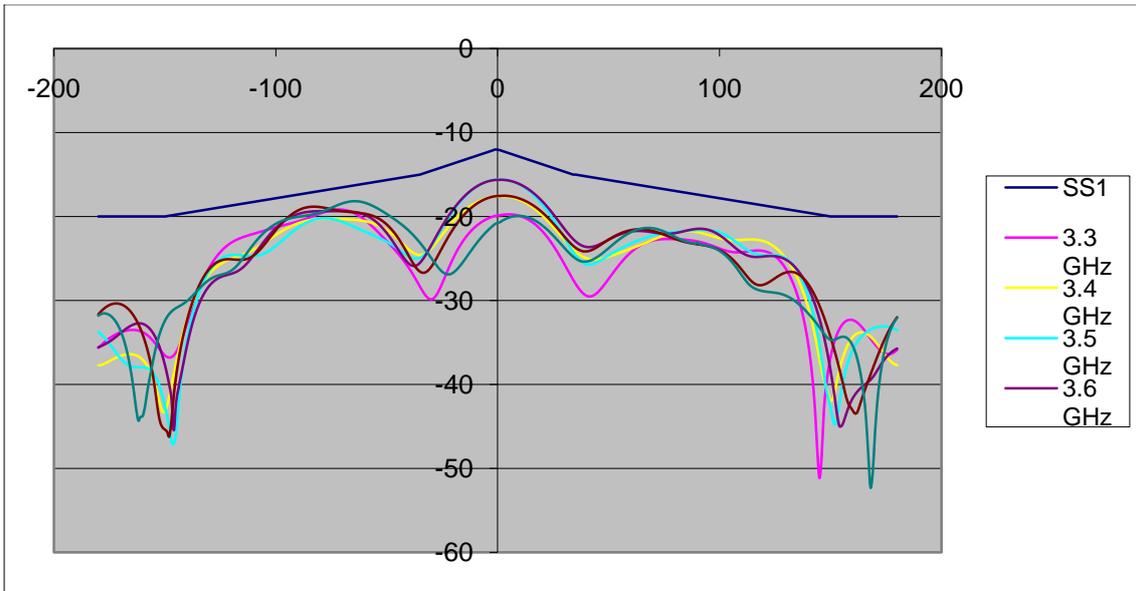


Figura H.1.4. Azimut de la antena principal (polaridad inversa).

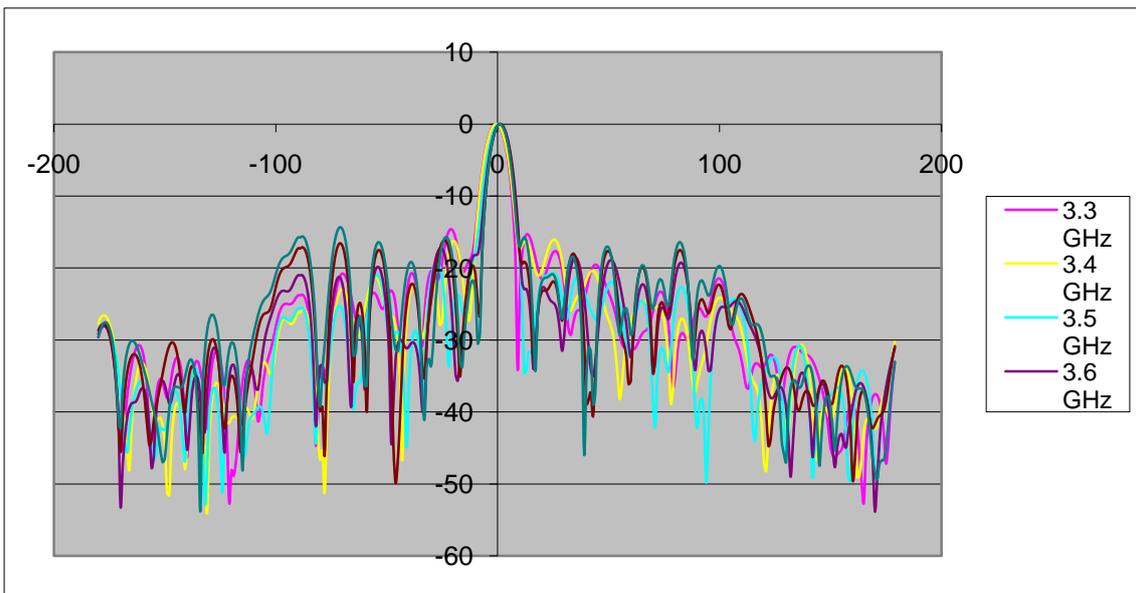


Figura H.1.5. Elevación de la diversidad de la antena.

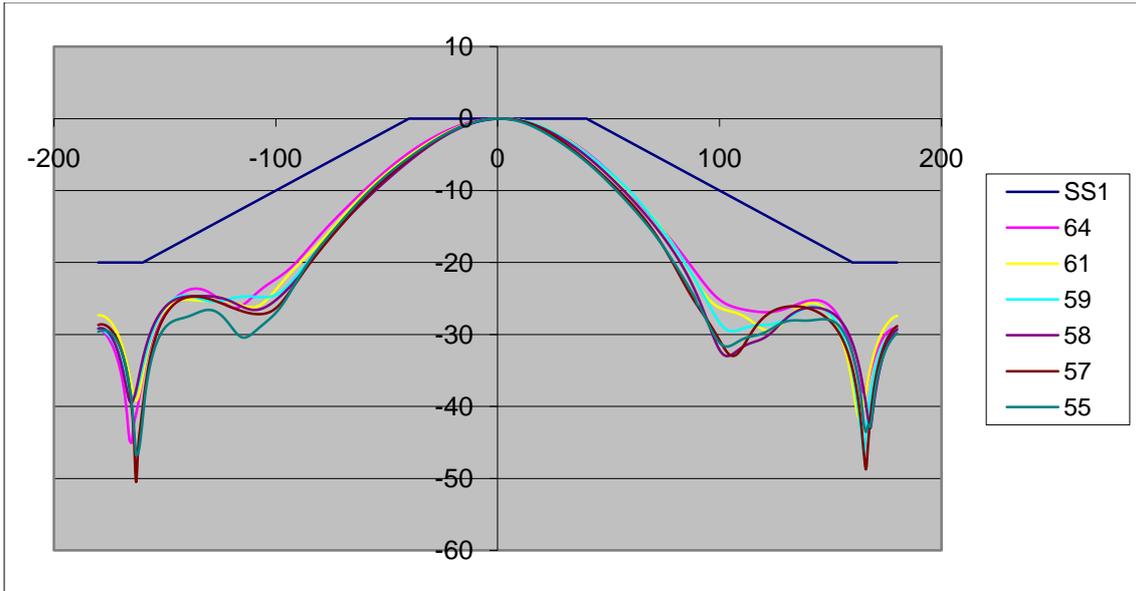


Figura H.1.6. Azimut de la diversidad de la antena (en la misma polaridad).

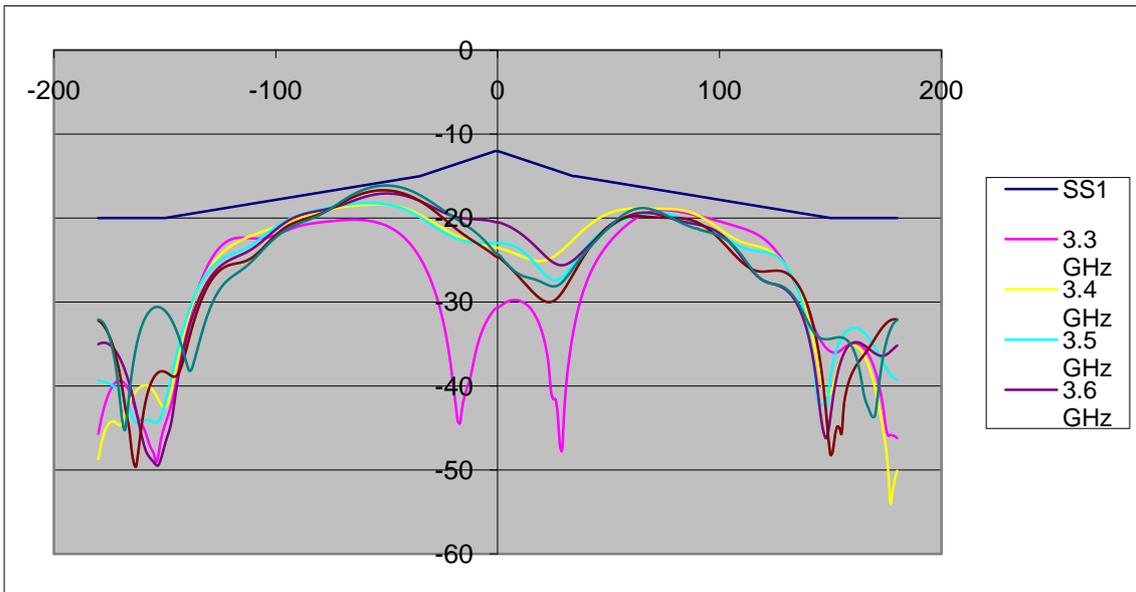


Figura H.1.7. Azimut de la diversidad de la antena (polaridad inversa).

H.2. Resolución solicitud banda licenciada.



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO

SECRETARÍA DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES
Y PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE TELECOMUNICACIONES
Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
JEFATURA PROVINCIAL DE INSPECCIÓN DE
TELECOMUNICACIONES DE HUESCA



CD28007421108000001477

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGÓN
(D.G.A.)
CL. MARIA DE LUNA, 7-8
50018 - ZARAGOZA

Nº Registro: 2011902200000090

Fecha Reg.: 24/01/2011

Referencia: HUH-1100001

Asunto: Traslado de autorización de instalación temporal de red radioeléctrica.

Vista la solicitud presentada por INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGÓN (D.G.A.) con CIF/NIF nº Q5095008H y teniendo en cuenta que se ha presentado la documentación pertinente y que se cumplen las condiciones exigibles para el otorgamiento de lo solicitado, adjunto remito Resolución por la que se autoriza la instalación de la red radioeléctrica por el periodo de tiempo especificado en la misma.

Conforme a la Ley de Presupuestos Generales del Estado vigente para el presente ejercicio, el titular de la presente autorización deberá abonar una TASA por reserva del dominio público radioeléctrico de 100,00 euros, según notificación / liquidación que se acompaña. El Titular debe remitir a la Jefatura Provincial de Inspección de Telecomunicaciones correspondiente el justificante de dicho abono.



HUESCA, 24 de enero de 2011
El Jefe Provincial

Julio Antonio Senent Marsal
Julio Antonio Senent Marsal.

H.3. Características del permiso.



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO

SECRETARÍA DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES
Y PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN

Ref.: Huhu-1100001



CD28007421108000001477

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGON
(D.G.A.)
CL. MARIA DE LUNA, 7-8
50018 - ZARAGOZA

Nº Registro: 2011902200000090

Fecha Reg.: 24/01/2011

El Sr. Subdirector General de Planificación y Gestión del Espectro Radioeléctrico P.D. (Orden ITC/2783/2010, de 28 de octubre, B.O.E. nº 263 de 30 de octubre de 2010), con fecha 21 de enero de 2011 ha dictado lo siguiente:

« RESOLUCIÓN DE LA SECRETARÍA DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES Y PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN POR LA QUE SE OTORGA LA AUTORIZACIÓN TEMPORAL PARA USO PRIVATIVO DEL DOMINIO PÚBLICO RADIOELÉCTRICO, DE REFERENCIA Huhu-1100001, A FAVOR DE INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGON (D.G.A.).

Vista la solicitud formulada por INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGON (D.G.A.), con CIF/NIF nº Q5095008H, y vistos, asimismo, la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones, el Real Decreto 1620/2005, de 30 de diciembre, por el que se regulan las tasas, el Real Decreto 863/2008, de 23 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley 32/2003 General de Telecomunicaciones en lo relativo al uso del dominio público radioeléctrico, el vigente Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, el Reglamento de Radiocomunicaciones anexo al Convenio Internacional de Telecomunicaciones, y demás disposiciones de aplicación, y teniendo en cuenta que se ha presentado la documentación pertinente y que se cumplen las condiciones exigibles para el otorgamiento de los solicitado, esta Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información,

RESUELVE:

Primero.- Que, accediendo a lo solicitado, se otorgue a favor de INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGON (D.G.A.) título habilitante para el uso temporal del dominio público radioeléctrico, concretamente para la actividad de PRUEBAS DE ENLACE WIMAX, según lo establecido en el Real Decreto 863/2008, de 23 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones en lo relativo al uso del dominio

jphuesca@mityc.es

C/ General Lasheras, 6 3º
22071 Huesca
TLF: 974 21 86 30
FAX: 974 21 86 33



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO

SECRETARÍA DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES
Y PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN

Ref.: HUUH-1100001

público radioeléctrico, para la utilización de un sistema de comunicaciones de las características generales que se especifican en anexo a este escrito.

El período de validez será el comprendido entre el 01 de febrero de 2011 y el 31 de julio de 2011.

Segundo.- Este título carecerá de validez una vez terminado el período de utilización, esto es a partir del 31 de julio de 2011.

Tercero.- En aplicación de lo dispuesto en el artículo 16 del Real Decreto 1620/2005, de 30 de diciembre, en el que se regula la tasa por reserva del dominio público radioeléctrico establecida en el apartado 3 del Anexo I de la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones, el número de unidades de reserva radioeléctrica de la red objeto de la presente concesión es, para el código de modalidad de servicio 2113, de 1000 U.R.Rs.

Por tanto, según lo dispuesto en el artículo 17 del citado Real Decreto 1620/2005, el titular del presente título DEBERÁ ABONAR LA TASA correspondiente por su periodo de validez, según notificación/liquidación que se acompaña, efectuada de acuerdo con el número de U.R.Rs. y modalidad de servicio del párrafo anterior y conforme a la Ley de Presupuestos Generales del Estado vigente para el presente ejercicio

Cuarto.- El titular deberá cumplir, igualmente, las obligaciones siguientes:

1º. Someterse al cumplimiento de lo dispuesto en la Ley General de Telecomunicaciones, el Real Decreto 863/2008, de 23 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la mencionada Ley en lo relativo al uso del dominio público radioeléctrico, y demás disposiciones de aplicación, especialmente en materia de prestación de servicios y establecimiento o explotación de redes, secreto de las comunicaciones y protección de datos personales, evaluación de la conformidad de equipos y aparatos y dominio público radioeléctrico, y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. Así como a las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

2º. Realizar el ingreso de la liquidación a la que se refiere el Resuelve tercero y remitir a la Jefatura Provincial de Inspección de Telecomunicaciones correspondiente el justificante de abono.

3º. Mantener los parámetros técnicos de la red, establecidos en Anexo, que solo podrán ser modificados previa autorización de la Administración.

4º. Someterse a la inspección de la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información, quedando el titular obligado a facilitar el acceso al personal autorizado a los locales y/o vehículos en que se encuentren ubicadas las instalaciones, en los términos contemplados en el artículo 50 de la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones.



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO

SECRETARÍA DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES
Y PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN

Ref.: HUUH-1100001

Quinto.- La autorización de los emplazamientos de las estaciones fijas quedará condicionada, en cualquier caso, a la ausencia de perturbaciones a otros servicios radioeléctricos previamente autorizados, así como el cumplimiento de las disposiciones vigentes en materia de servidumbres radioeléctricas o aeronáuticas, de medio ambiente, de ordenación del territorio, de coordinación internacional o cualquier otro que le resulte de aplicación. La obtención de otros permisos o autorizaciones relacionados con la instalación será responsabilidad y correrá a cargo del solicitante.

Sexto.- Las infracciones que se puedan cometer por incumplimiento de la normativa vigente, así como el régimen sancionador correspondiente, serán los regulados por la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones.

Contra la presente resolución, que agota la vía administrativa, se podrá interponer, de acuerdo con el artículo 116 de la Ley 30/1992, modificada por Ley 4/1999, de 13 de enero, recurso potestativo de reposición ante el mismo órgano que la ha dictado en el plazo de un mes desde el día siguiente a su notificación o bien ser impugnada directamente ante la Sala de lo Contencioso Administrativo de la Audiencia Nacional en el plazo de dos meses contados desde el día siguiente a la notificación, de acuerdo con el artículo 46 de la ley 29/1998, de 13 de julio, reguladora de la Jurisdicción Contencioso-Administrativa, sin que puedan ser simultáneos ambos recursos. Si el motivo de la reclamación tuviera relación con la tasa por reserva del dominio público radioeléctrico se podrá interponer recurso de reposición, al amparo de lo dispuesto en la Ley 58/2003, de 17 de diciembre, General Tributaria, ante esta Secretaría de Estado en el plazo de un mes desde el día siguiente a la notificación, o directamente reclamación económico-administrativa ante el Tribunal Económico-Administrativo Central, en el mismo plazo, sin que se puedan simultanear ambos recursos. »

Lo que le traslado a los efectos oportunos.



Huesca, 24 de enero de 2011
El Jefe Provincial

Fdo.: Julio Antonio Senent Marsal.

ANEXO I: Linux y VPNs

I.1. Linux.

A continuación comentamos las instrucciones que más he usado:

Para la mayoría de los comandos Linux es necesario tener permisos que se pueden obtener trabajando desde el *root*, en lugar de desde el *login* del usuario en cuestión. En Ubuntu hay dos opciones:

1. Introducir antes de la instrucción el comando: `sudo`, como en otras distribuciones de GNU/Linux.
2. a) Activar el usuario *root* mediante la instrucción: `sudo -u root passwd`
 b) Entrar al usuario *root* con la contraseña del paso anterior introduciendo: `su -`.
 c) Para volver al usuario habrá que ejecutar: `login`

Para movernos entre las carpetas usamos los siguientes comandos:

`Cd ..` para subir al directorio de un nivel superior.

`Cd /etc/` para acceder a un directorio en concreto, en este caso etc.

Para buscar un fichero en todo el disco duro: `find / -name nombreficheroabuscar`

Posibles editores de texto: `vim`, `emacs`, `nano` ó `gedit`.

Para redireccionar cualquier resultado a un archivo de texto poner después de la instrucción:

`>resultado.txt`

Para mirar la configuración de las redes de nuestro equipo:

`Ifconfig -a`: Muestra la configuración y estado de funcionamiento de los puertos Ethernet, obteniéndose:

```
eth0    Link encap:Ethernet HWaddr 00:11:25:29:3D:F6
inet addr:10.26.3.144 Bcast:10.26.3.255 Mask:255.255.255.0
inet6 addr: xxxx::xxx:xxxx:xxxx:xxxx/64 Scope:Link
UP BROADCAST RUNNING MULTICAST MTU:1500 Metric:1
RX packets:16328475 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
TX packets:11020911 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
collisions:0 txqueuelen:1000
RX bytes:2262220726 (2.1 GiB) TX bytes:1803853996 (1.6 GiB)
Interrupt:18
eth1    Link encap:Ethernet HWaddr 00:11:25:29:3D:F7
BROADCAST MULTICAST MTU:1500 Metric:1
RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
```

```

TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
collisions:0 txqueuelen:1000
RX bytes:0 (0.0 b) TX bytes:0 (0.0 b)
Interrupt:19
lo    Link encap:Local Loopback
inet addr:127.0.0.1 Mask:255.0.0.0
inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
UP LOOPBACK RUNNING MTU:16436 Metric:1
RX packets:2634 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
TX packets:2634 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
collisions:0 txqueuelen:0
RX bytes:3270519 (3.1 MiB) TX bytes:3270519 (3.1 MiB)

```

iwconfig: Muestra la configuración y estado de funcionamiento de los puertos inalámbricos.

route: Tabla de rutas IP del núcleo.

Para la configuración de los puertos Ethernet, se hace lo siguiente:

```
sudo nano -w /etc/network/interfaces
```

```

# Configurar IP estatica en eth0
auto eth0
iface eth0 inet static
address 192.168.1.110
gateway 192.168.1.1
netmask 255.255.255.0
network 192.168.1.0
broadcast 192.168.1.255

```

Una vez modificado se guarda el documento haciendo: ctrl+x.

Y se reinicia el apartado de red: sudo /etc/init.d/networking restart

Para agregar servidores DNS:

```
sudo vim /etc/resolv.conf
```

```

nameserver 10.50.50.130
nameserver 10.50.50.131

```

Copia de ficheros a equipos remotos de manera segura sobre SSH: scp.

La herramienta llamada scp viene junto con el SSH para transmitir archivos y directorios.

SCP significa *Secure CoPy* y es una extensión de SSH que permite transferir archivos o carpetas entre computadores. La sintaxis es la siguiente:

```
$ scp archivo usuario@servidor.com:ruta
```

Y para copiar a la inversa, desde el computador remoto al tuyo, simplemente hay que invertir el orden de los elementos:

```
$ scp usuario@servidor.com:ruta/archivo ruta_local
```

Por ejemplo, si quisiéramos mandar algo al servidor:

```
$ scp hola.txt tomas@bootlog.cl:/www/sitio
```

Mandaría el archivo hola.txt y lo dejaría en la carpeta /www/sitio en el servidor bootlog.cl. También se puede mandar carpetas completas así:

```
$ scp -r viajealsur/ tomas@bootlog.cl:/www/sitio/fotos
```

Así mandaríamos la carpeta /viajealsur completa a /www/sitio/fotos.

Ahora, el mismo proceso a la inversa sería:

```
$ scp -r tomas@bootlog.cl:/www/sitio/fotos/viajealsur ~
```

Esto copiaría la carpeta viajealsur/ del servidor a mi carpeta /home.

Como en otros comandos Linux, la ruta por defecto es tu carpeta de usuario y si quieres copiar algo hacia o desde ahí, se puede omitir la ruta.

I.2. VPN.

Una red privada virtual (VPN - *Virtual Private Network*) es una red de comunicaciones canalizada a través de otra red y dedicada a un uso específico. Para nuestro caso esa otra red es Internet. Establecer una VPN que use una red pública como Internet permite eliminar los costos de contratar un enlace dedicado.

Pero Internet no es una red segura, así que una VPN debe utilizar autenticación y encriptar el contenido que viaja a través de ella para evitar el uso de *packet sniffers* (software o hardware que puede interceptar el tráfico en una red insegura).

Utilizar una VPN puede sonar muy esotérico para muchos pero con el incremento de conexiones WiFi y *hotspots* inseguros en todo el mundo pronto será una necesidad para todos los que no quieren que su información viaje desnuda por la Red.

A continuación vemos cómo instalar OpenVPN, una aplicación de código abierto para VPN, en Ubuntu 7.10:

Primero definamos algunos puntos:

- Servidor: Equipo que aceptará las conexiones de los clientes a través de la VPN.
- Cliente: Equipo que se conectará al servidor a través de la VPN.
- Red privada: Red que definiremos en nuestra VPN, usaremos 10.8.0.0 por lo que tendremos IP's como 10.8.0.1, 10.8.0.2, etc.
- Todos los comandos deben ser ejecutados por root o través de sudo.
- Para comentar una línea en `openvpn.conf` usa `#` al inicio de la línea.

I.2.1. Descargar e instalar software.

Ambas son generaciones analógicas

OpenVPN se instala tanto en el cliente como en el servidor, el archivo de configuración que usaremos al iniciar OpenVPN más adelante definirá el rol de cada equipo.

```
sudo apt-get install openvpn
```

Ahora comentamos todas las líneas en `/etc/default/openvpn` y añade:
`AUTOSTART="openvpn"`

Esto le dice a OpenVPN cuál archivo de configuración predeterminado utilizará al iniciar el servicio. Los archivos de configuración se guardan en `/etc/openvpn` y usan la extensión `.conf` por lo que la instrucción de arriba le dice a OpenVPN que use `/etc/openvpn/openvpn.conf`, es un archivo que aún no existe y que crearemos en un momento.

Ahora el servicio OpenVPN puede ser iniciado, detenido o reiniciado en la forma usual:
 Iniciar OpenVPN: `/etc/init.d/openvpn start`
 Detener OpenVPN: `/etc/init.d/openvpn stop`
 Reiniciar OpenVPN: `/etc/init.d/openvpn restart`
 Cada vez que se cambian parámetros en `/etc/openvpn/openvpn.conf` se debe reiniciar OpenVPN.

También instalamos el OPENSSL para la creación de la autoridad de certificados (CA):
`sudo apt-get install openssl`

1.2.2. Creación de claves y certificados.

Ambas son generaciones analógicas
 Todo esto se hace en el servidor como *root*:
`cd /etc/openvpn/`

Ahora copiamos el directorio `easy-rsa` a `/etc/openvpn`:
`cp -r /usr/share/doc/openvpn/examples/easy-rsa/ .`

Editamos el archivo `vars` con nuestro editor favorito, por ej. `vi`, como sigue:
`vi easy-rsa/vars`

Comentamos esta línea:
`#export D=pwd`
 Y añadimos esta:
`export D=/etc/openvpn/easy-rsa`
 Por último se modifican los siguientes parámetros:
`export KEY_COUNTRY=PE`
`export KEY_PROVINCE=LI`
`export KEY_CITY=Lima`
`export KEY_ORG="Nombre-OpenVPN"`
`export KEY_EMAIL="tu-nombre@example.com"`
 Grabamos y cerramos el archivo.

Ahora ya podemos ejecutar:
`./vars`

A continuación:
`./clean-all`

El siguiente comando crea la autoridad de certificados (CA) usando los parámetros arriba definidos, solo deberemos añadir *Common Name*, usando OpenVPN-CA. Este paso usa OpenSSL, que debe ser instalado antes.

```
./build-ca
```

Creamos las claves, primero para el servidor:

```
./build-key-server server
```

Cuando `build-key-server` solicita *Common Name* escribimos “server”, el mismo parámetro que le dimos al comando.

Hay dos preguntas más: *Sign the certificate?* [y/n] y *1 out of 1 certificate requests certified, commit?* [y/n], que respondemos afirmativamente en ambos casos.

Y ahora la clave para el cliente. Usamos `client1` y `client2` como *Common Name*, al igual que el parámetro que usamos para `build-key`.

```
./build-key client1
```

```
./build-key client2
```

Ahora generamos parámetros Diffie Hellman:

```
./build-dh
```

Y obtenemos un nuevo directorio con claves y certificados en tu servidor:

```
/etc/openvpn/easy-rsa/keys.
```

Para configurar los clientes copiamos los siguientes archivos de servidor a cliente:

```
ca.crt
```

```
client1.crt
```

```
client1.key
```

```
client2.crt
```

```
client2.key
```

Copiamos los archivos al directorio personal del usuario en el servidor y asignamos permisos de lectura. Luego los movemos a `/etc/openvpn` en el cliente. Lo ideal es usar un canal seguro, yo prefiero `scp` con autenticación RSA, ejecutando algo como esto en el cliente:

```
scp nombreequipo@servidor:ca.crt .
```

```
scp nombreequipo@servidor:client1.crt .
```

```
scp nombreequipo@servidor:client1.key .
```

```
scp nombreequipo@servidor:client2.crt .
```

```
scp nombreequipo@servidor:client2.key .
```

1.2.3. Archivos de configuración.

Ambas son generaciones analógicas

Aún en el cliente hay que crear un archivo llamado `openvpn.conf` en `/etc/openvpn` tal como sigue:

```
dev tun
```

```

client
proto tcp
remote 10.0.10.81 1194 #IP del servidor y puerto de la VPN.
resolv-retry infinite
nobind
user nobody
group nogroup

# Try to preserve some state across restarts
persist-key
persist-tun
ca ca.crt
cert client1.crt
key client1.key
#comp-lzo

# Set log file verbosity
verb 3

```

Para tener una segunda VPN, debemos crear un segundo fichero de configuración de un segundo cliente llamado `openvpn_client2.conf` apuntando al mismo servidor, pero por otro puerto:

```

dev tun
client
proto tcp
remote 10.0.11.81 1193 #IP del servidor y nuevo puerto de la VPN.
resolv-retry infinite
nobind
user nobody
group nogroup

# Try to preserve some state across restarts
persist-key
persist-tun
ca ca.crt
cert client1.crt
key client1.key
#comp-lzo

# Set log file verbosity
verb 3

```

Ahora en el servidor hay que crear un archivo `openvpn.conf` en `/etc/openvpn` como sigue:

```

dev tun0

proto tcp
port 1194

ca /etc/openvpn/easy-rsa/keys/ca.crt

```

```
cert /etc/openvpn/easy-rsa/keys/server.crt
key /etc/openvpn/easy-rsa/keys/server.key
dh /etc/openvpn/easy-rsa/keys/dh1024.pem
```

```
user nobody
group nogroup
server 10.8.0.0 255.255.255.0
```

```
persist-key
persist-tun
```

```
#status openvpn-status.log
#verb 3
#client-to-client
#push "redirect-gateway def1"
#log-append /var/log/openvpn
#comp-lzo
Daemon
```

Para tener una conexión más rápida en nuestro caso desactivar la compresión en cliente y servidor comentando esta línea y así no introducir retardos extras al comprimir:

```
#comp-lzo
```

De igual manera que en el cliente creamos un segundo fichero de configuración denominado `openvpn_server2.conf`:

```
dev tun1
```

```
proto tcp
port 1193
```

```
ca /etc/openvpn/easy-rsa/keys/ca.crt
cert /etc/openvpn/easy-rsa/keys/server.crt
key /etc/openvpn/easy-rsa/keys/server.key
dh /etc/openvpn/easy-rsa/keys/dh1024.pem
```

```
user nobody
group nogroup
server 10.9.0.0 255.255.255.0
```

```
persist-key
persist-tun
#comp-lzo
daemon
```

Y finalmente configuramos `IP forwarding` e `iptables` para NAT en el servidor:

```
echo 1 > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward
sudo iptables -t nat -A POSTROUTING -s 10.8.0.0/24 -o eth0 -j MASQUERADE
```

Verificamos que la regla fue escrita correctamente con un listado:
sudo iptables -L -t nat

Hay que desactivar el firewall para probar y luego crear reglas que permitan que el tráfico de la VPN pase.

Si necesitamos borrar las reglas si cometemos un error podemos hacer:

```
sudo iptables -F -t nat
```

Reiniciamos el OpenVPN en ambos equipos, cliente y servidor, y hemos terminado.

Si ahora ejecutamos ifconfig y route -n deberías ver una nueva interfaz, tun0, en cliente y servidor.

Podemos confirmar que hay conexión haciendo ping entre ambos usando los IP de las interfaces tun0, por ejemplo:

```
ping 10.8.0.1
```

El cliente ya está conectado al servidor a través de OpenVPN y podemos comunicarnos de manera transparente entre el cliente 1 y el servidor 1 o entre el cliente 2 y el servidor 2.

Anexo J: Fotos del proyecto.

J.1. Medidas con preWiMAX.

Algunos escenarios montados con el preWiMAX de Alvarion pueden verse en las siguientes imágenes:



J.1.1. Estación base preWiMAX.



Figura J.1.2. Escenario LOS visto desde el cliente preWiMAX.



Figura J.1.3. Escenario OLOS visto desde el cliente preWiMAX.



Figura J.1.4. Escenario NLOS con reflexión visto desde el cliente preWiMAX.



Figura J.1.5. Escenario NLOS con una reflexión parcial visto desde el cliente preWiMAX.

J.2. Medidas con WiMAX móvil estándar.

Algunos escenarios montados con el WiMAX móvil de Alvarion pueden verse en las siguientes imágenes:



Figura J.2.1. Estación base WiMAX móvil estándar.



Figura J.2.2. Cliente WiMAX móvil estándar apuntando a la estación base en un escenario LOS.



Figura J.2.3. Escenario OLOS visto desde el cliente WiMAX móvil estándar.



Figura J.2.4. Escenario NLOS con reflexión visto desde el cliente WiMAX móvil estándar.



Figura J.2.5. Escenario OLOS a 5 Km visto desde el cliente WiMAX móvil estándar.



Figura J.2.6. Estación base WiMAX móvil estándar apuntando a Loarre.



Figura J.2.7. Cliente WiMAX móvil estándar situado en Loarre, escenario LOS.

