

T4 – Redes de Acceso Inalámbricas (WiMAX/Satélite)

Redes de Comunicaciones
Móviles

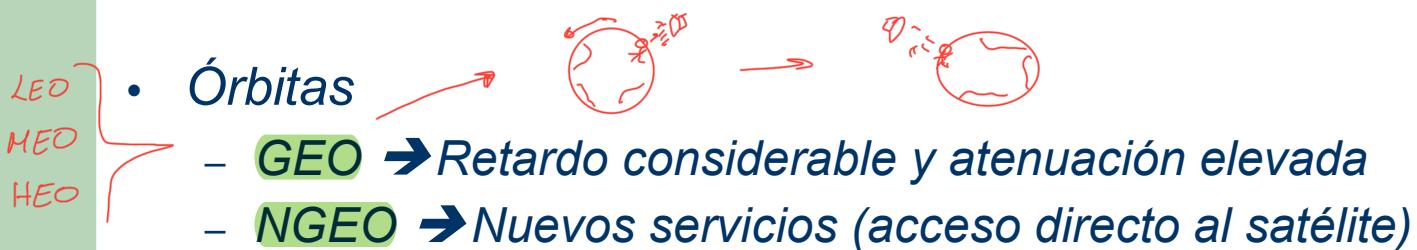
Curso 2025 - 2026

Índice

- *Redes de acceso por satélite*
- *WiMAX, IEEE 802.16*
- *Soluciones propietarias*

Redes de acceso por satélite

- Tradicionalmente los satélites de comunicaciones se han utilizado para establecer enlaces troncales de **larga distancia** y servicios de difusión
- Características
 - **Amplia cobertura** (un satélite → varias áreas de cobertura)
 - **Rapidez de instalación**
 - **Adecuación para servicios de difusión y multicast**

- Órbitas
 - **GEO** → Retardo considerable y atenuación elevada
 - **NGEO** → Nuevos servicios (acceso directo al satélite)

Redes de acceso por satélite

- Satélites Geoestacionarios (GEO)
 - Período orbital de los satélites (*f(distancia Tierra*)
 - Cuanto más cerca => más corto es el período
 - Primeros satélites de comunicaciones no coincidía el período con el de rotación de la Tierra sobre su eje (movimiento aparente en el cielo) difícil orientación y desaparecía en el horizonte con interrupción de la comunicación
 - Altura por la cual Período orbital = Período rotación Tierra
 - 35786,04 Km → “Cinturón de Clarke”
 - Vistos desde la Tierra, los satélites parecen inmóviles en el cielo
 - Ventajas: Uso de antenas fijas (*orientación no cambia*) y asegura contacto permanente con el satélite

Redes de acceso por satélite

• Satélites Geoestacionarios (GEO)

- Los satélites comerciales funcionan en tres bandas de frecuencias, llamadas C, Ku y Ka. La gran mayoría de emisiones de televisión por satélite se realizan en la banda Ku.
- No es conveniente poner muy próximos en la órbita geoestacionaria dos satélites que funcionen en la misma banda de frecuencias, ya que pueden interferirse
- En la banda C la distancia mínima es de dos grados, en la Ku y la Ka, de un grado. Esto limita en la práctica el número total de satélites que puede haber en toda la órbita geoestacionaria, es decir, 180 satélites en la banda C y 360 en las bandas Ku y Ka.
- La distribución de bandas y espacio en la órbita geoestacionaria se realiza mediante acuerdos internacionales

Redes de acceso por satélite

- **Satélites Geoestacionarios (GEO)**
 - La elevada direccionalidad de las altas frecuencias hace posible concentrar las emisiones por satélite a regiones geográficas muy concretas, hasta de unos pocos cientos de kilómetros.
 - Permite evitar la recepción en zonas no deseadas y reducir la potencia de emisión necesaria, o bien
 - Concentrar el haz para así aumentar la potencia recibida por el receptor, reduciendo al mismo tiempo el tamaño de la antena parabólica necesaria.
 - Por ejemplo, el satélite Astra tiene una huella que se aproxima bastante al continente europeo.
 - Cada una de las bandas utilizadas en los satélites se divide en canales.
 - Para cada canal suele haber en el satélite un repetidor, llamado transponder o transpondedor, que se ocupa de capturar la señal ascendente y retransmitirla de nuevo hacia la tierra en la frecuencia que le corresponde.

Redes de acceso por satélite

• Satélites Geoestacionarios (GEO)

- Cada canal puede tener un ancho de banda de 27 a 72 MHz y puede utilizarse para enviar señales analógicas de vídeo y/o audio, o señales digitales que puedan corresponder a televisión (normal o en alta definición), radio digital (calidad CD), conversaciones telefónicas digitalizadas, datos, etc.
 - La **eficiencia** que se obtiene suele ser de **1 bit/s por Hz**; así, por ejemplo, un canal de 50 MHz permitiría transmitir un total de 50 Mbit/s de información.
 - Un **satélite típico** divide su ancho de banda de 500 MHz, en unos **doce receptores-transmisores** de un **ancho de banda** de 36 MHz cada uno. Cada par **puede emplearse para codificar un flujo de información de 500 Mbit/s, 800 canales de voz digitalizada de 64 kbit/s**, o bien, otras combinaciones diferentes.

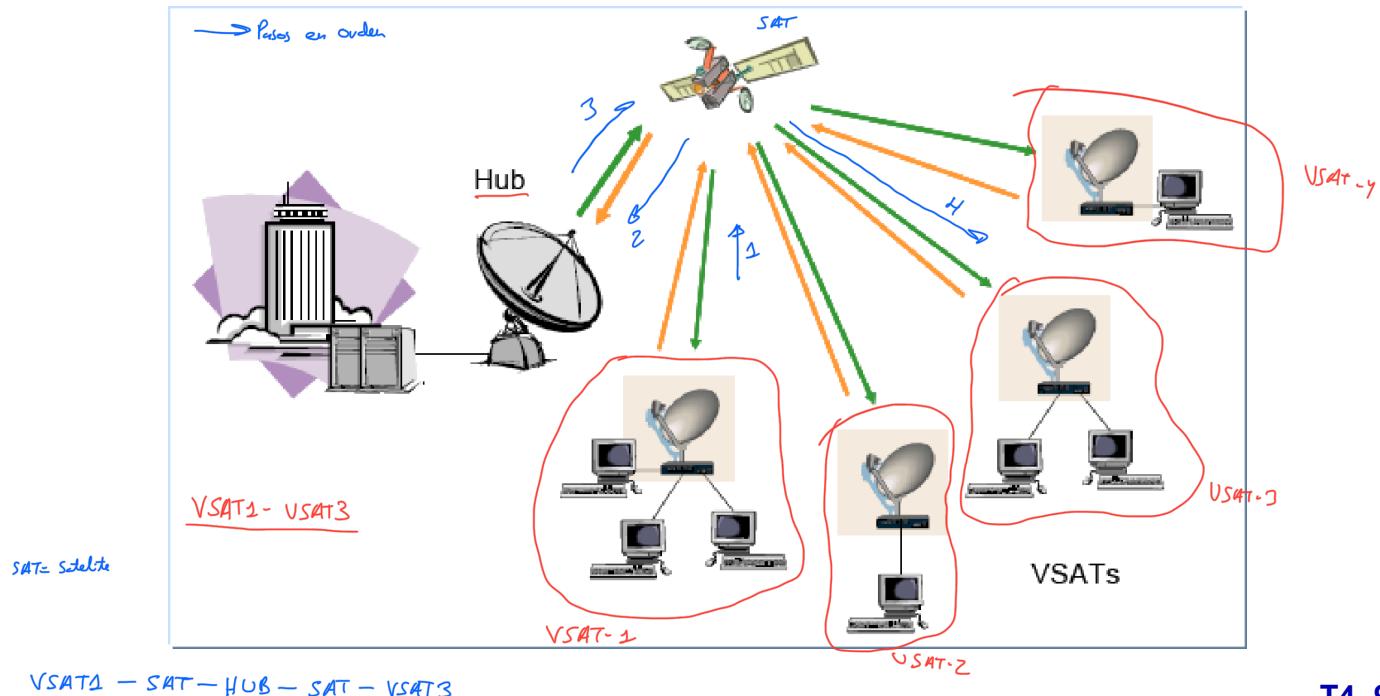
Redes de acceso por satélite

• Satélites Geoestacionarios (GEO)

- Para la transmisión de datos vía satélite se han creado estaciones de emisión-recepción de bajo coste, llamadas **VSAT** (Very Small Aperture Terminal).
 - Una estación VSAT típica tiene una antena de un metro de diámetro y un watio de potencia.
 - Normalmente, las estaciones VSAT no tienen potencia suficiente para comunicarse entre sí a través del satélite (VSAT - satélite - VSAT), por lo que se suele utilizar una estación en tierra llamada **hub**, que actúa como repetidor.
 - De esta forma, la comunicación ocurre con dos saltos tierra-aire (VSAT- satélite - hub - satélite - VSAT). Un solo hub puede dar servicio a múltiples comunicaciones **VSAT**.

Redes de acceso por satélite

- *GEO*
 - Adecuación para servicios de difusión



Redes de acceso por satélite

- **Satélites Geoestacionarios (GEO)**
 - Las comunicaciones vía satélite tienen algunas **características singulares**
 - **Retardo** que introduce la transmisión de la señal a tan grandes distancias.
 - Con **36 000 km de altura orbital**, la señal ha de viajar como mínimo **72 000 km**, lo cual supone un **retardo de 240 milisegundos**, sólo en la transmisión; en la práctica el retardo es de 250 a 300 milisegundos según la posición relativa del emisor, el receptor y el satélite.
 - En una **comunicación VSAT-VSAT** los **tiempos se duplican**, debido a la **necesidad de pasar por el hub**.
 - A título comparativo en una comunicación terrestre por fibra óptica, a **10 000 km de distancia**, el retardo puede suponer 50 **ms**.
 - **Fenómenos que dificultan las comunicaciones** vía satélite,
 - El movimiento aparente en ~~el~~ los satélites de la órbita geoestacionaria debido a los **balanceos de la Tierra en su rotación**, los **eclipses de Sol** en los que la Luna impide que el satélite pueda cargar las baterías y los tránsitos solares, en los que el Sol interfiere las comunicaciones del satélite al encontrarse éste entre el Sol y la Tierra.

Redes de acceso por satélite

• Satélites Geoestacionarios (GEO)

- Otra característica singular de los satélites es que sus emisiones son **broadcast** de manera natural.
 - Tiene el mismo coste enviar una señal a una estación que enviarla a todas las estaciones que se encuentren dentro de la huella del satélite. Para algunas aplicaciones esto puede resultar muy interesante, mientras que para otras, donde la seguridad es importante, es un inconveniente, ya que todas las transmisiones han de ser cifradas. Cuando varios ordenadores se comunican a través de un satélite (como en el caso de estaciones VSAT), los problemas de utilización del canal común de comunicación que se presentan son similares a los de una red local.
 - El coste de una transmisión vía satélite es independiente de la distancia, siempre que las dos estaciones se encuentren dentro de la zona de cobertura del mismo satélite. Además, no hay necesidad de hacer infraestructuras terrestres, y el equipamiento necesario es relativamente reducido, por lo que son especialmente adecuados para enlazar instalaciones provisionales que tengan una movilidad relativa, o que se encuentren en zonas donde la infraestructura de comunicaciones está poco desarrollada.
- Recientemente se han puesto en marcha servicios de transmisión de datos vía satélite, basados en el sistema de transmisión de la televisión digital, lo cual permite hacer uso de componentes estándar de bajo coste.
 - Además de poder utilizarse de forma full-duplex como cualquier comunicación convencional vía satélite, es posible realizar una comunicación simple en la que los datos (vía satélite) sólo se transmiten de la red al usuario, pero para el caminio de vuelta es decir del usuario a la red, éste utiliza telefonía (vía módem o RDSI). De esta forma la comunicación red->usuario se realiza a alta velocidad (típicamente 400-500 kbit/s), con lo que se obtiene una comunicación asimétrica. El usuario evita así instalar el costoso equipo transmisor de datos hacia el satélite.

Redes de acceso por satélite

N GEO

- **Satélites de órbita baja, LEO** *Low Earth Orbit*
 - Los satélites con órbitas inferiores a 36 000 km tienen un período de rotación inferior al de la Tierra, por lo que su posición relativa en el cielo cambia constantemente.
 - La movilidad es tanto más rápida cuanto menor es su órbita. *Retardo satelital reducido*
 - En 1990 Motorola puso en marcha un proyecto consistente en poner en órbita un gran número de satélites (66 en total). → *IRIDIUM*
 - Estos satélites, conocidos como satélites Iridium se colocarían en grupos de once, en seis órbitas circumpolares (siguiendo los meridianos) a 750 km de altura, repartidos de forma homogénea, a fin de constituir una cuadrícula que cubriera toda la tierra.

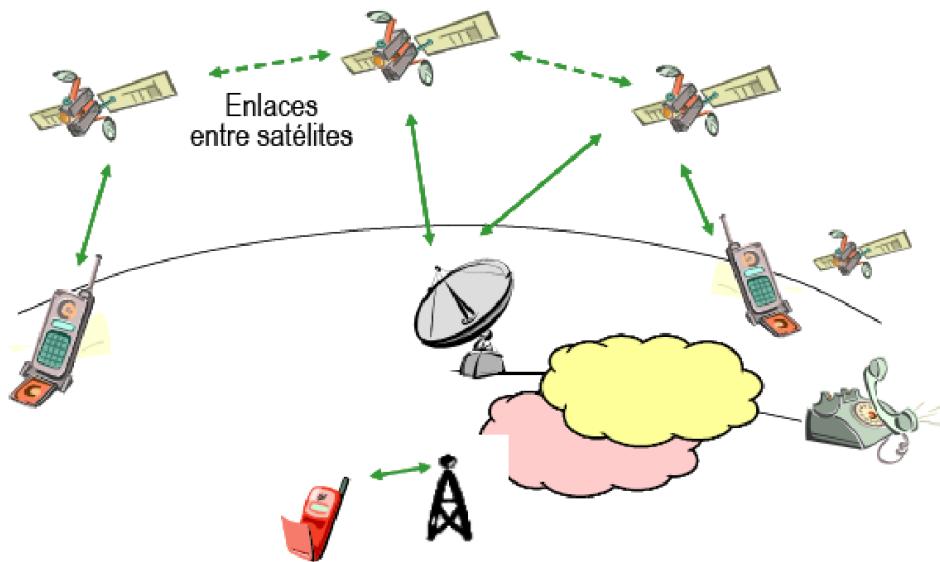
Redes de acceso por satélite

- ***Satélites de órbita baja, LEO***

- Cada satélite tiene el periodo orbital de 90 minutos, por lo que en un punto dado de la tierra, el satélite más próximo cambiaría cada ocho minutos.
- Cada uno de los satélite emitiría varios haces diferentes (hasta un máximo de 48), cubriendo toda la tierra con 1628 haces; cada uno de estos haces constituiría una celda, y el satélite correspondiente serviría para comunicar a los usuarios que se encontraran bajo su huella.
- La comunicación usuario-satélite se haría en frecuencias de banda de 1.6 GHz, que permite el uso de dispositivos portátiles. La comunicación entre los satélites en el espacio exterior se llevaría a cabo en la banda Ka.
 - En resumen, podemos ver este proyecto como una infraestructura GSM que cubre toda la Tierra y está "colgada" del cielo.

Redes de acceso por satélite

- Satélites de órbita baja, LEO
 - Constelaciones de satélites
 - Retardo satelital reducido
 - Pocos sistemas en operación (Iridium, Globalstar)



Redes de acceso por satélite

- GEO vs NGEO (NO geoestacionario)**

Tipo de Órbita	Altitud (sobre superficie terrestre, km)	Número de Satélites (cobertura global)	Retardo de Comunicación (ms)
LEO	200 - 3.000	60 - 90	20 - 40 ↙
MEO	3.000 - 11.000	8 - 12	50 - 150 ↙
HEO	Hasta 40.000	----	variable ↙
GEO	35.786	3 ↗	250 ↙

HEO: Medium Earth Orbit

HEO: High Earth Orbit

Sistema de posicionamiento por satélite Galileo. Consta de 30 satélites situados en tres órbitas a 23.222km de altitud

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Galileo_sat_constallation.gif

Redes de acceso por satélite

- *Bandas de frecuencias*

Banda	Enlaces satélite (GHz)		Antena típica (m)	Servicio por satélite
	Ascendente	Descendente		
L	1,626-1,66	1,53-1,559	Terminales de mano	Móviles (MSS)
S	2,655-2,69	2,5-2,655	Terminales de mano	Móviles (MSS)
C	5,725-7,075	3,4-4,2 4,5-4,8	2,4 m	Fijo (FSS) (Telefonía, TV y datos)
Ku	12,75-13,25 14-14,8 17,3-18,1	10,7-12,75	1 m	Fijo (FSS) y Difusión (BSS) (Telefonía, TV DTH y datos)
Ka	27,0-31,0	18,1-21,2	< 0,6 m	Fijo (FSS) y Relay de datos (servicios de banda ancha)

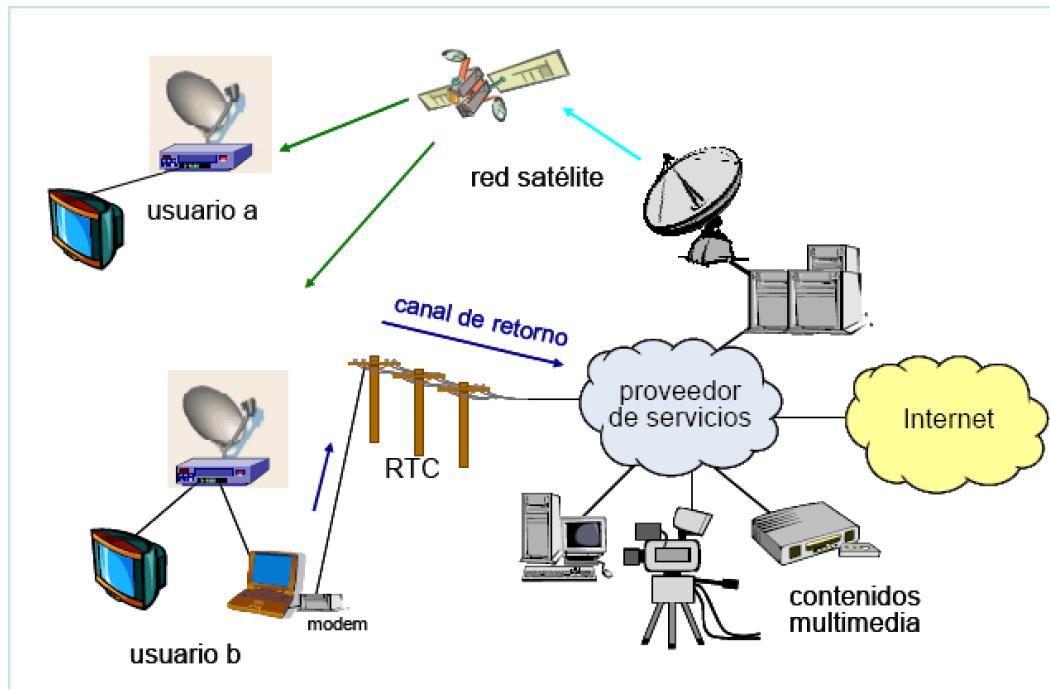
- *Banda X, 7-8 Ghz (uso militar)*

Redes de acceso por satélite

- *Tipos de redes:*
 - *Unidireccional*
 - *NO hay canal de retorno*
 - *Híbridos*
 - *El canal de retorno se realiza a través de otra red (RTC, RDSI)*
 - *Bidireccional*
 - *Capacidad para transmisión directa la satélite ➔ antenas mayores*

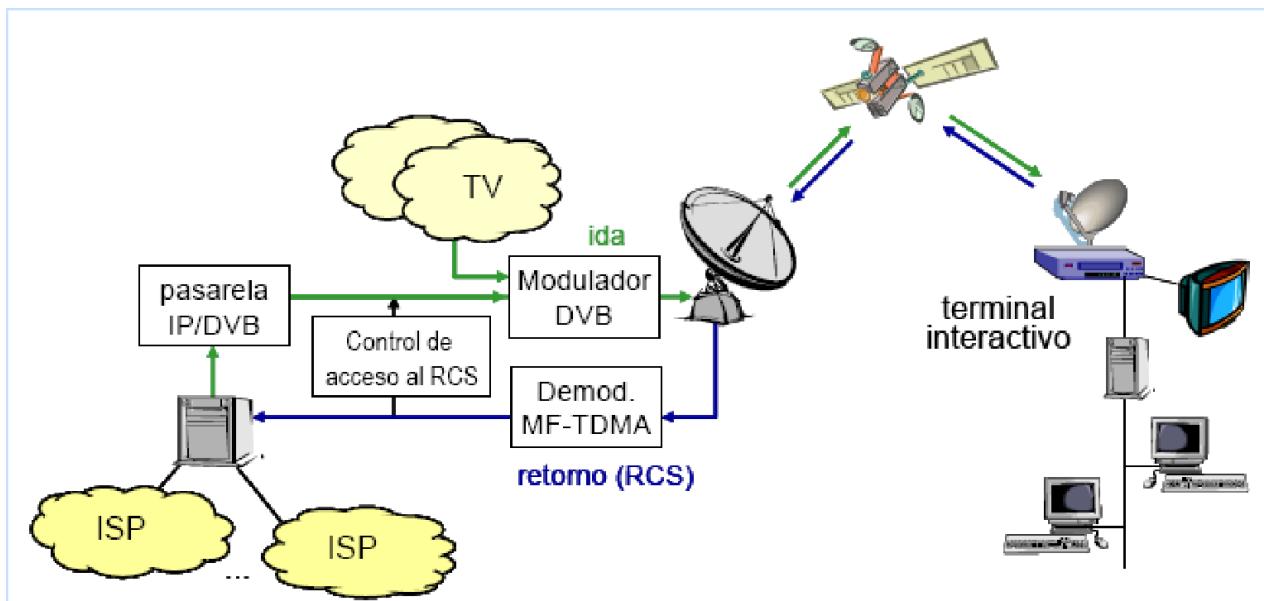
Redes de acceso por satélite

- *Tipos de redes:*
 - Unidireccional/Híbrida



Redes de acceso por satélite

- *Tipos de redes:*
 - *Bidireccional*



Redes de acceso por satélite

- Acceso múltiple
 - **FDMA**
 - Se asignan *frecuencias a cada terminal*
 - *Pocos terminales*
 - **TDMA**
 - Se asignan *periodos de transmisión fijos a cada terminal*
 - *Margen de guarda para retardos*
 - **MF-TDMA (Multiple Frequency TDMA)**
 - **CDMA**
 - *Exclusivo para comunicaciones digitales*

Redes de acceso por satélite

- *Capa de enlace*
 - Por regla general, se utilizan los estándares del ETSI propuestos por **Digital Video Broadcasting Project**
 - *Canal de descendente*
 - DVB-S → hasta 44 Mbps
 - DVB-S2 → hasta 59 Mbps
 - Trama MPEG-2
 - *Canal de retorno*
 - DVB-RCS (*Return Channel by Satellite*) → hasta 20 Mbps
 - DVB-RCS2+M → (2012) 30% más eficiente que RCS y soporta terminales móviles
 - Acceso múltiple: MF-TDMA

Redes de acceso por satélite

- Adecuación de servicios

Servicios	Tipo de Sistema	
	GEO	LEO
<u>Telefonía</u>	Adecuación media, se implementan mecanismos de cancelación de ecos para compensación de los elevados retardos de transmisión.	Adecuados, sistemas diseñados específicamente con este fin
<u>Streaming</u>	Adecuados para audio y para video a media/baja velocidad.	Adecuado para streaming de audio y, en el caso de vídeo, a muy baja velocidad.
<u>Descarga entre pares (Peer to peer)</u>	Adecuado para esta y otras aplicaciones de transferencia de archivos sin requisitos de retardo.	Permite acceso a Internet de muy baja velocidad, adecuación a esta aplicación dependiente de la velocidad requerida.
<u>Juegos en red</u>	<u>Adecuación baja</u> dados los retardos implicados en la comunicación.	Permite acceso a Internet de muy baja velocidad, <u>adecuación baja</u> a <u>esta aplicación</u> .
Difusión de TV	Especialmente adecuados para la distribución de TV por las capacidad / cobertura y escalabilidad que proporcionan	No aplicable
Video bajo Demanda	Adecuado por capacidad, limitado por granularidad.	No aplicable

Redes de acceso por satélite

Satellite Orbits

https://www.youtube.com/watch?v=bvLTSTVne7I&t=8s&ab_channel=IfiokOtung

Starlink

https://www.youtube.com/watch?v=evRTtxS4scw&ab_channel=CanalRev

IEEE 802.16

Introducción

- IEEE802.16 pertenece a la familia IEEE802, especificando estándares para redes metropolitanas inalámbricas de banda ancha
 - ~~<http://standards.ieee.org/develop/get802/802.16.html>~~
 - <http://www.ieee802.org/16/>

Interoperabilidad mundial para acceso por microondas

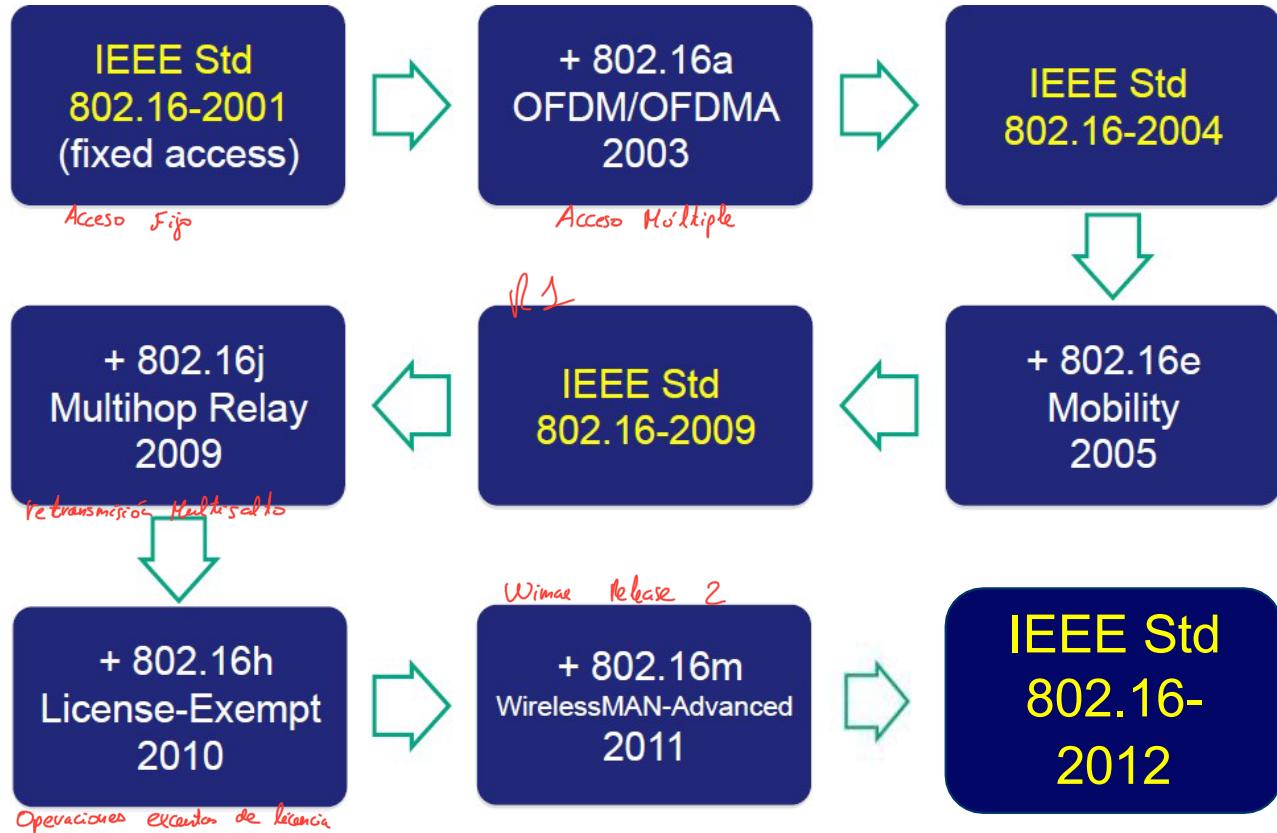


- WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
 - WiMAX Forum → organismo para certificar el cumplimiento del estándar y la interoperabilidad entre equipamiento de distintos fabricantes
 - <http://www.wimaxforum.org/>



IEEE 802.16

Introducción



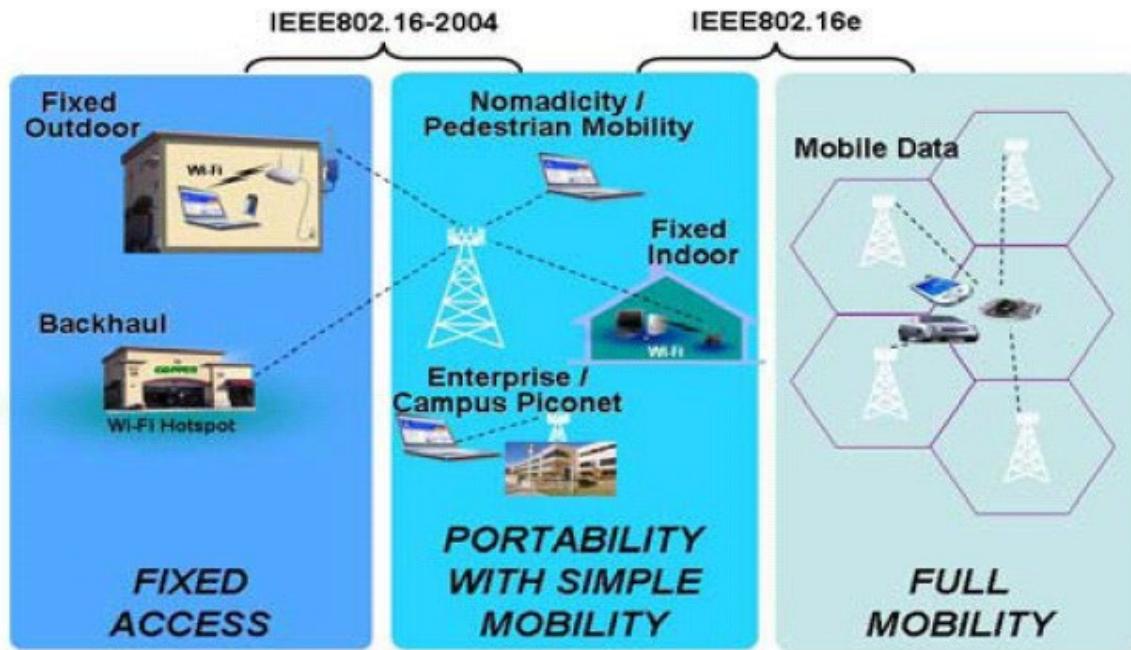
IEEE 802.16

Introducción

- **802.16-2001** → 10-66 GHz, LOS, punto a multipunto
Line of sight 134 Mbps
- **802.16a** → Extensión 2-11 GHz, NLOS, Last mile, 40 Mbps
- **802.16e** → (Mobile Broadband Wireless Access System)
Movilidad de usuarios, 120 km/h,
- **802.16j** → Estaciones repetidoras para extender el área de cobertura y mejorar el ancho de banda
- **802.16m** → (Mobile WiMAX Release 2 o WirelessMAN-Advanced) Mejora de prestaciones respecto a los estándares fijo y movilidad anteriores, 1 Gbps (fijo), 100 Mbps (móvil)

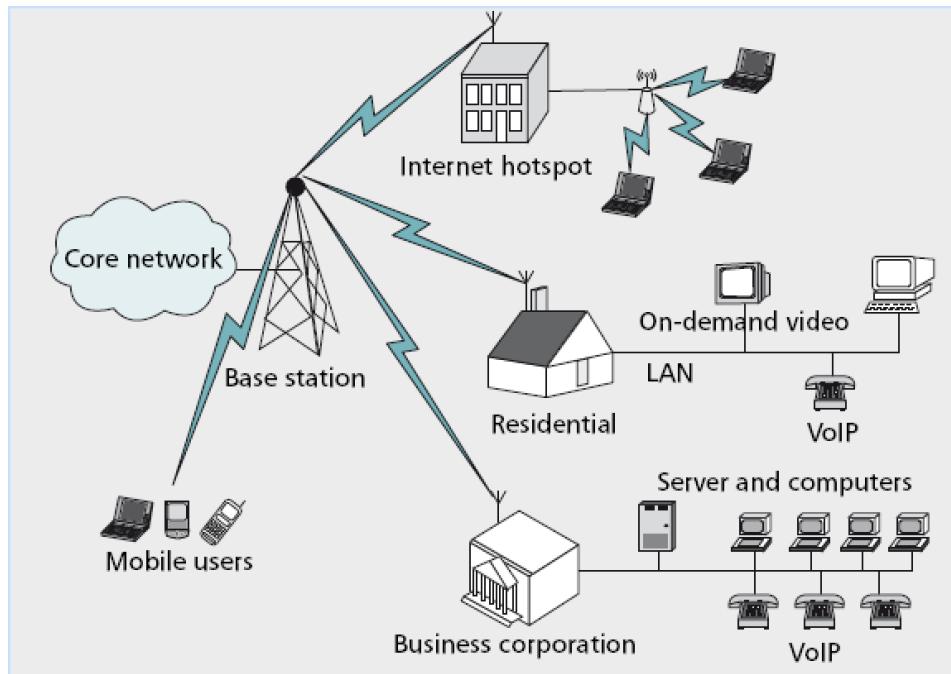
IEEE 802.16

Introducción



IEEE 802.16

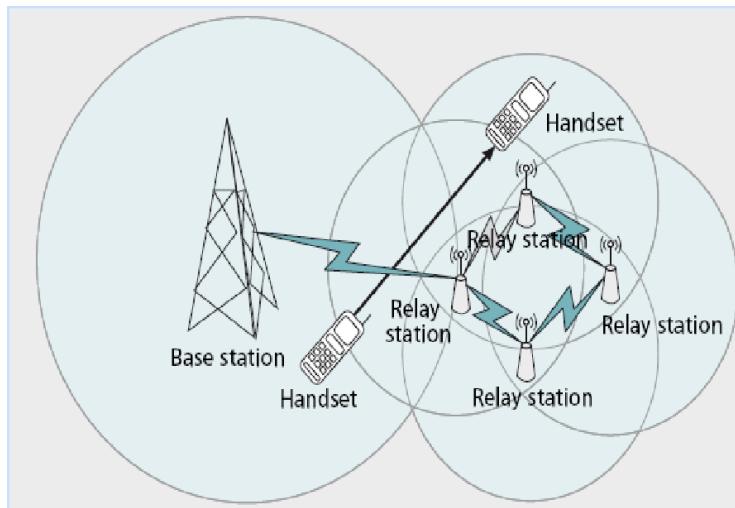
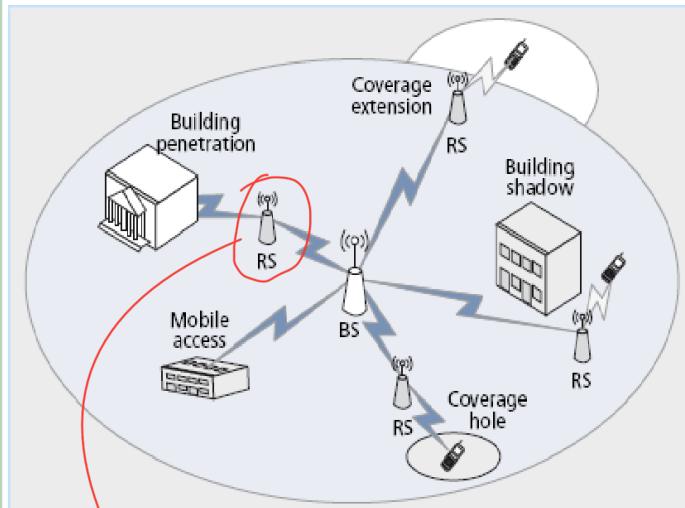
Introducción



IEEE 802.16

Introducción

- 802.16j → Retransmisión Multi-salto



RS: Relay Station. Estación de Retransmisión

IEEE 802.16

Introducción

- Características

- ✓ Orientado a conexión
- ✓ Perfiles de ráfaga (burst profiles) asociados con cada trama se definen perfiles de ráfaga dentro de la capa.
- ✓ Concatenación de PDUs en una misma transmisión
- ✓ TDD / FDD
- ✓ QoS
- ✓ Modulación adaptativa
- ✓ Antenas adaptativas y MIMO

IEEE 802.16

Introducción

Curiosidad: nada más

	LTE (3GPP R8)	LTE-Advanced (3GPP R10)	WiMAX 802.16e (R1.0)	WiMAX 802.16m (R2.0)
Physical layer	DL: [*] OFDMA [†] UL: [*] SC-FDMA [‡]	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: OFDMA	DL: OFDMA UL: OFDMA
Duplex mode	FDD and TDD [§]	FDD and TDD	TDD	FDD and TDD
User mobility	217 mph (350 km/h)	217 mph (350 km/h)	37 to 74 mph (60 to 120 km/h)	217 mph (350 km/h)
Channel bandwidth	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz	Aggregate components of Release 8	3.5, 5, 7, 8.75, 10 MHz	5, 10, 20, 40 MHz
Peak data rates	DL: 302 Mbps (4×4 antennae) UL: 75 Mbps (2×4) at 20 MHz FDD	DL: 1 Gbps UL: 300 Mbps	DL: 46 Mbps (2×2) UL: 4 Mbps (1×2) at 10 MHz TDD 3:1 (downlink/uplink ratio)	DL > 350 Mbps (4×4) UL > 200 Mbps (2×4) at 20 MHz FDD
Spectral efficiency	DL: 1.91 bps/Hz (2×2) UL: 0.72 bps/Hz (1×2)	DL: 30 bps/Hz UL: 15 bps/Hz	DL: 1.91 bps/Hz (2×2) UL: 0.84 bps/Hz (1×2)	DL > 2.6 bps/Hz (4×2) UL > 1.3 bps/Hz (2×4)
Latency	Link layer < 5 ms Handoff < 50 ms	Link layer < 5 ms Handoff < 50 ms	Link layer ~ 20 ms Handoff ~ 35 to 50 ms	Link layer < 10 ms Handoff < 30 ms
VoIP capacity	80 users per sector/ MHz (FDD)	>80 users per sector/ MHz (FDD)	20 users per sector/ MHz (TDD)	>30 users per sector/ MHz (TDD)

^{*}Downlink/uplink, [†]Orthogonal frequency-division multiple access, [‡]Single-carrier frequency-division multiple access,

[§]Frequency-division duplexing and time-division duplexing

IEEE 802.16

Capa Física

- La modulación y codificación se adapta en función de las condiciones del enlace*
- Se utiliza un indicador de calidad de canal para determinar la modulación y codificación requerida*
- Puede ser cambiado ráfaga a ráfaga (burst profiles)*

PARAMETER	DL	UL
<u>Modulation</u>	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM; BPSK optional for OFDMA-PHY	BPSK, QPSK, 16 QAM; 64 QAM optional
<u>Coding</u>	Mandatory: convolutional codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 Optional: convolutional turbo codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; repetition codes at rate 1/2, 1/3, 1/6, LDPC, RS-Codes for OFDM-PHY	Mandatory: convolutional codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 Optional: convolutional turbo codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; repetition codes at rate 1/2, 1/3, 1/6, LDPC

obligatorio

IEEE 802.16

Capa Física

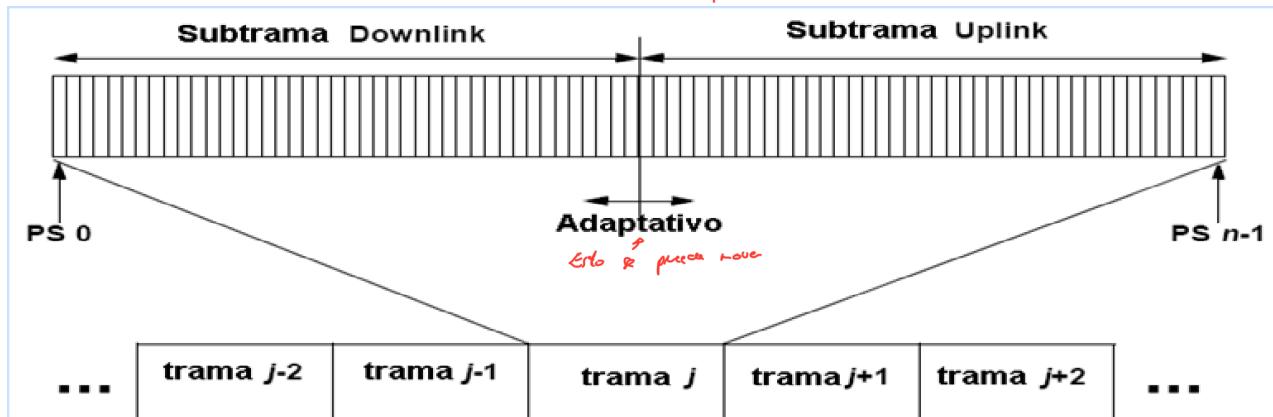
- ~~Título~~ **Time-Division Duplex (TDD)**
 - *DL & UL comparten el mismo canal de radiofrecuencia*
 - *Half-duplex*
- **Frequency-Division Duplex (FDD)**
 - *DL & UL en canales separados*
 - *Esta técnica no se suele usar en bandas no licenciadas*
 - *Full-duplex y half-duplex*
- **WiMAX permite FDD y TDD**
 - *Se utiliza más TDD por aprovechamiento del espectro*

IEEE 802.16

Capa Física

- **TDD**

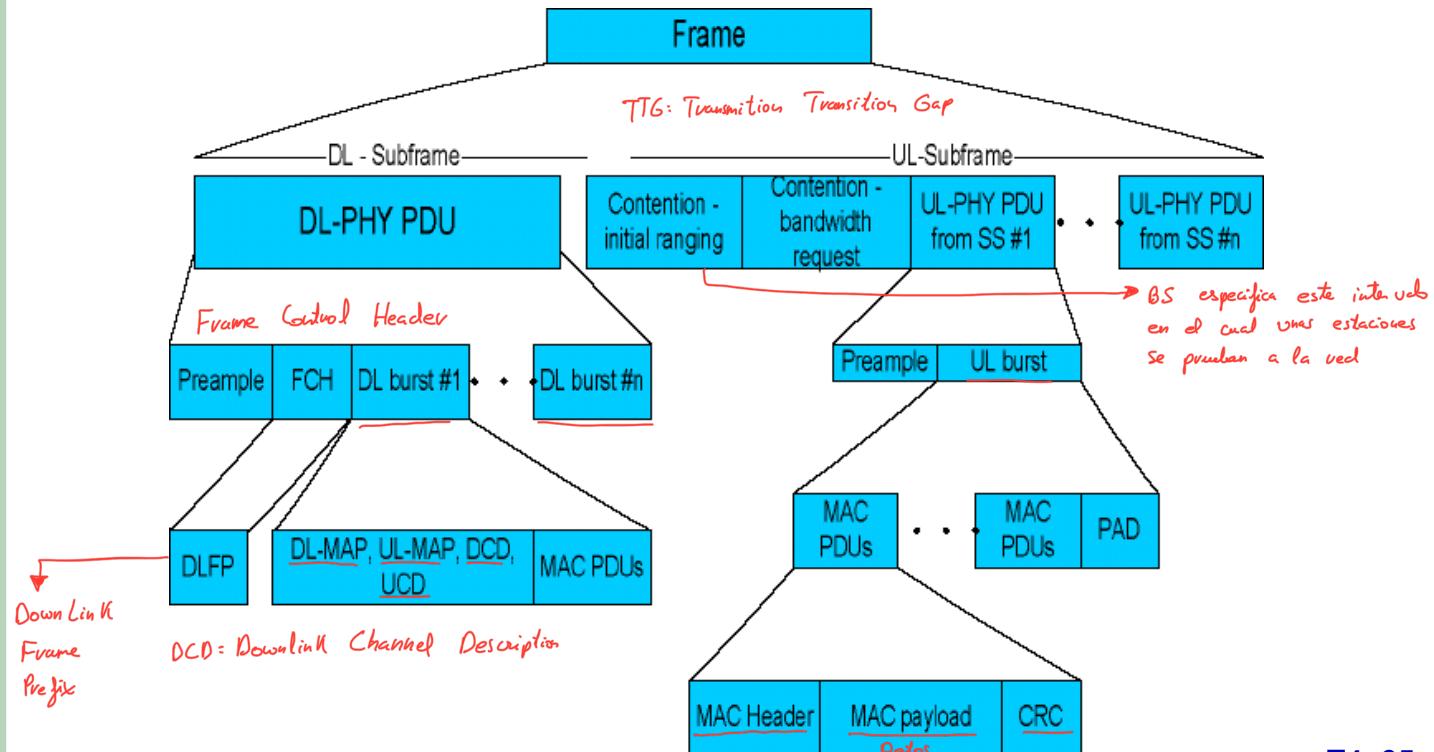
- La trama se divide en dos sub-tramas: *downlink* y *uplink* seguido de un intervalo de guarda
- Relación *DL/UL* → 1:1 a 3:1 para soportar diferentes perfiles de tráfico
 - ijuelas*
 - 3 veces más que UL*
- Duración del frame: 2 a 20 ms → sólo soportan 5 ms
 - Relación 1:4*



IEEE 802.16

Capa Física

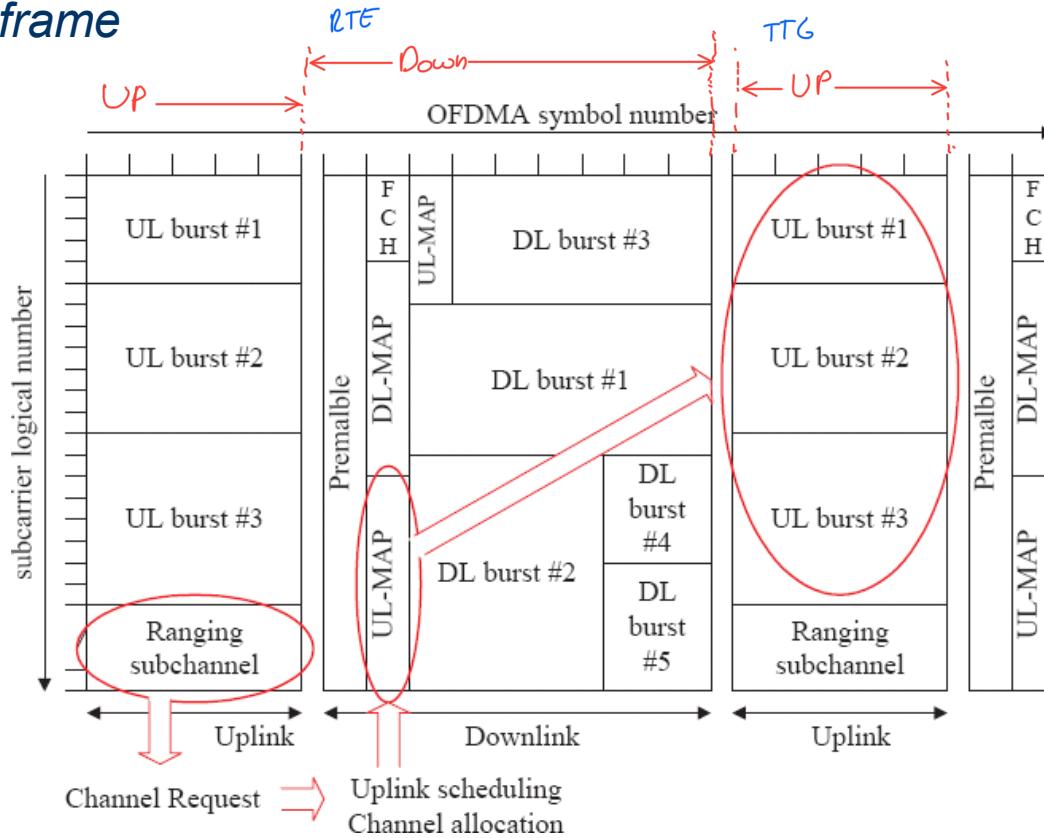
- TDD frame



IEEE 802.16

Capa Física

- TDD frame



IEEE 802.16

Capa Física

- *TDD frame*
 - *DL subframe*
 - *Preamble: sincronización y estimación inicial de canal*
 - *Frame control header (FCH): información de control (subportadoras usadas, longitud mensaje...)*
 - *Codificado siempre en BPSK R1/2 para asegurar robustez y fiabilidad*
 - *DL-MAP y UL-MAP: Asignación a cada usuario de las regiones de datos*
 - *Broadcast*
 - *Pérfil de ráfaga de cada usuario (modulación y esquema de codificación)*
 - *Cada MS identifica los canales y símbolos OFDM asignados para su uso* → *Mobile System*
 - *Los bursts se ordenan de mayor a menor robustez de codificación*

IEEE 802.16

Capa Física

- *TDD frame*
 - *UL subframe*
 - *Formado por los bursts de diferentes usuarios*
 - *Asignación por TDMA*
 - *Preámbulo al principio de cada burst*
 - *Una parte del UL subframe tiene acceso basado en contención (ranging channel)*
 - *Ajustes de potencia, tiempo y frecuencia*
 - *Solicitud de ancho de banda de subida*

IEEE 802.16

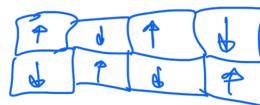
Capa Física

- *FDD frame*
 - La estructura del frame es similar a la TDD
 - DL y UL subframes son multiplexados en diferentes portadoras → se transmiten simultáneamente

TDD



FDD



IEEE 802.16

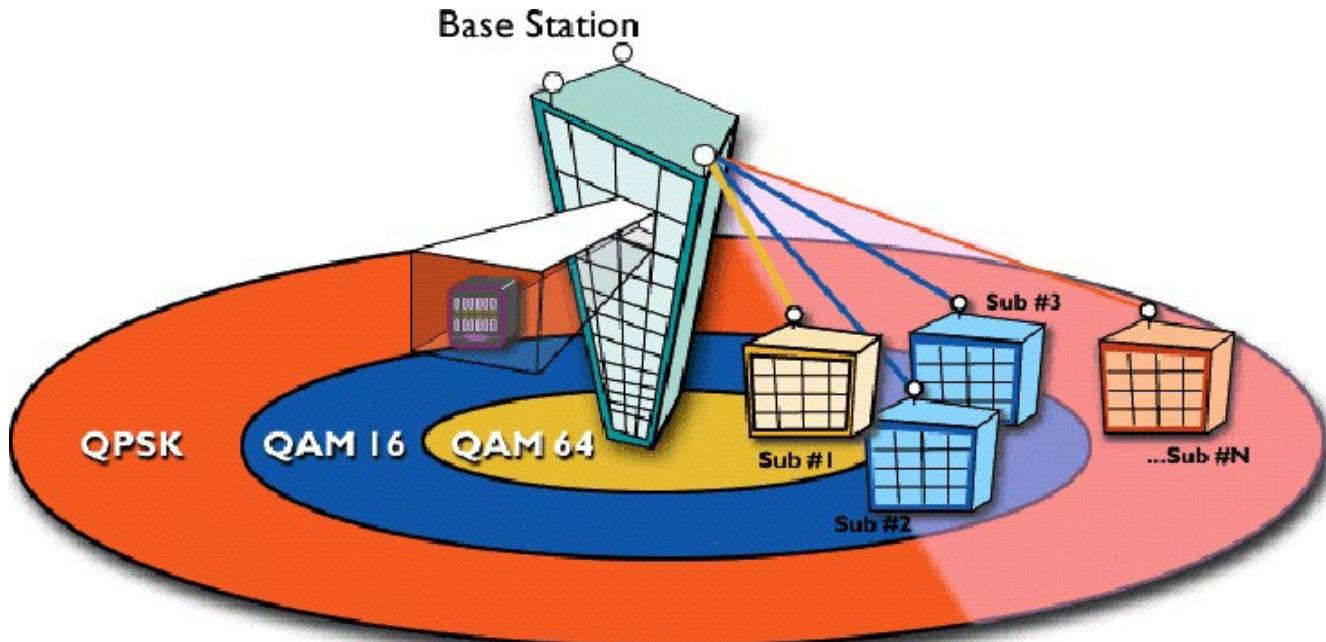
Capa Física

- **Burst profile** → Perfil de Ráfaga
 - Conjunto de parámetros que describen las propiedades de transmisión downlink/uplink
 - Se asigna dinámicamente 🚧 según las condiciones del enlace
 - Por cada estación y ráfaga
 - Cada burst profile contiene:
 - a) Tipo de modulación y codificación
 - b) Longitud
 - c) Tiempo de guarda
 - d) Tipo de FEC (forward error correction)

IEEE 802.16

Capa Física

- *Modulación adaptativa*
 - Capacidad vs robustez



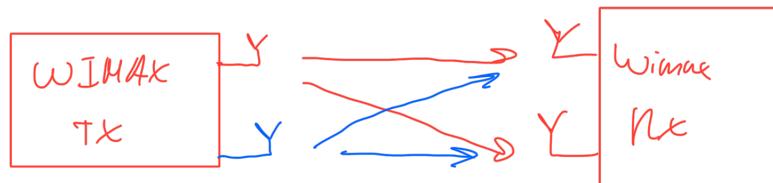
IEEE 802.16

Capa Física

- *Sistema de Antenas Adaptativas (AAS)*

- Mejora la cobertura y la capacidad del sistema
- Son capaces de concentrar su diagrama de radiación a cada subscriptor
- La eficiencia espectral puede ser incrementada linealmente con el número de antenas
- Reducen las interferencias

- MIMO





IEEE 802.16

Capa MAC

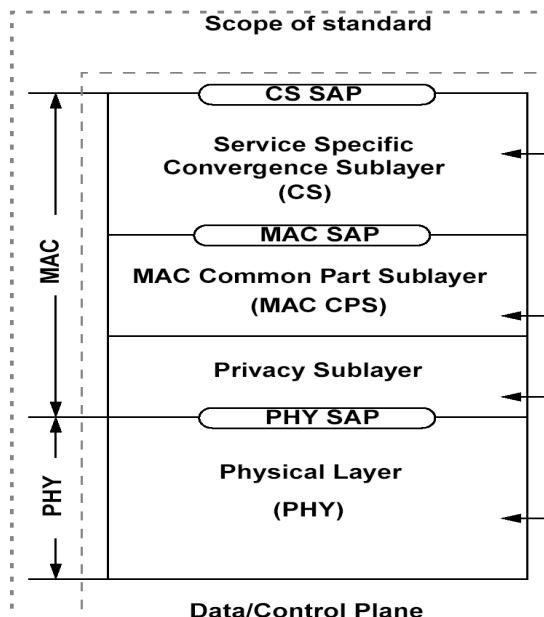
- Características

- Orientado a conexión
 - Cada conexión es identificada con número de 16 bits (CID)
 - Cada CID se asocia con un Service Flow ID (SFID) que determina los parámetros de QoS de dicho CID
- Acceso al medio por petición/concesión
- Concatenación de PDUs en una transmisión
- Uso eficiente del espectro
- Negocia el burst profile entre emisor y receptor
- QoS:
 - UGS (Unsolicited Grant Service) → servicio tiempo real
 - rtPS (Real Time Polling Service) → streaming audio o video
 - nrtPS (Non-Real Time Polling Service) → FTP, http (latencia)
 - BE (Best Effort) → email (Retardo y jitter)

IEEE 802.16

Capa MAC

- *Dividido en tres subcapas:*
 - Subcapa de convergencia (CS)
 - Subcapa de parte común (CPS)
 - Subcapa de privacidad



IEEE 802.16

Capa MAC

- Subcapa de convergencia (CS)
 - Recibe las PDU de las capas superiores
 - Le asocia un CID
 - Manda CS PDU a la subcapa de parte común
 - Recibe CS PDU de otras entidades
 - A cada paquete se le asigna una QoS
 - Actualmente hay dos especificaciones de la CS:
 - ATM (Asynchronous Transfer Mode) CS
 - Packet CS → Redes de paquetes
 - IP, PPP,... ethernet, WLAN,...

Seja lo que
veje de la capa
superior

IEEE 802.16

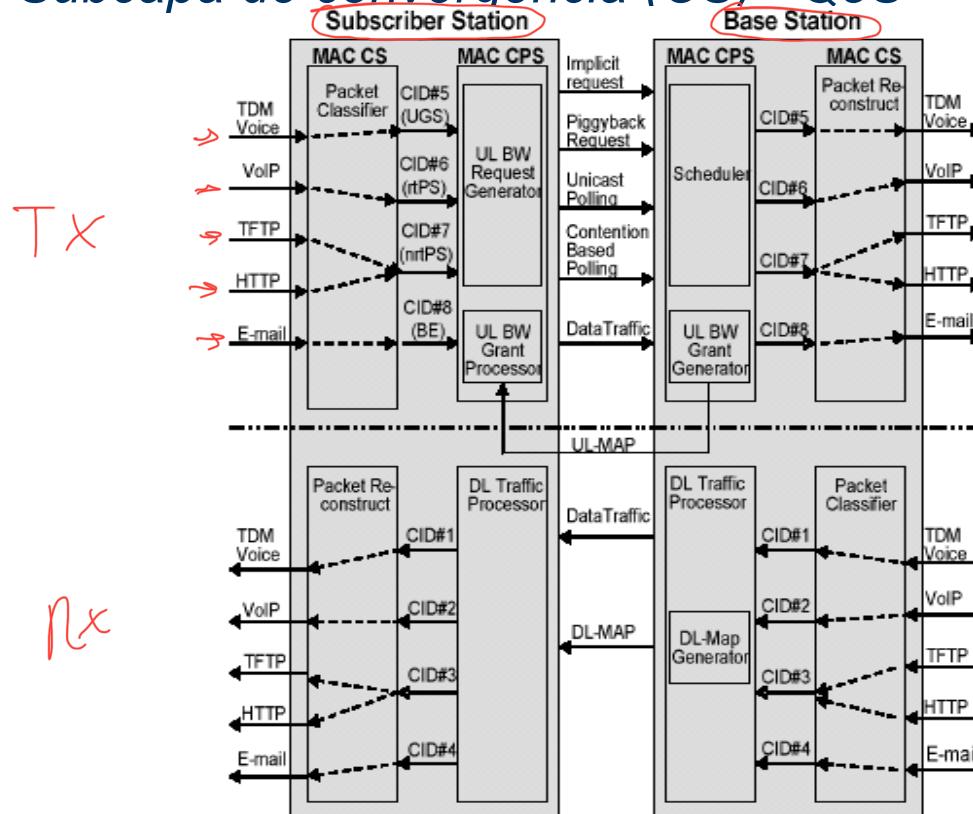
Capa MAC

- Subcapa de convergencia (CS) – QoS
 - **Unsolicited Grant Service:** Para servicios en tiempo real, (TDM Voice)
 - **Real-time Packet Services:** Para servicios en tiempo real incluyendo video-streaming. Garantiza un mínimo de velocidad de transferencia y retardo (VoIP)
 - **Non-real time Packet Services:** Para servicios donde se requiere una tasa de bits, pero la latencia no es crítica (ftp, http)
 - **Best Effort:** Para servicios donde no es requerido una tasa de bits mínima, y el retardo y jitter no es crítico (email)

IEEE 802.16

Capa MAC

- Subcapa de convergencia (CS) - QoS



IEEE 802.16

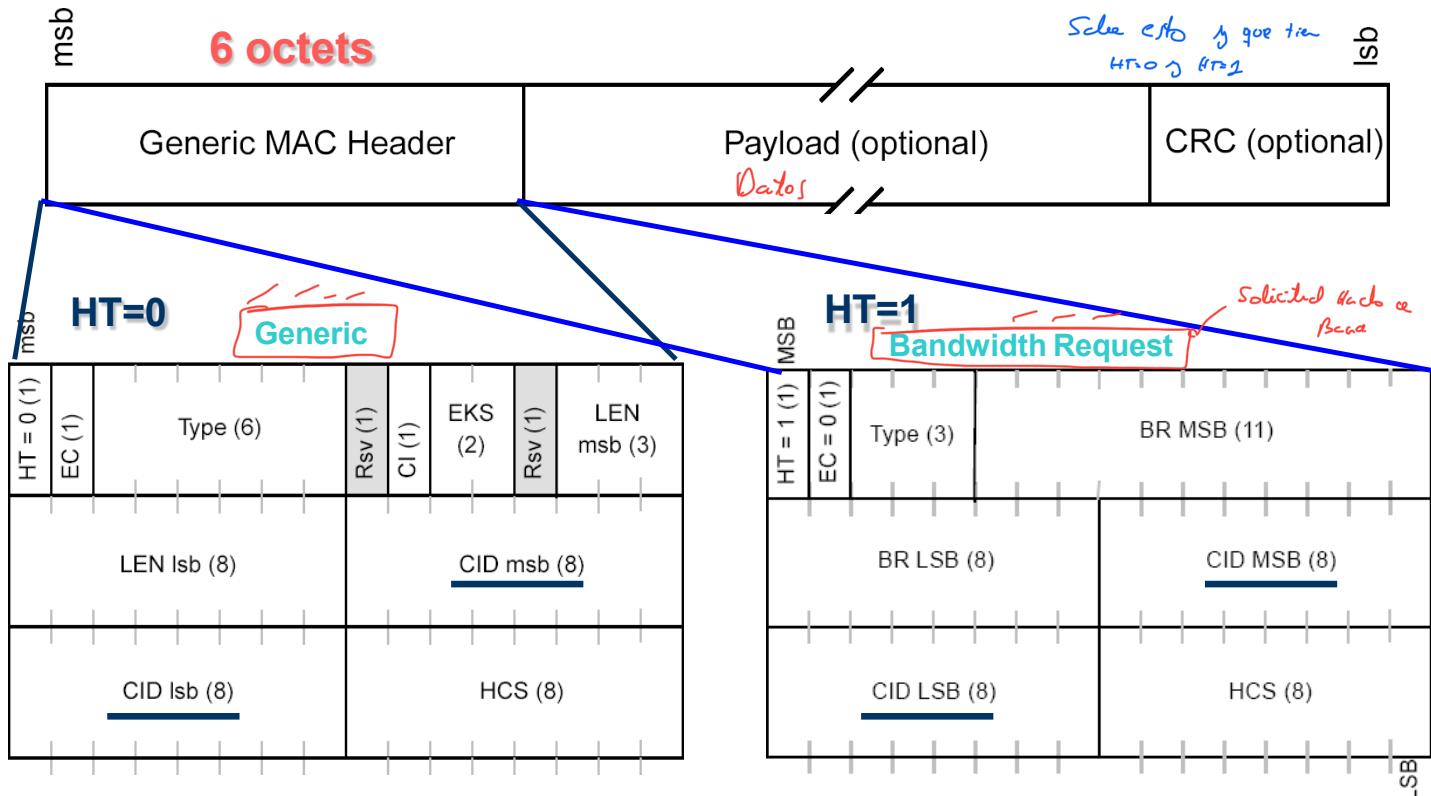
Capa MAC

- *Subcapa de parte común (CPS)*
 - *Proporciona las funcionalidades básicas de la capa de enlace*
 - *Empaqueamiento de PDUs*
 - *Solicitud y asignación de ancho de banda*
 - *Establecimiento de conexión (autorización/autenticación)*
 - *Direcciones*
 - *Cada estación de usuario tiene una dirección MAC de 48 bits*
 - *El identificador de conexión CID se usa como identificador en la red*

IEEE 802.16

Capa MAC

- Subcapa de parte común (CPS) - MAC PDU



IEEE 802.16

Capa MAC

- CPS – Generic PDU MAC Header*

Name	Length (bits)	Description
CI	1	CRC Indicator 1 = CRC is included in the PDU by appending it to the PDU Payload after encryption, if any 0 = No CRC is included
CID	16	Connection identifier
EC	1	Encryption Control 0 = Payload is not encrypted 1 = Payload is encrypted
EKS	2	Encryption Key Sequence The index of the Traffic Encryption Key (TEK) and Initialization Vector used to encrypt the payload. This field is only meaningful if the EC field is set to 1.
HCS	8	Header Check Sequence An 8-bit field used to detect errors in the header. The transmitter shall calculate the HCS value for the first five bytes of the cell header, and insert the result into the HCS field (the last byte of the MAC header). It shall be the remainder of the division (Modulo 2) by the generator polynomial $g(D = D^8 + D^2 + D + 1)$ of the polynomial D^8 multiplied by the content of the header excluding the HCS field. (Example: [HT EC Type]=0x80, BR=0xAAAA, CID=0x0F0F; HCS should then be set to 0xD5).
HT	1	Header Type. Shall be set to zero.
LEN	11	Length. The length in bytes of the MAC PDU including the MAC header and the CRC if present.
Type	6	This field indicates the subheaders and special payload types present in the message payload.

IEEE 802.16

Capa MAC

- CPS – Generic PDU MAC Header – Campo type**


 HT=0

Type bit	Value
#5 most significant bit (MSB)	Mesh subheader 1 = present, 0 = absent
#4	ARQ Feedback Payload 1 = present, 0 = absent
#3	Extended Type Indicates whether the present Packing or Fragmentation Subheaders, is Extended 1 = Extended 0 = not Extended. Applicable to connections where ARQ is not enabled
#2	Fragmentation subheader 1 = present, 0 = absent
#1	Packing subheader 1 = present, 0 = absent
#0 least significant bit (LSB)	Downlink: FAST-FEEDBACK Allocation subheader Uplink: Grant Management subheader 1 = present, 0 = absent

IEEE 802.16

Capa MAC

- CPS - Bandwidth Request PDU MAC Header**


 HT=1

Name	Length (bits)	Description
BR	19	Bandwidth Request The number of bytes of uplink bandwidth requested by the SS. The bandwidth request is for the CID. The request shall not include any PHY overhead.
CID	16	Connection identifier
EC	1	Always set to zero
HCS	8	Header Check Sequence Same usage as HCS entry in Table 5
HT	1	Header Type = 1
Type	3	Indicates the type of bandwidth request header

000 : incremental (BS adds the needed quantity of CID)

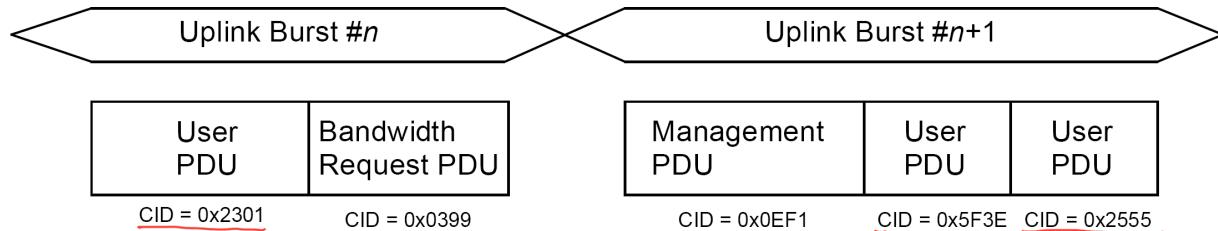
001 : aggregate (BS replaces the needed quantity of CID)

IEEE 802.16

Capa MAC

- *CPS - Concatenación de PDUs*

- Tanto en uplink como en downlink se pueden concatenar varias MAC PDUs en una transmisión
- Cada PDU se identifica por un CID

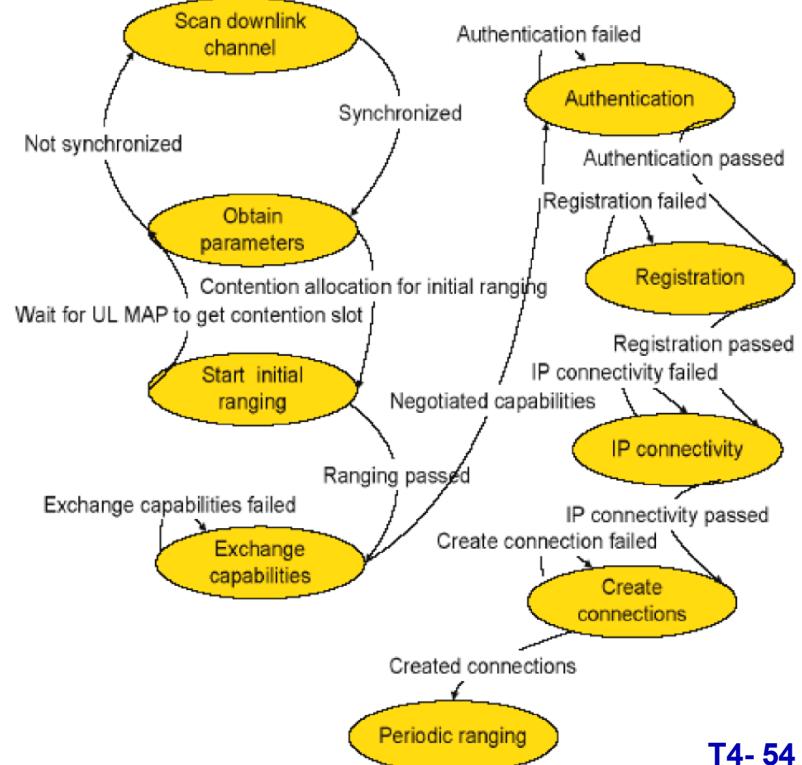


IEEE 802.16

Capa MAC

- CPS – Establecimiento de conexión

- 1 – Sincronización con enlace descendente
- 2 – Ranging inicial
- 3 – Negociación
- 4 – Autenticación
- 5 – Registro
- 6 – Conectividad IP
- 7 – Conexiones



IEEE 802.16

Capa MAC

- Subcapa de privacidad
 - Proporciona
 - Autenticación
 - Cada terminal tiene un certificado X.509
 - Intercambio de clave seguro
 - Privacy and Key Management Protocol
 - Cifrado
 - Soporta AES (Advanced Encryption Standard) y 3DES (Triple Data Encryption Standard)

Soluciones propietarias

Ubiquiti

- **AIRMAX TDMA system**

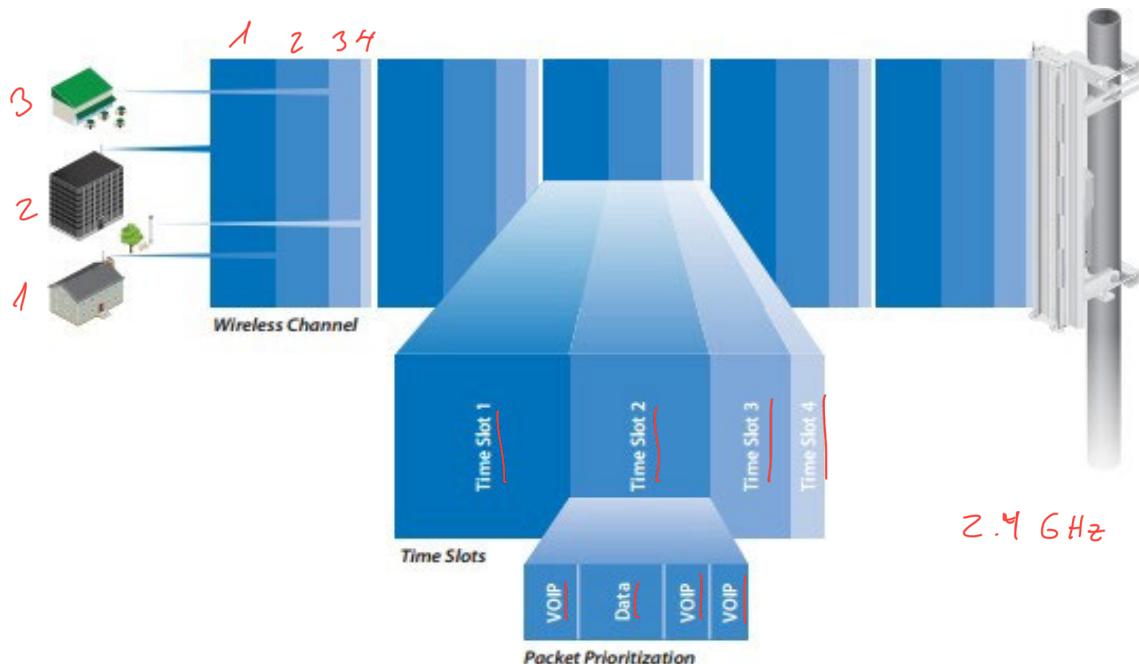
Laboratorio 3

- *El AP divide el canal en slots, y los asigna a cada estación conectada*
- *Elimina la posibilidad de varias estaciones transmitiendo a la vez, eliminando las colisiones*
- *Las estaciones en estado “idle” no participan en la asignación de slots. TDMA es utilizado solo por las estaciones activas*
- *Dentro de un slot , se establece prioridad de acceso a los paquetes de voz y video*
- *Formato de tramas 802.11*

Soluciones propietarias

Ubiquiti

Práctica de Laboratorio 3



Up to 100 airMAX stations can be connected to an airMAX Sector; four airMAX stations are shown to illustrate the general concept.

Soluciones propietarias

MicroTik

- 802.11 a/n/ac 5GHz → Trabaja en este estándar
- Nv2 TDMA → Protocolo propietario desaparecido por MicroTik para usar con los chips wireless 802.11 que hace uso de TDMA
 - El acceso al medio es controlado por el AP
 - Segmenta el tiempo en períodos de tamaño fijo (time slots) dinámicamente divididos en downlink y uplink, basándose en estado de colas en el AP y clientes.
 - Uplink se asigna en los clientes conectados, considerando sus requerimientos de ancho de banda. Al comienzo de cada período, el AP indica a los clientes cuando deben transmitir y que cantidad de tiempo pueden usar.

Soluciones propietarias

MicroTik

- Nv2 TDMA
 - Para permitir a los clientes nuevos conectarse al AP, éste asigna periódicamente el tiempo de enlace ascendente para "clientes no especificados".
 - En este periodo se registran los nuevos clientes.
 - Nv2 implementa una selección dinámica de la tasa de transmisión con la base en cada cliente y ARQ para la transmisión de datos.
 - QoS, Nv2 implementa un número variable de colas de prioridad ya incluídas por defecto