

**ESTADO DEL ARTE DEL ESTÁNDAR IEEE 802.20: ACCESO MÓVIL  
INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA**

**JUAN ANDRÉS DURAN SÁNCHEZ  
ETNA PAHOLA JIMÉNEZ DOMÍNGUEZ**

**DIRECTOR  
JOHN JAIRO PADILLA AGUILAR  
INGENIERO ELECTRÓNICO PHD. INGENIERÍA TELEMÁTICA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2010**

**ESTADO DEL ARTE DEL ESTÁNDAR IEEE 802.20: ACCESO MÓVIL  
INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA**

**JUAN ANDRÉS DURAN SÁNCHEZ  
ETNA PAHOLA JIMÉNEZ DOMÍNGUEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN TELECOMUNICACIONES.**

**DIRECTOR  
JOHN JAIRO PADILLA AGUILAR  
INGENIERO ELECTRÓNICO PHD. INGENIERÍA TELEMÁTICA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2010**

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>1. ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....</b>	<b>11</b>
1.1 Planteamiento.....	11
1.2 Objetivo General.....	11
1.3 Objetivos Específicos .....	11
<b>2. INFORMACIÓN GENERAL DEL ESTANDAR.....</b>	<b>12</b>
2.1 ASPECTOS TÉCNICOS QUE CARACTERIZAN EL ESTÁNDAR .....	12
2.2 ALGUNAS APLICACIONES DEL ESTÁNDAR IEEE 802.20.....	12
2.3 EXPECTATIVAS DEL USUARIO Y CALIDAD DEL SERVICIO.....	13
2.4 SEGURIDAD .....	14
2.5 ARQUITECTURA DE CAPAS Y CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC) 16	
<b>3. ARQUITECTURA DE RED DEL ESTANDAR IEEE 802.20.....</b>	<b>17</b>
3.1 Direccionamiento de la terminal de acceso .....	18
3.2 Arquitectura de Protocolos .....	18
<b>4. CAPA FISICA Y DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO EN EL IEEE 802.20     21</b>	
4.1 MODOS DE OPERACIÓN.....	21
4.2 MODO DE BANDA ANCHA.....	21
4.2.1 Arquitectura de capas del IEEE 802.20.....	22
4.2.2 Características de la capa física en el modo ancho de banda.....	24
4.2.3 Técnicas multi – antenas para transmisión en el modo ancho de banda 25	
4.2.4 Estructura de los canales físicos directos y reversos para FDD y TDD 27	
4.3 MODO 625K – MC.....	30
4.3.1 Arquitectura del protocolo de capas del modo 625K – MC.....	32
4.3.2 Características de la capa física del modo 625k – MC.....	33
4.3.3 Características de la capa de control de acceso al medio MAC – L2 36	

4.3.4	Características de la capa de control de enlace lógico LLC y control de enlace de datos – L3.....	36
4.3.5	Modelo de referencia para el modo 625k – MC.....	37
<b>5.</b>	<b>IEEE 802.20 VS 802.16e y UMTS (3G).....</b>	<b>39</b>
5.1	Descripción del estándar 802.16e .....	39
	<b>Para este estándar rige el modelo de referencia del estándar 802.16, el cual se muestra en la siguiente figura: .....</b>	<b>40</b>
5.2	Descripción de UMTS.....	42
5.3	Transmisión de datos .....	43
5.4	Arquitectura de UMTS .....	43
5.5	Comparación entre UMTS, IEEE 802.16e y 802.20 .....	45
<b>6.</b>	<b>REDES INALÁMBRICAS EN MALLA Y REDES IEEE 802.20 EN MALLA ..</b>	<b>47</b>
6.1	REDES INALÁMBRICAS EN MALLA .....	47
6.2	REDES EN MALLA 802.20.....	48
6.3	RETOS PARA REDES INALÁMBRICAS EN MALLA .....	50
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

	Pág.
Figura 2 Protocolo de capas para la interfaz aérea en un sistema MBWA .....	19
Figura 3 Protocolo dentro de cada subcapa .....	20
Figura 4 Capas de la arquitectura IEEE 802.20 .....	22
Figura 5. Estructura de pilotos para el caso de 4 antenas efectivas .....	26
Figura 6. Estructura de los canales directos (FCH) .....	27
Figura 7. Estructura de los canales reversos (RCH) .....	28
Figura 8 Estructura de Red MBTDD 625k-MC(Best-Wine).....	31
Figura 9. Capas del protocolo del modo 625k – MC en el IEE802.20.....	33
Figura 10. Estructura de la trama de TDD – TDMA en el modo 625k – MC .....	34
Figura 11. Estructura de la supertrama.....	35
Figura 12. Portadoras en un bloque de 2.5 [MHz] .....	35
Figura 13. Modelo de referencia del modo 625k - MC .....	38
Figura 14 Modelo de referencia y protocolo de capas estándar IEEE 802.16 .....	40
Figura 15 Dominios y puntos de referencia en UMTS .....	44
Figura 16. Arquitectura de redes inalámbricas en malla .....	48
Figura 17 Red heterogénea de IEEE 802.20 y 802.11 .....	49

Tabla 1 Características principales y valores típicos de una conexión MBWA .....	12
Tabla 2 Velocidad del usuario Vs. Throughput .....	13
Tabla 3 Clases de interfaz aérea para el estándar IEEE 802.16e .....	40
Tabla 4 Comparación entre 802.16e, 802.20 y 3G .....	46

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** ESTADO DEL ARTE DEL ESTÁNDAR IEEE 802.20:  
ACCESO MÓVIL INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA

**AUTOR(ES):** JUAN ANDRÉS DURAN SÁNCHEZ  
ETNA PAHOLA JIMÉNEZ DOMÍNGUEZ

**FACULTAD:** Esp. en Telecomunicaciones

**DIRECTOR(A):** JOHN JAIRO PADILLA AGUILAR

### RESUMEN

En el presente documento se describe el estado del arte del estándar IEEE 802.20, el cual aún se encuentra en fase de desarrollo y prueba. Se detallan algunos aspectos técnicos del estándar así como las características de la capa física y de enlace de datos para los modos de banda ancha, el cual se basa en la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal<sup>1</sup> (OFDMA), y el modo 625k – MC<sup>2</sup>. También se muestra una comparación con estándares similares como el IEEE 802.16e<sup>3</sup> y UMTS<sup>4</sup>. Finalmente se explican algunos aspectos de las redes en malla basadas en el estándar IEEE 802.20.

Este documento está dividido en seis capítulos en los que se muestran descritos los alcances de la investigación. En el capítulo segundo se describen los aspectos técnicos globales característicos del estándar IEEE 802.20. En el tercer capítulo se explica la arquitectura de red soportada en el estándar IEEE 802.20. En el cuarto capítulo se exponen las características de las capas físicas y de control de acceso al medio para el estándar IEEE 802.20. En el quinto capítulo se muestra una comparación del estándar IEEE 802.20 y los estándar UMTS e IEEE 802.16e. En el sexto capítulo se describe la aplicación de este estándar en redes

---

<sup>1</sup> Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal: El ancho de banda utilizable se divide en subportadoras que a su vez se agrupan en subcanales asignados a usuarios con conectividad inalámbrica. – Tomado de [www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org)

<sup>2</sup> Interface aérea diseñada para operar en división de frecuencia múltiple (TTD)

<sup>3</sup> IEEE 802.16e Wi-Max: Worldwide Interoperability For Microwave Access. Tecnología de última milla que permite la recepción de datos vía microondas y su retransmisión por ondas de radio. Tomado de [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)

<sup>4</sup> UMTS: Sistema Universal de Comunicaciones Móviles. Desarrollado por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones para telefonía móvil, con ancho de banda superior a 2Mbps y consecuentemente mayor velocidad. Tomado de <http://tecnologia.glosario.net>

inalámbricas en malla y en el séptimo capítulo se presentan las conclusiones producto de la investigación del estándar IEEE 802.20.

**PALABRAS CLAVES:**

IEEE 802.20 mobile wireless wideband

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** ESTADO DEL ARTE DEL ESTÁNDAR IEEE 802.20:  
ACCESO MÓVIL INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA

**AUTOR(ES):** JUAN ANDRÉS DURAN SÁNCHEZ  
ETNA PAHOLA JIMÉNEZ DOMÍNGUEZ

**FACULTAD:** Esp. en Telecomunicaciones

**DIRECTOR(A):** JOHN JAIRO PADILLA AGUILAR

### ABSTRACT

This document describes the state of the IEEE 802.20 standard which is still under development and testing. It details some of the technical standard as well as characteristics of the physical layer and data link for the profile and bandwidth mode 625k - MC, also it shows a comparison to similar standards as the IEEE 802.26e and UMTS and explains some aspects of mesh networks based on IEEE 802.20.

This document is divided into six chapters that are shown outlined the scope of the investigation. The second chapter describes the technical features of the global standard IEEE 802.20. The third chapter explains regarding the characteristics of the physical layer and media access control for IEEE 802.20. In the fourth chapter explains the network architecture supported in IEEE 802.20. In the fifth chapter shows a comparison of the IEEE 802.20 and IEEE 802.16e standard and UMTS. In the sixth chapter describes the implementation of this standard in wireless mesh networks and finally the seventh chapter gives the conclusions from the investigation of the IEEE 802.20 standard.

### PALABRAS CLAVES:

IEEE 802.20 mobile wireless wideband

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, las comunicaciones móviles se han hecho indispensables en la vida cotidiana de las personas. La aparición de redes sociales y la necesidad permanente de intercambio de información en casi tiempo real, ha sido la causa fundamental en la generación de nuevos equipos de telecomunicaciones, los cuales basan su funcionamiento en estándares desarrollados por diferentes organismos como la IEEE<sup>5</sup> y la ITU – T<sup>6</sup>.

Como parte del trabajo desarrollado por la IEEE, en marzo de 2002 en el comité del estándar 802.16 se creó un grupo de trabajo cuyo objetivo fue analizar la viabilidad para el desarrollo de un nuevo estándar orientado a las comunicaciones de acceso móvil inalámbrico de banda ancha (Mobile Broadband Wireless Access - MBWA). El estudio realizado concluyó que se debía crear un grupo de trabajo para el nuevo estándar denominado IEEE 802.20 el cual nació en diciembre 12 de 2002.

Para el acceso inalámbrico de banda ancha a internet existen tres estándares definidos por IEEE, el 802.11, 802.16 y el 802.20. El IEEE 802.11, también conocido como la tecnología inalámbrica de redes de área local (Wireless Local Area Network – WLAN) o Wi – Fi, trabaja dentro de un alcance de hasta 100 m. El IEEE 802.16, mejor conocido como WiMax o red inalámbrica de área metropolitana (Wireless Metropolitan Area Network – WMAN) cuyas principales características son lograr tasas de transmisión del orden de los 10 Mbps y el acceso inalámbrico de banda ancha sin movilidad de las estaciones de los suscriptores. Claro está, que existe una mejora al estándar correspondiente al anexo e (802.16e) que soporta movilidad de las estaciones de los usuarios con velocidades de hasta 120 km/h.

El 802.20 MBWA o también llamado MobileFi pretende ser el estándar que cambie de forma radical las redes inalámbricas, debido a las características de movilidad y de alta tasas de velocidad de transmisión que ofrece, las cuales se encuentran en el orden de los 250 Km/h para usuarios en movimiento y mayores a 1 Mbps para transmisión. El estándar IEEE 802.20 proporciona mayor eficiencia en el transporte de paquetes basado en el protocolo IP, mediante diferentes tipos de equipos terminales de usuario como es el caso de celulares, PDA (Personal Digital Assitant) y PC (Personal Computer).

Con esta investigación se buscó principalmente generar un documento que describa la situación actual del estándar IEEE 802.20, el cual aún se encuentra en

---

<sup>5</sup> IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc

<sup>6</sup> ITU-T: International Telecommunication Union

fase de desarrollo y prueba, además de su comparación con el estándar IEEE 802.16e y UMTS plenamente utilizados en la actualidad.

## **1. ESTRUCTURA DEL PROYECTO**

### **1.1 Planteamiento**

La necesidad creciente de tener acceso a la información de forma inmediata y rápida por parte de los usuarios ha dado lugar al desarrollo de tecnologías de acceso inalámbrico de banda ancha como Wi – Fi y Wi – Max, las cuales a pesar de ofrecer gran cantidad de servicios soportados sobre IP, no permiten movilidad por parte de los usuarios. Esta situación dio lugar a que se creará un grupo de estudio por parte de la IEEE para el desarrollo del estándar IEEE 802.20 cuyo principal objetivo es soportar movilidad de los terminales de los usuarios manteniendo las transmisiones de grandes tasas de bits por segundo.

Para un especialista en telecomunicaciones resulta indispensable identificar las características de nuevos estándares que presuponen el mejoramiento de las condiciones actuales de comunicaciones como lo es el estándar IEEE 802.20, razón por la cual esta investigación pretende ayudar a entender sus características técnicas, su arquitectura y el establecimiento de diferencias con tecnologías similares.

### **1.2 Objetivo General**

Documentar el estado del arte del estándar “IEEE 802.20: Acceso Móvil Inalámbrico de Banda Ancha” por medio de la recolección y análisis de información generada principalmente por la IEEE con el fin de conocer sus características técnicas y su arquitectura.

### **1.3 Objetivos Específicos**

- Identificar los aspectos técnicos globales que caracterizan el estándar IEEE 802.20.
  - Analizar las características de las capas físicas y de control de acceso al medio para el estándar IEEE 802.20.
  - Analizar la arquitectura de red soportada en el estándar IEEE 802.20.
  - Comparar el estándar IEEE 802.20 y los estándares UMTS e IEEE 802.16e.
- Mostrar la aplicación de este estándar en redes inalámbricas en malla.

## 2. INFORMACIÓN GENERAL DEL ESTANDAR

### 2.1 ASPECTOS TÉCNICOS QUE CARACTERIZAN EL ESTÁNDAR

A continuación se detallan los valores típicos de las principales características técnicas del estándar como Down Link (DL) Up Link (UL), duplexación por división de frecuencia (FDD), duplexación por división de tiempo (TDD) y round-trip time (RTT).

Característica	Valor
Velocidad vehicular en movimiento	Sobre 250 Km/h
Eficiencia espectral	Mayor a 1 b/s/Hz/celda
Máxima tasa de transmisión de datos DL	Mayor a 1 Mbps
Máxima tasa de transmisión de datos UL	Mayor a 300 kbps
Máxima tasa DL por celda	Mayor a 4 Mb/s
Máxima tasa UL por celda	Mayor a 800 kb/s
Ancho de banda	1.25 MHz hasta 5 MHz
Tamaño de celdas	Debe ser el apropiado para lograr ubicuidad de MANs y capaz de reuso de la infraestructura existente
Espectro máximo de operación de frecuencia	Menor a 3.5 Ghz
Espectro (arreglo de frecuencias)	Soporta arreglos de frecuencia en FDD y TDD
Espectro de asignación	Espectro de asignación licenciado para el servicio móvil.
Seguridad	AES(Estándar de encriptación avanzada)

**Tabla 1 Características principales y valores típicos de una conexión MBWA**

Fuente: [http://www.ieee802.org/20/P\\_Docs/IEEE802.20PD-02.pdf](http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE802.20PD-02.pdf)

Debe aclararse que el ancho de banda para el usuario final es escalable de acuerdo al ancho de banda disponible en la estación base MBWA, por lo tanto ambos anchos de banda 1.25 y 5 MHz pueden ser soportados.

### 2.2 ALGUNAS APLICACIONES DEL ESTÁNDAR IEEE 802.20

Por estar basado en la interfaz aérea, deberá soportar aplicaciones tales como navegadores web con alta capacidad grafica, video web, correo electrónico,

transferencia de archivos a través de protocolos como FTP y SCP, transferencia video y audio, conexión a redes privadas virtuales (VPN), voz sobre IP (VoIP), mensajería instantánea, juegos para múltiples participantes en línea, mantener de forma constante la conexión como con cable modem o xDSL. Como el MBWA soportará servicios de VoIP los aspectos de calidad del servicio (QoS) deben evaluar características como el retardo, el jitter y la pérdida de paquetes.

### 2.3 EXPECTATIVAS DEL USUARIO Y CALIDAD DEL SERVICIO

La capa de control de acceso al medio podrá controlar más de 100 sesiones activas de forma simultánea por sector. Una sesión activa se define como el lapso de tiempo durante el cual un usuario puede recibir y/o transmitir datos con pequeños retrasos, menos de 25ms, con una probabilidad de al menos el 90%.

Desde este punto de vista, ciertas aplicaciones como VoIP, deberán tener mayor prioridad en la transmisión para garantizar una buena calidad en el servicio (QoS). En cuanto a velocidad, bien sea de forma estacionaria o vehicular, jugará un papel muy importante en el throughput que los usuarios notaran en la señal.

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento esperado de la señal en distintas condiciones de conexión.

Velocidad del usuario Característica	3 Km/h	120 Km/h
<b>Conexión a 1.25 MHz</b>		
Down link	2.5[Mb/s/sector]	1.25[Mb/s/sector]
Up link	1.25[Mb/s/sector]	0.94[Mb/s/sector]
<b>Conexión a 5 MHz</b>		
Down link	10.0[Mb/s/sector]	5.0[Mb/s/sector]
Up link	5.0[Mb/s/sector]	3.75[Mb/s/sector]

**Tabla 2 Velocidad del usuario Vs. Throughput**

Fuente: <http://ieeexplore.ieee.org/search/freesearchresult.jsp?history=yes&queryText=%28ieee+802.20%29>

De la tabla No. 2 se deduce que el throughput (transmisión de Mb por segundo en un sector) se degrada a medida que la velocidad del usuario se incrementa.

Adicionalmente a estos aspectos, es función de las capas de acceso al medio (MAC) y física (PHY), garantizar buenos niveles de calidad del servicio (QoS) a los usuarios. El sistema MBWA debe ser lo suficientemente inteligente para reconocer que el usuario podría estar utilizando al mismo tiempo diferentes aplicaciones que requieran distintos niveles de calidad del servicio (QoS). Por ejemplo el usuario puede estar navegando por internet y al mismo tiempo participar en una video conferencia con audio y video. Claramente estos dos

servicios requieren distintos niveles de calidad, por lo tanto el sistema debe ser capaz de reconocer y categorizar varios tipos de tráfico IP con base en el flujo de paquetes asociado con cada aplicación. Por lo tanto, debe analizar parámetros como el retardo o latencia, la tasa de bits, la tasa de error y el jitter.

La tasa de bits o tasa de datos debería incrementarse desde los niveles más bajos admisibles hasta los máximos soportados por las capas de acceso al medio y física. En el caso de la latencia debe estar en un rango de 10 ms a 10 segundos y la tasa de error debería estar en un rango de  $10E-8$  a  $10E-1$  y el jitter entre 0 y 10 segundos.

## 2.4 SEGURIDAD<sup>78</sup>

Cuando comparamos los niveles de seguridad entre redes inalámbricas con redes cableadas, las inalámbricas son inherentemente menos seguras que las cableadas. Las comunicaciones inalámbricas son especialmente vulnerable a la interceptación, por ejemplo cuando se transmite una señal radial es muy probable que un tercer participante, que puede ser malicioso o no, tenga acceso a la información transmitida entre la fuente y emisor original.

Teniendo en cuenta esta desventaja, el éxito comercial de un sistema basado en el estándar IEEE 802.20 MBWA, dependerá en gran parte del nivel de confianza que los usuarios depositen en el sistema de seguridad que se le implemente.

De acuerdo a los estudios realizados por el grupo de IEEE 802.20 la seguridad en un sistema MBWA se centra en tres aspectos fundamentales:

1. Protección contra el robo del servicio a nombre del proveedor del mismo.
2. Protección de la privacidad del usuario.
3. Prevención de ataques de denegación del servicio.

Los mecanismos que actúan a favor del primer aspecto son aquellos que pueden ser implementados para la autenticación de la estación móvil y la estación base. Por ejemplo un protocolo que utilice una clave de autenticación y autorización para inicio de sesión. Una vez autenticada la terminal móvil en la red, se proporciona la autorización para proveer el servicio.

En cuanto al segundo aspecto, está la encriptación que es el método para la protección de la información de los usuarios. Para ello puede ser usado el cifrado

---

<sup>7</sup> Tomado de IEEE 802.20 PD-06r1

<sup>8</sup> Tomado de IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access

stream o el cifrado por bloques, teniendo en cuenta que ha sido evaluado y examinado por expertos en criptografía a nivel mundial constituyéndose en una base segura.

El objetivo de la implementación de un método de encriptación es dejar en el anonimato a los usuarios que intervienen en una comunicación frente a aquellos que de forma ilegítima traten de descubrir la identidad de un usuario particular. Adicional a los aspectos ya mencionados el sistema debería proporcionar las siguientes cuatro combinaciones de seguridad e integridad:

1. Encriptación e integridad del mensaje
2. Encriptación sin integridad del mensaje
3. Integridad del mensaje y no encriptación
4. No integridad del mensaje y no encriptación.

Sin embargo la encriptación es una pieza en el gran rompecabezas de las transmisiones seguras de datos. Debe tenerse en cuenta que para ambas partes, receptor y emisor, es muy importante transmitir datos con quien efectivamente el usuario lo desea hacer. Para ello las estaciones base de los sistemas MBWA deben estar protegidas contra accesos de estaciones móviles no autorizadas, al tiempo que la estación móvil debe estar segura de que está transmitiendo a una estación base adecuada no a una ajena al sistema. Este proceso es conocido como autenticación.

La autenticación tanto para la estación base como la móvil se puede fundamentar en certificados digitales que usen el algoritmo RSA<sup>9</sup>, que es un algoritmo asimétrico cifrador de bloques (block cipher) con clave pública. Estos certificados están compuestos por dos partes: información del propietario de la firma (parte privada) y de la llave pública (parte pública). El rango para una llave RSA es de mínimo 1024 a 2048 bits.

El mecanismo por el cual las partes podrán intercambiar llaves es público y podría usar el protocolo conocido como la curva elíptica de criptografía el cual se basa en la generación de claves pequeñas (224 bits)<sup>10</sup> que incrementa la rapidez de operaciones criptográficas utilizando mínimos recursos de hardware y software.

Por lo tanto el protocolo de curva elíptica es apropiado para el estándar IEEE 802.20 porque requiere menos almacenamiento, potencia, memoria y ancho de banda que otros sistemas. Además le proporciona al usuario más por menos en términos del tamaño de la llave, pues los tamaños recomendados actualmente

---

<sup>9</sup> Método de encriptación de datos conocido como RSA por el nombre de sus inventores Rivest, Shamir y Adleman fuente [http://informatica.uv.es/iiguia/MC/Teoria/mc\\_capitulo12.pdf](http://informatica.uv.es/iiguia/MC/Teoria/mc_capitulo12.pdf)

<sup>10</sup> Fuente <http://www.deviceforge.com/articles/AT4234154468.html>



para llaves públicas son de 2048 bits contra las llaves generadas con curva elíptica criptográfica cuyo tamaño son de 224 bits y el mismo nivel de seguridad. Este tamaño significa que menos potencia computacional es requerida durante el proceso de encriptación y desencriptación ahorrando tiempo y potencia de consumo.

## **2.5 ARQUITECTURA DE CAPAS Y CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC)**

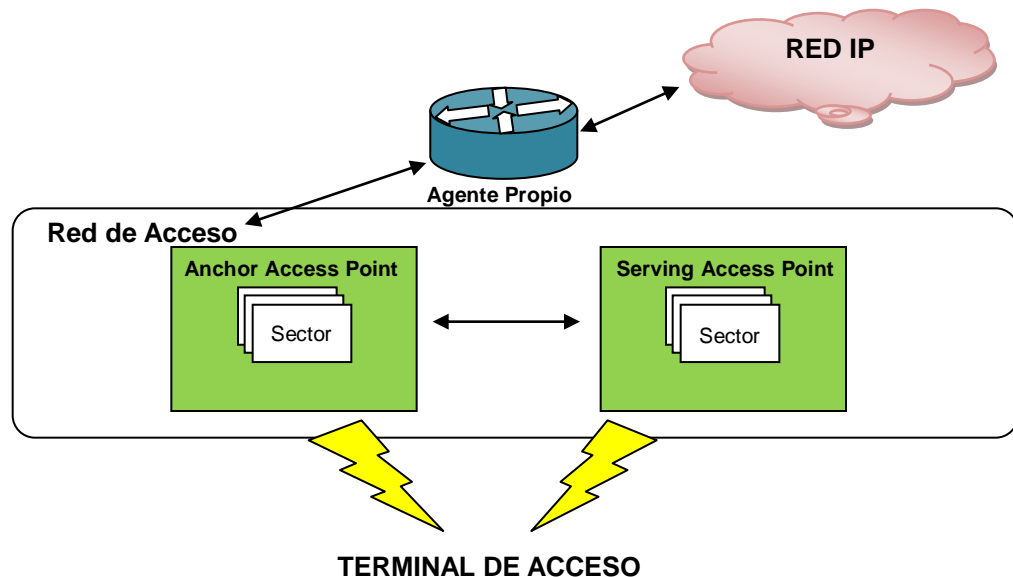
La interfaz aérea deberá soportar una arquitectura de capas en la cual se diferencien las funcionalidades entre el usuario, los datos y los planos de control. Además de soportar múltiples estados del protocolo MAC, con transición entre ambos rápida y dinámica, las capacidades del sistema se incrementarán por el uso de la conmutación dinámica, ya que es un proceso de administración más eficiente: cuando un usuario no se encuentra recibiendo o enviando datos, es colocado en estado inactivo el cual requiere menos recursos de mantenimiento.

En el tercer capítulo se amplían los detalles de la arquitectura de red para un sistema basado en MBWA y las capas que lo componen.

### 3. ARQUITECTURA DE RED DEL ESTANDAR IEEE 802.20<sup>11</sup>

Un sistema basado en MBWA debe operar en un ambiente celular tradicional, lo cual significa que debe funcionar en diferentes tamaños de celdas y proporcionar cobertura para ambientes externos e internos sin línea de vista directa. Para aumentar la disponibilidad del servicio en un área de cobertura determinada, el rendimiento en la conexión de los usuarios y el uso eficiente del espectro disponible se debe recurrir a tecnología avanzadas para las antenas, tal como multi-antenas, en las estaciones base.

Un ejemplo de arquitectura de red para un sistema MBWA que consta principalmente de las terminales de acceso, la interfaz aérea y la red de acceso se muestra en la figura 1:



**Figura 1 Arquitectura de una red para MBWA**

Fuente <http://grouper.ieee.org/groups/802/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

El cual funciona de la siguiente manera:

La terminal de acceso estática o móvil tiene conexión a varios puntos de acceso al mismo tiempo, los cuales pueden tener uno o más sectores para un mejor uso de los recursos de conexión aérea. La terminal de acceso almacena una lista de los sectores con mejor visibilidad, la cual se denomina Active Set y es mantenida tanto por la terminal como por la red de acceso. Un sector contenido en el Active Set puede ser seleccionado en cualquier momento para establecer conexión.

<sup>11</sup> Fuente <http://grouper.ieee.org/groups/802/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

La red de acceso está diseñada de tal forma que se minimice el tiempo que tarda en cambiar un usuario de un sector a otro. El punto de acceso que aloja un sector que se encuentra en servicio es denominado Serving Access Point. A su vez el punto de acceso que proporciona conexión a internet a una terminal de acceso es denominado Anchor Access Point.

El Serving Access Point cambia en base a las condiciones de radio y este cambio se denomina handoff de capa 2. El Anchor Access Point puede cambiar para minimizar el número de saltos que los paquetes deben realizar antes de alcanzar una terminal de acceso, este cambio se denomina handoff de capa 3. El handoff de capa 3 está diseñado para ser independiente del handoff de capa 2 lo cual agiliza el intercambio en el Serving Access Point. El handoff de capa 3 puede ser realizado por un Agente Propio (Home Agent) o por el protocolo de selección de ruta en el transporte de datos.

### **3.1 Direccionamiento de la terminal de acceso**

Hay dos direcciones principales usadas para referir una terminal de acceso en un sistema MBWA:

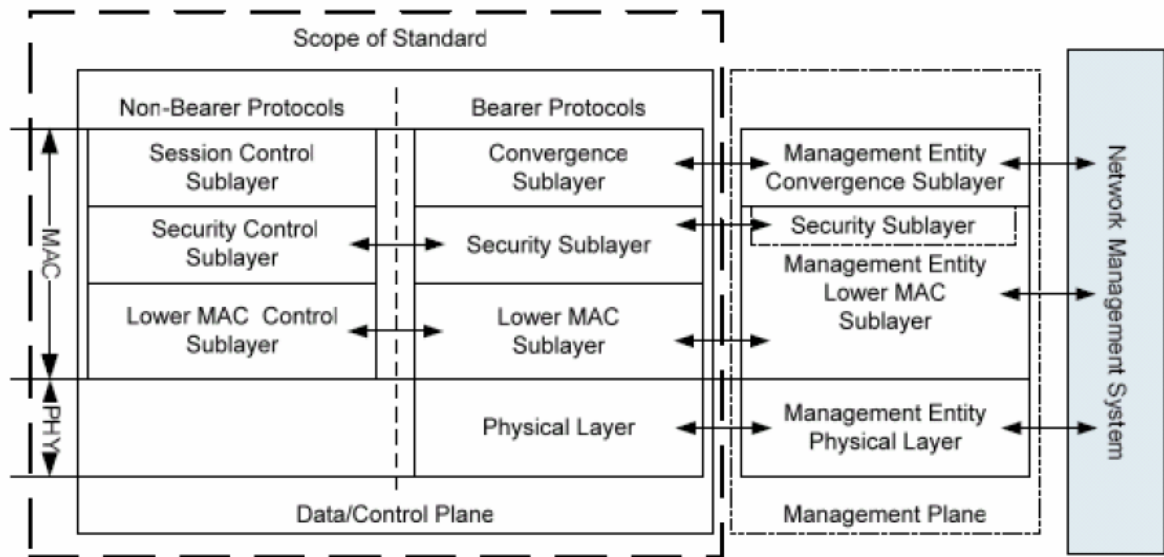
- UATI (Identificador Universal de Terminal de Acceso): es una identificación temporal de 128 bits asignada a una terminal para el acceso al sistema. Esta identificación no se asocia al hardware de la terminal, por lo tanto no se puede utilizar para identificar una terminal de acceso en particular. Hay una versión más corta de UATI llamada ATI (Identificador de terminal de acceso) con longitud de 32 bits (los últimos de la UATI).
- MAC ID: Identificación con una longitud de 11 bits, asignada a una terminal de acceso por sector mientras se encuentra en estado activo. Es única en el sector donde se asigna y es usada por el sector para intercambiar paquetes unicast<sup>12</sup> con la terminal de acceso.

### **3.2 Arquitectura de Protocolos**

A continuación en la figura 2 se muestra la estructura de capas del protocolo para un sistema MBWA en el cual la interfaz aérea especifica protocolos de conexión o portadoras y no conexión o no portadora.

---

<sup>12</sup> Unicast: Hace referencia al envío de paquetes o información desde un único emisor a un único receptor. Un ejemplo básico de aplicaciones unicast son los protocolos http, smtp, ftp o telnet. Tomado de <http://rm-rf.es/broadcast-multicast-y-unicast/>



**Figura 2 Arquitectura de protocolos de la tecnología IEEE 802.20 para la interfaz aérea en un sistema MBWA**

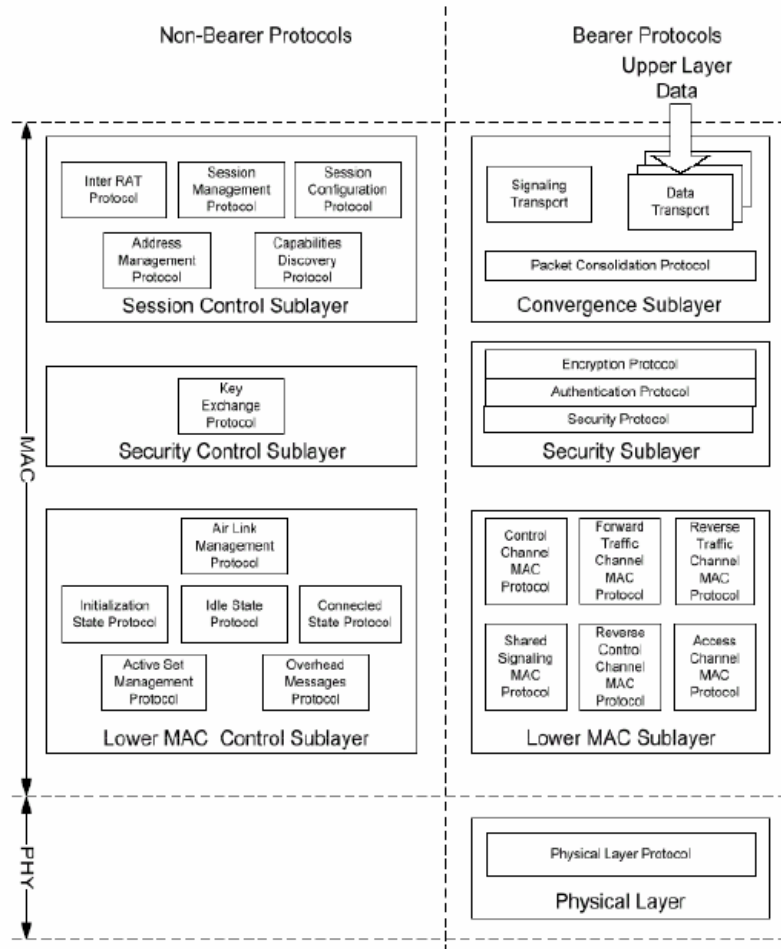
Fuente <http://grouper.ieee.org/groups/802/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

La funcionalidad de cada capa es:

- Subcapa de control de sesión (Session Control Sublayer): provee al administrador de asignación de identificación UATI los protocolos de negociación, configuración y mantenimiento del estado del servicio. Esta subcapa se encuentra en la capa sin portadoras.
- Subcapa de convergencia (Convergence Sublayer): proporciona el protocolo y el transporte necesario para el intercambio de mensajes, datos y la multiplexación de distintas vías de comunicación (aérea o cableada).
- Subcapa de control de seguridad (Security Control Sublayer) es la encargada de administrar la seguridad por medio de claves de intercambio.
- Subcapa de seguridad (Security Sublayer) proporciona los servicios de encriptación y autenticación.
- Subcapa de control de MAC inferior (Lower MAC Control Sublayer) esta subcapa se encarga de suministrar la conexión de enlace aéreo y el servicio para su mantenimiento.
- Subcapa de MAC inferior (Lower MAC Sublayer) define el procedimiento para recibir y transmitir en la capa física.

- Capa Física (Physical Layer): encargada de proporcionar la estructura, frecuencia, gasto de energía, modulación y especificaciones de codificación para los canales del FL y RL.

Cada una de las capas y subcapas mencionadas, a su vez se conforman por ciertos protocolos mostrados en la figura 3, los cuales no serán detallados en el presente trabajo.



**Figura 3** Arquitectura de los protocolos dentro de cada subcapa  
Fuente <http://grouper.ieee.org/groups/802/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

## **4. CAPA FÍSICA Y DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO EN EL IEEE 802.20**

La interfaz aire del estándar IEEE 802.20 está diseñada en capas, con interfaces definidas para cada uno de sus protocolos. En este estándar las capas están agrupadas en capa física y capa de control de acceso al medio (MAC), lo cual permite que sea compatible con las capas superiores de diversas arquitecturas y aplicaciones.

### **4.1 MODOS DE OPERACIÓN**

El IEEE 802.20 especifica dos modos de operación de la interfaz aire, el modo de banda ancha (wideband) y el modo 625k – multicarrier (625k – MC) optimizados para la capa física y la capa MAC.

El modo de banda ancha está basado en el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonales (OFDMA) y está diseñado para funcionar con duplexado por división de frecuencia (FDD) y duplexado por división de tiempo (TDD) usando anchos de banda entre 5 MHz a 20 MHz. Además en los sistemas de más de 20 MHz de ancho de banda se utiliza una técnica de múltiples portadoras para lograr anchos de banda superiores.

El modo 625k – MC es una interfaz TDD diseñada para lograr el máximo beneficio de adaptación, mediante el procesamiento de señales de múltiples antenas. Este modo permite la utilización del acceso inalámbrico de banda ancha usando múltiples portadoras de radio frecuencia (RF) de 625 kHz, logrando mediante espaciación un tamaño del canal de hasta 5 MHz. Además al utilizar la técnica de múltiples portadoras TDD RF, logra un incremento en las tasas de velocidad de transmisión de datos que se le ofrecen a las estaciones de los usuarios.

### **4.2 MODO DE BANDA ANCHA<sup>13</sup>**

El sistema Mobile-Fi consiste de una capa PHY y una capa MAC 802.20 en el que por lo menos un terminal móvil se comunica con una estación base por medio de una interfaz de aire de radio y las interfaces a las redes externas. El propósito del sistema 802.20 es transmitir paquetes (por ejemplo, paquetes IP) entre las redes externas y las terminales móviles o entre las propias terminales móviles dentro de

---

<sup>13</sup> FUENTE: System Requirements for IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access Systems – Version 14 [http://www.ieee802.org/20/P\\_Docs/IEEE%20802.20%20PD-06-r1.doc](http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-06-r1.doc)

un sistema 802.20, además que debe permitir la integración de los tres campos de trabajo de los usuario: trabajo, casa y móvil.

El sistema 802.20 pretende brindar un servicio ubicuo de Acceso Móvil Inalámbrico de Banda Ancha a través de una arquitectura celular (por ejemplo macro/micro/pico celdas), con cobertura en ambientes interiores y exteriores, sin necesidad de línea de vista.

#### 4.2.1 Arquitectura de capas del IEEE 802.20<sup>14</sup>

En la figura 4 se muestran las diferentes capas que conforman la arquitectura en el modo de banda ancha para el estándar IEEE 802.20 para cada enrutador de la interfaz aire. Cada subcapa o plano cuenta con uno o más protocolos que permiten la funcionalidad entre las subcapas. A continuación se describen las subcapas y los planos de control.

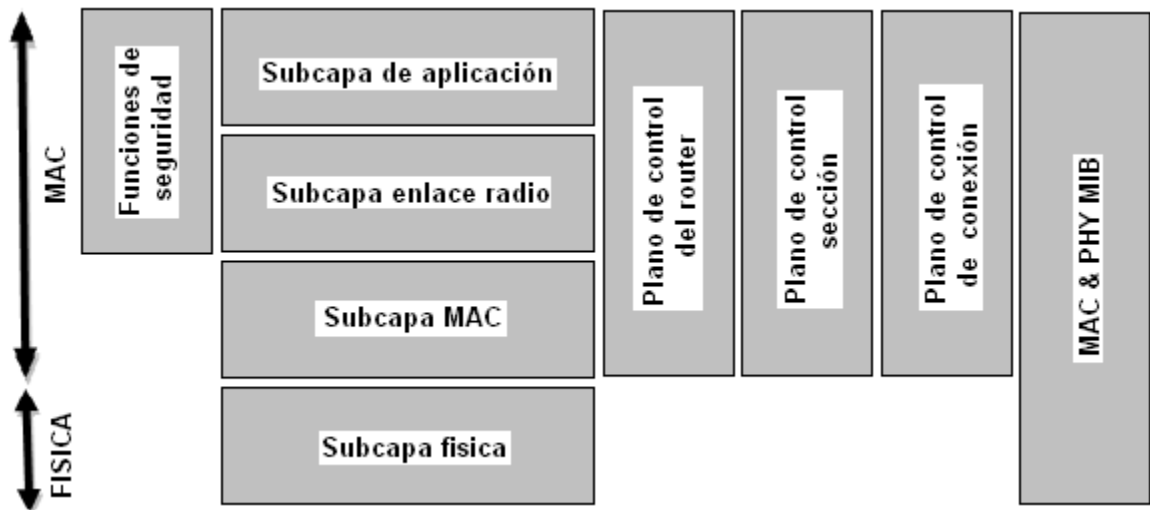


Figura 4 Capas de la arquitectura IEEE 802.20 Fuente: Broadband Wireless Access for the Twenty-First Century.

<http://ieeexplore.ieee.org/search/freeresult.jsp?history=yes&queryText=%28ieee+802.20%29>

En la capa física del estándar IEEE 802.20 en el modo de banda ancha, se define la estructura del canal, la frecuencia, la potencia de salida, la modulación y las especificaciones de codificación para los enlaces inalámbricos de reenvío e inverso. También se especifica el modo para trabajar las modulaciones FDD y TDD.

<sup>14</sup> Fuente: [http://ieeexplor.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=4557043](http://ieeexplor.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4557043)

La subcapa de control de acceso al medio MAC define los procedimientos usados para la transmisión y recepción sobre la capa física.

Por otra parte la subcapa del enlace de radio, es la encargada de proveer los servicios tales como confiabilidad, handover, multiplexión de paquetes para la subcapa de aplicación y manejando parámetros de calidad de servicio (QoS) para la negociación y soporte de aplicaciones.

La función de la subcapa de aplicación es la de proveer diversos protocolos de aplicación para soportar el transporte de todos los datos requeridos entre la red de acceso (AN) o estación base (BS) y los terminales acceso (AT). Otra de sus funciones más importantes es la de aportar un protocolo simple de transporte de señalización para proveer un transporte unificado y aproximado de todos los mensajes de los diferentes protocolos de la interfaz aérea desde y hacia los diferentes planos de control de la arquitectura. En esta subcapa también se define el RTP diseñado para transportar paquetes desde y hacia otros enrutadores configurados de la misma forma. Soporta las funciones de seguridad del estándar IEEE 802.20 tales como privacidad, autenticación de dispositivos permitidos y la autorización de servicios suscritos por el usuario e incluye el protocolo de autenticación extensible (EAP). El EAP es usado en las aplicaciones de tecnología modernas para garantizar seguridad y está diseñado para operar en capas superiores de la interfaz aérea. Sin embargo al interfaz aérea necesita derivar datos el uso de EAP para ejecutar las funciones de seguridad requeridas. Para la transmisión de datos por parte del usuario la subcapa de aplicación soporta interfaces IP como IPv4 y IPv6, protocolos de compresión robusta de cabeceras (RoHC) habilitando la compresión de la cabecera de paquetes en las capas superiores y protocolos de transporte de paquetes desde otras interfaces aire o otras redes.

El plano de control del enrutador se encarga de la creación, mantenimiento y la detección de los enrutadores. En esta capa también están incluidas funciones de seguridad para el cifrado y la protección de la integridad del mensaje.

El plano de control de sección está diseñado para proveer los protocolos de negociación y configuración de servicios, así como establecer la configuración interna de los parámetros requeridos por los AT y las BS

El plano de control de conexión es quien proporciona al enlace inalámbrico el establecimiento y mantenimiento de los servicios.

Por su parte la base de administración de información de la capa física y MAC (MIB) provee una interfaz para habilitar la operación, administración y el mantenimiento de los sistemas de acumulación estadística para todos los protocolos de y planos de administración.



#### 4.2.2 Características de la capa física en el modo ancho de banda

Entre sus principales características se tiene:<sup>15</sup>

- Hace uso de antenas adaptativas (AAS) para permitir la máxima eficiencia espectral y de energía de ambos extremos de la comunicación
- Permite una cobertura de 5Km

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  $\leq 1$ )
- Tolerancia Doppler (400Hz) y retardo multipropagación (10ms)
- Con una relación SNR=1.5dB se consigue FER=10<sup>-2</sup>

MBWA define inicialmente 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.

La capa física usa una combinación de Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA) para los canales de datos y Acceso múltiple por División de Código (CDMA) para algunos de los canales de control de enlace reverso. Los saltos de Frecuencia (Frequency Hopping) se usan con OFDMA para incremento de diversidad. El sistema puede ser desplegado en anchos de banda flexibles entre 5MHz y 20MHz. Con transmisión de múltiples entradas y múltiples salidas MIMO (multi-input multi-output), las velocidades de transmisión pico sobre los 260Mbps se soportan en un ancho de Banda 20MHz.

---

<sup>15</sup> FUENTE: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID: Departamento de Ingeniería Telemática  
[http:// mobilefi/Spanish\\_wimax\\_wibro.pdf](http://mobilefi/Spanish_wimax_wibro.pdf)

El sistema soporta los modos de operación FDD y TDD. El modo de TDD proporciona asignación flexible de recursos entre los enlaces directos y reversos. La estructura de framing proporciona la transmisión de paquetes de latencia tan bajo como 5.5 ms, lo cual permite la operación eficiente de aplicaciones de retardo-sensibles. El sistema utiliza codificación turbo y modulación del alto orden para proveer alta eficiencia espectral.

#### **4.2.3 Técnicas multi – antenas para transmisión en el modo ancho de banda<sup>16</sup>**

El estándar IEEE 802.20 para el modo ancho de banda, soporta técnicas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) lo que permite incrementar la eficiencia espectral a través de la utilización de multiplexación espacial. El Access Point (AP) crea múltiples señales usando un grupo de antenas físicas, en donde cada señal es referida como una antena. Las diferentes señales son generadas para preservar las estadísticas de canal así como para transmitir la misma potencia de todas las antenas físicas. Cada una de estas señales utiliza diferentes antenas físicas de transmisión, asegurando con ello que todos los amplificadores de potencia en el AP sean utilizados equitativamente. Las transmisiones SIMO (entrada simple salida múltiple) utilizan únicamente la primera antena efectiva mientras que las transmisiones MIMO pueden utilizar un subconjunto o todas las antenas efectivas disponibles.

Básicamente, el número de antenas efectivas creadas indica el máximo orden de diversidad de transmisión que puede ser explotado y la cantidad de overhead requerido para estimar los canales espaciales.

En el modo SRH (Symbol Rate Hopping), el número de antenas efectivas es un parámetro de todo el sector que puede adaptarse de acuerdo con el SNR (Signal Noise Ratio) y las condiciones del canal.

En el modo BH, un subconjunto del número total de antenas efectivas es usado en un bloque dado. El conjunto de antenas en una celda puede ser adaptado a las condiciones del canal gracias a la utilización pilotos dedicados. En ambos modos de salto, el número de símbolos de modulación transmitidos simultáneamente para un paquete dado es adaptado a las condiciones del canal.

En el modo SRH, un piloto de banda ancha común es transmitido desde cada antena efectiva. Subportadoras piloto se encuentran presentes en cada símbolo

---

<sup>16</sup> Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode Technology, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

OFDM, y el conjunto de subportadoras piloto en cada símbolo OFDM son espaciados equitativamente sobre todo el ancho de banda para permitir una estimación efectiva de canal. El F-CPICH<sup>17</sup> es transmitido desde la primera antena efectiva y usado para demodulación SIMO. Las subportadoras F-CPICH son alternadas sobre dos símbolos OFDM. La ubicación de F-CPICH cambia de manera aleatoria cada dos símbolos OFDM, lo cual asegura que las subportadoras piloto de un sector no colisionen con subportadoras piloto de otro sector. Un F-AuxPICH<sup>18</sup> es transmitido desde el resto de antenas efectivas, utilizando subportadoras no ocupadas por el F-CPICH. Se realiza un proceso TDM entre las subportadoras de diferentes antenas efectivas.

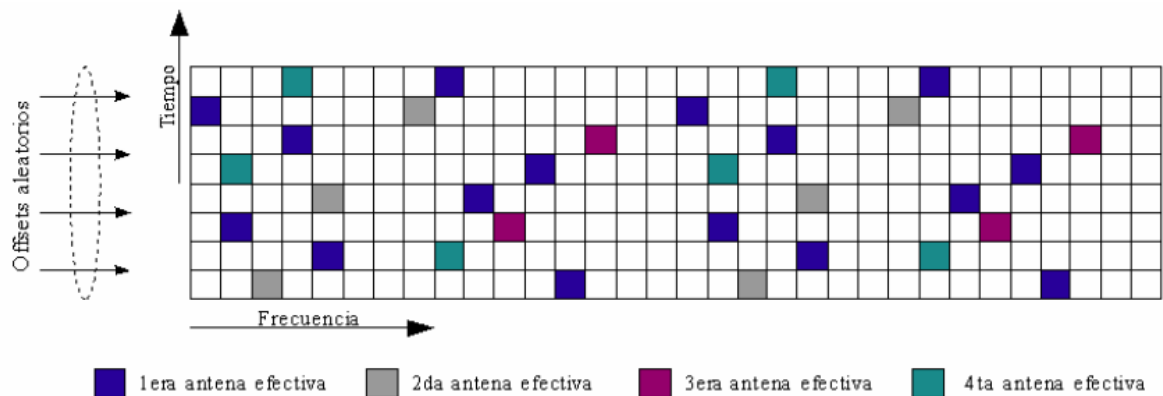


Figura 5. Estructura de pilotos para el caso de 4 antenas efectivas Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband MODE Technology, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

En el modo BH, la asignación para una transmisión MIMO consiste en uno o más bloques, cada uno de los cuales consta de 16 subportadoras contiguas de 8 símbolos OFDM cada una. Los patrones de los pilotos permiten multiplexar los pilotos que corresponden a diferentes antenas efectivas. Las estimaciones de canal en los pilotos son interpoladas sobre el bloque para obtener las estimaciones para cada subportadora, símbolo OFDM y antena efectiva.

La Diversidad de Transmisión Espacio-Tiempo (STTD) es un modo permitido por las especificaciones, en el cual se asume que el AP utiliza solo dos antenas efectivas. El código de bloque STTD es señalizado en la misma subportadora y en dos símbolos OFDM consecutivos, teniendo en ellos el mismo patrón de salto. El diseño soporta dos modos MIMO: Single CodeWord (SCW) y Múltiple CodeWord (MCW) que funcionan para TDD y FDD respectivamente. Para SCW

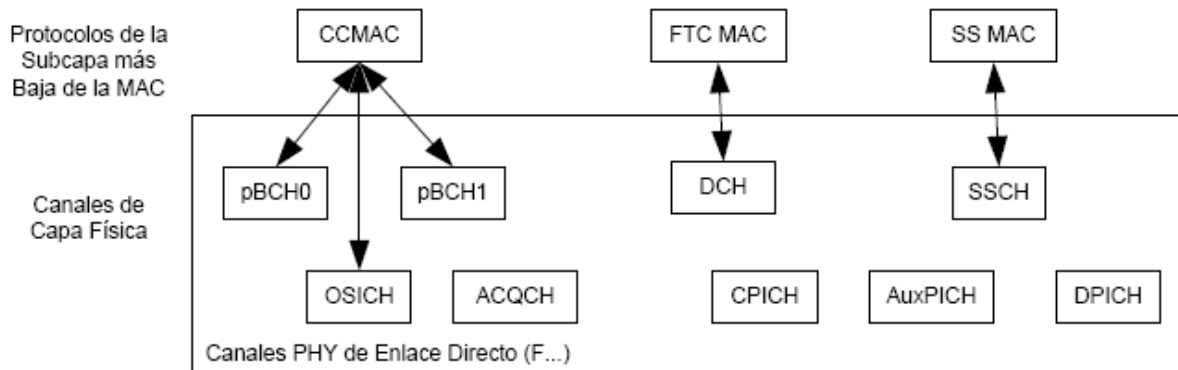
<sup>17</sup> F-CPICH (Forward Common Pilot Channel)

<sup>18</sup> F-AuxPICH (Forward Auxiliary Pilot Channel)

una palabra código se transmite en el dominio frecuencia-espacio. Para el modo MWC, múltiples flujos de datos codificados son transmitidos simultáneamente.

#### 4.2.4 Estructura de los canales físicos directos y reversos para FDD y TDD<sup>20</sup>

- **Canales Directos**



**Figura 6. Estructura de los canales directos (FCH)** Fuente: MBFDD and MBTDD WideBrand MODE Technology, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

F-ACQCH (Forward Acquisition Channel): Transporta un piloto de adquisición por un AT para usarlo al adquirir el sistema.

F-AuxPICH (Forward Auxiliary Pilot Channel): Lleva los pilotos auxiliares para estimación del canal para transmisión con múltiples antenas. El canal 1 primario de Broadcast (F-pBCH1) indica si el canal F-AuxPICH está presente.

F-CPICH (Forward Common Pilot Channel): Transporta el piloto común.

F-DCH (Data Channel).- Lleva información para un AT específico. Una asignación del F-DCH se asigna a un AT por un F-SSCH (Forward Shared Signaling Channel) asignado. También lleva información de broadcast incluso paging y mensajes de sector específico.

<sup>20</sup> Fuente: MBFDD and MBTDD WideBrand MODE Technology, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

F-DPICH (Forward Dedicated Pilot Channel): Transporta al piloto dedicado. Este canal está presente en el modo de salto en bloque, el cual es indicado sobre el canal 0 primario de Broadcast (F-pBCH0)

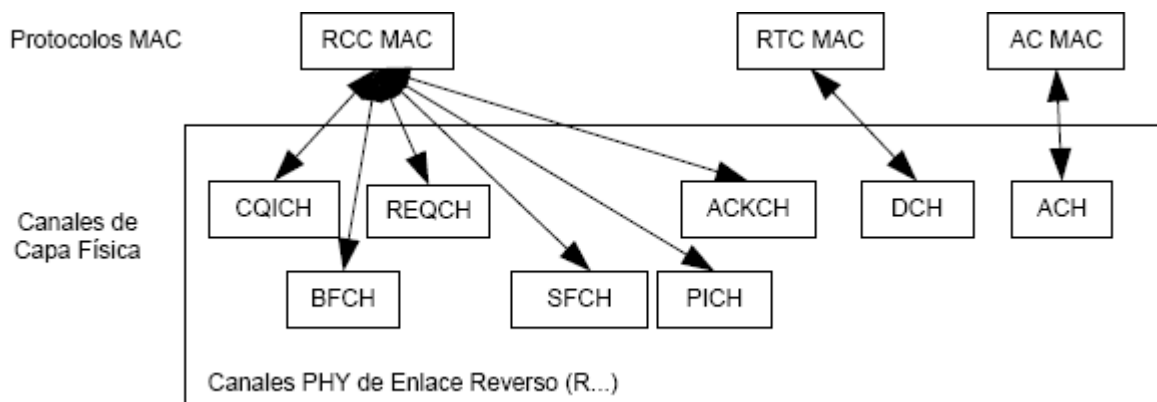
F-OSICH (Forward Other Sector Interference Pilot Channel): Lleva la información sobre la interferencia de otros sectores para ser recibido por todos los AT.

F-pBCH0 (Forward Primary Broadcast Channel 0): Lleva la información sobre el sistema para ser recibido por todos los AT.

F-pBCH1 (Forward Primary Broadcast Channel 1): Lleva la información sobre el sector para ser recibido por todos los AT y transporta el paging rápidamente.

F-SSCH (Forward Shared Signaling Channel): Lleva las asignaciones del canal de datos directo y reverso, concesiones de acceso, comandos de control de potencia e información de acuses de recibo para transmisiones del Canal de Datos Reverso (RDCH).

- **Canales Reversos**



**Figura 7. Estructura de los canales reversos (RCH)** Fuente: MBFDD and MBTDD WideBrand MODE Technology, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

R-ACH (Reverse Access Channel): Usado por los ATs para iniciar la comunicación con la red de acceso. También es utilizado por los ATs para obtener correcciones de tiempo.

R-ACKCH (Reverse Acknowledgement Channel): Lleva información de acuses de recibo de la recepción del F-DCH.

R-BFCH (Reverse Beam Feedback Channel): Lleva información acerca del índice de emisión y la calidad del canal de enlace directo.

R-CQICH (Reverse Channel Quality Indicator Channel): Lleva información acerca de la calidad del canal de enlace directo de un sector recibido por el AT. También lleva información acerca del sector de servicio de enlace directo deseado.

R-DCH (Reverse Data Channel): Lleva información de un AT. Este canal es asignado a un AT a través del F-SSCH.

R-PICH (Reverse Pilot Channel): Lleva el piloto.

R-REQCH (Reverse Request Channel): Lleva la información sobre el nivel del buffer a clases diferentes de QoS para un AT. El R-REQCH también lleva la información sobre el sector de servicio de enlace reverso deseado.

R-SFCH (Reverse Subband Feedback Channel): Lleva información acerca de la calidad de una subbanda del canal de enlace directo.

El R-ACH es utilizado por el AT para lograr el acceso inicial a la red. Cuando se enciende, el AT detecta un sector, realiza una sincronización en tiempo y en frecuencia y detecta la configuración completa de FCH (Forward Channel) y RCH (Reverse Channel). El AT accede al sistema enviando mensajes de sondeo de acceso sucesivos sobre el segmento de control CDMA. El Access Channel MAC Protocol envía estos mensajes a través de la capa física. A diferencia de otros canales de control en el segmento de control CDMA, el R-ACH utiliza una banda de guarda y un tiempo de guarda extendidos con el fin de prevenir interferencia intra-sector. El acceso a la red es exitoso cuando el AT recibe un mensaje Access Grant (concesión de acceso) por parte de la BS sobre el F-SSCH como respuesta a sus mensajes de sondeo de acceso. El mensaje Access Grant asigna al AT un MAC ID y recursos del RCH, y envía además comandos de ajuste de tiempo lo que permite al AT ortogonalizar su transmisión con las transmisiones del resto de ATs.

Los canales de control directos (FCHs) son usados para asignar y manejar recursos DL y de UL y especificar la estructura del paquete respectivo, acceso de concesión (Grant Access) a los usuarios en estado Idle (reposo), acuses de recibo (ACKs) a transmisiones de canal reverso (RCH), enviar comandos de control de Potencia Reverso y envía otras indicaciones de interferencia de sector. Estos canales se combinan en un solo canal de la capa física llamado canal de señalización compartido de enlace directo (F-SSCH) utilizado en la transmisión ACKs de transmisiones RL-HARQ y por lo tanto presente en cada trama PHY. Un mensaje de acuse de recibo ACK consta de un solo bit, siendo el número de bits ACK enviados igual al número de identificaciones de canales utilizables<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> FUENTE: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

Los canales de control reversos (RCHs) incluyen los canales R-ACKCH, R-CQICH, R-REQCH, R-ACH, R-BFCH, R-SFCH y R-PICH. Todos los canales de control excepto el R-ACKCH se transmiten sobre un segmento de control CDMA ocupando un número entero de subbandas contiguas en un RL. El uso de CDMA para el segmento de control provee beneficios de multiplexación estadística ya que con ello los recursos no se reservan para todos los canales. También mantiene una referencia de ancho de banda para control de potencia, subbanda fija, y beamforming en TDD. En una red sincrónica, múltiples sectores pueden tener un segmento común de control CDMA, esto habilita múltiples sectores activos (Active Sets) de los ATs para supervisar las transmisiones del canal de control, habilitando un mecanismo de handoff rápido y eficaz<sup>22</sup>.

Cada canal de control lleva máximo 10 bits de información. En caso de que el número sea menor, el espacio restante se completa con un conjunto de bits "0" lo que permite que una red de acceso pueda reducir la complejidad del receptor y mejorar el desempeño de recepción. Cada uno de los grupos de 10 bits de información son mapeados como una secuencia de código Walsh de tamaño 1024.

#### **4.3 MODO 625K – MC<sup>23</sup>**

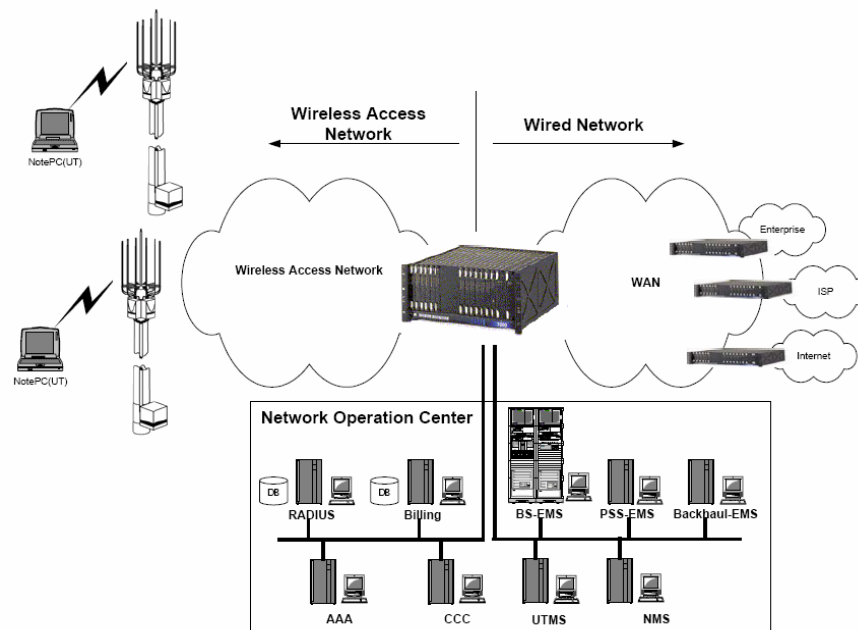
El modo 625K – MC es también llamado como *BEST WINE* (Broadband mobile Spatial Wireless InterNet accEss) el cual se basa en una interfaz aérea basada en HC SDMA (High Capacity- Spatial Division Multiple Access) y que especifica las capas PHY y MAC para bandas de frecuencia licenciadas por debajo de los 3.5 GHz. Este sistema emplea un arreglo de antenas adaptivo y tecnología SDMA, transfiere tráfico IP, incluyendo datos IP de banda ancha, por la interfaz aérea usando un protocolo de capa del modelo de referencia. Se provee una arquitectura extremo a extremo (end-to-end) basada en VPN(GRE) y PPP<sup>24</sup> sobre el cual el usuario establece una sesión con el Proveedor de Servicio de Internet deseado y luego transporta los paquetes IP entre el dispositivo y usuario final. Un ejemplo de la estructura de una red que use el modo MBTDD 625k-MC se muestra en la figura 8:

---

<sup>22</sup> FUENTE: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

<sup>23</sup> Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

<sup>24</sup> PPP Protocolo de Punto a Punto (Point to Point Protocol)



**Figura 8 Estructura de Red MBTDD 625k-MC(Best-Wine)**

Fuente: <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

MBTDD 625k-MC ofrece ancho de banda con tasa de datos pico por usuario, alta eficiencia espectral, alcance en grandes áreas y alta capacidad del sistema. Entre las principales características de este sistema tenemos:

- Alta eficiencia espectral (Bits/Sec/Hz/Sector) = 13.4 con cuatro canales espaciales
- Tasa por usuario pico: máxima tasa de 1.493Mbps (DL) y 571Kbps (UL) con un solo Canal de 625KHz y máxima tasa de 5.97 Mbps (DL) y 2.28 Mbps (UL) con asignación de bloque TDD de 2.5 MHz
- Mayor capacidad manejando más de 100 sesiones activas por sector
- Requerimientos de espectro reducidos y reuso de espectro menor a 1 sin planificación de frecuencia y handover eficiente
- Movilidad directa usando la BS e indicadores de señalización
- Primero hace una pausa para realizar transparencia a través del handover de red
- IP simple para movilidad micro eficiente



- IP móvil para movilidad inter-sistema
- Seguridad mediante autenticación, encriptación y AES

#### 4.3.1 Arquitectura del protocolo de capas del modo 625K – MC<sup>25</sup>

La especificación del modo 625k-MC define las capas física (PHY), de acceso al medio (MAC) y de control de enlace lógico (LLC) aplicando los requerimientos HC-SDMA<sup>26</sup>. Las cuales se basan en las capas L1, L2 y L3 de HC-SDMA. Tal como se muestra en la figura 9.

La capa L1, correspondiente a la capa física, define las propiedades de desempeño en transmisión y recepción de radio, codificación y modulación, rendimiento y pruebas. La capa L2 que corresponde a la subcapa MAC, define las propiedades de estructura de canal como la trama y slot (ranura), la administración de acceso, las propiedades de datos y control, el flujo sobre canales lógicos, el mapeo entre canales lógicos y físicos, y ARQ<sup>27</sup>.

La capa L3 corresponde a la subcapa DLC/LLC<sup>28</sup> y define las propiedades de administración de conexión, registro y movilidad, de control de recursos de radio, de autenticación y seguridad, de segmentación de paquete y unión de slots, de control de potencia y de adaptación de enlace.

---

<sup>25</sup> Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology Overview –

<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

<sup>26</sup> HC-SDMA: High Capacity Spatial Division Multiple Access

<sup>27</sup> ARQ: Automatic Repeat Request

<sup>28</sup> DLC (Data Link Control)/ LLC (Logical Link Control)

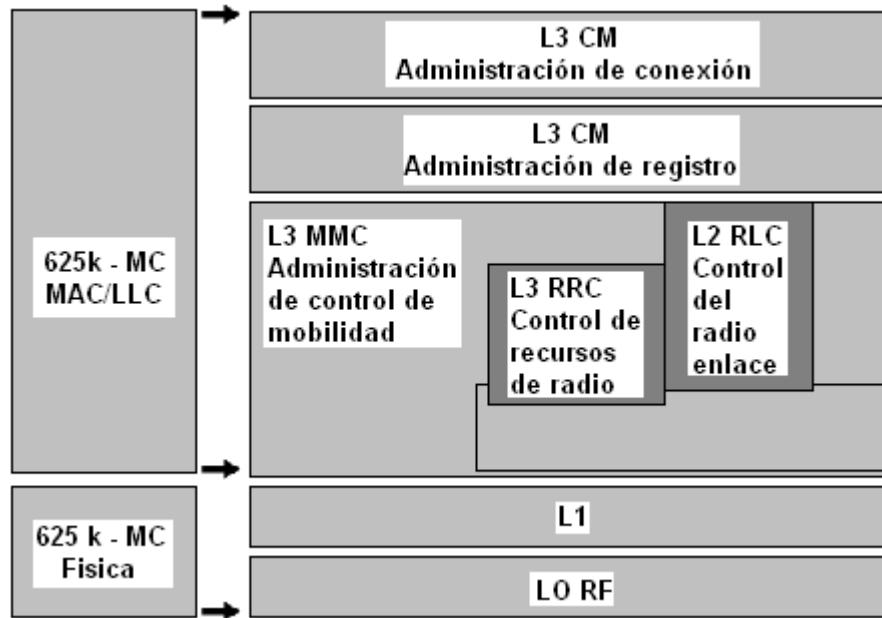


Figura 9. Capas del protocolo del modo 625k – MC Fuente:Broadband Wireless Access for the Twenty-First Century.  
<http://ieeexplore.ieee.org/search/freeresult.jsp?history=yes&queryText=%28ieee+802.20%29>

### 4.3.2 Características de la capa física del modo 625k – MC

Se caracteriza por una estructura de TDD/TDMA cuya longitud de la trama es de 5ms, como se muestra en la figura 10. Cada trama contiene tres ranuras de tiempo de UL y de DL, todos los canales lógicos de la AI son mapeados sobre esta estructura. Muchos aspectos de la capa L1 fueron especialmente diseñados para proporcionar una alta eficiencia espectral y soportar el uso eficaz de antenas adaptables. La estructura de la trama se presenta a continuación:

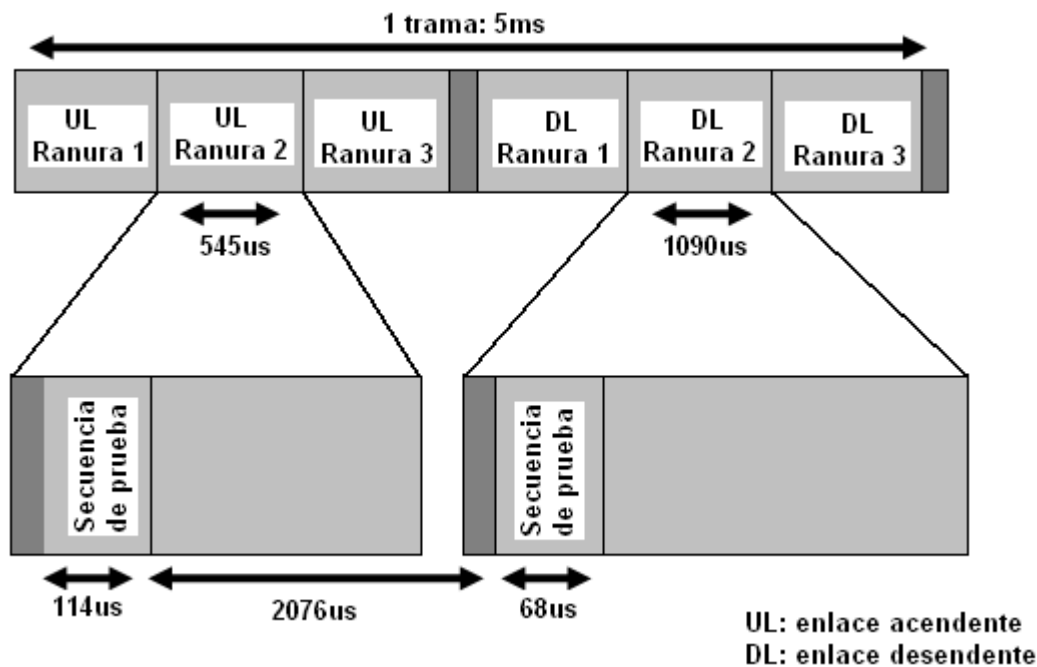


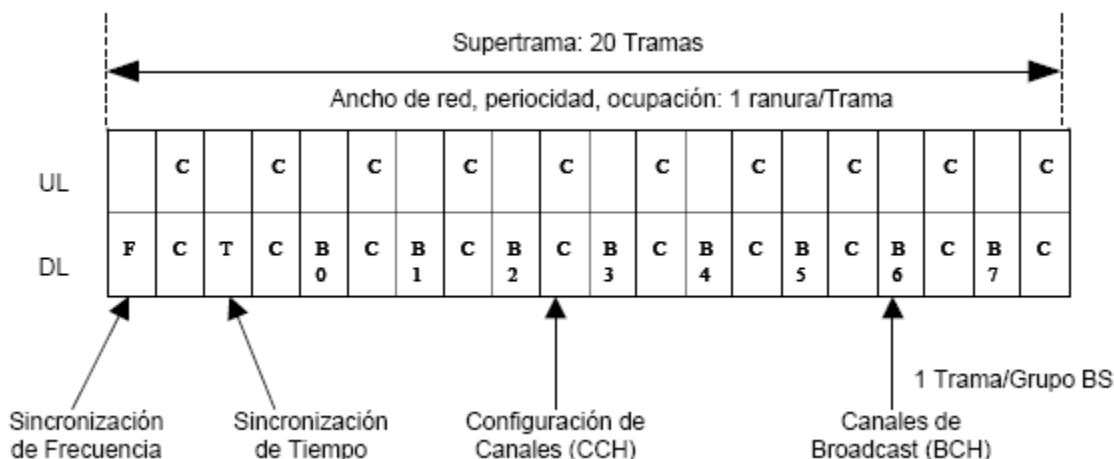
Figura 10. Estructura de la trama de TDD – TDMA en el modo 625k – MC Fuente:Broadband Wireless Access for the Twenty-First Century. <http://ieeexplore.ieee.org/search/freesearchresult.jsp?history=yes&queryText=%28ieee+802.20%29>

La estructura de la trama está diseñada para el despliegue en una canalización de frecuencia limitada (625 kHz) con una tasa de transmisión constante de (2  $\mu$ Sec/símbolo) a través de la trama. Esta caracterización tiene varias ventajas:

- Los slots (*ranuras*) del UL con antelación a los slots del DL facilita la implementación de filtros espaciales para los arreglos de antenas adaptativas en la BS.
- La portadora con ancho de banda limitada simplifica la ecualización, la estimación del canal y el despliegue de la red en el espectro TDD disponible.
- La canalización de frecuencia limitada reduce la latencia de acceso proporcionando muchos canales de acceso

Una única portadora y un par de ranuras de tiempo (time slots) son reservadas a través de toda la red para broadcast de la estructura de la supertrama.

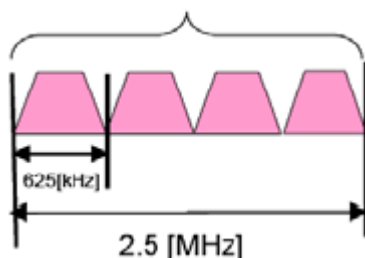
La supertrama se sincroniza a través de todas las BS de la red. La estructura de la supertrama se presenta a continuación:



**Figura 11. Estructura de la supertrama** Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology, Fuente: <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

En la figura 11 se dedican los slots del DL a cada uno de los grupos pre-asignados de las BSs, etiquetados desde B0 a B7. El slot de grupo-específico del DL es el BCH<sup>29</sup> para todas las BSs en ese grupo. Los slots restantes etiquetados como “C”, son pares de burst<sup>30</sup> (UL/DL) y sirve como el CCH<sup>31</sup>.

Una red trabajando bajo el modo 625k-MC, soporta tanto IP como Mobile IPv4 o IPv6, además posee 4 portadoras de 625 kHz en un ancho de banda total de 2.5 MHz como se muestra en la figura 12.



**Figura 12. Portadoras en un bloque de 2.5 [MHz]** Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

El recurso físico básico en el sistema es un canal espacial, que consiste en una portadora, un par de ranuras de tiempo UL y DL y un índice del canal espacial, lo cual se hace posible debido al procesamiento por múltiples antenas y antena adaptiva para soporte de múltiples canales espaciales simultáneamente en el mismo canal convencional.

<sup>29</sup> BCH: Canal de Broadcast

<sup>30</sup> Burst: Secuencia de señales contada como una unidad de acuerdo a un perfil que se le asocia.

<sup>31</sup> CCH: Canal de configuración

Mientras la tasa de símbolos de 500 [KSimbolos/s] es constante para todas las tramas definidas en la figura 10, la modulación empleada es adaptable y se usa separadamente para el UL y DL.

Los tipos de modulación son:  $\pi/2$ -BPSK para los canales de control (CCH), de acceso aleatorio (RACH) y de control asociado rápido (FACH). QPSK para el canal de broadcast (BCH) y el canal de paginación (PCH).  $\pi/2$ -BPSK-QPSK para el canal de tráfico (TCH) bajo el control del protocolo de adaptación de enlace de capa superior. También se usa 8-PSK, 12-QAM, 16-QAM, 24-QAM, 32-QAM y 64-QAM

Cada ranura del UL se une a una ranura del DL con el fin de disminuir la duración del proceso de 1 a 2 ms. La duración de la trama también es pequeña de 5 ms. El ancho de banda de portadora es estrecha (625 kHz) lo que habilita algoritmos de baja complejidad para soporte de antenas adaptivas. Generalmente, el arreglo adaptivo y su funcionamiento se determina por el número de antenas, la BS puede tener 12 o 9 antenas mientras que la TA puede tener 1, 2 o 4 antenas.

#### **4.3.3 Características de la capa de control de acceso al medio MAC – L2**

La capa MAC (L2) mapea los mensajes de datos y control para recursos físicos y proporciona los modos de: acuses de recibo (AM) y sin acuses de recibo (UM) para la entrega del mensaje. En modo AM se entrega por medio de un mecanismo de retransmisión direccionable de byte similar al usado en TCP y mantiene un mecanismo de entrega fiable para datos de L3 garantizando la preservación y el orden de los byte. La retransmisión se hace directamente desde la BS o desde la TA para minimizar la latencia ARQ. Como la capa L2 proporciona la encriptación en masa para asegurar la confidencialidad de usuario y datos de control, la TA y la BS intercambian información usando un pequeño número de canales lógicos los cuales son mapeados por burst físicos para su transmisión. Estos canales lógicos que son transmitidos por cierto tipos de burst son: RACH, TCH, CCH y FACCH en el DL y los canales PCH, BCH, y CCH en el UL.

#### **4.3.4 Características de la capa de control de enlace lógico LLC y control de enlace de datos – L3**

Esta capa también denominada L3, administra el acceso a los recursos de la interfaz aérea (IA). Una vez una terminal de acceso (TA) se ha registrado con una BS, ningún recurso de la IA se asigna a esa TA a menos que el tráfico de subida (upstream) o de bajada (downstream) necesite ser intercambiado entre él y la BS. Todas las decisiones de asignación de recurso están centralizadas en la BS y son

administradas, en parte, por las consideraciones necesarias para garantizar la calidad del servicio, entre las cuales se definen los límites en velocidades de datos y la prioridad por usuario.

La portadora y la agregación de ranuras de tiempo (*times slots*) se emplea para aumentar el throughput por usuario en los canales de tráfico mucho más allá de aquéllos soportados por un solo par portadora-ranura de tiempo (*carrier-timeslot*). Finalmente, el procesamiento espacial UL y DL en la BS resulta en un mecanismo de acceso muy eficaz que se aprovecha de SDMA en lugar de las técnicas convencionales tales como detección/anulación de colisiones.

L3 también maneja la relación entre la TA y la BS, manteniendo los principios de asociación entre esas dos entidades, que permite el intercambio de datos IP del usuario final. Además, L3 emplea medidas físicas hechas a L1 para manejar movilidad y coordinar control de potencia y adaptación de enlace entre el UT y la BS.

L3 recibe nominalmente datos PPP o IP del usuario de las entidades protocolares superiores, esto provee autenticación de la BS para que el UT confirme la identidad de la BS y viceversa.

#### 4.3.5 Modelo de referencia para el modo 625k – MC<sup>32</sup>

**Red de acceso (Access Network AN):** proporciona la conectividad de la capa IP entre la IP de la red (generalmente de la Internet) y las terminales del usuario.

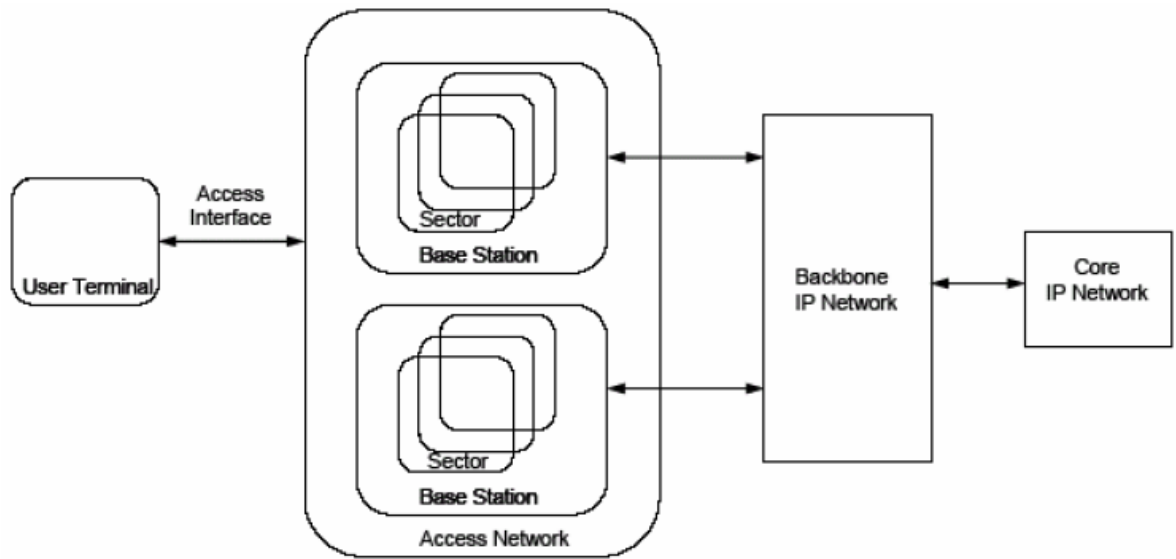
**Estación Base (Base Station BS):** Son los dispositivos en la red de acceso que sirven para la comunicación por la interfaz aérea (AI) por uno o más sectores, con los terminales del usuario. Las BSs coordinan la administración de los atributos de la AI.

**Terminal de Acceso (Access Terminal AT):** Es un dispositivo que proporciona conectividad al usuario final (EUD). El cual puede ser una computadora personal, portátil o un dispositivo de datos autónomo como un asistente digital personal.

**Sector:** Es un conjunto de canales de capa física transmitidos entre la BS y las ATs dentro de una asignación de frecuencia dada. Un sector consiste en un enlace del canal de radio reverso y un enlace del canal de radio directo.

---

<sup>32</sup> Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>



**Figura 13. Modelo de referencia del modo 625k – MC** Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

## 5. IEEE 802.20 VS 802.16E Y UMTS (3G)

### 5.1 Descripción del estándar 802.16e<sup>33</sup>

El estándar 802.16e es un anexo del estándar 802.16, cuyo enfoque principal son las comunicaciones inalámbricas de banda ancha en redes de área metropolitana o MAN no estacionarias, cuya velocidad máxima es de 150 km/h. Entre las principales características de este estándar están su operación en bandas con licencia por debajo de los 6GHz, lo cual hace que no sea necesaria línea de vista directa para la comunicación. La característica mencionada obliga a que la capa física soporte técnicas de administración de energía, atenuación de interferencia y funcionamiento con múltiples antenas y a la capa de control de acceso al medio a utilizar mecanismos como ARQ (Automatic Repeat Request).

Para este estándar se aplican tres tipos de interfaz aérea cuyas características son:

Denominación	Algunas características de la capa Física	Subportadoras	Duplexación
WirelessMAN-SCa <sup>TM</sup>	Basada en tecnología de portadora única y diseñada para funcionar sin línea de vista (NLOS) <sup>34</sup> . Usa TDMA para enlaces de subida y TDM o TDMA para enlaces de bajada. En ambos casos utiliza modulación adaptativa de bloques y codificación FEC <sup>35</sup> .	Trabaja con una sola portadora	TDD y FDD
WirelessMAN-OFDM <sup>TM</sup>	Basada en modulación OFDM y diseñada para operación en NLOS y en frecuencias inferiores a 11 GHz.	Trabaja con 256 subportadoras de las cuales 200 son utilizadas	TDD y FDD
WirelessMAN-OFDMA	Basada en modulación OFDM y diseñada para operación en NLOS. Para bandas licenciadas, el ancho de banda del canal puede ser regulado.	Puede trabajar con 128, 512, 1024 o 2048 subporadoras y tiene la propiedad de	TDD y FDD

<sup>33</sup> Fuente: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>

<sup>34</sup> NLOS: Non-line-of-sight – Sin línea de vista

<sup>35</sup> FEC: Forward error conection



		escalabilidad al mantener un espacio de 10.94 KHz entre subportadoras	
--	--	---	--

Tabla 3 Clases de interfaz aérea para el estándar IEEE 802.16<sup>36</sup>

Para este estándar rige el modelo de referencia del estándar 802.16, el cual se muestra en la siguiente figura:

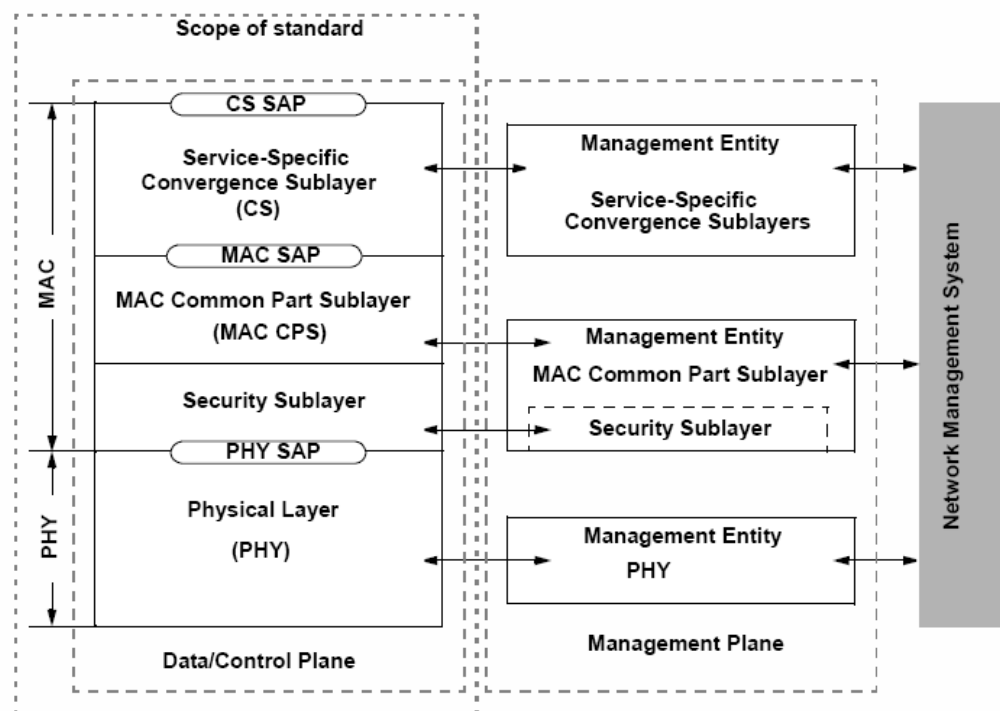


Figura 14 Modelo de referencia y protocolo de capas estándar IEEE 802.16

En este modelo la capa MAC comprende tres subcapas:

- Service-Specific Convergence Sublayer (CS) la cual proporciona la transformación o el mapeo para datos externos a la red, recibidos a través del CS del Access Point en servicio.
- MAC Common Part Sublayer (MAC CPS): Proporciona funcionalidad MAC de acceso al sistema, asignación de ancho de banda y establecimiento y

<sup>36</sup> Fuente: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>

mantenimiento de conexión. Recibe datos de varios CS a través de la MAC SAP, la cual está clasificada para varias conexiones MAC.

- Subcapa de seguridad que provee autenticación, intercambio seguro de claves y encriptación.

La capa física define múltiples especificaciones para aplicaciones y rangos de frecuencia particulares. Esta capa es muy flexible con el fin de permitir a los proveedores optimizar el tipo de despliegue para los sistemas diseñados respecto a la planificación de celdas a usar, radio de cobertura y servicios disponibles. Sus enlaces de subida se basan en una combinación de TDMA y DAMA<sup>37</sup> y particularmente el canal de subida se divide en el número de ranuras de tiempo, donde cada una puede tener usos diferentes como registro, conexión, seguridad y tráfico, controlado por la capa MAC en la estación base y puede cambiar su desempeño en el tiempo. El canal de bajada es TDM, con información para cada SS (estación suscriptora) multiplexada dentro de un mismo sector.

Otras características de este estándar son:

- En el caso de las tramas, este estándar permite un uso flexible del espectro gracias a las duplexaciones TDD y FDD. Para la capa física WirelessMAN-SCa las transmisiones se realizan a través de una de las tres clases de Burst Sets<sup>38</sup> entramados. En un sistema FDD una SS es capaz de operar sobre *burst* DL o *burst* UL, además de una operación continua DL. Para la capa física WirelessMAN-OFDM las tramas se encuentran formadas por subtramas UL, formadas a su vez por intervalos de contención y uno o mas PDU<sup>39</sup>s y subtramas DL formadas a su vez por un solo PDU que incluye preámbulo, FCH<sup>40</sup> burst y uno o varios bursts de datos. Para la capa física WirelessMAN-OFDMA la estructura de trama OFDMA para TDD se divide en subtramas UL y DL separadas por un *Transmit/Receive Transition Gap* (TTG)<sup>41</sup> y un *Receive/Transmit Transition Gap* (RTG), para prevenir colisiones en las transmisiones UL y DL.

- La asignación de recursos se puede observar que para el estándar 802.16e, específicamente para WirelessMAN-OFDM y WirelessMANOFDMA, el sistema se basa en la subcanalización al agrupar subportadoras activas en grupos conocidos como subcanales. La subcanalización permite a varios usuarios transmitir sobre un mismo *slot* de tiempo utilizando los subcanales que se les ha asignado. Para WirelessMAN-OFDM el requerimiento y asignación de estos subcanales se realiza

---

<sup>37</sup> Demand Assignment Multiple Access

<sup>38</sup> Burst Set: entidad de transmisión autónoma que consiste en un preámbulo, uno o más Burst concatenados y una secuencia de terminación.

<sup>39</sup> PDU: Protocol Data Unit. Unidad de datos intercambiada entre un par de entidades de la misma capa del protocolo. En el sentido de bajada es la unidad de datos generada por la siguiente capa inferior. En subida es la unidad de datos recibida de la capa inferior anterior.

<sup>40</sup> FCH: Frame Control Header

<sup>41</sup> TTG: Intervalo de transición entre un enlace de subida y uno de bajada.

utilizando uno de los dos tipos de regiones REQ en la trama y a través de la asignación de oportunidades de transmisión. Para WirelessMAN-OFDMA la asignación de subcanales se realiza a través de permutaciones para el uso parcial o total de canales (PUSC o FUSC).

- La sincronización es muy importante dentro de cualquier red para que el transmisor y el receptor puedan comunicarse entre sí. Las especificaciones del estándar 802.16e tanto para WirelessMAN-OFDM y WirelessMAN-OFDMA recomiendan que las BSs estén sincronizadas a una señal de tiempo común que debe ser un pulso de tiempo de 1pps o una frecuencia de referencia de 10MHz, que se recibe generalmente a través de un receptor GPS.

## 5.2 Descripción de UMTS<sup>42</sup>

Siglas que en inglés hace referencia a los Servicios Universales de Telecomunicaciones Móviles, es miembro de la familia global IMT-2000 del sistema de comunicaciones móviles de “tercera generación” de UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

Entre los objetivos que impulsaron el desarrollo de UMTS están:

- Convergencia de redes fijas y móviles.-Igual calidad de servicio.
- Servicios multimedia simétricos y asimétricos.
- Roaming global.
- Asignación dinámica de ancho de banda.- Hasta un máximo inicial de 2 Mbps.
- Acceso personalizado.-concepto de VHE (*Virtual Home Environment*), define
- Un perfil de servicio constante y homogéneo independiente de la red que sirve al abonado.
- Tecnología de paquetes (*always-on*) y protocolos IP
- Soporte para una amplia gama de terminales
- Capacidad para una alta densidad de usuarios

Adicionalmente UMTS proporciona servicios de uso fácil y adaptable para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios, amplia gama de terminales para facilitar el acceso a los distintos servicios, bajo costo de los servicios para asegurar un mercado masivo y tarifas competitivas, gran variedad de terminales con precios accesibles para el mercado masivo.

La principal ventaja de UMTS sobre la segunda generación móvil (2G), es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 144

---

<sup>42</sup> Fuente: [www.umtsforum.org](http://www.umtsforum.org)

kbit/s sobre vehículos a gran velocidad, 384 kbit/s en espacios abiertos de extrarradios y 17.2 Mbit/s con baja movilidad (interior de edificios). Esta capacidad sumada al soporte inherente del Protocolo de Internet (IP), se combinan poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía y video conferencia.

### 5.3 Transmisión de datos

La mayoría de los sistemas celulares utilizan tecnología de conmutación de circuitos para la transferencia de datos como GPRS (*Servicios de Radiotransmisión de Paquetes de Datos Generales*) que es una extensión de GSM (*Sistema Global para Comunicaciones Móviles*) y ofrece una capacidad de conmutación de paquetes de datos de velocidades bajas y medias.

UMTS integra la transmisión de datos en paquetes y por circuitos de conmutación de alta velocidad generando los siguientes beneficios:

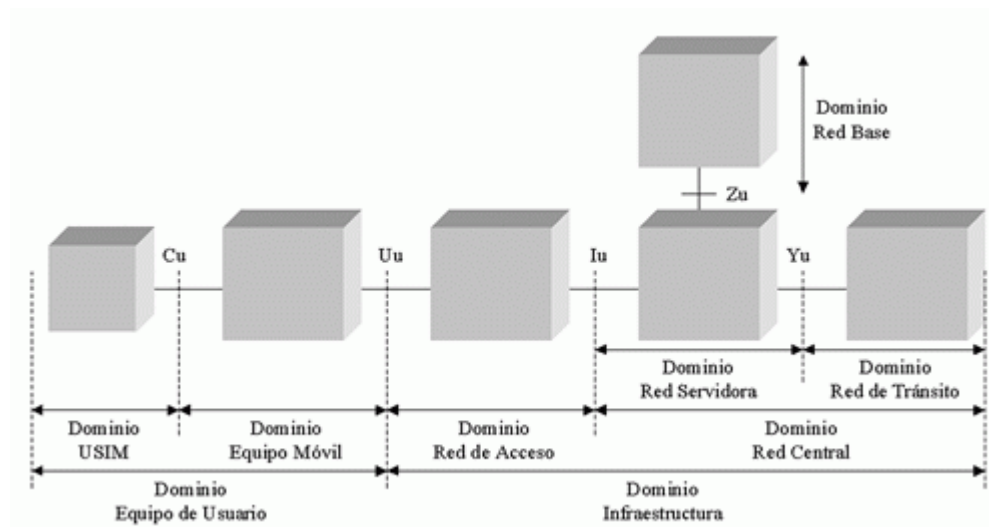
- Conectividad virtual a la red en todo momento
- Formas de facturación alternativas (por ejemplo, pago por byte, por sesión, tarifa plana, ancho de banda asimétrico de enlace ascendente/descendente) según lo requieran los diferentes tipos de servicios de transmisión de datos que están haciendo su aparición.
- Ofrece velocidad de transmisión de datos a pedido, lo que combinado con la transmisión de paquetes de datos, hará que el funcionamiento del sistema resulte mucho más económico.

### 5.4 Arquitectura de UMTS<sup>43</sup>

La arquitectura general de UMTS, mostrada en la figura 15, se ha modelado en términos de dominios que son agrupaciones al más alto nivel entre entidades físicas, y puntos de referencia entre los dominios. La arquitectura UMTS se divide en dos dominios: el dominio del Equipo de Usuario (UE, User Equipment) y el dominio de la Infraestructura. Dichos dominios están conectados a través del interfaz radio denominado Uu.

---

43 FUENTE: [http://www.umtsforum.net/mostrar\\_articulos.asp?u\\_action=display&u\\_log=15](http://www.umtsforum.net/mostrar_articulos.asp?u_action=display&u_log=15)



**Figura 15 Dominios y puntos de referencia en UMTS**

El UE puede incluir una tarjeta inteligente extraíble que puede usarse en diferentes tipos de terminales. El dominio de Equipo de Usuario se divide en: el dominio de Equipo Móvil (ME, Mobile Equipment) y el dominio del Modulo de Identidad de Servicios de Usuario (USIM, User Services Identity Module). El ME se puede subdividir en: la Terminación Móvil (MT, Mobile Termination) que realiza las funciones relacionadas con la transmisión radio, y el Equipo Terminal (TE, Terminal Equipment) que contiene las aplicaciones extremo a extremo. El USIM contiene datos y procedimientos que la identifican de forma segura y sin ambigüedad, y están normalmente incluidos en una tarjeta inteligente. Dicha tarjeta está asociada a un usuario que se puede identificar independientemente del ME usado; por tanto, UMTS, como GSM, soporta movilidad personal porque las llamadas van dirigidas a una identidad de un usuario y no de un terminal.

La infraestructura se divide en: el dominio de Red de Acceso (AN, Access Network), y el dominio de Red Central (CN, Core Network). Ambos dominios están conectados a través del interfaz Iu. Esta partición permite que la CN pueda estar conectada con ANs basadas en diferentes tecnologías de acceso; y que la CN pueda estar también basada en diferentes tecnologías. La AN específica de UMTS se denomina Red de Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN). La CN puede subdividirse en: el dominio de Red Servidora (SN, Serving Network), el dominio de Red Base (HN, Home Network), y el dominio de Red de Tránsito (TN, Transit Network). La SN es la parte de la CN conectada a la AN, y representa las funciones de la CN que son locales al punto de acceso del usuario y por tanto su ubicación cambia cuando el usuario se mueve. La HN representa las funciones de la CN que son conducidas a una ubicación permanente independiente de la posición del punto de acceso del usuario; y es responsable de la gestión de información de suscripciones y datos de usuario. El USIM está relacionado con la

subscripción en la HN. La TN es la parte de la CN ubicada en el camino de comunicaci3n entre la SN y la parte remota.

Desde el punto de vista funcional, UMTS puede ser modelado en t3rminos de estratos o grupos de protocolos relacionados con alg3n aspecto de los servicios proporcionados por uno o varios dominios. UMTS contiene los siguientes tipos de estratos:

*Estrato de Transporte* que soporta el transporte de datos de usuario y se1alizi3n de control de red. Como parte de este estrato, se puede citar el Estrato de Acceso que est3 encargado de gestionar el interfaz radio UMTS proporcionando servicios portadores de acceso radio a otros estratos, e incluye protocolos entre MT y AN, y entre AN y SN.

*Estrato Servidor* que soporta el encaminamiento y la transmisi3n de informaci3n desde la fuente a su destino; y incluye protocolos entre USIM y MT, entre MT y SN, y entre TE y MT.

*Estrato Base* que soporta la gesti3n de datos de subscripciones, la tasaci3n, la facturaci3n, la gesti3n de movilidad y la autenticaci3n. Este estrato incluye protocolos entre USIM y HN, entre USIM y MT, entre MT y SN, y entre SN y HN.

*Estrato de Aplicaci3n* que incluye protocolos extremo a extremo y funciones que hacen uso de los servicios proporcionados por el resto de los estratos, para soportar servicios y servicios de valor a1adido para el usuario.

## 5.5 Comparaci3n entre UMTS, IEEE 802.16e y 802.20

A continuaci3n se muestran las principales diferencias entre estas tres tecnolog3as.

<b>Red Car3cter.</b>	<b>802.16e</b>	<b>802.20</b>	<b>3G</b>
<b>Movilidad</b>	Tasas de transmisi3n altas con servicios de movilidad adjuntos.	Completamente m3vil, con alto nivel de throughput de datos.	Servicios de voz principalmente, servicio bajo de transmisi3n de datos.
<b>Tendencia de datos</b>	Servicios de datos sim3tricos	Servicio de datos sim3trico	Servicio de datos altamente asim3tricos
<b>Servicios</b>	Baja latencia para transmisi3n de	Baja latencia para transmisi3n de	Carencia para soportar los

	datos y voz en tiempo real.	datos.	servicios de baja latencia.
<b>Movilidad y soporte de roaming.</b>	Local - regional	Global	Global
<b>Capas MAC y PHY</b>	Extensión de capas MAC y PHY definidas en 802.16 <sup>a</sup>	Nuevas capas PHY y MAC optimizadas para paquetes de datos.	W-CDMA, cdma2000
<b>Tecnología</b>	Optimizada para ser compatible con estaciones antiguas.	Optimizada para garantizar completa movilidad.	Evaluación de GSM o IS-41.
<b>Bandas</b>	2 - 6 GHz	< 3.5 GHz	< 2.7 GHz
<b>Canales de banda ancha</b>	> 5 MHz	< 5 MHz	< 5 MHz

Tabla 4 Comparación entre 802.16e, 802.20 y 3G

## **6. REDES INALÁMBRICAS EN MALLA Y REDES IEEE 802.20 EN MALLA<sup>44</sup>**

Las redes móviles ad-hoc combinan movilidad y enrutamiento dinámico característicos de las redes mesh o en malla y las redes adhoc. Aunque son muy populares en los últimos años, han fallado para encontrar aplicaciones reales, con excepción de las aplicaciones militares. Muchas investigaciones relacionadas con este tema se enfocan en encontrar aplicaciones de propósito general. Aunque las redes desarrolladas bajo el estándar IEEE 802.11 han sido ampliamente desplegadas en nuestro entorno urbano, raramente son usadas como redes ad-hoc, mientras que tienen un gran potencial en aplicaciones comerciales de propósito general tales como accesos de internet, seguridad pública, servicios de transporte y demás. Por ejemplo las redes en malla se han implementado en sistemas de servicios de transporte, permitiéndoles a los usuarios obtener sus propias localizaciones e intercambio de información en tiempo real sin límite de espacio y tiempo. Una red en malla puede ser utilizada para conectar hotspots WiFi de una manera escalable y efectiva en costos.

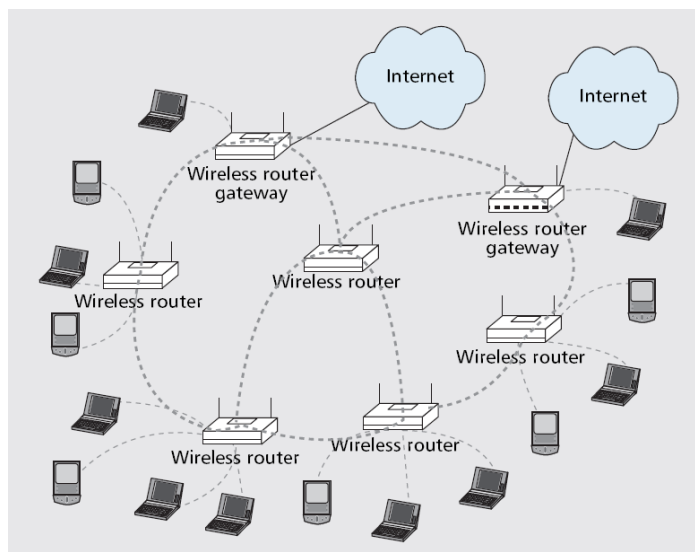
### **6.1 REDES INALÁMBRICAS EN MALLA**

Una red inalámbrica en malla, tal como la mostrada en la figura 16, incluye enrutadores inalámbricos y estaciones inalámbricas móviles. Los enrutadores inalámbricos se comunican entre sí desde el backbone de la red inalámbrica, el cual se conecta con otras redes inalámbricas y conduce múltiples saltos (multihop) entre nodos de comunicación hacia estaciones inalámbricas de tráfico desde y hacia redes cableadas. El tráfico generado por usuarios de redes móviles viaja sobre enrutadores inalámbricos y alcanza redes cableadas tales como Internet. Cada estación móvil actúa como un enrutador, enviando paquetes desde otras estaciones móviles. Los enrutadores móviles podrían tener múltiples interfaces inalámbricas para conectar redes inalámbricas heterogéneas.

---

<sup>44</sup> Fuente: IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access. Walker Bolton, Yang Xiao, Mohsen Guizani





**Figura 16. Arquitectura de redes inalámbricas en malla**

Fuente: IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access. Walker Bolton, Yang Xiao, Mohsen Guizani

Las redes inalámbricas en malla combinan redes cableadas con inalámbricas, por medio de enrutadores inalámbricos que actúan como backbone y estaciones móviles como usuarios. A las personas les gusta la conveniencia de no tener que estar limitados por una línea cableada. Sin embargo tenemos controles remotos para televisión, teléfonos inalámbricos, teléfonos celulares y demás.

En este tipo de red un usuario móvil puede alcanzar conexión a internet por medio de unos pocos saltos de conexión, mostrándose mucho más práctico y seguro que las redes ad-hoc. Por ejemplo, una red inalámbrica en malla se puede construir en los techos de los edificios y provee acceso a internet económico y de banda ancha, mientras celdas Wi-Fi externas constituyen la red inalámbrica en malla. Por lo tanto los usuarios pueden acceder a internet si se encuentran dentro del radio de alcance de la red, incluso a través de otros dispositivos inalámbricos que se encuentren dentro de ese radio. Por ejemplo una red inalámbrica en malla vehicular permitiría a las personas acceder información del tráfico y servicios de localización.

## 6.2 REDES EN MALLA 802.20

Las tecnologías existentes para la conexión de redes inalámbricas en malla son IEEE 802.11s, el 802.15.5, 802.16j y el 802.20. El estándar 802.11s expande el estándar IEEE 802.11 con el objeto de permitir que los acces points conformen el backbone de la red en malla inalámbrica. El grupo de IEEE P802.15.5 define tecnologías que soporten redes en malla para PANs. El IEEE 802.15.5 para redes en malla inalámbricas incrementa la cobertura de las WPAN con radios de transmisión de corto alcance y elevados throughput, especiales para sistemas

UWB. El estándar IEEE 802.16j soporta redes en malla opcionales con capas de acceso al medio basadas en TDMA de modo que todos los usuarios puedan tener vínculos directos unos con otros. De modo que la estación base puede controlar los recursos de localización de los usuarios que se establecen como vínculos directos o múltiples estaciones bases pueden coordinar las transmisiones de los usuarios con uno o dos saltos.

La IEEE 802.20 adopta la arquitectura celular de macroceldas, microceldas y picoceldas. El direccionamiento en IEEE 802.20 permite movilidad con velocidad muy alta sobre los 250 km/h. Las estaciones móviles en 802.20 pueden formar una red inalámbrica en malla. Incluso una red en malla IEEE 802.20 puede conectar redes IEEE 802.16j, 802.11s, 802.15.5, 3GPP y 3GPP2 para conformar redes en malla inalámbricas heterogéneas. El sistema IEEE 802.20 debe ser diseñado para proveer acceso de banda ancha inalámbrico en múltiples lugares y en condiciones de movilidad basado en una arquitectura celular. La arquitectura del sistema debe ser una de las siguientes topologías: punto a multipunto, topología de red en malla e híbrido de ambas malla y punto a multipunto. Los requerimientos de una red en malla son completamente diferentes de una red punto a multipunto. En la figura 17 se muestra una red heterogénea usando IEEE 802.20 e IEEE 802.11, en la cual se implementa comunicación punto a multipunto y en malla, y router inalámbricos conforman el backbone de la red.

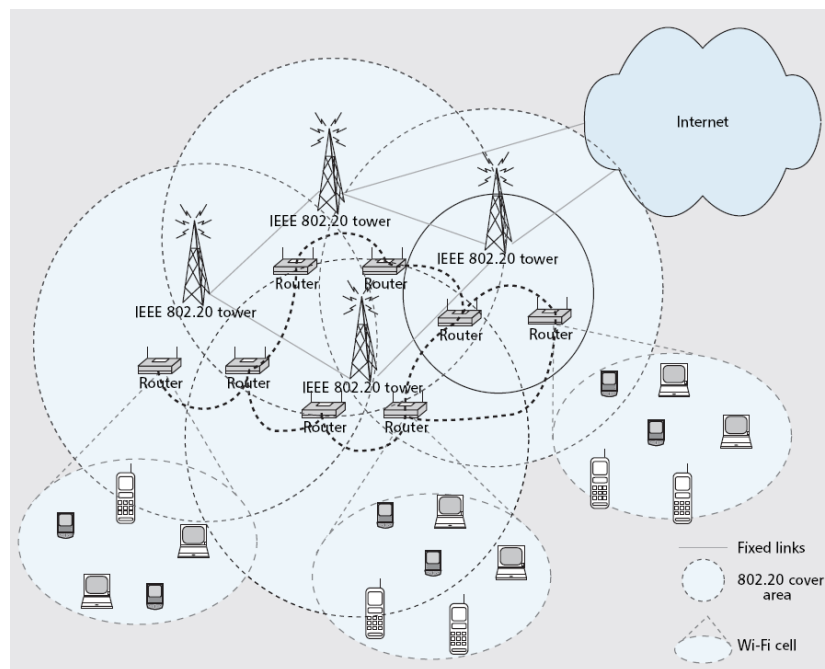


Figura 17 Red heterogénea de IEEE 802.20 y 802.11 Fuente: IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access. Walker Bolton, Yang Xiao, Mohsen Guizani

### 6.3 RETOS PARA REDES INALÁMBRICAS EN MALLA

Hay muchos retos en la construcción a gran escala y el comportamiento de una red inalámbrica en malla multisaltos (multihop), tales como compatibilidad, coexistencia, escalabilidad, seguridad, calidad del servicio entre otros.

El primer y más importante reto es la compatibilidad. Construir una nueva tecnología que reemplace la antigua podría no ser tan exitoso, afirmación que se basada en experiencias anteriores. Por ejemplo muchos productos desarrollados con el estándar IEEE 802.11 aún esperan ser aceptados por los usuarios. Lo cual es comprensible pues las personas ya han hecho una inversión tecnológica la cual no será desechada por elementos nuevos. Por lo tanto los diseñadores de redes en malla inalámbricas deberían tener en cuenta la compatibilidad entre las tecnologías recientes y las antiguas en aspectos como radio transmisión, control de acceso al medio, seguridad, enrutamiento entre otros.

El segundo reto es mantenerse en armonía con las características ya existentes. Las tecnologías IEEE 802.20 deberían funcionar adecuadamente con AMPS, TDMA, GSM, IS-95, CDMA-2000, WCDMA, 1xEV-DV, 1xEV-DO, HSDPA, EDGE, GPS, IEEE 802.16, IEEE 802.16e, IEEE 802.16a, IEEE 802.15s, IEEE 802.11, IEEE 802.11s entre otras. Esta armonía debería considerar todos los aspectos de la tecnología, lo cual supone un gran reto, pues incluye aspectos como la tecnología de radio, capa de control de acceso al medio, enrutamiento, seguridad, calidad del servicio, handoff, entre otros como las redes celulares 4G.

El tercer reto es la escalabilidad. El comportamiento de una red en malla inalámbrica no debería degradarse significativamente cuando el número de estaciones móviles que acceden a la misma se incrementa significativamente. Los actuales protocolos de control de acceso al medio no son escalables, pues el throughput se disminuye considerablemente a medida que la cantidad de estaciones móviles se incrementa. Por otro lado los protocolos de enrutamiento actuales tampoco son escalables ya que la conexión se degrada a medida que el número de saltos se incrementa. Sin embargo diseñar un nuevo protocolo de control de acceso al medio y de enrutamiento limitaría las características de compatibilidad de equipos antiguos. Por lo tanto considerar ambas características escalabilidad y compatibilidad constituye una difícil tarea para llevar a cabo.

El cuarto aspecto es la seguridad. Aunque los mecanismos y servicios de seguridad son diseñados para diferente redes inalámbricas, hay un gran reto cuando esas redes deben coexistir. El aspecto de seguridad se torna complicado cuando se deben tener en cuenta características como compatibilidad, eficiencia y calidad del servicio al mismo tiempo.

El quinto reto es la calidad del servicio, la cual una característica de gran dificultad para mantener cuando las redes son inalámbricas en malla y heterogéneas, pues implica muchas capas como la de control de acceso al medio, la de enrutamiento y la de aplicación y todas deben ser compatibles con las diferentes arquitecturas y tecnologías que participen en la red.

Además hay muchas otras características que pueden suponer mas retos a superar, tales como las interfaces de radio de alta velocidad, los sistemas de administración de recursos, las extensiones de rangos, nuevos protocolos de control de acceso al medio y de enrutamiento, diseño y optimización de capas de intercambio, movilidad, administración de energía, protocolos de eficiencia de energía, administración de topología y aplicaciones.

## 7. CONCLUSIONES

El estándar IEEE 802.20 se constituye en uno de los más ambiciosos en desarrollo hasta este momento, pues su objetivo fundamental es lograr la convergencia y el uso general de las redes de uso global, las cuales están desarrolladas en diferentes estándares como la 3G en ambiente celular, la 802.16 y 802.11.

Para lograrlo, se debe desarrollar una serie de aspectos tecnológicos que garanticen características básicas tales como conexiones con alto ancho de banda, baja latencia en la comunicación, capacidad de conexión persistente de forma estacionaria y móvil, seguridad en la conexión y principalmente calidad del servicio. Adicionalmente lograr la compatibilidad entre las capas física y MAC de los estándares ya desarrollados con las utilizadas en el IEEE 802.20 lo cual se presupone como una de las mayores dificultades.

Finalmente una vez superados todos los obstáculos que se visualizan, entre los beneficiados por el desarrollo y uso de este estándar estarán los proveedores del servicio quienes tendrían mecanismos flexibles y variados para garantizar la conexión de los usuarios a la red y los usuarios quienes obtendrían conexión con servicios de transmisión de datos, voz y video de alta calidad sin obstáculos de tiempo y lugar.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Walker Bolton, FedEx Services. Yang Xiao, University of Alabama. Mohsen Guizani, Western Michigan University. IEEE 802.20: Mobile Broadband Wireless Access.

<http://ieeexplore.ieee.org/search/freeresult.jsp?history=yes&queryText=%28ieee+802.20%29>

Bojan M. Bakmaz, Zoran S. Bojkovic y Miodrag R. Bakmaz, Facultad de Ingeniería de Transporte y Tráfico Universidad de Belgrado. Dragorad A. Milovanovic, Facultad de Ingeniería Eléctrica Universidad de Belgrado. Mobile Broadband Networking Based on IEEE 802.20 Standard.

<http://ieeexplore.ieee.org/search/freeresult.jsp?history=yes&queryText=%28ieee+802.20%29>

Arnold Greenspan, ARONSCO, Inc. Mark Klerer and Jim Tomcik, Qualcomm. Radhakrishna Canchi, Kyocera Telecommunications Research Corporation (KTRC). Janne Wilson, Compass Rose International. IEEE 802.20: Mobile Broadband Wireless Access for the Twenty-First Century.

<http://ieeexplore.ieee.org/search/freeresult.jsp?history=yes&queryText=%28ieee+802.20%29>

Benny Bing, Georgia Institute of Technology. Broadband Wireless Access - The Next Wireless Revolution.

<http://ieeexplore.ieee.org/search/freeresult.jsp?history=yes&queryText=%28ieee+802.20%29>

Mobile Broadband Wireless Access Systems: Approved PAR (02/12/11)

[http://www.ieee802.org/20/P\\_Docs/IEEE802.20PD-02.pdf](http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE802.20PD-02.pdf)

MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology Overview (2006-01-06)

<http://grouper.ieee.org/groups/802/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

System Requirements for IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access Systems – Version 14 [http://www.ieee802.org/20/P\\_Docs/IEEE%20802.20%20PD-06-r1.doc](http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-06-r1.doc)

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID: Departamento de Ingeniería Telemática

[http://mobilefi/Spanish\\_wimax\\_wibro.pdf](http://mobilefi/Spanish_wimax_wibro.pdf)

MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

MBTDD 625k-MC MODE Technology, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

IEEE Std 802.16-2004 IEEE Standard for local and metropolitan area networks  
Part 16: Air interface for Fixed Broadband Wireless Access System