

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA PROPUESTA DE IEEE 802.20 Y EL ANEXO E DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16 PARA ACCESO MÓVIL INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

MARÍA JOSÉ ACOSTA DE LA VEGA

DIRECTOR: MSC. CARLOS EGAS

QUITO, MARZO 2007

DECLARACIÓN

Yo, María José Acosta de la Vega declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

María José Acosta

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por María José Acosta, bajo mi supervisión.

Msc. Carlos Egas
DIRECTOR DEL PROYECTO

CONTENIDO

1. ESTÁNDAR IEEE 802.20.....	1
1.1. PROYECTO DE ESTANDARIZACIÓN IEEE 802.20.....	1
1.1.1. GRUPO DE TRABAJO 802.20 (WG 802.20).....	2
1.1.1.1. Relaciones con Organizaciones Externas.....	2
1.1.1.2. Miembros del Grupo de trabajo IEEE 802.20.....	3
1.1.2. PROCESO DE ESTANADRIZACIÓN DE IEEE 802.20.....	3
1.1.2.1. PAR del Proyecto 802.20.....	4
1.1.2.1.1. Propósito del Proyecto 802.20.....	4
1.1.2.1.2. Alcance del Proyecto 802.20.....	4
1.1.2.2. Criterios para el desarrollo del Estándar 802.20 (Cinco Criterios).....	5
1.1.2.2.1. Amplio Potencial De Mercado.....	5
1.1.2.2.2. Compatibilidad.....	6
1.1.2.2.3. Identidad Propia.....	6
1.1.2.2.4. Factibilidad Técnica.....	7
1.1.2.2.5. Factibilidad Económica.....	7
1.1.2.3. Plan de Trabajo para el Desarrollo del Estándar IEEE 802.20.....	8
1.1.2.3.1. Situación Actual del Proceso de Estandarización.....	9
1.2. CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.20.....	11
1.2.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS.....	11
1.2.1.1. Arquitectura de la Red.....	11
1.2.1.2. Modelo de referencia.....	13
1.2.1.2.1. Modo 625k-MC.....	16
1.2.1.3. Requerimientos para sistemas IEEE 802.20 de Acceso Móvil Inalámbrico de Banda Ancha.....	17
1.2.1.3.1. Requerimientos del Sistema.....	18
1.2.1.3.2. Requerimientos espectrales.....	21
1.2.2. ESPECIFICACIONES DE CAPA FÍSICA (PHY).....	21
1.2.2.1. Estructura de la trama.....	25
1.2.2.1.1. Estructura de la supertrama.....	26
1.2.2.1.2. Estructura de la trama para FDD.....	27
1.2.2.1.3. Estructura de la trama para TDD.....	29
1.2.2.2. Proceso de Transmisión.....	30
1.2.2.3. Mecanismos de funcionamiento y control.....	33
1.2.2.3.1. Asignación de Recursos.....	33
1.2.2.3.2. Modos de Saltos.....	34
1.2.2.3.3. Enlace Reverse Casi-Ortogonal.....	37
1.2.2.3.4. Reuso Fraccional de frecuencias.....	38
1.2.2.3.5. Planificación de subbanda.....	40
1.2.2.3.6. Ancho de banda escalable.....	41
1.2.2.3.7. Control de Potencia.....	42
1.2.2.4. Mecanismos de Múltiples Antenas.....	43
1.2.2.4.1. MIMO.....	43
1.2.2.4.2. Beamforming para TDD.....	45
1.2.2.4.3. Precodificación.....	46
1.2.2.4.4. SDMA.....	47
1.2.2.5. Modo 625k-MC.....	49
1.2.2.5.1. Estructura de la trama.....	49
1.2.2.5.2. Proceso de Transmisión.....	51
1.2.2.5.3. Soporte de antena adaptable.....	52
1.2.3. ESPECIFICACIONES DE CAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO.....	54
1.2.3.1. Arquitectura de capas y protocolos.....	54
1.2.3.1.1. Subcapa de Control de Sesión.....	54

1.2.3.1.2.Subcapa de convergencia.....	55
1.2.3.1.3.Supcapa de Control de Seguridad.....	57
1.2.3.1.4.Subcapa de Seguridad.....	58
1.2.3.1.5.Subcapa de Control MAC Inferior.....	59
1.2.3.1.6.Subcapa MAC Inferior.....	61
1.2.3.2.Entramado de Paquetes.....	62
1.2.3.3.Características de Capa de Control de Acceso al Medio.....	64
1.2.3.3.1.Calidad de Servicio.....	64
1.2.3.3.2.Paging.....	65
1.2.3.3.3.Seguridad.....	67
1.2.3.3.4.Handoff.....	68
1.2.3.3.5.Handoff Inter-frecuencias e Inter-Tecnologías de Acceso de Radio.....	70
1.2.3.4.Modo 625k-MC.....	72
1.2.3.4.1.Capa MAC L2.....	72
1.2.3.4.2. Data Link Control (DLC) /Logical Link Control (LLC) L3.....	74
1.2.3.4.3. Capas Superiores 3+.....	75
2.ANEXO E DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16.....	78
2.1.ESTÁNDAR IEEE 802.16 WIRELESS MANTM	78
2.1.1.PROYECTO IEEE 802.16.....	78
2.1.1.1.Estándar IEEE 802.16-2004.....	81
2.1.2.GRUPO DE TRABAJO 802.16E.....	81
2.2.CARACTERÍSTICAS DE IEEE 802.16E.....	81
2.2.1.CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE IEEE 802.16E.....	82
2.2.1.1.Bandas de frecuencia.....	82
2.2.1.2.Modelo de Referencia.....	82
2.2.2.ESPECIFICACIONES DE CAPA FÍSICA.....	84
2.2.2.1.WirelessMAN-SCaTM PHY.....	84
2.2.2.1.1.Estructura de la trama.....	84
2.2.2.1.2.Proceso de Transmisión.....	87
2.2.2.1.3.Mecanismos de Funcionamiento y Control.....	92
2.2.2.1.4.Mecanismos de Múltiples antenas.....	93
2.2.2.1.5.Requerimientos del Sistema.....	93
2.2.2.2.WirelessMAN-OFDM TM PHY.....	94
2.2.2.2.1.Tecnología OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	95
2.2.2.2.2.Estructura de la trama.....	96
2.2.2.2.3.Proceso de Transmisión.....	98
2.2.2.2.4.Mecanismos de Funcionamiento y Control.....	100
2.2.2.2.5.Métodos de Múltiples Antenas.....	101
2.2.2.2.6.Requerimientos del Sistema.....	102
2.2.2.3.WirelessMAN-OFDMA PHY.....	104
2.2.2.3.1.Tecnología OFDMA.....	104
2.2.2.3.2.Estructura de la Trama.....	106
2.2.2.3.3.Codificación de Canal.....	109
2.2.2.3.4.Mecanismos de Funcionamiento y Control.....	112
2.2.2.3.5.Métodos de Múltiples Antenas.....	117
2.2.2.3.6.Requerimientos del Sistema.....	117
2.2.3.ESPECIFICACIONES DE CAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO	121
2.2.3.1.MAC Common Part Sublayer.....	121
2.2.3.1.1.Soporte de la PHY por la MAC.....	130
2.2.3.1.2.Resolución de Contención.....	130
2.2.3.1.3.Ingreso a la red e inicialización.....	131
2.2.3.1.4.Ranging.....	131
2.2.3.1.5.Calidad de Servicio (QoS).....	134
2.2.3.1.6.Servicios de entrega de datos para redes móviles.....	135
2.2.3.1.7.Procedimientos para uso de bandas de frecuencia compartidas.....	136
2.2.3.1.8.Soporte MAC para HARQ.....	137
2.2.3.1.9.Gestión de Movilidad.....	137

2.2.3.1.10. Gestión de Potencia.....	138
2.2.3.1.11.Procedimiento de Handoff.....	139
2.2.3.1.12.Servicios Multicast y Broadcast.....	142
2.2.3.2.Subcapa de Seguridad.....	143
2.2.3.2.1.PKMv1.....	144
2.2.3.2.2.PKMv2.....	145
2.2.3.2.3.Métodos Criptográficos.....	146
2.2.3.2.4.Pre-Authenticación.....	146
2.2.3.2.5.Soporte de Servicios de Multicast y Broadcast (MBS).....	147
2.2.3.2.6.Algoritmo de Actualización de Claves para Broadcast y Multicast (MBRA).....	147
2.2.3.3.Service-Specific Convergence Sublayer (CS).....	147
2.2.3.3.1.ATM CS.....	148
2.2.3.3.2.Packet CS.....	149

3.ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PROPUESTA IEEE 802.20 CON EL ESTÁNDAR IEEE 802.16E.....151

3.1.ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS.....151	151
3.1.1.CARACTERÍSTICAS BÁSICAS.....	151
3.1.2.CARACTERÍSTICAS DE CAPA FÍSICA.....	152
3.1.2.1.Requerimientos del sistema.....	153
3.1.2.2.Estructura de la trama.....	154
3.1.2.3.Procesos de transmisión.....	155
3.1.2.4.Mecanismos de funcionamiento y control.....	157
3.1.2.4.1.Asignación de recursos.....	157
3.1.2.4.2.Control de potencia.....	158
3.1.2.4.3.Sincronización.....	159
3.1.2.4.4.Procesos adicionales de 802.16e.....	159
3.1.2.4.5.Procesos adicionales de 802.20.....	159
3.1.2.5.Mecanismos de múltiples antenas.....	160
3.1.3.CARACTERÍSTICAS DE CAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO.....	161
3.1.3.1.Calidad de servicio.....	162
3.1.3.2.Procedimientos de funcionamiento.....	163
3.1.3.3.Gestión de movilidad y potencia.....	163
3.1.3.4.Seguridad.....	164
3.1.3.5.Características adicionales de capa MAC.....	165
3.1.3.5.1.Características adicionales de capa MAC para 802.16e.....	165
3.1.3.5.2.Características adicionales de capa MAC para 802.20.....	166
3.1.4.VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE IEEE 802.16E E IEEE 802.20.....	167
3.1.5.APLICACIONES DE IEEE 802.16E E IEEE 802.20.....	169
3.2.TECNOLOGÍAS DISPONIBLES EN EL MERCADO Y EN DESARROLLO.....170	170
3.2.1.TECNOLOGÍAS BASADAS EN IEEE 802.16E.....	170
3.2.1.1.WiMax.....	170
3.2.1.1.1.Mobile-WiMax.....	172
3.2.1.2.Wibro.....	173
3.2.2.TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON IEEE 802.20.....	174
3.2.2.1.iBurst.....	174
3.2.2.2.Flash-OFDM.....	175
3.3.COEXISTENCIA Y RELACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO.....176	176
3.3.1.TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO.....	176
3.3.1.1.Posicionamiento de 802.16e y 802.20 en relación a otras tecnologías.....	177
3.3.2.POSICIÓN RESPECTO A LA COEXISTENCIA Y RELACIÓN CON OTRAS RAT DE LOS ESTÁNDARES IEEE802.16E E IEEE802.20.....	179
3.3.3.RELACIÓN DE IEEE 802.16E E IEEE 802.20 CON OTROS ESTÁNDARES Y TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO.....	180
3.3.3.1.Relación con tecnologías de redes celulares.....	180
3.3.3.2.Relación con otros organismos de estandarización.....	181

3.4.APLICABILIDAD DE IEEE 802.16E E IEEE 802.20 EN EL ECUADOR.....	182
3.4.1.BANDAS DE FRECUENCIA EN LAS QUE SE APLICARÍAN SISTEMAS BASADOS EN IEEE 802.16E E IEEE 802.20.....	183
3.4.2.REGULACIONES EN EL ECUADOR.....	185
3.4.2.1.Situación en el Ecuador de las Bandas de frecuencia en las que trabajarían sistemas basados en 802.16e y 802.20.....	187
4.CONCLUSIONES.....	190

RESUMEN

Tanto la enmienda de estándar IEEE802.16e como el proyecto de estandarización IEEE802.20 nacen del mismo Grupo de Estudio MBWA (Mobile Broadband Wireless Access) formado dentro del Grupo de Trabajo IEEE802.16. Al determinar que existían dos enfoques diferentes dentro del Grupo de Estudio MBWA, se decide separarlos en dos proyectos diferentes.

El proyecto de estandarización IEEE802.20, que al momento de la redacción de este proyecto de titulación aún se encuentra en sus primeros borradores, se encuentra enfocado a sistemas que permitan a sus usuarios un acceso de banda ancha inalámbrico con una alta movilidad a velocidades vehiculares de hasta 250km/h. El proyecto propuesto por IEEE802.20 especifica las capas PHY y MAC de una interfaz aire para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha interoperables, que operen en las bandas con licencia por debajo de los 3.5GHz, y se encuentren optimizados para transporte de datos IP con velocidades de transmisión por usuario mayores a 1Mbps. IEEE802.20 posee dos modos de operación, el modo MBWA que es su modo principal y el modo 625k-MC basado en HC-SDMA.

La capa física de IEEE 802.20 utiliza una combinación de OFDMA para los canales de datos y CDMA para algunos de los canales de control RL. El sistema puede ser desplegado en anchos de banda flexibles entre 5MHz y 20MHz. Utilizando transmisión MIMO se soportan velocidades de transmisión pico sobre 260Mbps en 20MHz de ancho de banda. El sistema soporta los modos de operación FDD y TDD y puede trabajar con 512, 1024 o 2048 subportadoras. La interfaz aire soporta los formatos de modulación QPSK, 8PSK, 16QAM y 64QAM y permite al sistema trabajar con HARQ. IEEE802.20 asigna sus recursos de capa física a través de un mecanismo de planificación trabajando con dos modos de salto SRH y BH. Utiliza además un esquema de multiplexación casi ortogonal que permite asignar los mismos recursos a varias ATs dentro de un mismo sector. El sistema trabaja con métodos de múltiples antenas como MIMO, beamforming, pre-codificación y SDMA. Adicionalmente, la implementación de características como el reuso fraccional de frecuencias, la planificación de subbanda y el soporte

de un ancho de banda escalable podrían permitir mejorar la capacidad del sistema. El control de los niveles de potencia en las transmisiones realizadas en el sistema permite mantener la interferencia inter-sector y la interferencia intra-sector dentro de niveles aceptables.

La capa MAC de IEEE802.20 provee al sistema características de calidad de servicio de extremo a extremo como DiffServ y RSVP. Dentro de esta capa, y al referirse a un sistema móvil se deben tomar en cuenta parámetros críticos como el ahorro de potencia y el handoff. IEEE802.20 realiza un ahorro de potencia a través de la utilización del protocolo de estado Idle y dos modos de operación: operación continua y operación escalonada. IEEE802.20 soporta un Fast Handoff y separa los sectores servidores RL y FL permitiendo la realización de un handoff separado para cada uno de ellos. La seguridad de un sistema IEEE802.20 se basa en la utilización de un cryptosync, un intercambio de claves de cuatro vías, la utilización de AES-128 como modo de encriptación y el soporte de dos modos de autenticación, uno que permite la autenticación de todos los paquetes y otro que permite la autenticación de los paquetes relacionados con el acceso a la red. Al ser una de las características de IEEE802.20 la interoperabilidad con otros sistemas, el futuro estándar permitirá el soporte de un handoff inter-frecuencias que permita a sus usuarios realizar un handoff entre dos celdas que trabajen en diferentes bandas de frecuencias, así como un handoff inter-RAT que permita la realización de un handoff entre celdas que trabajen con otras tecnologías como CDMA2000, WCDMA, GSM/GPRS/EDGE, WiFi, entre otras.

El modo 625k-MC, tanto para la capa Física como para la capa MAC se basa enteramente en el estándar HC-SDMA de ATIS, definiendo un stack de protocolos diferente al utilizado en el modo MBWA, incluyendo incluso características de capas superiores.

IEEE802.16e es una enmienda al estándar IEEE802.16, con la cual se pretende brindar movilidad al mismo. IEEE 802.20 se encuentra enfocado a sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha que permitan una movilidad limitada con velocidades de hasta 120km/h. El estándar IEEE802.16e especifica las capas PHY y MAC de una interfaz aire para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha que operen en las bandas con licencia entre 2 y 6GHz.

Para la enmienda IEEE802.16e funcionan tres de los cinco tipos de interfaz aire soportados por IEEE802.16. La capa Física WirelessMAN-SCa se basa en tecnología de portadora única soportando los modos de operación FDD y TDD y seis tipos de modulación: Spread-BPSK, BPSK, QPSK, 16-QAM, y 64-QAM. La capa física WirelessMAN-OFDM, se basa en OFDM trabajando con 256 subportadoras soportando los modos de operación FDD y TDD y cuatro tipos de modulación: BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM. La capa física WirelessMAN-OFDM soporta un mecanismo de Requerimiento de Ancho de Banda que permite a la SS enviar mensajes de requerimiento de ancho de banda como un encabezado de solicitud de ancho de banda. La capa física WirelessMAN-OFDMA, trabaja con OFDMA en los modos FDD y TDD con la posibilidad de la utilización de 512, 1024 o 2048 subportadoras permitiendo además la utilización de un ancho de banda escalable. WirelessMAN-OFDMA puede trabajar con tres tipos de modulación: QPSK, 16-QAM y 64-QAM y soporta HARQ. La capa física WirelessMAN-OFDMA soporta dos mecanismos de requerimiento de ancho de banda basados en contención, el Requerimiento de Ancho de Banda obligatorio, que permite a la SS enviar mensajes de requerimiento de ancho de banda como un encabezado y un mecanismo basado en CDMA. Tanto la capa física WirelessMAN-OFDM como la capa física WirelessMAN-OFDMA se basan en la subcanalización al agrupar portadoras activas sobre subcanales. Para WirelessMAN-OFDMA la asignación de subcanales se realiza a través de permutaciones para el uso parcial o total de canales. Las tres capas físicas indican la necesidad de un algoritmo de control de potencia de calibración inicial y ajuste continuo con el fin de mantener los parámetros de potencia de transmisión dentro de rangos aceptables. Adicionalmente permiten procesos como el ranking que se encarga de la adquisición del offset de tiempo correcto y el ajuste de potencia.

La capa MAC de IEEE802.16e es una sola para todos los tipos de interfaz aire aplicables a esta enmienda. Soporta calidad de servicio basada en la asociación de paquetes con un Service Flow. En lo que se refiere a ahorro de potencia, IEEE802.16e trabaja con dos modos que permiten un manejo eficiente de la potencia disponible: el modo Sleep y el modo Idle. Como tipo de handoff, IEEE802.16e soporta Hard Handoff, Fast Base Station Switching Handoff y Macro

Diversity Handoff, de los cuales el primero es el método soportado obligatoriamente por defecto, mientras que los otros dos son opcionales. La seguridad de un sistema IEEE802.16e se encuentra provista por la Subcapa de Seguridad y se basa en el protocolo PKM que permite la reautenticación y reautorización periódica y la actualización de claves. PMK puede utilizar EAP, certificados digitales X.509 con el algoritmo de encriptación RSA o encriptación RSA seguido de autenticación EAP. Existen dos protocolos PKM soportados por 802.16e: PKMv1 y PKMv2. 802.16e soporta varios métodos criptográficos: Cipher Block Chaining, Counter Mode Encryption, Counter Mode Encryption con CBC-MAC y Cipher Block Chaining. Como características adicionales, DFS es utilizado para facilitar el compartir la banda de frecuencia con usuarios que requieren una protección especial contra la interferencia, HARQ es soportado opcionalmente por la capa física WirelessMAN-OFDMA a través de dos modos: Chase Combining e Incremental Redundancy. En el DL una BS puede crear conexiones a servicios multicast o broadcast (MBS) cuando necesita enviar información destinada varios o a todos los usuarios conectados a ella. Las conexiones de transporte multicast o broadcast se encuentran asociadas con Service Flows, con lo que también se encuentran asociadas con los parámetros de QoS y tráfico para ese Service Flow.

Además de las diferencias técnicas y de enfoque existentes entre IEEE802.20 e IEEE802.16e, se deben tomar en cuenta las diferencias en cuanto a implementación y aplicaciones de los mismos. En cuanto a las aplicaciones de estos dos estándares, IEEE802.20 abarca un campo más amplio que IEEE802.16e al tener un mayor rango de movilidad. Al haber sido publicado a inicios de 2006, IEEE802.16e lleva una ventaja en tiempo sobre IEEE802.20 que aún se encuentra dentro del proceso de estandarización, que se traduce en una ventaja de mercado, ya que actualmente sistemas basados en IEEE802.16e ya están siendo comercializados y podrían ganar terreno frente a aquellos que se implementarían a futuro con IEEE802.20. Sistemas como Mobile-WiMAX y WiBro se han basado en IEEE802.16e para su implementación y la certificación de sus productos se encuentra bajo los perfiles definidos para Mobile-WiMAX por parte del WiMAX Forum. A diferencia de IEEE802.16e, IEEE802.20 ha tomado dos

tecnologías ya existentes como base para su proyecto de estandarización: FLASH-OFDM y iBurst.

Al ser tecnologías nuevas, diferentes a WiMAX y WiFi en cuanto a funcionamiento, bandas de frecuencia utilizadas y licencias, aún no existen regulaciones en el país para la implementación de sistemas basados en IEEE802.16e e IEEE802.20.

PRESENTACIÓN

En este Proyecto de Titulación se presentan las características principales de dos estándares de IEEE para sistemas de Acceso Móvil Inalámbrico de Banda Ancha, IEEE802.20 e IEEE802.16e, así como una comparación entre ellos.

A diferencia de IEEE802.16e que fue publicado a inicios de 2006, el estándar IEEE802.20 aún se encuentra en proceso de estandarización y se planifica su publicación para fines de 2007. Al momento de la redacción de este documento, el primer borrador del estándar IEEE802.20 había sido aprobado, sin embargo no fue publicado debido a que poco tiempo después problemas internos llevaron a la suspensión temporal del proyecto. Por esta razón toda la información contenida en este Proyecto de Titulación ha sido obtenida de los documentos de Propuestas aprobadas y utilizadas en la redacción del primer borrador del estándar. Al ser documentos iniciales del proyecto de estandarización, existirán en el estándar final cambios en relación a las características presentadas en este documento, sin embargo se espera que los cambios no sean muy significativos y las características principales del estándar se mantengan.

Al ser los documentos base de este Proyecto de Titulación, documentos redactados en inglés, varios términos han sido conservados en su idioma original debido a la dificultad de traducción exacta, que podía llevar a confusiones al lector.

Este Proyecto de Titulación se encuentra estructurado en cuatro capítulos:

El primer capítulo presenta las características principales de la Propuesta del Proyecto de Estandarización IEEE802.20, así como también características del proceso de estandarización llevado hasta el momento.

El segundo capítulo presenta las características principales de la enmienda al estándar IEEE802.16, IEEE802.16e. Al ser una enmienda al estándar, este capítulo fue redactado en base al documento de estándar IEEE802.16 utilizando las correcciones presentadas en la enmienda. Se presenta además una visión general del Grupo de Trabajo IEEE802.16 y los proyectos presentados en él.

En el tercer capítulo, se realiza un análisis de las principales características de los estándares presentados en los dos primeros capítulos, destacando las ventajas que ofrece cada uno de ellos. Este capítulo presenta además las principales tecnologías basadas en los estándares IEEE802.20 e IEEE802.16e, así como otras tecnologías de acceso inalámbrico y su coexistencia e interoperabilidad con sistemas basados en IEEE802.20 e IEEE802.16e. Por último se presenta la situación de estos estándares en el país respecto a regulaciones y su posible aplicación.

El cuarto capítulo de este Proyecto de Titulación presenta las conclusiones a las cuales se ha llegado luego de la realización de este documento.

Capítulo 1

1. ESTÁNDAR IEEE 802.20

Como observaremos a continuación el estándar 802.20 aún no ha sido publicado y se encuentra en proceso de estandarización. Para el momento de la redacción de este documento, el primer borrador fue aprobado pero no llegó a ser publicado debido a problemas dentro del grupo de trabajo que llevaron a la suspensión temporal del proyecto. Por esta razón el análisis realizado en este documento se basa en los documentos permanentes del Grupo de Trabajo 802.20 y las contribuciones aprobadas para la redacción del primer borrador de este estándar, realizadas antes de la suspensión del proyecto en junio de 2006. En este capítulo se analizarán las características del proyecto de estandarización así como las posibles características técnicas del futuro estándar tanto de capa Física como de Control de Acceso al Medio presentadas en estos documentos. Al ser información tomada principalmente de contribuciones a la redacción del primer borrador del estándar, varios de los datos presentados en este documento podrían cambiar a futuro, pero está previsto que los cambios no sean cambios de fondo demasiado importantes. Además, debe tomarse en cuenta que debido a los cambios realizados dentro del Grupo de Trabajo 802.20 al reiniciar sus labores luego de la suspensión temporal del proyecto, el Grupo de Trabajo ha tenido la opción de continuar con el trabajo realizado hasta la suspensión del estándar o realizar los cambios que considerase pertinentes. Sin embargo, parece ser que el grupo mantendrá la línea de trabajo en la que se encontraba con lo cual los cambios no serían demasiado grandes.

1.1. PROYECTO DE ESTANDARIZACIÓN IEEE 802.20

En marzo de 2002 se forma el Grupo de Estudio MBWA (*Mobile Broadband Wireless Access*) dentro del grupo de trabajo IEEE 802.16 para el estudio de la tecnología de Acceso Móvil Inalámbrico de Banda Ancha. En julio de 2002 los estudios realizados por 802.16 y MBWA concluyen que se están orientando a dos mercados diferentes y deciden separarse, permitiendo, para septiembre de 2002 la creación de un Grupo de Estudio, diferente a 802.16, dedicado específicamente

a la creación de un estándar de Acceso Móvil Inalámbrico de Banda Ancha. El 12 de Diciembre de 2002, en base al PAR (*Project Authorization Request*) y al documento de “Cinco Criterios” realizado por el Grupo de Estudio, la Junta de Estándares de IEEE aprueba el establecimiento del Grupo de Trabajo IEEE 802.20, el “*Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) Working Group*”.¹

1.1.1. GRUPO DE TRABAJO 802.20 (WG 802.20)²

El documento “*Policies and Procedures of IEEE Project 802 Working Group 802.20 Mobile Broadband Wireless Access*” publicado en enero de 2004 establece las políticas bajo las cuales funciona el Grupo de Trabajo.

La función del Grupo de Trabajo 802.20 es desarrollar especificaciones de capa Física y capa de Control de Acceso al Medio para una red de Acceso Móvil Inalámbrico de Banda Ancha que soporte una completa movilidad vehicular en las bandas con licencia bajo los 3.5GHz.

1.1.1.1. Relaciones con Organizaciones Externas³

Las relaciones del Grupo de Trabajo 802.20 con otras organizaciones y grupos de trabajo son muy importantes para el desarrollo de los estándares en los que se encuentre trabajando el Grupo de Trabajo. Gracias al intercambio de ideas y documentos, durante el desarrollo del estándar, es posible forjar un acercamiento común a la coexistencia y temas relacionados con la tecnología para acceso inalámbrico de banda ancha.

Dentro de la IEEE existen relaciones con los grupos de trabajo 802.18 y 802.19 para tratar asuntos de regulaciones y coexistencia respectivamente.

En cuanto a organizaciones externas, el Grupo de Trabajo mantiene relaciones con la ITU-R, específicamente con el Grupo de Estudio SG-8 (estándares IMT-2000) y con 3GPP y 3GPP2. En lo que se refiere a 3GPP se propusieron relaciones a futuro con los Grupos RAN WG1 (especificaciones de radio de capa 1), WG2 (especificaciones de radio de capa 2 y 3) y WG4 (protocolo y desempeño

¹ Fuente: KLERER, Mark. Introduction to IEEE 802.20. March 10, 2003.

http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-04.pdf

² Fuente: UPTON, Jerry. Policies and Procedures of IEEE Project 802 Working Group 802.20 Mobile Broadband Wireless Access. January 8, 2004 .

http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-05.doc

³ Fuente: PITTAMPALLI, Eshwar. Liaison relationships with external organizations. 2004-01-15.

<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-04-69r1.doc>

de radio), y con SA WG1 (servicios) y WG2 (arquitectura). De igual manera, en lo que se refiere a 3GPP2 el Grupo de Trabajo propusieron relaciones a futuro con los Grupos TSG-C WG3 (especificaciones de capa física) y TSG-S WG1 (servicios y requerimientos).

En cuanto a organizaciones de estandarización, además de la UIT, el Grupo de Trabajo 802.20 lleva relaciones con la TIA, específicamente el grupo TR45.5 WG3 (especificaciones de capa física) y la TTA, específicamente el grupo TC3 PG302 (especificaciones de la AI y de red para los servicios de Internet Portátil en la banda de los 2.3 GHz).

Se tienen también previstas relaciones a futuro aún no definidas con organizaciones como T1P1, ARIB, CCSA, ETSI, IETF y OMA.

1.1.1.2. Miembros del Grupo de trabajo IEEE 802.20¹

Entre los miembros del Grupo de Trabajo 802.20 se encuentran consultores independientes y consultores representantes de empresas y compañías del área de las Telecomunicaciones interesadas en el desarrollo de esta tecnología. Las empresas que se encuentran representadas dentro del Grupo de Trabajo 802.20 son:

Qualcomm	Steepest AFCENT	EFR, Inc.	NTT MCL Inc.
Kyocera	TMG	Ericsson	Oak Global BV
Intel Corp	University of Strathclyde	Freescale Semi.	OasisWireless
Lucent	ZTE Communications	Fujitsu	Panasonic Singapore
Samsung	3581969Canada Inc.	Huawei	Sane Solutions LLC
ETRI	Adv. Network Tech. Solutions	Interdigital Com.	Selbourne Associates
Motorola	Airvana	JKB Global	Siemens Ltd., China
LG Electronics	Broadcom	John Hopkins Univ.	Sprint
BCSI	Case Communications	Kyocera Research	TMG Group
NTT DoCoMo USA Labs	Cingular Wireless	MedStar	TMG Telecom
Texas Instruments	CTCI Group	NEC infrontica	TRUE Corporation
ArrayComm	DoCoMo USA Labs	Nokia	USGT
Beldug International	Double E Enterprises	Network Consulting Services	
Ladcomm Corp	Edmais Computer Services	Nortel Networks	

1.1.2. PROCESO DE ESTANADRIZACIÓN DE IEEE 802.20

Cuando un grupo de estudio decide crear un estándar, dentro de los 6 meses de iniciado el trabajo, debe enviar un borrador del PAR (*Project Authorization*

¹ Fuente: Draft Meeting Minutes, 802.20 Interim Meeting - Session #20, Jacksonville, LA, USA, May 15-16, 2006. http://www.ieee802.org/20/WG_Docs/802.20-06-06_May_Draft_Minutes.doc

Request) al Comité Ejecutivo 802 para su aprobación. Para la creación del estándar 802.20 que introduce nuevas funcionalidades, el grupo de estudio tuvo que presentar, además del PAR, respuestas a los Cinco Criterios requeridos por IEEE 802.¹

1.1.2.1. PAR del Proyecto 802.20²

En base al PAR aprobado por la IEEE para el Grupo de Trabajo 802.20, el nuevo estándar lleva como título: *“Local and Metropolitan Area Networks - Standard Air Interface for Mobile Broadband Wireless Access Systems Supporting Vehicular Mobility - Physical and Media Access Control Layer Specification”*

1.1.2.1.1. Propósito del Proyecto 802.20

El propósito del proyecto es habilitar el despliegue mundial de redes de acceso móvil inalámbrico de banda ancha que posean características de utilización eficiente del espectro, costos accesibles, ubicuidad, disponibilidad continua, e interoperabilidad entre vendedores. El proyecto pretende proveer una AI eficiente, basada en la transmisión de paquetes y optimizada para el transporte de servicios IP.

El proyecto 802.20 se encuentra dirigido a usuarios finales empresariales y residenciales. Su propósito es el de cubrir las necesidades de estos usuarios respecto al acceso móvil y ubicuo a Internet, soporte transparente de aplicaciones de Internet, acceso a servicios de intranet y aplicaciones empresariales, y acceso transparente a servicios de información, entretenimiento y ubicación. Las especificaciones de este estándar llenan el vacío en el desempeño existente entre servicios de altas velocidades de transmisión y baja movilidad desarrollados actualmente en 802 y los servicios de alta movilidad y bajas velocidades ofrecidos por las redes móviles celulares.

1.1.2.1.2. Alcance del Proyecto 802.20

El alcance del proyecto propuesto por IEEE 802.20 especifica las capas PHY y MAC de una AI para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha interoperables, que operen en las bandas con licencia por debajo de los 3.5GHz,

¹ Fuente: IEEE PROJECT 802 LAN MAN STANDARDS COMMITTEE (LMSC) POLICIES AND PROCEDURES. September 14, 2005. <http://www.ieee802.org/policies-and-procedures.pdf>

² Fuente: PAR FORM. 2002-12-11. http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-02.pdf

que se encuentren optimizados para transporte de datos IP con velocidades de transmisión por usuario mayores a 1Mbps.

Característica	Valor
Movilidad	Clases de movilidad vehicular hasta 250km/h ¹
Eficiencia espectral	> 1 b/s/Hz/cell
Velocidad de transmisión pico por usuario (RL)	> 1 Mbps *
Velocidad de transmisión pico por usuario (FL)	> 300 Kbps *
Velocidad de transmisión pico agregada por celda (RL)	> 4 Mbps *
Velocidad de transmisión pico agregada por celda (FL)	> 800 Kbps *
RTT de la trama MAC del enlace aéreo	< 10 ms
Ancho de Banda	1.25 MHz, 5 MHz
Tamaño de las celdas	Apropiado para Redes MAN Ubicuas y capaz de reutilizar infraestructura existente
Espectro (Frecuencia máxima de operación)	< 3.5 GHz
Espectro (Arreglos de frecuencia)	Soporta arreglos de frecuencia FDD y TDD
Asignación del Espectro	Espectro con licencia asignado al Servicio Móvil
Soporte de seguridad	AES (Estándar de Encriptación Avanzada)

* Para canales con 1.25 MHz de ancho de banda, que representa un par de canales 2×1.25 MHz para FDD y un canal simple de 2.5MHz para TDD. Para otros Anchos de Banda, las velocidades de transmisión pueden ser diferentes.

Fuente: PAR FORM. 2002-12-11. http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-02.pdf

Tabla 1.1. – Características técnicas del Proyecto

El estándar soporta varios tipos de movilidad vehicular, alcanzando velocidades de 250Km/h en un entorno MAN. Se encuentra enfocado a obtener eficiencias espectrales, velocidades de transmisión de usuarios frecuentes y un número de usuarios activos mucho mayor al que se ha alcanzado con los sistemas móviles existentes.

1.1.2.2. Criterios para el desarrollo del Estándar 802.20 (Cinco Criterios)²

Para demostrar la factibilidad de desarrollar el estándar de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha, el Grupo de Estudio MBWA presenta una respuesta a los Cinco Criterios a cumplirse para el desarrollo del estándar IEEE 802.20.

1.1.2.2.1. Amplio Potencial De Mercado

La capacidad del medio inalámbrico de soportar movilidad es una ventaja importante para redes móviles, volviéndolas enormemente exitosas en el

¹ ITU-R M.1034-1

² Fuente: Mobile Broadband Wireless Access Systems “Five Criteria” Vehicular Mobility. Approved by MBWA ECSG. November 13, 2002. http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-03.pdf

mercado. El acceso móvil de banda ancha, basado en movilidad IP, permite el acceso a todo el contenido de Internet al público en general, siendo un mercado potencial todos los usuarios de servicios y aplicaciones basadas en IP.

Las estaciones móviles y equipos terminales son suministrados por múltiples vendedores internacionales de equipos de telecomunicaciones, desplegados sobre portadoras internacionales y disponibles para la comunidad de usuarios finales. El mercado potencial se incrementa aún más gracias a la cooperación con 3GPP y 3GPP2 en el desarrollo de especificaciones para crear interfaces entre redes MBWA y redes 3G.

Este proyecto alcanzará un balance de costos entre equipos terminales y equipamiento de infraestructura de red comparable al de las redes celulares inalámbricas existentes. Permitirá además fomentar el despliegue masivo de servicios de datos inalámbricos. En vista de que las estaciones base pueden servir a varios terminales móviles, el costo del equipo de red puede ser distribuido con facilidad entre varios usuarios. Se espera que los equipos terminales y chip-sets asociados se beneficien del despliegue de volumen, integración a gran escala y un diseño optimizado centrado en IP para alcanzar precios bajos.

1.1.2.2.2. Compatibilidad

El estándar propuesto se ajusta al *Overview* y a la arquitectura de 802, a 802.1D (*MAC Bridges*) y a 802.1F (*VLAN Bridges*).

El estándar propuesto es aplicable al espectro bajo licencia y todos los problemas de coexistencia estarán sujetos a las respectivas limitaciones impuestas por el espectro bajo licencia. El despliegue de problemas relacionados con la coexistencia será puesto a consideración durante el desarrollo del estándar.

1.1.2.2.3. Identidad Propia

Actualmente IEEE no tiene ningún proyecto que incluya una movilidad vehicular completa. El estándar BWA móvil pretende proveer servicio para redes de acceso público operadas por terceros, donde el usuario móvil típicamente hace uso de una red WAN a través de una red de acceso. Es diferente a una LAN inalámbrica, la cual es típicamente operada sobre distancias más cortas.

El proyecto propuesto especificará una única solución para capas física y de control de acceso al medio de la AI operando en el rango del espectro asignado para el Servicio Móvil. Se pretende que el estándar soporte de manera flexible y eficiente una variedad de servicios, incorporando soporte tanto para ingeniería de tráfico como para calidad de servicio para tráfico de datos en tiempo real y en tiempo no real.

1.1.2.2.4. Factibilidad Técnica

La factibilidad técnica de este tipo de sistemas ha sido demostrada por sistemas propietarios que se encuentran actualmente en despliegue y pruebas. Estos sistemas utilizan componentes tecnológicos ampliamente utilizados en la actualidad, como módems, radios, antenas, y protocolos PHY/MAC.

La solución podría utilizar tecnologías conocidas de espectro ensanchado (como salto de frecuencias), tecnologías de radio (como OFDM), técnicas avanzadas de procesamiento de señales (como antenas adaptables) y arquitecturas celulares. Estas tecnologías han sido probadas exitosamente y desplegadas a lo largo de las últimas décadas y están siendo cada vez más utilizadas en entornos LAN/MAN y móviles.

El despliegue comercial de redes celulares inalámbricas en las bandas con licencia para los servicios móviles demuestra que se puede lograr un soporte de la AI para una alta confiabilidad conveniente para el despliegue comercial.

1.1.2.2.5. Factibilidad Económica

El despliegue global de las redes inalámbricas móviles y el florecimiento de la demanda de servicios móviles demuestra la viabilidad económica de las redes móviles. La voluntad de los inversionistas para gastar grandes sumas de dinero con el fin de obtener derechos de utilización del espectro, además de grandes inversiones adicionales requeridas para hardware en redes públicas, demuestra la viabilidad económica de la industria del acceso móvil inalámbrico como conjunto.

La solución ofrecerá mejores características costo/rendimiento que las soluciones redes móviles inalámbricas existentes, debido a que trabaja en una red de acceso basada en paquetes y está diseñada para una eficiencia espectral óptima. Los servicios de datos, caracterizados por altos picos de demanda pero sobretodo

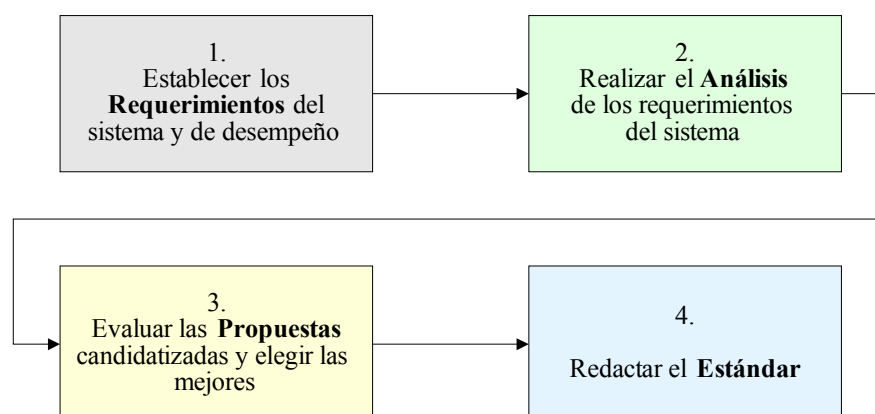
requerimientos interrumpidos, son manejados de mejor manera en tecnologías de paquetes.

Los costos de instalación se van a ver reducidos debido al decreciente número de estaciones base requeridas y eliminando la necesidad del planeamiento de frecuencias. La reducción en el número de estaciones base requeridas es logrado soportando un mayor número de usuarios por AP, lo cual se logra diseñando la AI con un reuso de frecuencias de 1 o menor y/u otras técnicas. La frecuencia de reuso de 1 o menos también elimina la necesidad de planear las frecuencias.

1.1.2.3. Plan de Trabajo para el Desarrollo del Estándar IEEE 802.20

El PAR del Proyecto 802.20 fue aprobado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association (IEEE-SA) el 12 de diciembre de 2002. Esta es considerada como la fecha oficial de inicio del proyecto de estandarización IEEE 802.20 para Acceso Móvil Inalámbrico de Banda Ancha. Inicialmente el plan de trabajo para este proyecto se planteo de manera que se pretendía tener el estándar listo para finales del año 2004. Sin embargo este plazo se ha ido extendiendo al ver que no iba a poder ser cumplido.

El proceso de desarrollo del estándar se está llevando a cabo en cuatro etapas secuenciales:



Fuente: GAL, Dan. IEEE 802.20 Standard Development Stages, Work Plan Tasks & Timeline. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-03-59.pdf>

Figura 1.1. – Etapas del desarrollo del estándar

Actualmente, se ha iniciado la cuarta etapa dentro del proceso de desarrollo del estándar. Luego de la aprobación de las propuestas presentadas, ya ha sido redactado el primer borrador del estándar.

De este modo, el último documento referente al plan de trabajo del grupo de trabajo 802.20 dentro de los documentos oficiales al proyecto, el documento “802.20-PD-07R1”¹ del 18 de noviembre de 2004, indica el plan de lograr la aprobación del estándar para finales de 2006.

Inicio del Proyecto:	
• Aprobación del PAR/5C por el ECSG	Septiembre 2002
• Aprobación del PAR/5C por el Comité Ejecutivo LMSC	Noviembre 15, 2002
• Aprobación del PAR/5C por la Junta de la IEEE-SA	Diciembre 12, 2002
Etapas:	
• Reunión inicial de Miembros	Marzo, 2003
• Cierre sobre Requerimientos	Julio, 2004
• Cierre sobre Modelos de Canales	Enero-Marzo, 2005
• Cierre sobre Criterios de Evaluación	Enero-Marzo, 2005
• Procedimiento para selección de propuestas y fusión de las mismas (“Down Select”)	Marzo, 2005
Selección de Propuestas:	
• Llamada a propuestas	Marzo, 2005
• Presentación de Propuestas, Resultados de Simulaciones y fusión de las mismas	Mayo – Septiembre, 2005
• Selecciones Finales	Noviembre, 2005
Desarrollo del Estándar:	
• Redacción del Borrador del Estándar	Noviembre, 2005–Enero, 2006
• Primera votación del WG	Enero, 2006
• Segunda votación del WG	Mayo, 2006
• Votación del patrocinador	Julio, 2006
• Recirculación del patrocinador	Septiembre, 2006
Aprobación por la IEEE-SA:	
• Sometimiento al Revision Committee	Noviembre, 2006
• Aprobación por parte de la IEEE-SA	Diciembre, 2006

Fuente: IEEE 802.20 Project Development Plan- 802.20-PD-07R1. November 18, 2004. http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-07r1.ppt

Tabla 1.2. – Plan de trabajo del Grupo de Trabajo IEEE 802.20

1.1.2.3.1. Situación Actual del Proceso de Estandarización

El 19 de enero de 2006 se realizó una solicitud de extensión del proyecto al *IEEE-SA Standards Board* al notar la necesidad de prolongarse más allá de diciembre de 2006 para la culminación del estándar, ya que para esta fecha recién se había redactado el primer borrador. La solicitud fue aprobada por el *IEEE-SA Standards Board*, estableciendo como fecha de entrega del estándar propuesto completo al Comité de Revisiones para Diciembre de 2007.²

¹ http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-07r1.ppt

² Fuente: IEEE-SA Standards Board Extension Request, Revised 23 June 2004. http://www.ieee802.org/20/WG_Docs/802.20-06-02_PAR_Extension_FormR1.doc

Desde el mes de noviembre de 2005, Intel y Motorola realizaron acusaciones afirmando que la propuesta de estándar del Grupo de Trabajo era una mezcla de tecnologías de Qualcomm y Kyocera lo cual violaba los procedimientos de la IEEE. Para junio de 2006, la IEEE había recibido diversas quejas sobre el trabajo de este Grupo incluidas algunas que acusaban al presidente del grupo de trabajo 802.20, Jerry Upton, un analista supuestamente independiente, de recibir dinero de Qualcomm, acusación que finalmente el propio analista confirmó. En base a estos datos Intel y Motorola acusaban a Qualcomm de influenciar de manera indebida el proceso de toma de decisiones del grupo. Para el 8 de junio de 2006 la IEEE decidió la suspensión temporal del proyecto IEEE 802.20, a ser efectiva hasta el 1 de octubre de 2006, debido a los problemas internos dentro del Grupo de Trabajo y debido además a que una investigación preliminar en la operación del Grupo sí revelaba una falta de transparencia entre otras irregularidades.¹

El 19 de Septiembre de 2006² la *IEEE Standards Association Standards Board (SASB)* adoptó un plan para permitir al Grupo de Trabajo 802.20 avanzar en su trabajo para la terminación y aprobación del estándar. Luego de completar las investigaciones y escuchar a las partes interesadas, el SASB concluyó de manera unánime que el proceso existente en el Grupo de Trabajo IEEE 802.20 no cumplía de manera efectiva con los objetivos de IEEE-SA de estándares de alta calidad logrados a través de un proceso justo y abierto. Para asegurar condiciones justas desde todo punto de vista, el SASB siguió su política de conflictos de intereses estrictamente y excusó en la toma de decisiones a los miembros que determinó podrían tener un conflicto de intereses. Los miembros restantes del SASB adoptaron un plan de acción que preserva el derecho del Grupo de Trabajo a seguir adelante con el trabajo existente hasta la fecha o a considerar tecnologías alternativas.

El 6 de Diciembre de 2006, el *IEEE-SASB* aprobó una extensión condicionada del proyecto de dos años, con lo cual su publicación estaría programada para finales de 2008.³

¹ Fuente: Steve Mills, IEEE-SA Standards Board Chair. Status of 802.20. 15 June 2006. http://www.ieee.org/portal/cms_docs_iportals/iportals/aboutus/SASB_802.20_Suspension_Announcement.pdf

² Fuente: IEEE Standards Association Standards Board. Report of Actions on IEEE 802.20. 19 September 2006. http://standards.ieee.org/announcements/IEEE_SASB802.20Report.pdf

³ Fuente: <http://grouper.ieee.org/groups/802/mbwa/email/msg00986.html>

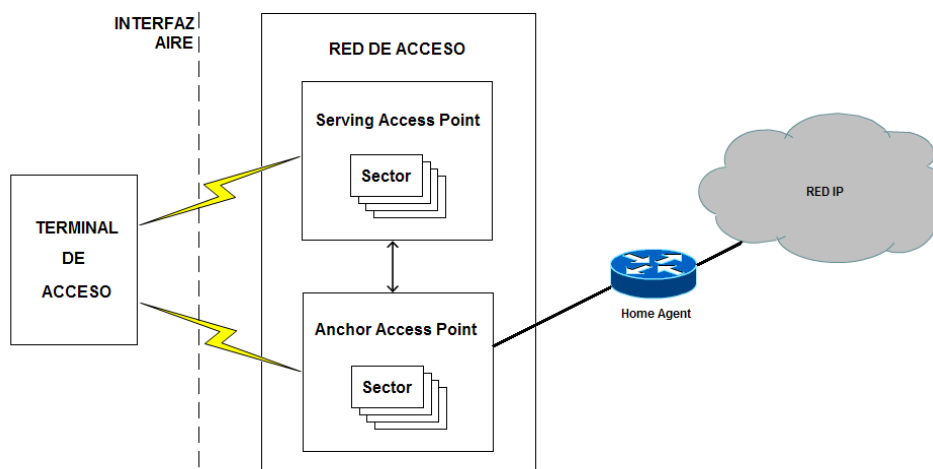
1.2. CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.20

1.2.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Esta especificación posee dos modos de operación, el modo Wideband y el modo 625k-MC (625kiloHertz-spaced MultiCarrier). El modo Wideband se ha diseñado para operar para todos los anchos de banda FDD y TDD, y al ser el modo de operación principal, es el modo al cual se referirá la mayor parte de este documento. El modo 625k-MC se encuentra diseñado para trabajar con un ancho de banda de portadora de 625KHz, soportando la agregación de múltiples portadoras para la operación TDD.²

1.2.1.1. Arquitectura de la Red³

Un sistema MBWA consta principalmente de terminales de acceso (AT) y la red de acceso (AN) y entre ellos la interfaz aire (AI).



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.2. – Arquitectura de la red MBWA

En un sistema MBWA un AT puede recibir servicio de uno o varios *Access Points* (AP). Cada AP cubre uno o más sectores con el fin optimizar el manejo de los recursos de la interfaz aire. El active set es una lista mantenida tanto por el AT como por la AN, y consiste en los sectores a los cuales el AT puede escoger

² Fuente: OverviewMBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-06-04.pdf>

³ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

cambiarse en cualquier momento. La AN está diseñada para minimizar el tiempo de cambio entre miembros del active set.

En un momento dado, el AT puede ser servido por un sector por enlace *forward*¹ (FL) o *reverse*² (RL). El AP que aloja a un sector en servicio se llama *Serving Access Point*. Además, un solo AP provee conectividad a Internet a un AT dado. Este AP se conoce con el nombre de *Anchor Access Point*.

El *Serving AP* cambia en base a las condiciones de radio, este cambio es conocido como *Handoff* de capa 2. El *Anchor AP* puede ser cambiado para minimizar el número de saltos el paquete debe viajar antes de alcanzar al AT, este cambio es conocido como *Handoff* de capa 3, independiente del *Handoff* de capa 2, y puede ser facilitado por un *Home Agent* y por el Protocolo de Selección de Ruta (*Route Selection Protocol*) en el Transporte de Datos.

Existen tres direcciones utilizadas en la identificación de un AT:

- **UATI (*Universal Access Terminal Identifier*)**: Identificador temporal de 128 bits entregado por el sistema para el proceso acceso al sistema.
- **ATI (*Access Terminal Identifier*)**: Versión corta del UATI (32 últimos bits) utilizado por el AT en el proceso de *paging*.
- **MAC ID**: Identificador de 11 bits asignado al AT por cada sector. Es único dentro del sector y se encuentra almacenado dentro del active set del AT. Es utilizado por el sector para intercambio de paquetes con el AT.

Adicionalmente, se tienen direcciones opcionales, de las cuales no depende la operación del sistema:

- **Dirección IP**: Dirección entregada al AT por la red con fines de gestión.
- **IEEE EUI-48 o EUI-64**: Dirección de fábrica fija del AT. Por seguridad, solo puede ser recuperado a través de un enlace encriptado, cuando una seguridad completa se ha establecido.

Una sesión hace referencia a un estado compartido entre el AT y la AN. Este estado compartido almacena los protocolos y sus configuraciones, las mismas que fueron negociadas y son utilizadas para comunicaciones entre el AT y la AN.

¹ Downlink (DL)

² Uplink (UL)

Un AT no puede comunicarse con la AN si no existe una sesión abierta. Un AT con una sesión abierta puede estar en uno de tres estados:

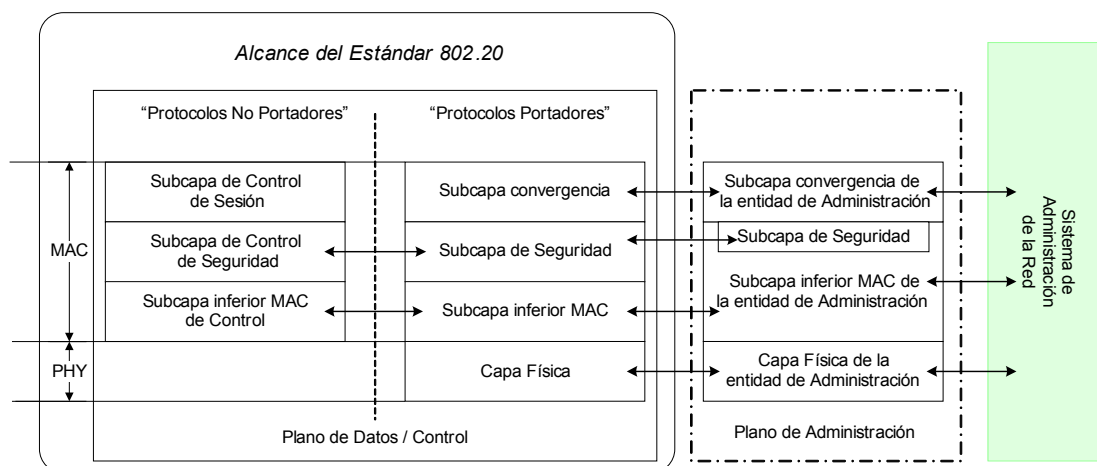
- **Conectado:** En este estado al menos un sector le asigna una MAC ID al AT. El AT monitorea el *overhead* y la asignación de canales regularmente y envía un indicador de calidad de canal CQI (*Channel Quality Indicator*) a la AN con cierta periodicidad. A un AT se le puede asignar recursos de tráfico en una trama PHY. Entrar y salir del estado conectado se conoce como abrir y cerrar la conexión. Durante una sesión, el AT y la AN pueden abrir y cerrar una conexión varias veces.
- **Monitoreo:** En este estado el AT no tiene asignación de MAC ID por parte de ningún sector. Monitorea continuamente los canales de *overhead* y *paging* de la AN. El AT puede recibir un *paging* dentro de una supertrama y debe realizar un proceso de acceso para cambiar al estado de conectado.
- **Idle (dormido):** Operacionalmente este estado es idéntico al estado de monitoreo. Adicionalmente, en este estado el AT y la AN se ponen de acuerdo en un ciclo de *paging*. El AT no necesita recibir ninguna transmisión de la AN entre ciclos de *paging*.

1.2.1.2. Modelo de referencia¹

Los sistemas 802.20 se especifican utilizando una arquitectura de capas coherente con la arquitectura utilizada en otros estándares IEEE 802.

Un sistema 802.20 consiste en la implementación de las capas de Control de Acceso al Medio (MAC) y física (PHY), en donde al menos un AT se comunica con el AP a través de la AI de radio e interfaces hacia redes externas. Junto con otros estándares como 802.1 y 802.2 especificará los servicios entregados por las capas 1 y 2 a una capa 3 basada en IP o a una capa de conmutación. El estándar 802.20 estará dirigido a cubrir las necesidades de Control Lógico del Enlace y la utilización de la funcionalidad LLC 802.2.

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

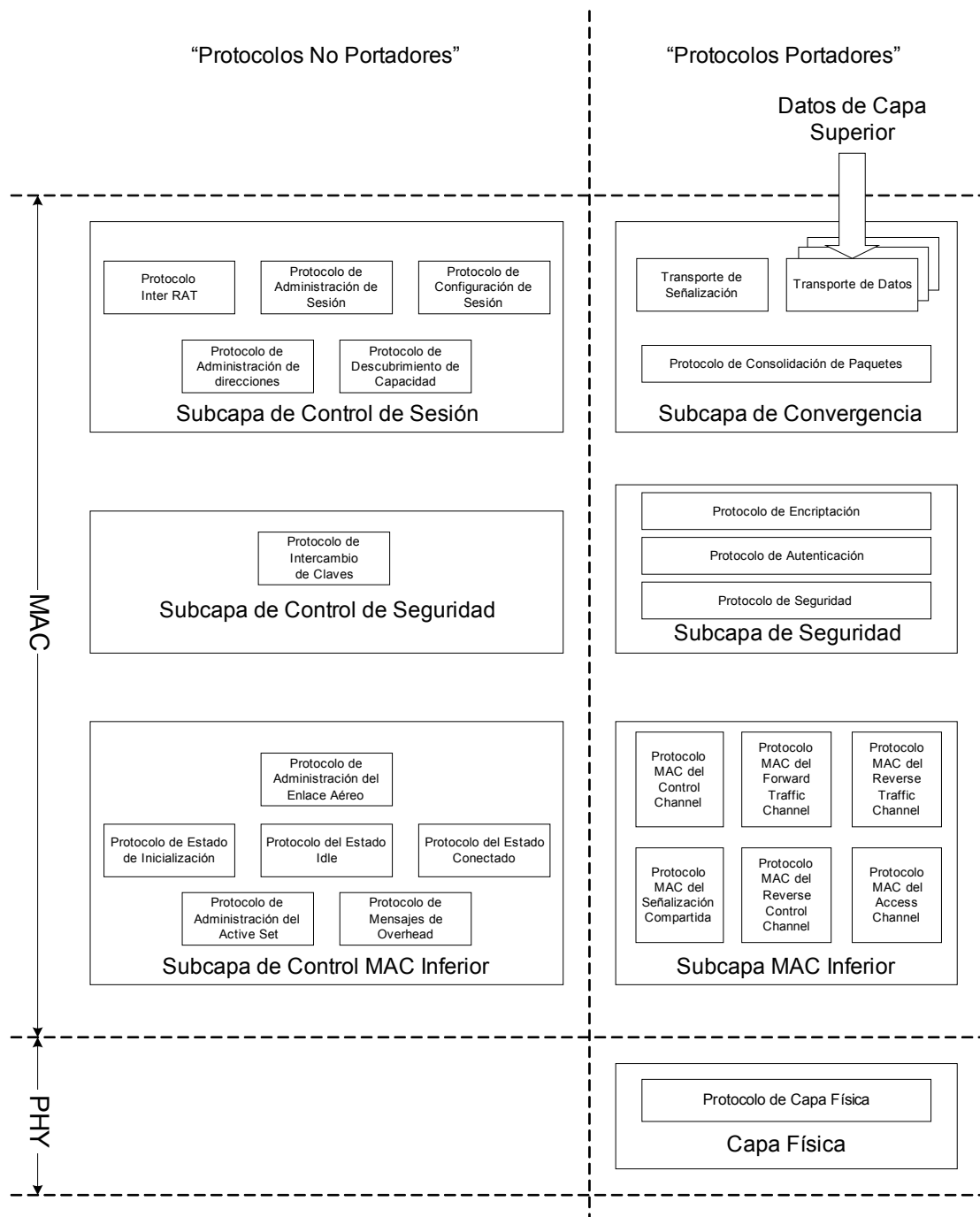


Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.3. – Arquitectura de Capas

Las especificaciones del IEEE 802.20 especifican protocolos portadores y no portadores. Un protocolo no portador no lleva *payload* en nombre de otras capas.

Cada subcapa contiene uno o más protocolos o transportes. Los protocolos utilizan mensajes de señalización en mensajes, bloques o encabezados para transmitir información a sus protocolos pares al otro lado de la AI. Para ello utilizan el Signaling Network Protocol (SNP). Un transporte se encarga del envío de mensajes de señalización utilizando SNP.



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.4. – Protocolos por Capa

Subcapa de control de Sesión: Provee administración del UATI, negociación y configuración de protocolos y servicios de mantenimiento de estados.

Subcapa de convergencia: Provee protocolos y transportes utilizados para transportar mensajes y datos. Provee la multiplexación de los diferentes transportes. Se considera extensible en el sentido de que nuevos transportes pueden ser definidos a futuro para llevar otro tipo de paquetes.

Subcapa de Control de Seguridad: Provee intercambio de claves y maneja la Subcapa de Seguridad.

Subcapa de Seguridad: Provee autenticación y servicios de encriptación.

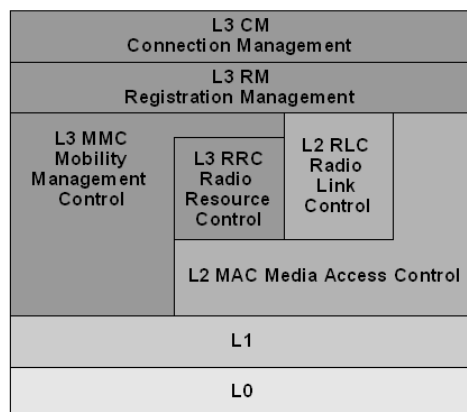
Subcapa de Control MAC Inferior: Provee el establecimiento de la conexión del enlace aéreo y servicios de mantenimiento.

Subcapa MAC Inferior: Define procedimientos para la transmisión y recepción sobre la capa Física.

Capa Física: Provee la estructura del canal, la frecuencia, la modulación, el gasto de energía y las especificaciones de codificación para los canales del FL y del RL.

1.2.1.2.1. Modo 625k-MC¹

La especificación del modo 625k-MC define las capas Física, MAC y de señalización, aplicando los requerimientos HC-SDMA (High Capacity-Spatial Division Multiple Access)². Estas especificaciones de capa PHY, MAC y LLC se basan en las especificaciones L0/L1/L2/L3 de HC-SDMA.³



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

Figura 1.5. – Stack de protocolos para la interfaz aire 625k-MC

La Figura 1.5. indica el stack de protocolos utilizados en este modo.

Las capas L0 y L1 del stack de protocolos HC-SDMA corresponden a la capa Física y definen propiedades de desempeño de transmisión y recepción de radio, propiedades de codificación y modulación, y de desempeño y pruebas.

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

² High Capacity-Spatial Division Multiple Access, ATIS-PP-0700004-2005, septiembre 2005

³ Fuente: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

La capa L2 del stack de protocolos HC-SDMA corresponde a la subcapa MAC y define propiedades de estructura de canal (trama y slot), administración de acceso, propiedades de datos y control, flujo sobre canales lógicos, mapeo entre canales lógicos y físicos, y ARQ.

La capa L3 del stack de protocolos HC-SDMA corresponde a la subcapa DLC/LLC y define 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.

Una red trabajando bajo el modo 625k-MC soporta tanto IP como MobileIP.

1.2.1.3. Requerimientos para sistemas IEEE 802.20 de Acceso Móvil Inalámbrico de Banda Ancha ¹

El documento de Requerimientos de Sistema para sistemas IEEE 802.20 de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha² fue redactado de manera que cumpla con el PAR del proyecto y que los requerimientos se encuentren acorde con el alcance y características técnicas propuestas para el proyecto.

En este documento se encuentran definidos los Requerimientos necesarios para el funcionamiento de un sistema de MBWA que trabaje bajo el estándar IEEE 802.20. Un sistema 802.20 consiste en la implementación de capas 802.20 de Control de Acceso al Medio (MAC) y Física (PHY) en donde al menos un AT se comunica con el AP a través de la AI de radio e interfaces hacia redes externas.

El estándar 802.20 debe formar una base para la implementación de sistemas que permitan la integración de los tres campos de usuario: trabajo, casa y móvil.

La AI basada en 802.20 debe ser optimizada para el funcionamiento de servicios de datos inalámbricos de alta velocidad basados en IP, soportando aplicaciones que se ajusten a protocolos y estándares abiertos como: video, *web browsing* completamente gráfico, e-mail, carga y descarga de archivos sin límite de tamaño, audio y video continuos, IP Multicast, telemática, servicios de ubicación, conexiones VPN, VoIP, mensajería instantánea, juegos en línea, entre otros. Las características de QoS de los servicios de VoIP deben proveer el rendimiento

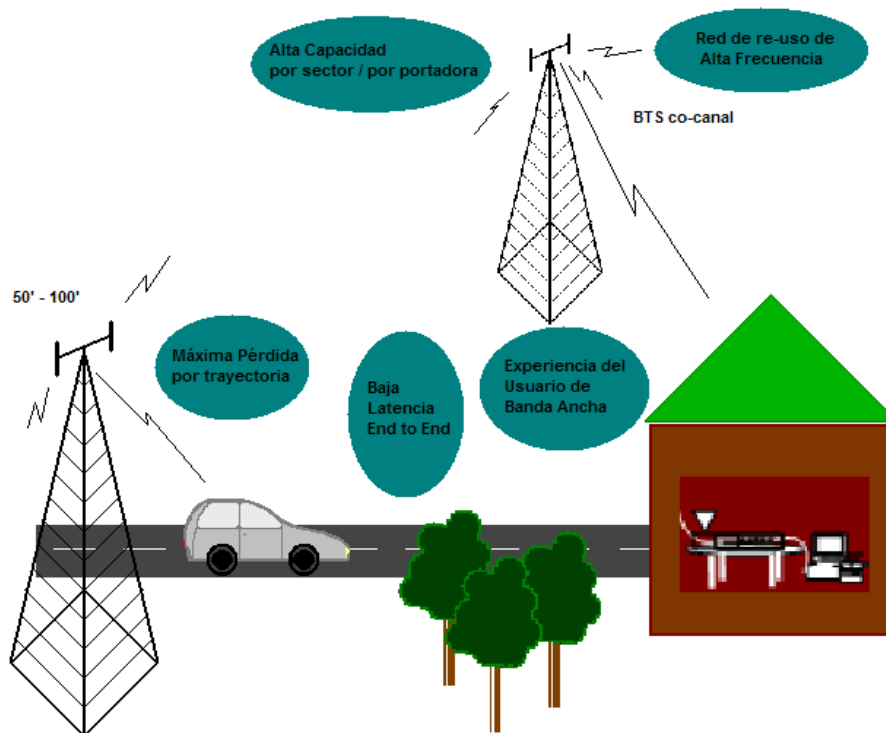
¹ Fuente: Draft 802.20 Permanent Document. System Requirements for IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access Systems – Version 14. July 16, 2004. IEEE 802.20 PD-06r1

² IEEE 802.20 PD-06r1

requerido de latencia, *jitter* y pérdida de paquetes necesaria para soportar el uso de *codecs* estándar industriales aplicables en redes móviles.

La AI debe proveer al usuario un servicio ininterrumpido y disponible en cualquier momento similar al ofrecido por sistemas como Cable y DSL (Digital Subscriber Line) sin descuidar las características necesarias para preservar la vida de las baterías. La conectividad entre el AT y el AP debe ser automática y transparente para el usuario. La AI debe soportar la entrega eficiente de tráfico de paquetes IP con longitudes y tiempos similares a los de redes por cable.

El sistema 802.20 pretende brindar un servicio ubicuo de Acceso Móvil Inalámbrico de Banda Ancha a través de una arquitectura celular, que soporte cobertura en ambientes interiores y exteriores, sin necesidad de línea de vista.



Fuente.: System Requirements for IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access Systems – Version 14. EEE 802.20 PD-06r1

Figura 1.6. – Atributos de los Servicios del Sistema MBWA

1.2.1.3.1. Requerimientos del Sistema

En cuanto a movilidad, la AI soportará velocidades peatonales desde 3Km/h hasta altas velocidades vehiculares de 250Km/h.

La eficiencia espectral para la AI de 802.20 debe ser mayor a los valores indicados en la Tabla 1.3. Para velocidades mayores a las indicadas la eficiencia espectral se degradará de manera gradual.

<i>PARÁMETRO</i>	Requerimientos de Eficiencia Espectral			
	RL		FL	
	3 Km/h	120 Km/h	3 Km/h	120 Km/h
Eficiencia Espectral (bps/Hz/sector)	2.0	1.5	1.0	0.75

Fuente.: System Requirements for IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access Systems – Version 14. EEE 802.20 PD-06r1

Tabla 1.3. – Eficiencia Espectral

La AI debe estar diseñada para soportar tanto duplexación por división de tiempo (TDD) como duplexación por división de frecuencias (FDD), pudiendo además soportar estaciones subscriptoras FDD Half Duplex.

La AI deberá soportar un despliegue en al menos uno de los tamaños de asignación de bloque de la Tabla 1.5.

Asignación para FDD	Asignación para TDD
2 × 1.25 MHz	2.5 MHz
2 × 5 MHz	5 MHz
2 × 10 MHz	10 MHz
2 × 15 MHz	20 MHz
2 × 20 MHz	30 MHz
	40 MHz

Fuente.: System Requirements for IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access Systems – Version 14. EEE 802.20 PD-06r1

Tabla 1.4. – Tamaños de Asignación de Bloque

La AI debe soportar velocidades de transmisión pico por usuario, superiores a las indicadas en la Tabla 1.6.

<i>PARÁMETRO</i>	Ancho de Banda			
	1.25 MHz		5 MHz	
	FL	RL	FL	RL
Velocidad de transmisión pico de usuario	4.5 Mbps	2.25 Mbps	18 Mbps	9 Mbps

Fuente.: System Requirements for IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access Systems – Version 14. EEE 802.20 PD-06r1

Tabla 1.5. – Velocidad de Transmisión Pico de Usuario

La capa MAC debe ser capaz de controlar más de 100 sesiones activas simultáneas por sector. Una sesión activa es el tiempo durante el cual un usuario puede transmitir y/o recibir datos con un retardo mínimo. El usuario debería tener un canal de radio portador disponible con un retardo menor a 25ms con probabilidad de al menos 0.9, requerimiento que debe cumplirse sin importar si las sesiones provienen de uno o varios ATs. Algunas aplicaciones deberán tener un

tratamiento prioritario respecto al retardo con el fin de cumplir con las especificaciones de QoS. Este requerimiento es aplicable a sistemas FDD $2 \times 1.25\text{MHz}$ o TDD de 2.5MHz . El número de usuarios que se encuentran activos simultáneamente debe escalar linealmente respecto al ancho de banda del sistema siempre que se asuma que las aplicaciones que van a trabajar sobre este sistema son similares.

El estándar 802.20 debe soportar los medios que permitan activar la QoS a nivel de enlace entre el AP y el AT. La AI debe soportar resoluciones activas de QoS para IPv4 e IPv6.

La AI 802.20 debe soportar una arquitectura de servicios diferenciados IETF¹ compatible con otros estándares de redes IP incluyendo estándares IP móviles. 802.20 debe soportar el modelo estándar de QoS DiffServ.

El sistema debe soportar la configuración de una variedad flexible de clases de tráfico con diferentes latencias y tasas de error de paquetes con el propósito de cumplir con los requerimientos de QoS de los usuarios finales para las distintas aplicaciones.² El estándar 802.20 debe soportar la habilidad de negociar la clase de tráfico asociada con cada flujo de paquetes.³ El estándar 802.20 debe permitir la definición de un grupo de clases de tráfico por parte el operador del sistema en términos de los atributos de QoS. Estos atributos de QoS incluyen:

- Velocidad de Transmisión
- Latencia (entre 10 ms y 10 segundos)
- Tasa de error de paquetes después de las correcciones de las capas MAC/PHY (entre $10\text{E}-8$ y $10\text{E}-1$)
- Variación de retardo o *jitter* (entre 0 y 10 segundos).

El estándar 802.20 debe incluir características MAC/PHY que soporten la capacidad de multi-antena en el AP y opcionalmente en el AT.

La seguridad de la red en sistemas MBWA debe proteger al proveedor de servicios contra el robo de servicio y brindar privacidad al usuario. Para mantener

¹ RFC 2475

² Recomendado por la ITU en *ITU G.1010 [“Draft New Recommendation G.QoSROT – End-user Multimedia QoS Categories”, ITU-T study group 12, contribution 37, August 2001]*

³ Pueden haber múltiples flujos de paquetes asociados aun solo usuario y múltiples usuarios asociados a un solo terminal móvil.

la privacidad y conservar la integridad de los datos se debe proveer autenticación tanto del AT como del AP. La seguridad de 802.20 en la capa de enlace debe ser parte de una solución *end-to-end* que incluya capas superiores como TLS, SSL, IPSec, etc.

Tanto la red como el AT deben realizar una autenticación mutua y la red debe realizar un proceso de autorización antes de proveer el servicio.

El sistema deberá soportar la encriptación a través de la AI para proteger el tráfico de datos de usuario y mensajes de señalización de divulgación no autorizada. Deberá además proveer protección contra la divulgación de la identidad permanente del dispositivo a atacantes pasivos.

1.2.1.3.2. Requerimientos espectrales

La AI de 802.20 soportará la implementación del sistema en el espectro bajo licencia por debajo de los 3.5 GHz en TDD o FDD, y el servicio móvil. El plan de frecuencias para sistemas MBWA incluirá planes de canales con múltiples anchos de banda para permitir el co-despliegue con sistemas celulares existentes. Los anchos de banda de los canales deben concordar con los planes de frecuencias y asignación de frecuencias para otros sistemas de área amplia.

El diseño debe ser fácilmente extensible a canales más amplios cuando estos se vuelvan disponibles en el futuro.

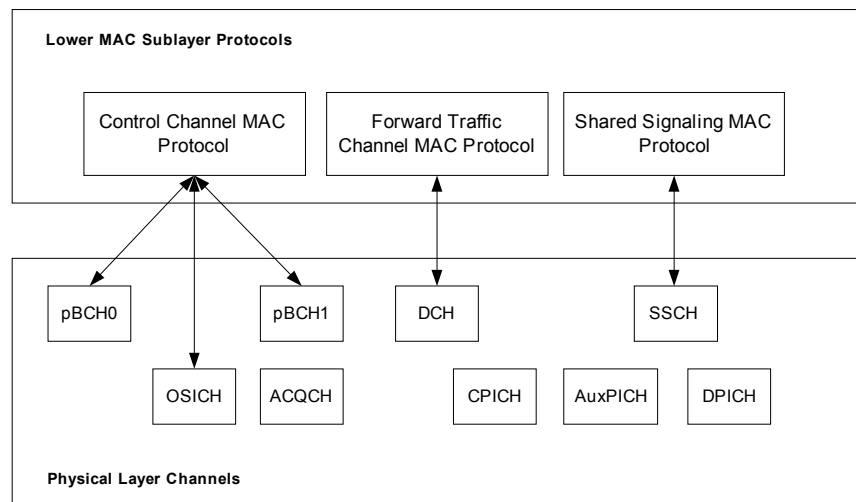
1.2.2. ESPECIFICACIONES DE CAPA FÍSICA (PHY)

La capa física utiliza una combinación de acceso múltiple ortogonal por división de frecuencia (OFDMA) para los canales de datos y acceso múltiple por división de código (CDMA) para algunos de los canales de control RL. El sistema puede ser desplegado en anchos de banda flexibles entre 5MHz y 20MHz. Utilizando transmisión de múltiples entradas y múltiples salidas MIMO (*multi-input multi-output*), se soportan velocidades de transmisión pico sobre 260Mbps en 20MHz de ancho de banda.¹

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

El sistema soporta los modos de operación de duplexación por división de frecuencia (FDD) y de duplexación por división de tiempo (TDD). El modo TDD provee asignación flexible de recursos entre FL y RL.

El sistema propuesto incluye varios canales a nivel físico para los enlaces FL y RL, los mismos que son controlados por protocolos de la subcapa MAC inferior.²



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

Figura 1.7. – Estructura de los canales FL

F-ACQCH (Forward Acquisition Channel): Lleva un piloto de adquisición al AT para que adquiera el sistema.

F-AuxPICH (Forward Auxiliary Pilot Channel): Lleva pilotos auxiliares de estimación de canal para transmisión con múltiples antenas.

F-CPICH (Forward Common Pilot Channel): Lleva los pilotos comunes.

F-DCH (Forward Data Channel): Lleva información para un AT específico. Lleva además información de *broadcast* que incluye *paging* y mensajes específicos de sector.

F-DPICH (Forward Dedicated Pilot Channel): Lleva el piloto dedicado a un AT. Está presente en el modo *BlockHopping*, el mismo que es indicado sobre el F-pBCH0.

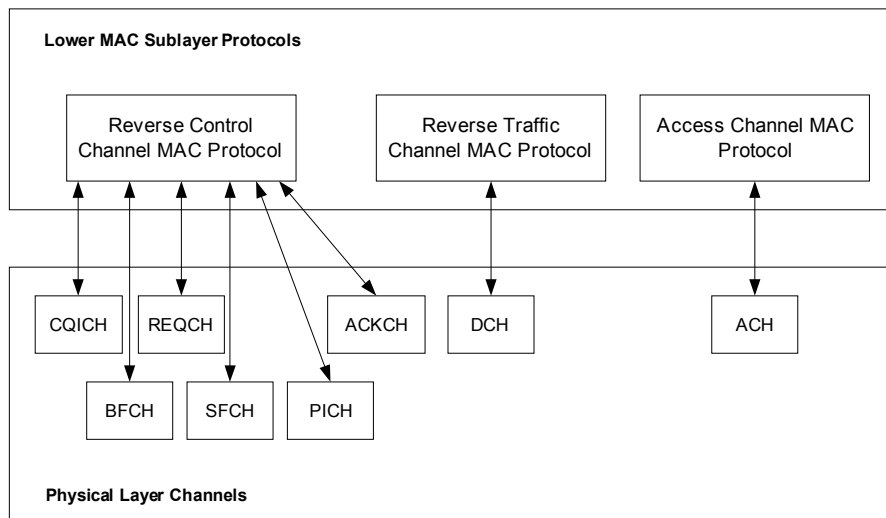
F-OSICH (Forward Other Sector Interference Pilot Channel): Lleva información acerca de la interferencia de otros sectores a ser recibida por todos los ATs.

² Fuente: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

F-pBCH0 (*Forward Primary Broadcast Channel 0*): Lleva información del sistema a todos los ATs.

F-pBCH1 (*Forward Primary Broadcast Channel 1*): Lleva información del sector a todos los ATs. Indica si el F-SSCH está presente.

F-SSCH (*Forward Shared Signaling Channel*): Lleva tareas de los canales de FL y RL, concesiones de acceso, comandos de control de potencia e información de acuse de recibo para transmisiones R-DCH.



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

Figura 1.8. – Estructura de los canales RL

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

R-ACKCH (*Reverse Acknowledgement Channel*): Lleva información de acuse de recibo a las transmisiones HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) del FL transmitidas sobre el F-DCH.

R-BFCH: (*Reverse Beam Feedback Channel*): Lleva información acerca del índice de onda y la calidad del canal FL, lo que permite precodificación y SDMA de múltiples ATs en el FL.

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

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

R-PICH (*Reverse Pilot Channel*): Lleva el piloto dentro del segmento de control CDMA.

R-REQCH (*Reverse Request Channel*): Su principal propósito es solicitar asignación de recursos de tráfico RL para el sector servidor RL. Si es enviado a un sector diferente del servidor, es interpretado como una solicitud de *Handoff*. Lleva información acerca del nivel de *buffer* a distintas clases de QoS para un AT.

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

El R-ACH es utilizado por el AT para lograr el acceso inicial a la red. Al encenderse, el AT detecta un sector, realiza una sincronización en tiempo y en frecuencia y detecta la configuración completa de FL y RL. 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* por parte del AP sobre el F-SSCH como respuesta a sus mensajes de sondeo de acceso. El mensaje *Access Grant* asigna a la AT un MAC ID y recursos del RL, y envía además comandos de ajuste de tiempo lo que permite al AT ortogonalizar su transmisión con las transmisiones del resto de ATs. ¹

Los canales de control FL son utilizados para asignar y manejar recursos RL y FL, especificar los formatos de paquetes respectivos, permitir el acceso a usuarios en modo *Idle*, reconocer transmisiones RL, enviar comandos de control de potencia RL y enviar indicaciones de interferencia de otros sectores. Estos canales se combinan en un solo canal físico llamado F-SSCH, utilizado en la transmisión de acuses de recibo de transmisiones RL-HARQ y por lo tanto presente en cada

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

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 IDs de canales utilizables.¹

Los canales de control RL 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 que ocupa 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.²

El segmento de control CDMA ocupa un set contiguo de subportadoras (múltiplo de 128) en cualquier punto de tiempo y saltando a través de todo el ancho de banda RL. Cada canal de control lleva como máximo 10 bits de información. En caso de que el número de bits sea menor, el espacio restante es completado con un conjunto de bits "0" lo que permite a un AN 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 Walsh de tamaño 1024.³

1.2.2.1. Estructura de la trama⁴

La transmisión en ambos enlaces de un sistema MBWA se divide en unidades de símbolos OFDM.

Se definen tres tamaños básicos FFT: 512, 1024 y 2048, cada uno de los cuales corresponde a una tasa de chip diferente. Estas tasas han sido escogidas para que los tamaños FFT tengan el mismo espacio de subportadora.

Parámetro	FFT de 512 pts	FFT de 1024 pts	FFT de 2048 pts
Tasa de chip (Mcps)	4.9152	9.8304	19.6608
Espaciamiento de subportadoras (KHz)	9.6	9.6	9.6
Ancho de banda de operación (Mhz)	≤ 5	≤ 10	≤ 20
Portadoras de guarda	Función del Ancho de Banda	Función del Ancho de Banda	Función del Ancho de Banda
Prefijo cíclico (μs)	6.51 – 26.04	6.51 – 26.04	6.51 – 26.04
Duración de <i>windowing</i> (μs)	3.26	3.26	3.26
Duración de símbolo OFDM (μs)	113.93	113.93	113.93

Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Tabla 1.6. – Parámetros básicos

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

² Fuente: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

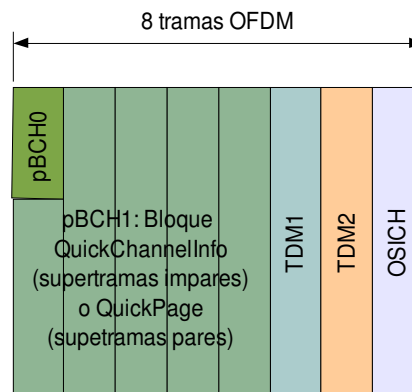
³ Fuente: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

⁴ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Las transmisiones sobre FL y RL se dividen en unidades de supertramas. Estas supertramas se dividen a su vez en unidades de tramas PHY. La estructura de la trama está diseñada para minimizar la latencia de las transmisiones de datos manteniendo duraciones de procesamiento aceptables para la codificación y decodificación en el AT y el AP, y la planificación en el AP.

1.2.2.1.1. Estructura de la supertrama⁴

Las transmisiones en los enlaces FL y RL se dividen en unidades de supertramas. Las supertramas FL encuentran formadas por un preámbulo seguido de varias tramas PHY. El preámbulo de la supertrama se encuentra formado por 8 símbolos OFDM, con la estructura indicada en la Figura 1..



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.9. – Estructura del preámbulo de la supertrama

Los cinco primeros símbolos OFDM del preámbulo de supertrama se utilizan para llevar dos *Primary Broadcast Channels* (pBCH0 y pBCH1), los mismos que llevan información de configuración utilizada por el AT para demodular tramas PHY. El pBCH1 lleva además información de *paging*. El pBCH0 se codifica sobre 16 supertramas ocupando $\frac{1}{4}$ de símbolo OFDM en cada preámbulo, mientras que el pBCH1 se codifica sobre una sola supertrama. El pBCH0 incluye información de sistema como duración de prefijo cíclico y número de portadoras de guarda. El pBCH1 contiene información de configuración requerida por el AT para demodular los canales transmitidos en una trama PHY y por el AT en modo *idle* para demodular información de *paging* contenido en tramas PHY.

⁴ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Los tres últimos símbolos OFDM del preámbulo de supertrama son pilotos TDM. Los pilotos TDM1 y TDM2 forman el F-ACQCH mientras el tercero se utiliza para transmisiones de F-OSICH. Cada sector se identifica con un código PN diferente (0-4095) conocido como PilotPN. Para reducir la complejidad de la adquisición manteniendo el alto número de códigos PN, se utiliza la estructura jerárquica de piloto. Al piloto TDM1 se le realiza un *scramble* usando 2 bits de información, al piloto TDM2 usando 8 bits (dos de TDM1) y al tercer piloto usando 12 bits. El piloto TDM1 es periódico, facilitando la adquisición y sincronización de frecuencia.

1.2.2.1.2. Estructura de la trama para FDD¹

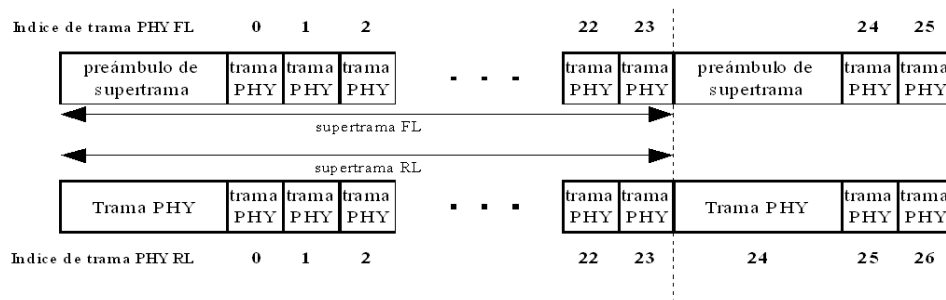
Una Supertrama FL consiste en un preámbulo seguido por 24 tramas PHY FL. El preámbulo lleva secuencias de adquisición y parámetros claves de overhead que permiten al AT recibir canales de control FL y luego acceder al sistema.

Parámetro	Valor
Duración de la trama PHY	8 símbolos OFDM (911.46µs)
Duración del preámbulo de supertrama	8 símbolos OFDM (1.07ms)
Duración de supertrama	24 tramas PHY (excluyendo el preámbulo) (22.94 ms)
Número de enlaces HARQ (FL y RL)	6
Intervalo de retransmisión (FL y RL)	6 tramas PHY (5.47ms)

Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Tabla 1.7. – Parámetros de supertrama FDD

Una Supertrama RL no lleva preámbulo, el mismo que es reemplazado por una trama PHY RL que toma su duración del preámbulo de la supertrama FL asegurando la alineación en tiempo.



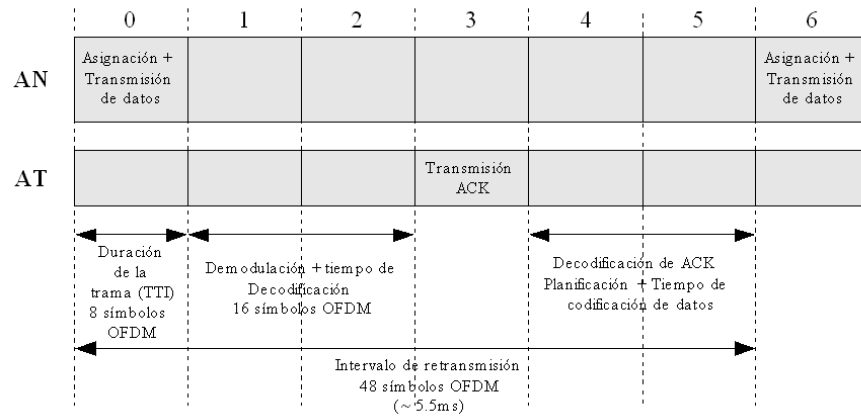
Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.10. – Estructura de supertrama FDD

Tanto FL como RL soportan HARQ. HARQ, ARQ híbrido, es una variación del método de control de errores ARQ, que brinda un mejor desempeño que el ARQ ordinario, sobretodo sobre redes inalámbricas, aunque con mayor complejidad en

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

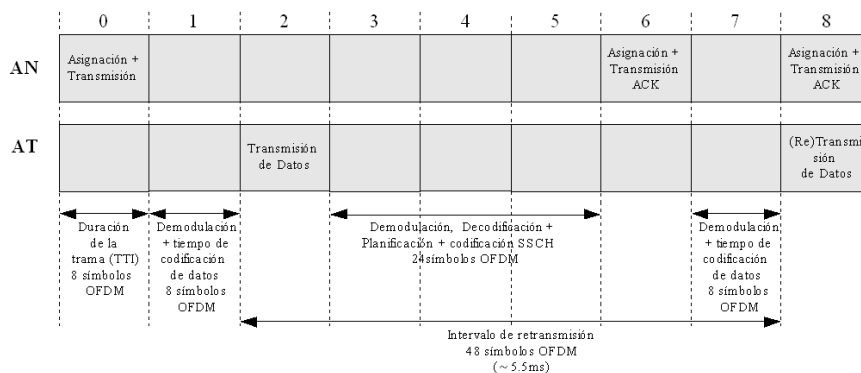
la implementación. Para proporcionar tiempo de procesamiento HARQ al AP y al AT, se utiliza la estructura de las Figuras 1.4. y 1.5.



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.11. – Tiempos de transmisión para HARQ FL

Esta estructura de trama provee una latencia de retransmisión HARQ de aproximadamente 5.5 ms con un tiempo de procesamiento de 1.8ms.



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.12. – Tiempos de transmisión para HARQ RL

Esta estructura de trama provee una latencia de retransmisión HARQ de aproximadamente 5.5 ms con un tiempo de procesamiento de 1.8ms en el AT (2 tramas PHY) y 2.7ms en el AP (3 tramas PHY).

El sistema también soporta asignaciones de duración de transmisión extendida, las mismas que extienden las transmisiones sobre múltiples tramas PHY. Para el FL la estructura de trama provee una latencia de retransmisión HARQ aproximada de 11 ms con un tiempo de procesamiento de 1.8ms, mientras que para el RL provee una latencia de retransmisión HARQ aproximada de 11 ms con un tiempo de procesamiento de 1.8ms para el AT y 2.7ms para el AP.

El canal de control F-SSCH se envía en cada trama PHY y contiene mensajes de asignación de recursos, comandos de control de potencia y acuses de recibo para RL HARQ. Los canales de control en el RL incluyen el CIQCH para la calidad del canal y el soporte de *Handoff*, el SFCH para el soporte de planificación de sub-banda, el REQCH para solicitar asignación de recursos, el BFCH para soporte de precodificación de señal/SDMA, un canal piloto de banda ancha (PICH) y un canal de acuse de recibo (ACKCH) para el soporte de HARQ. La periodicidad del ACKCH sigue los tiempos del FL HARQ, mientras que los demás canales se transmiten en lo que se conoce como segmento de control, siendo este una trama PHY disponible cada 6 tramas PHY con una periodicidad de 5.5ms.

1.2.2.1.3. Estructura de la trama para TDD¹

Este sistema soporta particionamiento TDD M:N, donde M:N es la relación entre la duración de la transmisión FL y la duración de la transmisión RL. El tiempo de guarda para la transición de FL a RL es de 78.12 μ s y de RL a FL de 16.28 μ s, para FTT de 512, 1024 o 2048 pts.

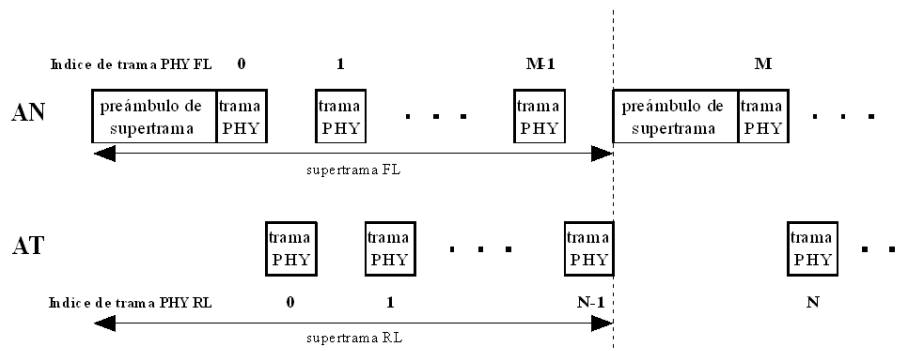
Tanto FL como RL soportan HARQ. Para proporcionar al AP y al AT tiempo de procesamiento relacionado con HARQ, se utiliza una estructura similar a la usada en FDD pero aplicando TDD, alternando el envío de M tramas de 8 símbolos OFDM del AN y N tramas de 8 símbolos OFDM del AP dependiendo de la relación M:N utilizada.

Parámetro	TDD 1:1	TDD 2:1
Duración de la trama PHY	8 símbolos OFDM (911.46 μ s)	8 símbolos OFDM (911.46 μ s)
Duración del preámbulo	8 símbolos OFDM (1.07ms)	8 símbolos OFDM (1.07ms)
Duración de supertrama	24 tramas PHY (excluyendo el preámbulo) (22.94 ms)	24 tramas PHY (excluyendo el preámbulo) (22.94 ms)
Número de enlaces HARQ (FL / RL)	3 / 3	5 / 2
Intervalo de retransmisión (FL / RL)	6/6 tramas PHY (5.75/5.75ms)	7 u 8/6 tramas PHY (6.57 o 5.75/5.75ms)

Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Tabla 1.8. – Parámetros de supertrama TDD

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

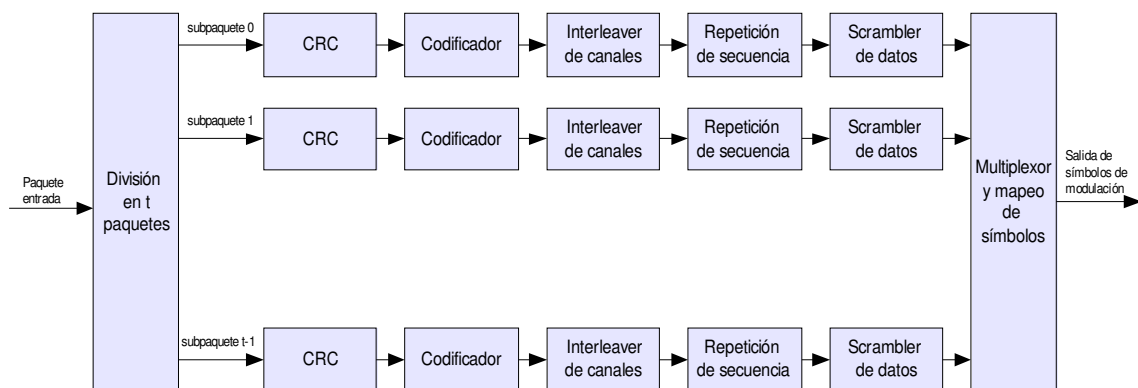


Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.13. – Estructura de supertrama TDD

A diferencia de FDD, los comandos de control de potencia se envían usando TDD 1:1. La estructura de los canales de control y periodicidad son similares a FDD.

1.2.2.2. Proceso de Transmisión¹



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.14. – Estructura de codificación y modulación

Al inicio del proceso de codificación y modulación, los paquetes se dividen en subpaquetes de igual tamaño que son codificados por separado. Esto permite que unidades decodificadoras operen en paralelo agilizando el proceso de decodificación. Un subpaquete puede contener hasta 8192 bits.

Para codificar paquetes cortos (≤ 128 bits) se utiliza un código convolucional de tasa 1/3 cuyo polinomio generador es:

$$G(D) = [g_0(D) \ g_1(D) \ g_2(D)]$$

donde:

$$g_0(D) = 1 + D^2 + D^3 + D^5 + D^6 + D^7 + D^8$$

$$g_1(D) = 1 + D + D^3 + D^4 + D^7 + D^8$$

$$g_2(D) = 1 + D + D^2 + D^5 + D^8$$

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

siendo D el operador de retardo.

Para paquetes de tamaño mayor a 128 bits, se utiliza un turbo code de tasa 1/5, que es una concatenación paralela de dos codificadores convolucionales recursivos sistemáticos con un turbo interleaver antes del segundo codificador.

La función de transferencia del código es:

$$G(D) = 1 \frac{n_0(D)}{d(D)} \frac{n_1(D)}{d(D)}$$

donde:

$$\begin{aligned} n_0(D) &= 1 + D + D^3 \\ n_1(D) &= 1 + D + D^2 + D^3 \\ d(D) &= 1 + D^2 + D^3 \end{aligned}$$

siendo D el operador de retardo.

El turbo interleaver utiliza una combinación de bit-reversal interleaving, row-column interleaving y linear congruential interleaving.

Luego de pasar por el codificador, los datos pasan por el interleaver de canal, cuyo diseño se basa en un PBRI (Pruned Bit Reversal Interleaver). Un PBRI opera en secuencias de longitud N (donde N no es potencia de 2), eliminando símbolos repetitivos o innecesarios a través de un bit-reversal interleaver.

Parte de los bits que pasan por el interleaver se envían en una transmisión HARQ. La tasa de código vista por el receptor disminuye con cada paquete HARQ que llega, logrando tasas menores a 1/5 a través de la utilización del proceso de repetición.

Luego de las repeticiones los datos pasan a un scrambler, que consta de un XOR con una secuencia pseudoaleatoria. Esta secuencia se crea con un registro PN, cuya base es el MAC ID del usuario, lo cual permite prevenir la decodificación accidental de paquetes de otros usuarios.

La AI soporta cuatro formatos de modulación: QPSK, 8PSK, 16QAM y 64QAM, cuyos mapas de constelación se basan en los mapas de Gray. La utilización de varios formatos de modulación y tasas de codificación permite tener un amplio rango de eficiencias espectrales. El sistema soporta 15 formatos de paquetes tanto para FL (SISO) como para RL. El número de bits de una transmisión en

capa física depende del formato de paquetes escogido y el número de subportadoras asignadas a la transmisión.

El sistema utiliza HARQ sincrónico no adaptable. Algunos formatos de paquetes usan formatos de modulación de orden inferior para retransmisiones HARQ posteriores, proceso que se conoce como “Modulation stepdown”. El proceso de Modulation Stepdown ayuda a mantener las tasas de codificación por encima de 1/5, tasa bajo la cual la repetición de bits sería necesaria con lo cual el desempeño de codificación disminuiría.

Índice de formato de paquete	Eficiencia espectral en la 1era transmisión	Número máximo de transmisiones	Orden de modulación para cada transmisión					
			1	2	3	4	5	6
0	0.2	6	2	2	2	2	2	2
1	0.5	6	2	2	2	2	2	2
2	1.0	6	2	2	2	2	2	2
3	1.5	6	3	2	2	2	2	2
4	2.0	6	4	3	3	3	3	3
5	2.5	6	6	4	4	4	4	4
6	3.0	6	6	4	4	4	4	4
7	4.0	6	6	6	4	4	4	4
8	5.0	6	6	6	4	4	4	4
9	6.0	6	6	6	4	4	4	4
10	7.0	6	6	6	4	4	4	4
11	8.0	6	6	6	6	4	4	4
12	9.0	6	6	6	6	4	4	4
13	10.0	6	6	6	6	6	4	4
14	11.0	6	6	6	6	6	4	4
15	Null							

Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Tabla 1.9. – Formatos de paquetes FL (SISO)

Índice de formato de paquete	Eficiencia espectral en la 1 ^{era} transmisión	Número máximo de transmisiones	Orden de modulación para cada transmisión					
			1	2	3	4	5	6
0	0.25	6	2	2	2	2	2	2
1	0.50	6	2	2	2	2	2	2
2	1.0	6	2	2	2	2	2	2
3	1.5	6	3	2	2	2	2	2
4	2.0	6	3	3	2	2	2	2
5	2.67	6	4	4	3	3	3	3
6	4.0	6	4	4	3	3	3	3
7	6.0	6	4	4	4	3	3	3
8	8.0	6	4	4	4	4	4	3

Índice de formato de paquete	Eficiencia espectral en la 1 ^{era} transmisión	Número máximo de transmisiones	Orden de modulación para cada transmisión					
			1	2	3	4	5	6
9	4.0	6	6	6	4	4	4	4
10	5.0	6	6	6	4	4	4	4
11	6.0	6	6	6	4	4	4	4
12	7.0	6	6	6	4	4	4	4
13	8.0	6	6	6	6	4	4	4
14	9.0	6	6	6	6	4	4	4

Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Tabla 1.10. – Formatos de paquetes RL

1.2.2.3. Mecanismos de funcionamiento y control

1.2.2.3.1. Asignación de Recursos¹

La planificación se refiere a la asignación de subportadoras y de eficiencia espectral a ATs en el tiempo y es centralizada en el AP tanto en FL como en RL. La planificación centralizada se utiliza para asegurar asignaciones ortogonales de recursos a varias ATs en el sistema. El objetivo del planificador es maximizar la capacidad del sistema mientras administra requerimientos de QoS como latencia y throughput en las ATs. El planificador maneja además la equidad entre ATs, que puedan tener una calidad de enlace muy dispareja, pudiendo soportar diversas eficiencias espectrales instantáneas. Los detalles de la implementación del planificador se encuentran fuera del alcance de este estándar pero el diseño debe permitir características como planificación de sub-banda, MIMO, precodificación, FFR (Fractional Frequency Reuse), enlace reverse casi-ortogonal, beamforming y SDMA.

Los recursos del sistema son asignados en unidades de puertos de salto, donde un puerto de salto es un recurso estadístico establecido sobre una subportadora física. Un AP asigna a cada AT un grupo de puertos de salto utilizando un mecanismo de salto en frecuencia a través del tiempo. El salto en frecuencia es implementado al tener métodos de ubicación de puertos de salto a subportadoras que varíen en el tiempo.

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Para reducir el overhead requerido para la especificación de grupos de puertos de salto del sistema, se define una cantidad finita de IDs de canal, asignados a grupos específicos de puertos de salto y son utilizados para comunicar asignaciones a las ATs.

La estructura de asignación de canales se encuentra definida a través de un árbol de canales. A cada nodo del árbol se le asigna un ID de canal y cada nodo base del árbol un grupo de puertos de salto. La asignación de nodos base a grupos de puertos de salto es aleatorio en tiempo y se produce en salto de frecuencia para cada asignación.

Para reducir el overhead de señal, el sistema utiliza HARQ Sincrónico. Con HARQ sincrónico los recursos para retransmisiones sucesivas no se planifican independientemente.

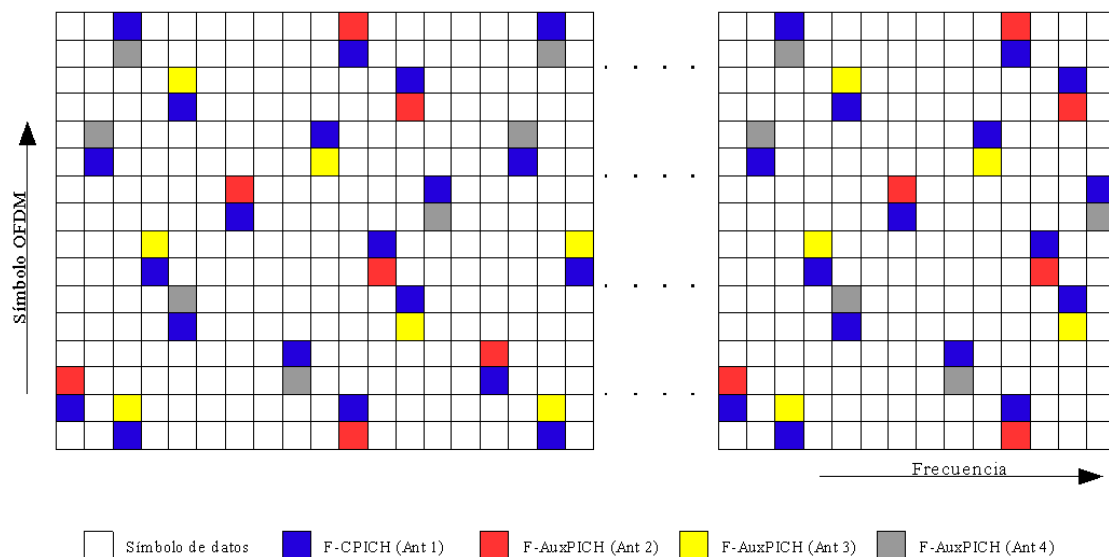
1.2.2.3.2. Modos de Saltos¹

El estándar propuesto soporta dos modos de saltos: salto de tasa de símbolos SRH (Symbol Rate Hopping) y salto de bloque BH (Block Hopping).

El FL soporta SRH y BH, mientras que el RL soporta únicamente el modo BH.

En SRH, las subportadoras asignadas a un usuario se encuentran esparcidas sobre la banda de frecuencia. La permutación de salto que ubica los puertos de salto asignados en frecuencias cambia cada dos símbolos OFDM. Esta permutación cambia independientemente a través de los sectores.

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

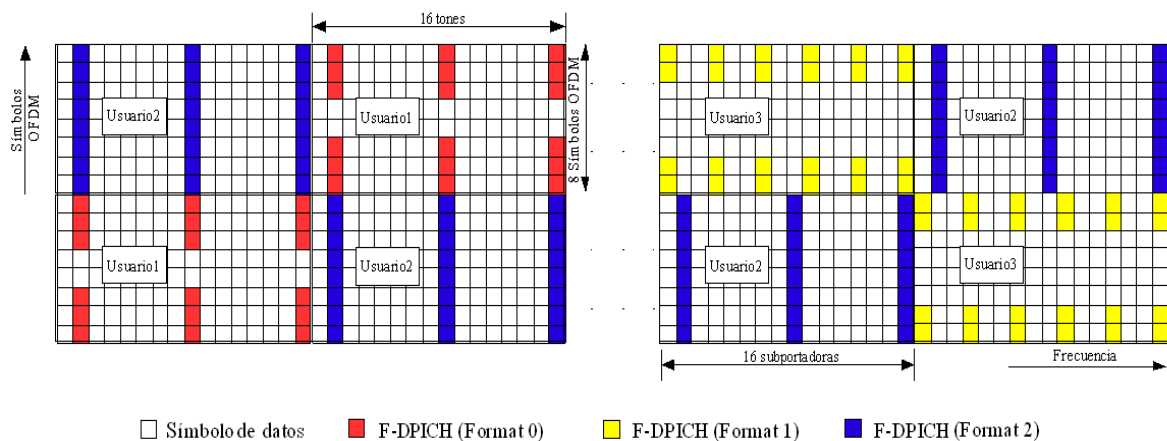


Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.15. – Ejemplo de salto de tasa de símbolo

En este modo se asigna a cada usuario en el sector un CPICH para estimación de canal. En este canal se asigna a cada símbolo OFDM recursos de ancho de banda y potencia variable. Los pilotos son espaciados equitativamente en frecuencia y escalonados sobre símbolos OFDM consecutivos. La potencia del canal piloto se establece de modo que se provean suficientes recursos de estimación de canal a usuarios que se encuentren en el límite de la celda. La estimación para múltiples antenas de transmisión se soporta definiendo canales PICH Auxiliares. Estos canales se multiplexan en tiempo para soportar múltiples antenas de transmisión.

En el modo BH, para FL, a los usuarios se les asignan 16 portadoras contiguas aleatoriamente distribuidas a través de la banda de frecuencia. La asignación entre puertos de salto y frecuencia se mantiene constante a través de la trama de capa PHY. Cada set define una región de salto que consiste de 16 subportadoras contiguas y 8 símbolos OFDM contiguos.



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.16. – Ejemplo de salto de bloque

Los símbolos pilotos se encuentran sobre un patrón predefinido sobre la malla bidimensional (Símbolos OFDM vs. Frecuencia). Existen tres patrones de pilotos como se lo indica en la Figura 1.16. El Formato 0 es el patrón por defecto y es utilizado al transmitir a usuarios capaces de soportar solo una capa espacial de multiplexación. El Formato 1 es utilizado para el soporte de usuarios con canales con alta dispersión de retardo. El Formato 2 es utilizado por usuarios MIMO con 4 capas. Los símbolos piloto son utilizados para la estimación de interferencias así como para estimar el canal sobre un símbolo de datos dentro de una región de salto utilizando interpolación de tiempo y frecuencia. En el ejemplo, el formato 0 utiliza 18 pilotos con SIMO y MIMO, el formato 1 utiliza 24 pilotos con alta dispersión de retardo y el formato 2 utiliza 24 pilotos con MIMO.

Para el RL, el funcionamiento de BH es similar con la diferencia de que se utiliza únicamente dos formatos en vez de tres similares a los formatos 0 y 1. Los símbolos pilotos se utilizan para estimar la interferencia y el canal sobre cada símbolo de datos dentro de una región de salto usando interpolación de tiempo y frecuencia. Estos formatos pueden soportar transmisiones en RL casi-ortogonales con hasta 3 y 2 usuarios superpuestos respectivamente.

SRH maximiza la diversidad de canal e interferencia y provee ventajas en el desempeño de la estimación de canal. BH provee un soporte eficiente para la estimación y anulación de la interferencia, así como técnicas de múltiples antenas como beamforming, pre-codificación y SDMA.

1.2.2.3.3. *Enlace Reverse Casi-Ortogonal*¹

Mientras los esquemas de acceso múltiple ortogonal como OFDMA se benefician de la eliminación de interferencia intra-sector, tienen la desventaja de limitarse en cuando a su dimensión conforme incrementa el número de antenas receptoras en el AP. En comparación a los esquemas de acceso múltiple ortogonal, los esquemas de acceso no ortogonal como DS-SS (Direct Spread-Code Division Multiple Access) limitados en interferencia intra-sector se benefician de un incremento lineal en su capacidad respecto al número de antenas receptoras.

En el sistema propuesto, esta limitación del acceso múltiple ortogonal es mitigada usando un esquema de multiplexación casi-ortogonal donde a múltiples ATs del mismo sector se les asigna los mismos recursos de ancho de banda. El procesamiento espacial con múltiples antenas es usado para recuperar señales de diferentes ATs. De esta manera, se tiene un diseño que retiene los beneficios de un diseño ortogonal cuando el número de antenas es pequeño y ofrece capacidad de escalamiento mejorada con el número de antenas.

El esquema casi-ortogonal propuesto logra la diversidad de interferencia intra-sector a través del salto aleatorio. Cuando un grupo de puertos de salto es asignado a múltiples ATs, cada AT se superpone con un grupo de ATs en cada puerto de salto. Los grupos de ATs son diferentes para diferentes grupos de puertos de salto.

En el modo casi-ortogonal, una posibilidad es utilizar un árbol de canales que contenga un número de sub-árboles idénticos igual al factor de multiplexación y que los nodos base de estos sub-árboles sean asignados aleatoriamente al mismo grupo de bloques tiempo-frecuencia. Para operación ortogonal, cada AT se ubica sobre un solo sub-árbol. Es importante además asegurar la co-existencia de asignaciones casi-ortogonales con asignaciones ortogonales las cuales pueden necesitar altos requerimientos de QoS.

En OFDMA, los recursos de tráfico RL pueden ser asignados en unidades de puertos de salto con pilotos locales ubicados en cada puerto para estimación de canal e interferencia. Se definen unos pocos clusters de pilotos contiguos cuya ubicación es optimizada para reducir los errores de estimación de canal en modo

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

ortogonal y multiplexar las dimensiones de los pilotos de diferentes ATs sobre estos clusters usando códigos ortogonales. Diferentes secuencias de códigos ortogonales se asignan implícitamente a diferentes ATs si cada árbol de canales se asocia con una secuencia ortogonal.

La estructura de pilotos puede también ser utilizada para facilitar la decodificación de transmisiones RL por diferentes sectores de la celda servidora. Este modo de operación conocido como Softer Handoff ayuda a mejorar la cobertura del sistema y el link budget para ATs ubicadas cerca de los límites del sector. En modo ortogonal, diferentes sectores usan la misma multiplexación piloto/símbolo de datos con multiplexación ortogonal de pilotos de diferentes sectores de la misma celda. Esto permite a cada sector extraer de manera exacta el estado de los canales correspondientes a la transmisión RL dentro del sector, así como transmisiones RL provenientes de sectores vecinos, lo que permitiría la asistencia de un sector vecino en la demodulación de tráfico. El desempeño del Softer Handoff puede mejorar cuando se usan varias antenas receptoras en cada sector para habilitar la separación espacial de símbolos de datos transmitidos en diferentes sectores.

1.2.2.3.4. Reuso Fraccional de frecuencias¹

El sistema propuesto ha sido diseñado para ser robusto ante las interferencias de modo que pueda ser desplegado con un reuso de frecuencias universal sobre todos los sectores. El reuso de frecuencias es utilizado de manera frecuente en sistemas limitados por interferencia para mejorar la C/I del canal, mejorando la confiabilidad del enlace en los límites del sector. Sin embargo, el mejorar la calidad del canal produce una reducción del AB.

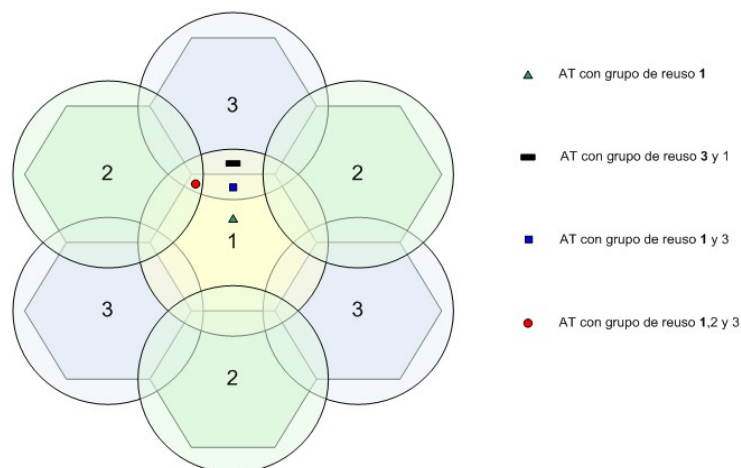
Un esquema de reuso fraccional de frecuencias (FFR), posee un overhead de ancho de banda reducido comparado con los esquemas comunes de reuso de frecuencias. A diferencia de esquemas de reuso de frecuencias tradicionales, en los que la misma frecuencia se utiliza en uno de 3, 7 o 12 sectores, el FFR permite a ATs con diferentes condiciones de canal poseer un factor de reuso de frecuencias diferente. Este método puede ser implementado al impedir las transmisiones de un grupo de subportadoras en cada sector. Un método más

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

general es el tener diferentes restricciones de potencia de transmisión para diferentes grupos de subportadoras.

En el esquema FFR estático, cada AT es asociada con un plan de reuso de frecuencias particular, que corresponde a un grupo de reuso de frecuencias. Los sectores utilizan grupos de reuso de frecuencias de modo que sectores vecinos no compartan un mismo grupo de reuso de frecuencias. El mismo grupo de subportadoras es usado en sectores con el mismo grupo de reuso de frecuencias.

El objetivo del diseño de FFR es desplegar patrones de frecuencia de modo que un AT pueda evitar interferir o ser interferido por sectores no servidores en su grupo de reuso. Como los sectores en el grupo de reuso son aquellos que contribuyen de manera más significativa a la interferencia total en el FL, el evitar interferencia entre estos sectores podría reducir de manera efectiva la interferencia en el sistema.



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology, 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.17. – Ejemplo de esquema de reuso de frecuencias estático

Las ATs reportan mediciones de pilotos FL de sectores vecinos al sector servidor ya sea de manera periódica o cuando la fuerza de algún piloto cambie significativamente. El planificador en el AP puede usar las medidas de pilotos para ubicar a las ATs en grupos de reuso específico en base a los niveles de interferencia observados en los grupos vecinos. Una limitación del algoritmo FFR estático es el número limitado de portadoras en cada grupo de reuso, limitando la tasa pico en cada grupo de reuso y reduciendo la eficiencia del sistema.

El esquema FFR dinámico ubica a los ATs en diferentes grupos de reuso, paquete por paquete, reforzando al mismo tiempo la equidad y Qos de diferentes usuarios y flujos. El esquema FFR dinámico requiere información de calidad de canal específica de grupo de reuso sobre todos los grupos de reuso para tomar ventaja de la ganancia por la diversidad de usuario y por evitar interferencia FFR de manera simultánea.

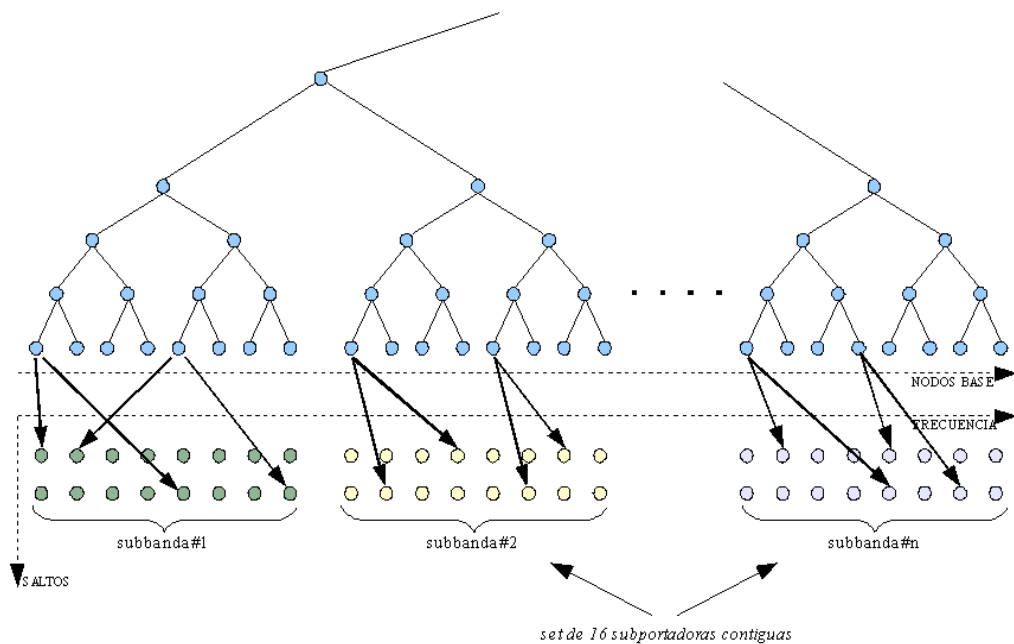
FFR también es aplicado en el RL para reducir la interferencia proveniente de los interferentes más dominantes en un sector. La transmisión de los Handoff de ATs pueden ser ortogonalizados cuando el sector está siendo interferido. Los usuarios MIMO pueden beneficiarse de las mejoras en el SNR provistas por FFR, ya que un SNR mejorado produce mayor ganancia en capacidad sobre canales de mayor dimensión. FFR podría aliviar potencialmente la interferencia interna a la AP al ortogonalizar transmisiones de ATs servidas por sectores vecinos.

1.2.2.3.5. Planificación de subbanda¹

Al ubicar múltiples ATs en canales selectivos de frecuencia, la capacidad del sistema puede ser incrementada al ubicar cada AT en una subbanda escogida en base a la respuesta de frecuencia de su canal actual.

El tamaño de la subbanda debe proveer suficiente diversidad de potencia para prevenir la degradación del desempeño en ATs de alta movilidad. Otra implicación de tener subbandas muy estrechas es la pérdida de eficiencia truncada, ya que habrían menos ATs candidatos a ser ubicados por subbanda. En base a estas consideraciones, el sistema utiliza un tamaño de subbanda de alrededor de 1.25MHz. Además, cuando un AT es ubicado dentro de una subbanda con una asignación de ancho de banda inferior al de la subbanda, esta asignación salta localmente a través de la subbanda maximizando la diversidad de interferencia y canal. Se definen árboles de canales con saltos locales, donde todos los nodos principales que albergan 8 nodos base se asignan a subbandas fijas de 128 subportadoras contiguas. Sin embargo, canales correspondientes a nodos base que se encuentren bajo de los nodos principales saltarán a través de la subbanda.

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.18. – Estructura de árbol de canales para soporte de planificación de subbanda

Adicionalmente al modo de planificación de subbanda, el sistema puede ser operado en un modo de diversidad en donde los nodos base de los árboles de canales saltan a través de toda la banda. El modo de diversidad puede ser preferido en sectores que sirven de manera predominante a usuarios con alta movilidad, reduciendo la diversidad de interferencia y canales.

Para soportar planificación de subbanda, el AT debe proveer un feedback de las propiedades de los canales FL relativos a las diferentes subbandas. La cantidad de feedback debe balancear las ganancias de desempeño FL debido a la planificación de subbanda con el overhead RL causado por canales de feedback. El canal de control R-SFCH, incluye un índice de subbanda de 4 bits usado por el AT para indicar la subbanda preferida, pudiendo existir hasta 16 subbandas en 20MHz. Una versión extendida del R-SFCH incluye un indicador de calidad de canal de subbanda además del índice de subbanda.

1.2.2.3.6. Ancho de banda escalable¹

Para el caso de anchos de banda de gran despliegue, es deseable el soporte de ATs que no sean capaces de demodular por completo el ancho de banda,

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

manteniendo las ventajas de un ancho de banda de gran despliegue como son las altas tasas picos de las ATs capaces de demodular el ancho de banda completo. El sistema propuesto provee este soporte a través del modo MultiCarrierOn, a través del cual todo el ancho de banda se divide en múltiples portadoras, cada una de 512 subportadoras. Un despliegue de 20MHz, que cubre 2048 subportadoras llevaría 4 portadoras. Cada portadora posee subportadoras de guarda en sus límites, conocidas como subportadoras de casi-guarda. Cada portadora se comporta como un sistema independiente de 512 subportadoras y contiene sus propios recursos de control FL y RL. Canales de overhead independientes son enviados sobre cada portadora. Una AT capaz de demodular simultáneamente todas las portadoras puede ser planificada dinámicamente sobre una o más portadoras de una trama PHY. Como una AT puede ser planificada de manera simultánea sobre todas las portadoras, las tasas pico en este sistema son similares a aquellas obtenidas en el modo MultiCarrierOff (sin división en múltiples portadoras). ATs capaces de demodular un subconjunto de portadoras pueden cambiar de un subconjunto a otro en una trama PHY. Por lo tanto, este modo soporta tiempos de conmutación muy cortos, lo que resulta muy útil para propósitos de balanceo de carga y para obtener ganancias estadísticas de multiplexación. Los símbolos de multiplexación recibidos de estas portadoras se combinan en una trama MAC.

1.2.2.3.7. Control de Potencia¹

Una frecuencia de control de potencia de 150Hz o mayor es suficiente para las condiciones generales del canal. Esto implica que un AT puede estar recibiendo un bit de control de potencia cada seis tramas PHY.

El R-CQICH sirve como nivel de potencia de referencia para las transmisiones de tráfico RL, lo que ayuda a controlar la interferencia entre portadoras y asegurar un nivel de potencia apropiado para una tasa de datos RL mínima. Para el R-CIQCH se asigna un algoritmo de control de potencia de lazo cerrado, transmitido periódicamente sobre el RL, para llevar un número limitado de bits de información de calidad del canal FL en cada palabra código.

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Como las transmisiones en el canal de tráfico se realizan desde diferentes terminales ocupando diferentes dimensiones en tiempo y frecuencia, no es deseable tener una gran diferencia en la potencia recibida a través de las diferentes subportadoras, ya que esto incrementaría los requerimientos de rango dinámico del receptor, pudiendo causar además una pérdida en la ortogonalidad con errores de tiempo y frecuencia. En una distribución multisector, interferencia inter-sector alta puede reducir de manera drástica la capacidad de la red. Por lo tanto, es necesario controlar estrictamente los niveles de potencia de transmisión.

Como el sistema propuesto utiliza acceso múltiple ortogonal para los canales de tráfico, los sectores servidores carecen de información respecto a la interferencia inter-sector causada por el tráfico RL originado desde este sector. Por estas razones es deseable tener un algoritmo de control de interferencia implementado en un AT donde la información de interferencia pueda estar disponible. En el sistema propuesto, una indicación de carga es enviada como broadcast en cada supertrama sobre el F-OSICH de cada sector cuando la interferencia promedio es excedida. La cantidad de interferencia inter-sector por subportadora causada por un AT se determina gracias al nivel de potencia utilizado por el AT y su ubicación con respecto a los sectores vecinos. Para los canales de tráfico, el control de potencia puede realizarse de manera que a cada AT se le permita transmitir a un nivel de potencia tan alto como sea posible, manteniendo la interferencia intra-sector e inter-sector dentro de niveles aceptables.

1.2.2.4. Mecanismos de Múltiples Antenas

1.2.2.4.1. MIMO¹

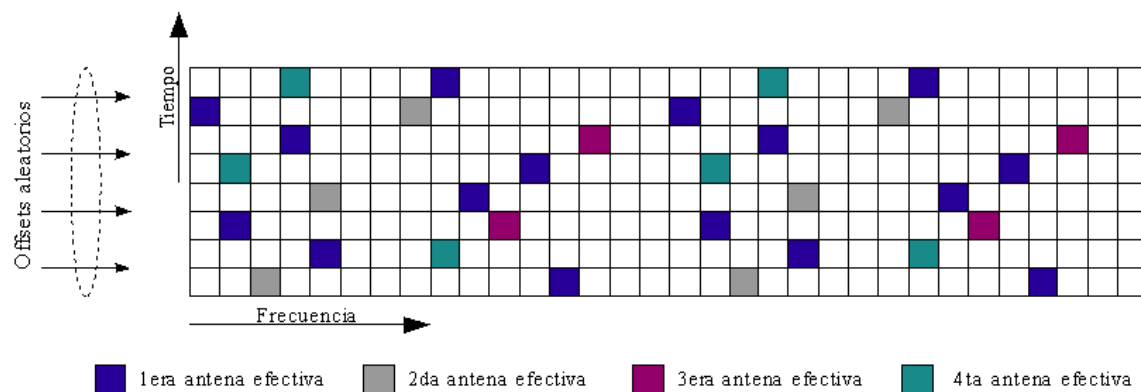
El sistema propuesto soporta técnicas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) lo que permite incrementar la eficiencia espectral a través de la utilización de multiplexación espacial. El AP crea múltiples señales usando un grupo de antenas físicas, en donde cada señal es referida como una antena efectiva. 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

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

ello que todos los amplificadores de potencia en el AP sean utilizados equitativamente. Las transmisiones SIMO 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, el número de antenas efectivas es un parámetro de todo el sector que puede adaptarse de acuerdo con el SNR 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 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 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 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.



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.19. – Ejemplo de la estructura de pilotos para el caso de 4 antenas efectivas

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 sólo 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 Multiple CodeWord (MCW) que funcionan para TDD y FDD respectivamente. Para SCW una palabra código se transmite en el dominio frecuencia-espacio. Para el modo MWC, múltiples flujos de datos codificados son transmitidos simultáneamente.

1.2.2.4.2. *Beamforming para TDD*¹

En un sistema TDD, las transmisiones en FL y RL se encuentran en el mismo espectro, de modo que el principio de reciprocidad permite la estimación del canal FL a través de las transmisiones pilotos en el RL.

En sistemas con múltiples antenas de transmisión y una antena en la recepción, beamforming provee incremento en el SINR. Para MIMO puede utilizarse eigen-beamforming, en el cual varias capas transmitidas a un usuario pueden estar

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

señalizadas sobre la señal característica del canal. La ganancia alcanzable es notoria cuando el número de capas transmitidas es inferior al número de antenas de transmisión en el AP, al igual que en el caso en el que el número de antenas de transmisión en el AP es mayor al número de antenas de recepción en el AT.

El AP obtiene información de canal FL a partir de las transmisiones piloto RL. Con una sola cadena de transmisión en el AT, las transmisiones piloto permiten realizar estimación de canal a una sola antena en el AT. Además, en canales selectivos de frecuencia, las transmisiones piloto RL deben proveer información de canal de banda ancha.

El Canal de control RL lleva los canales CQI así como R-PICH, transmitidos usando secuencias CDMA sobre las subbandas asignadas al segmento del canal de control RL disponible aproximadamente cada 5.5ms. El canal de control RL ocupa un número contiguo de subbandas, cada una de las cuales es de 1.25MHz. Estas subbandas saltan a través de la portadora en una manera predefinida de manera que es posible obtener información de banda ancha sobre el rango completo de frecuencias al recolectar pilotos RL sobre transmisiones sucesivas. El soporte de precodificación provisto a través de los canales R-BFCH y R-SFCH puede utilizarse para mejorar el desempeño. Debido a que todo el canal FL puede ser estimado en el AT, se puede utilizar el R-BFCH en un feedback de las direcciones de precodificación deseadas. Esta información, junto aquella provista por los pilotos RL puede ser utilizada por el AP para adaptar de manera apropiada el beamforming FL.

1.2.2.4.3. Precodificación¹

En los sistemas TDD, las transmisiones FL y RL se encuentran en la misma región de frecuencias de modo que el principio de reciprocidad permite estimar el canal FL con la ayuda del canal RL, permitiendo al AP extraer la ganancia de beamforming de transmisión sobre el FL cuando se encuentran disponibles múltiples antenas en el AP. En los sistemas FDD, las transmisiones RL y FL se encuentran en frecuencias ampliamente separadas, por lo cual los canales FL y RL pueden atenuarse independientemente. En consecuencia, las estimaciones del canal RL no proveen información instantánea del canal FL. Las ganancias de

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

beamforming de transmisión son posibles a través de un feedback explícito de la información de canal FL sobre el RL y usando esta información para transmitir datos en la dirección deseada a cada usuario. Esta técnica se conoce como precodificación, y también tiene valor en un sistema TDD donde el feedback de RL puede ser utilizado para mejorar la información del canal FL disponible a través de los pilotos RL. La precodificación se usa en un sistema en modo BH en el canal de datos del FL. En sistemas SIMO, la precodificación provee ganancia de beamforming y mejora la capacidad y cobertura, mientras en sistemas MIMO activa eigen-beamforming.

El overhead resultante para soportar la precodificación puede ser excesivo, lo cual puede ser solucionado usando un canal piloto de banda ancha de bajo overhead en el FL que permita la estimación precisa de la información de canal requerida para la precodificación. Los requerimientos de overhead de RL se mitigan al intercambiar la ganancia de precodificación con una reducción del overhead usando técnicas de cuantización.

Los pilotos de banda ancha se transmiten sobre el FL a través de todas las antenas físicas posibles aproximadamente cada 5.5ms. El canal piloto permite estimar canales selectivos en frecuencia y espacio en el AT y provee información necesaria para que el AT calcule la información de canal FL a ser reenviada al AP sobre el canal en el segmento de control RL.

1.2.2.4.4. SDMA²

SDMA (Space Division Multiple Access), acceso múltiple por división de espacio, es una técnica de transmisión avanzada utilizada en el FL, en la cual a múltiples usuarios les son asignados los mismos recursos tiempo-frecuencia. Una de las características de SDMA es la apertura de nuevas dimensiones al reducir el SINR.

Cuando existen múltiples antenas de transmisión disponibles para el AP, estas pueden ser utilizadas para reducir la interferencia intra-sector en el modo SDMA, al transmitir simultáneamente a usuarios superpuestos usando señales definidas apropiadamente para cada usuario. Estas señales dependen del grupo de

² Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

usuarios superpuestos y de sus canales espaciales. La interferencia intra-sector depende a su vez de las señales de los usuarios superpuestos. Es preferible superponer usuarios con firmas espaciales suficientemente diferentes a tener que buscar métodos para mitigar la interferencia intra-sector.

En un sistema FDD, la disponibilidad de información del canal FL en el AP es provista a través de los canales de feedback sobre el RL, mientras que en un sistema TDD, la información se encuentra disponible a través de los pilotos RL.

En un medio WAN, se puede lograr una ganancia SDMA con técnicas de manejo intra-celda apropiadas. Un requerimiento indispensable es proveer información sobre el canal FL que permita al AP agrupar a los usuarios en múltiples grupos. El AP necesita además realizar cálculos que permitan ubicar a los usuarios superpuestos sobre los grupos de señales apropiados. El sistema debe soportar la operación híbrida, soportando simultáneamente usuarios en modo de precodificación, en modo SDMA, en modo MIMO, y proveer soporte a los canales de control de broadcast.

Para TDD, la agrupación de usuarios se basa en la información de canal FL obtenida de los pilotos RL. Para FDD, la agrupación se basa en la información obtenida por un feedback del RL similar al definido para la precodificación.

En el modo SDMA, se requiere que el AT indique la señal preferida de un cluster SDMA y realice un feedback de la calidad de canal asociada con esa señal. El F-CPICH se utiliza para estimar la respuesta de broadcast en el dominio de la frecuencia del canal sobre todas las antenas físicas de transmisión, pudiendo calcular la calidad de las señales de entrada del grupo de códigos.

Cada usuario en modo SDMA, reporta un índice de señal preferido contenido en un cluster SDMA específico que se encuentra dentro del grupo de códigos. Los usuarios correspondientes al mismo cluster SDMA poseen características espaciales similares, por lo que son ubicados siempre de modo ortogonal entre si (en un mismo árbol de canales), impidiendo su superposición. Un sub-árbol se asigna a cada cluster SDMA. Los puertos de salto dentro de un sub-árbol se ubican para separar las subportadoras. Como todos los sub-árboles se ubican dentro de la misma región de frecuencias, los usuarios de diferentes subárboles pueden superponerse entre si. Los puertos de salto asignados a usuarios no

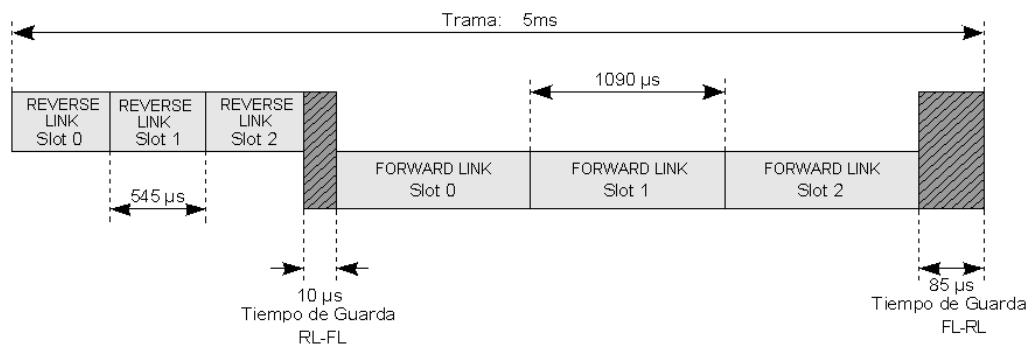
SDMA en el sub-árbol primario no son usados en ningún otro sub-árbol. Mantener la misma permutación que ubica los puertos de salto en los sub-árboles permite flexibilidad en la planificación y soporte de operación híbrida.

1.2.2.5. Modo 625k-MC

1.2.2.5.1. Estructura de la trama¹

La capa L1 del modo 625k-MC, que corresponde a la capa física, se caracteriza por una estructura TDD/TDMA con una longitud de trama de 5ms. Cada trama contiene tres bursts RL y tres burst FL. Todos los canales lógicos de esta AI se mapean sobre esta estructura. Con el fin de proveer una alta eficiencia espectral, varios aspectos de L1 son diseñados específicamente para soportar el uso efectivo de antenas adaptables. Secuencias para SDMA son incorporadas en ciertas estructuras de burst.

La estructura de la trama TDD/TDMA del modo 625k-MC se encuentra diseñada para el despliegue en una canalización angosta de frecuencia (625kHz) con una tasa constante de $2\mu\text{s/símbolo}$ a través de la trama.



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

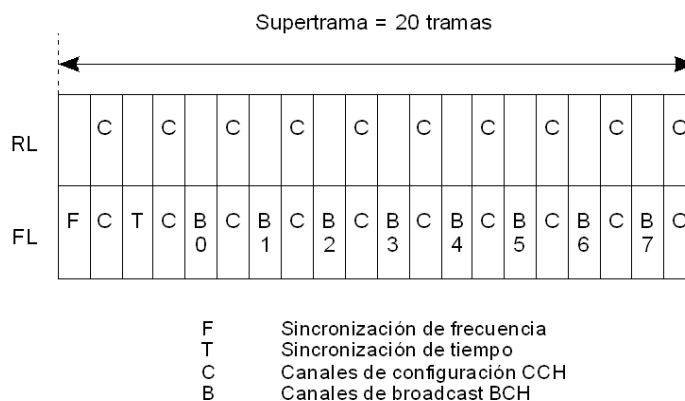
Figura 1.20. – Estructura transmisor-receptor para MWC MIMO

Los canales lógicos son ubicados sobre los canales físicos dentro de la estructura de la trama. La Figura anterior muestra un tiempo de guarda FL-RL que corresponde al periodo de extensión para un rango de 12.7km, distancia del área de cobertura metropolitana de un sistema MBWA.

Todas las redes TDD requieren una buena sincronización entre los APs de la red. Cualquier referencia de tiempo debe tener una estabilidad de ± 1 periodo de

¹ Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology Overview. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

símbolo y estar disponible para toda la red fines la sincronización. Una portadora única y un par de slots de tiempo son reservados a través de toda la red para el envío en broadcast de la estructura de supertrama. La supertrama se encuentra sincronizada con todos los APs de la red.

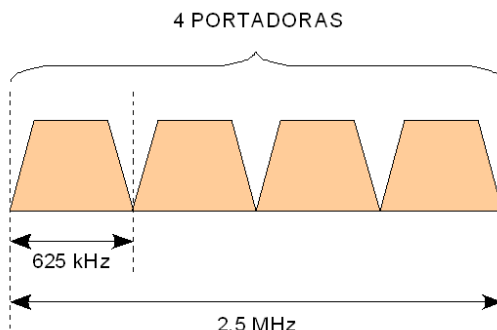


Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology Overview. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

Figura 1.21. – Estructura de la supertrama

El slot FL específico de grupo es el BCH para todos los APs de ese grupo. La adquisición del BCH dentro de un grupo de APs funciona mejor si la interferencia de otros APs del mismo grupo es minimizada. Al menos siete grupos de APs son requeridos para asegurar que solo un AP transmita durante el slot asignado al grupo. Los ocho grupos de APs de MBWA son convenientes para el despliegue conforme la red vaya evolucionando.

Tasas de símbolo RL y FL son de 500 ksímbolos/s en todas las circunstancias, y se emplea un filtro coseno de raíz elevada al 25%, lo que lleva a un espaciamiento entre portadoras de 625kHz.

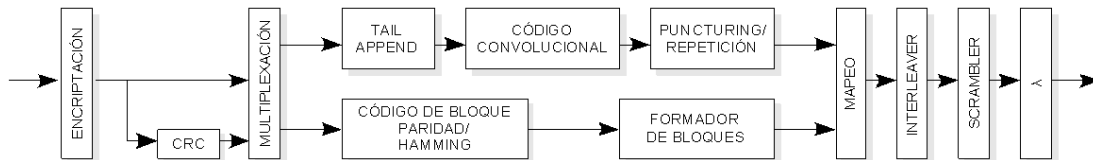


Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology Overview. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

Figura 1.22. – Ejemplo de Carrier Aggregation en una asignación de bloque de 2.5MHz

El recurso físico básico en el sistema es una canal espacial que consta de una portadora, un par de slots de tiempo RL y FL, y un índice de canal espacial. El procesamiento de múltiples antenas y antenas adaptables hace posible el soporte simultáneo de múltiples canales espaciales en el mismo canal convencional.

1.2.2.5.2. Proceso de Transmisión¹



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

Figura 1.23. – Diagrama de bloques del esquema de codificación con control de errores

La capa física para el modo 625k-MC soporta diferentes tasas de datos al seleccionarlas entre varios esquemas de codificación y modulación. La Figura 1.23. ilustra el sistema de modulación codificada que logra tasas entre 0.5 a 5.5 bit/símbolo. Existen ocho esquemas de codificación posibles: BPSK, QPSK, 8-PSK, 12-QAM, 16-QAM, 24-QAM, 32-QAM y 64-QAM. Se emplea un rango de combinaciones de modulación conocidas como ModClasses para maximizar el throughput sujeto a condiciones del enlace y de FER (Frame Error Rate).

ModClass	Bits/Símb	Método de modulación	Puncturing	Formador de bloques	Código de bloque
0	0.5	BPSK	Repetición		
1	0.67	BPSK	1 de 4		
2	1	QPSK			
3	1.5	QPSK	2 de 6		
4	2	8-PSK			(64,57)
5	2.5	8-PSK			(64,57)
6	3	12-QAM	2 de 6	3/4	(48,47)
7	3.5	16-QAM	2 de 6	4/4	(64,63)
8	4	24-QAM	2 de 6	5/4	(80,79)
9	4.5	32-QAM	2 de 6	5/5	(80,79)
10	5.5	64-QAM	2 de 5	6/6	(80,79)
11-15	RESERVADOS				

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

Tabla 1.11. – Modulación y tasas de código para los diferentes ModClasses

¹ Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology Overview. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

La codificación la provee un código convolucional de tasa $\frac{1}{2}$ combinado en algunas ocasiones con un código de bloque. El código de bloque puede ser de paridad (para los ModClasses 6, 7, 8, 9 y 10) o de Hamming (para los ModClasses 4, 5). En algunas clases (ModClasses 1, 3, 6, 7, 8, 9 y 10) se aplica puncturing para incrementar la tasa del código convolucional a $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ o $\frac{5}{6}$, mientras que en el ModClass 0 se aplica repetición. Las ModClasses 6, 7, 8, 9 y 10 emplean un formador de bloques para generar los grupos de señales 12-QAM, 16-QAM, 24-QAM, 32-QAM y 64-QAM.

ModClass	Método de modulación	Forward link (kbps)		Reverse link (kbps)	
		Tasa de datos / Slot	Tasa de datos / portadora	Tasa de datos / Slot	Tasa de datos / portadora
0	BPSK	35	106	6	19
1	BPSK	50	149	13	38
2	QPSK	82	245	26	77
3	QPSK	126	379	43	130
4	8-PSK	162	485	58	173
5	8-PSK	198	595	72	216
6	12-QAM	262	787	98	293
7	16-QAM	307	922	115	346
8	24-QAM	354	1061	133	398
9	32-QAM	378	1133	142	427
10	64-QAM	498	1493	190	571

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

Tabla 1.12. – Tasas de datos por usuario por ModClass

La Tabla 1.12. indica las tasas de datos por usuarios máximas para cada clase de modulación. Esta tabla indica tasas de datos que se logran con un solo slot y con agregación de tres slots usando una sola portadora de frecuencia para RL y FL.

1.2.2.5.3. Soporte de antena adaptable¹

En una trama, los slots RL se juntan antes de los slots FL de manera que la firma espacial FL puede incorporar el estimado de la firma RL recibida. Cada slot RL se empareja con un slot FL. La duración entre estos slots emparejados es de aproximadamente 1.2 ms lo que previene que las condiciones del canal degraden el nivel de reciprocidad del canal existente entre los slots RL y FL. Por lo tanto, la duración de la trama también es pequeña (aprox. 5 ms). El ancho de banda por portadora es relativamente angosto (625 kHz) lo que permite algoritmos de antena

¹ Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology Overview. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

adaptable de baja complejidad. En un par portadora-slot de tiempo dado, a cada usuario se le asigna una secuencia de aprendizaje única diseñada para estimar de manera precisa la propagación de canal. Cada terminal de usuario en un canal convencional que use SDMA usa una secuencia de aprendizaje diferente de un grupo seleccionado con buenas propiedades de correlación. La correlación cruzada entre las secuencias de aprendizaje es muy baja.

Generalmente, el desempeño de los arreglos adaptables es determinado por el número de elementos de antena. En el modo 625k-MC, el AP puede tener 12 o 9 antenas mientras que el AT puede tener 1, 2 o 4 antenas.

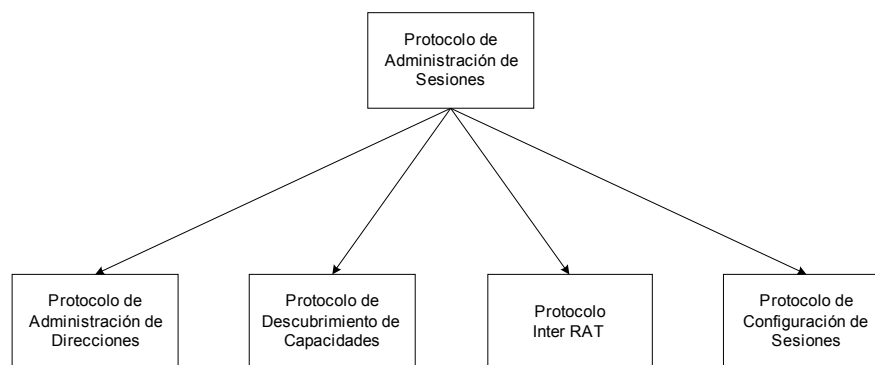
1.2.3. ESPECIFICACIONES DE CAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

1.2.3.1. Arquitectura de capas y protocolos¹

Según el proyecto de estándar planteado al momento, la capa de control de Acceso al Medio (MAC) se subdivide en seis subcapas, tres de ellas contienen protocolos portadores y tres de ellas contienen protocolos no portadores. Las subcapas que contienen protocolos portadores son la Subcapa de Convergencia, la Subcapa de Seguridad y la Subcapa MAC Inferior, mientras que aquellas que contiene protocolos no portadores son la Subcapa de Control de Sesión, la Subcapa de Control de Seguridad y la Subcapa de Control MAC Inferior.

1.2.3.1.1. Subcapa de Control de Sesión

Contiene protocolos no portadores usados para negociar una sesión entre el AT y la AN. Provee administración del UATI, negociación y configuración de protocolos y servicios de mantenimiento de estados. Al ser una capa no portadora no lleva payload en nombre de otras capas. La Figura 1.24 indica la relación existente entre protocolos de la Subcapa de Control de Sesión.



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

Figura 1.24. – Relación entre Protocolos de la Subcapa de Control de Sesión

Protocolo de Administración de Sesión: Provee los medios de control de activación y desactivación del Protocolo de Administración de Direcciones, Protocolo de Descubrimiento de Capacidades y Protocolo de Configuración de Sesión. También provee mecanismos que permiten mantener activas las sesiones. Este protocolo utiliza el Transporte de Señalización para transmitir y recibir mensajes. El comportamiento e intercambio de mensajes en cada estado

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.pdf

depende de los protocolos activados por este protocolo. Estos protocolos devuelven indicaciones que activan las transiciones de estado.

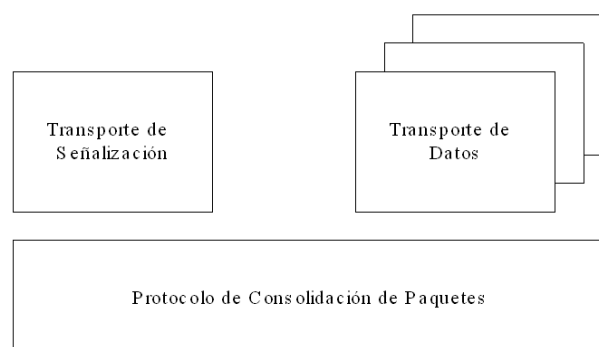
Protocolo de Administración de Direcciones: Provee la asignación del UATI inicial y el mantenimiento del UAT del AT mientras este se mueve entre subredes. Este protocolo utiliza transporte de señalización para transmitir y recibir mensajes.

Protocolo de Configuración de Sesión: Provee los medios para negociar el Session Configuration Token usado en la sesión. Utiliza transporte de señalización para transmitir y recibir mensajes. El Session Configuration Token (16 bits) define un grupo completo de protocolos y casos de transporte que pueden ser usados para la comunicación entre el AT y la AN. Un caso de transporte consiste en un subtipo de protocolo, datos públicos dinámicos y valores de atributos y se encuentra relacionado con un transporte en el Protocolo de Consolidación de Paquetes.

Protocolo de Descubrimiento de Capacidades: Provee los medios para que la AN descubra las capacidades del AT. Este protocolo utiliza transporte de señalización para transmitir y recibir mensajes.

Protocolo Inter Radio Access Technology (RAT): Este protocolo permite a la AN y al AT enviar mensajes hacia otras tecnologías de acceso de radio. Utiliza transporte de señalización para transmitir y recibir mensajes.

1.2.3.1.2. Subcapa de convergencia



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

Figura 1.25. – Relación entre Protocolos de la Subcapa de Convergencia

Provee protocolos y transportes usados para transportar mensajes y datos entre el AT y la AN, y multiplexación de los diferentes transportes. Se considera extensible en el sentido de que nuevos transportes pueden ser definidos para

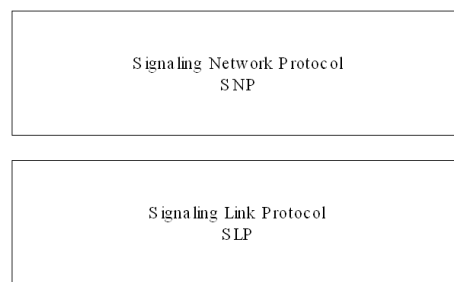
llevar otro tipo de paquetes.

Transporte de Señalización

Provee los medios para transportar mensajes entre un protocolo/transporte en una entidad al mismo protocolo/transporte en otra entidad. El Transporte de Señalización por defecto incluye un protocolo de mensajes (Signaling Network Protocol SNP) y un protocolo de capa de enlace (Signaling Link Protocol SLP) que proveen fragmentación, retransmisión y detección de duplicados de mensajes.

SNP provee un encabezado de un octeto que define el tipo de protocolo o transporte con el cual el mensaje es asociado. SNP utiliza este encabezado para enrutar los mensajes hacia el protocolo o transporte adecuado.

SLP provee fragmentación de mensajes, entrega de mensajes confiable y detección de duplicados para mensajes entregados en modo confiable.

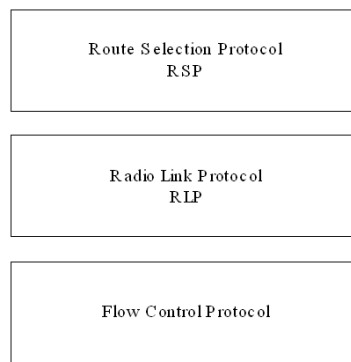


Fuente: MBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, C802.20-06-04.

Figura 1.26. – Relación entre Protocolos del Transporte de Señalización por Defecto

Transporte de Paquetes (Datos)

Provee transmisión de datos de capas superiores y flujos de paquetes conocidos como Link Flows que pueden ser usados para transportar paquetes entre el AT y la AN. Cada Link Flow provee dos rutas para la transmisión y recepción de payloads de capas superiores, cada una asociada con un par transmisión/recepción. El Transporte de Datos por defecto incluye un protocolo de capa 2 (Radio Link Protocol RLP) que provee fragmentación, retransmisión y detección de duplicados, un protocolo de detección de ruta (Route Selection Protocol RSP) que provee dos rutas para un flujo de paquetes de capa superior y permite el handoff de capa 3, y un Protocolo de Control de Flujo que provee control de flujo del tráfico de datos.



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

Figura 1.27. – Relación entre Protocolos del Transporte de Datos por Defecto

Protocolo de Consolidación de Paquetes

Provee la multiplexación de diferentes transportes para un AT, la priorización de transmisiones y encapsulado de paquetes, y consolidación de paquetes en la transmisión y de-multiplexación de paquetes en la recepción. El Protocolo de consolidación de Paquetes por defecto provee 8 transportes, cada uno de los cuales asigna a un transporte de soporte de datos como Transporte de señalización o Transporte de datos. El primer transporte siempre lleva señalización, mientras que el resto pueden ser usados para llevar el Transporte de Paquetes por defecto para el soporte de diferentes requerimientos de QoS, transportes de datos y otros transportes. Aumenta un encabezado al paquete de transporte antes de transmitirlo, y lo remueve luego de la recepción para enviarlo al transporte correcto. Provee a la Subcapa de Convergencia prioridad en la transmisión y encapsulado de paquetes.

1.2.3.1.3. Subcapa de Control de Seguridad

Provee intercambio de claves utilizando el Protocolo de Intercambio de Claves y maneja la Subcapa de Seguridad. Al proveer intercambio de claves provee los procedimientos que la AN y el AT deben seguir para intercambiar entre ellos claves de seguridad para autenticación y encriptación.

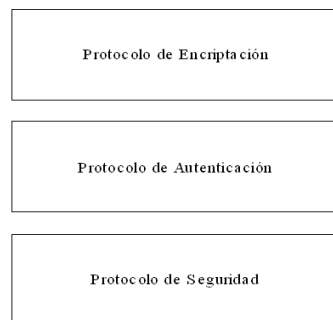
Protocolo de Intercambio de Claves

Provee los procedimientos que deben seguir la AN y el AT para el intercambio de claves de seguridad utilizadas en la autenticación y encriptación, a través de un procedimiento de intercambio de claves de cuatro vías. Este protocolo provee el método para una generación simultánea de claves de sesión en el AT y la AN. La

clave de sesión se deriva de un PMK (Pairwise Master Key) negociado por protocolos de capa superior y se asume disponible por parte del AT y la AN. Este protocolo asume casos en los que pueden existir varios PMKs. El procedimiento de derivación de PMK se encuentra fuera del alcance del estándar. La clave de sesión es utilizada para derivar la clave MIC, la clave de autenticación y la clave de encriptación. La clave MIC es utilizada para verificar el intercambio de cuatro vías de este protocolo. Este protocolo también provee métodos y mensajes para cambio de clave de sesión luego de que una sesión ha sido establecida.

1.2.3.1.4. Subcapa de Seguridad

La Subcapa de Seguridad genera el Cryptosync, utilizado por los protocolos de autenticación y encriptación, y procedimientos de autenticación y de encriptación.



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

Figura 1.28. – Relación entre Protocolos de la Subcapa de Seguridad

Protocolo de Encriptación por Defecto

Este protocolo no altera el payload del paquete proveniente de la Subcapa de Convergencia, y no aumenta ni encabezado ni trailer. Transfiere paquetes entre el Protocolo de Autenticación y el Protocolo de Seguridad.

Protocolo de Encriptación Genérico

Provee los procedimientos que deben seguir la AN y el AT para encriptar paquetes de la Subcapa de Convergencia y desencriptar paquetes del Protocolo de Autenticación, utilizando AES.

Protocolo de Autenticación

Provee un método para la autenticación de paquetes al aplicar en el transmisor y chequear en el receptor la función de autenticación de mensajes HMAC-SHA256¹,

¹ Definido en el RFC 2104 con SHA256 como algoritmo de procesamiento de mensajes

para enviar bits compuestos del payload del protocolo de autenticación, el cryptosync, junto con las claves de autenticación FL o RL dependiendo del caso.

Protocolo de Seguridad

Realiza tareas de ingreso en modo seguro de operación, donde la AN y el AT ponen seguridades a todos los paquetes unicast transmitidos sobre la AI. Este protocolo genera un cryptosync basado en la información obtenida de la subcapa MAC inferior, disponible públicamente, que puede ser utilizado por el Protocolo de Autenticación y el Protocolo de Encriptación. Este protocolo no aumenta el overhead para el cryptosync.

1.2.3.1.5. Subcapa de Control MAC Inferior

Esta Subcapa controla el estado del enlace aéreo al manejar los estados de los protocolos individuales de Subcapa MAC Inferior, y proveer protocolos individuales de Subcapa MAC con parámetros de operación. En esta Subcapa los protocolos son de control, no llevan datos y utilizan el transporte de señalización para transmitir y recibir mensajes (con excepción del Protocolo de mensajes de overhead que envía bloques de información utilizando la Subcapa MAC Inferior).

Esta subcapa provee funciones relacionadas a la conexión como el manejo de la adquisición inicial de la red, el manejo de la apertura y cierre de conexiones, el mantenimiento de una ubicación aproximada del AT en cualquier estado de conexión, el manejo del enlace de radio entre el AT y la AN cuando la conexión está abierta, y la supervisión en el AT cuando la conexión se encuentra abierta así como cuando se encuentre cerrada. Esta subcapa no encapsula datos.

Protocolo de Administración del Enlace Aéreo

Provee la administración de estados que la AN y el AT siguen para la conexión. Este protocolo provee la máquina de estados generales y reglas para la transición de estados a ser seguidas por un AT y una AN para la Subcapa de control MAC Inferior. Provee la activación y desactivación de protocolos de Subcapa de Control MAC Inferior aplicables a cada estado de protocolo, la respuesta a indicaciones de fallas en la supervisión de otros protocolos y de transiciones de estado asociado de protocolos de Subcapa MAC Inferior y de Subcapa de Control MAC Inferior, y mecanismos con lo que la AN puede redireccionar el AT a otra red.

El comportamiento e intercambio de mensajes en cada estado, es gobernado principalmente por protocolos activados por el Protocolo de Administración del Enlace Aéreo por Defecto. Estos protocolos devuelven indicaciones que activan las transiciones de estados para este protocolo y comparten datos entre ellos de una manera controlada, al hacer los datos públicos. Este protocolo puede encontrarse en uno de tres estados:

- Estado de inicialización: el AT adquiere una AN. No soportado por la AN.
- Estado Idle: La conexión se encuentra cerrada.
- Estado Conectado: La conexión se encuentra abierta.

Protocolo de Estado de Inicialización

Provee los procedimientos y mensajes que un AT requiere para adquirir una red servidora. Este protocolo impone dos requerimientos a un AT que son: seguir la información de banda de canal provista por un mensaje de redireccionamiento del protocolo de administración del enlace aéreo, y prevenir que el AT intente conectarse a ANs sin un número de Revisión de Rango.

Protocolo de Estado Idle

Provee los procedimientos que un AT y una AN utilizan cuando el AT ha adquirido una red y una conexión no está abierta. Este protocolo soporta monitoreo periódico de la red por el AT, permitiendo ahorros de potencia significativos. Los siguientes modos de operación del AT son soportados:

- Operación Continua: El AT monitorea continuamente el Canal de Control.
- Operación Suspendida: El AT monitorea el Canal de Control de manera continua por un periodo de tiempo y luego procede a operar en modo escalonado. Sigue en operación en el Estado Conectado del Protocolo de Administración del Enlace Aéreo y permite una rápida reconexión a la red.
- Modo de Operación Escalonada: El AT monitorea solo supertramas seleccionadas y periodos sleep entre ellas. Este modo soporta operación alternada, donde el intervalo de tiempo entre supertramas monitoreadas por el AT incrementa con el tiempo.

Este protocolo soporta el establecimiento de una conexión, procedimiento realizado siempre por iniciativa del AT.

Protocolo de Estado Conectado

Provee los procedimientos y mensajes que un AT y una AN utilizan mientras una conexión está establecida.

Protocolo de Administración del Active Set

Provee los procedimientos y mensajes usados por el AT y la AN para seguir las ubicaciones aproximadas de las ATs y mantener el enlace de radio mientras el AT se mueve entre áreas de cobertura de diferentes sectores.

Protocolo de Mensajes de Overhead

Provee mensajes de broadcast y bloquea la información contenida que es usada en su mayoría por los protocolos de la Subcapa de Control MAC Inferior.

1.2.3.1.6. Subcapa MAC Inferior

Contiene las reglas para la formulación de paquetes de Subcapa MAC Inferior para transmisiones sobre canales físicos e interpretación de paquetes de Subcapa MAC Inferior provistos por los canales de capa Física. En particular, la Subcapa MAC Inferior contiene las reglas que gobiernan la operación del Forward Traffic Channel y del Reverse Traffic Channel. Adicionalmente, esta subcapa especifica las reglas para controlar y procesar canales de señalización de capa Física sobre los enlaces FL y RL. Cada uno de los protocolos de esta capa puede ser negociado de manera independiente al inicio de la sesión.

Protocolo MAC del Control Channel

Provee los procedimientos seguidos por la AN para transmitir y por el AT para recibir los Canales de Control. El protocolo controla las transmisiones sobre los siguientes canales de capa Física: OSICH, pBCH0 y pBCH1. Esta especificación asume que la AN posee una instancia de este protocolo por cada sector en esta red.

Protocolo MAC del Access Channel

Provee los procedimientos seguidos por el AT para transmitir y por la AN para recibir el Access Probe. Un Access Probe se utiliza para el acceso inicial o handoff en un Active Set. La AN responde a un Access Probe con un Access Grant sobre

el Protocolo MAC de Señalización Compartida. Esta especificación asume que la AN posee una instancia del protocolo para cada sector en la red.

Protocolo MAC de Señalización Compartida

Provee los procedimientos seguidos por la AN para transmitir y por el AT para recibir los Canales de Capa Física controlados por este protocolo. Provee los procedimientos y mensajes requeridos para señalización de Subcapa MAC Inferior, incluyendo las transmisiones de la AN sobre los canales de capa Física F-SSCH. Esta especificación asume que la AN posee una instancia de este protocolo para cada sector en la red. Sin embargo, cualquier implementación que se comporte de manera similar es compatible.

Protocolo MAC del Forward Traffic Channel

Provee los procedimientos seguidos por la AN para transmitir y por el AT para recibir el Forward Traffic Channel. La AN mantiene una instancia de este protocolo para cada MAC ID asignada.

Protocolo MAC del Reverse Traffic Channel

Provee los procedimientos seguidos por el AT para transmitir y por la AN para recibir el Reverse Traffic Channel. La AN mantiene una instancia de este protocolo para cada AT.

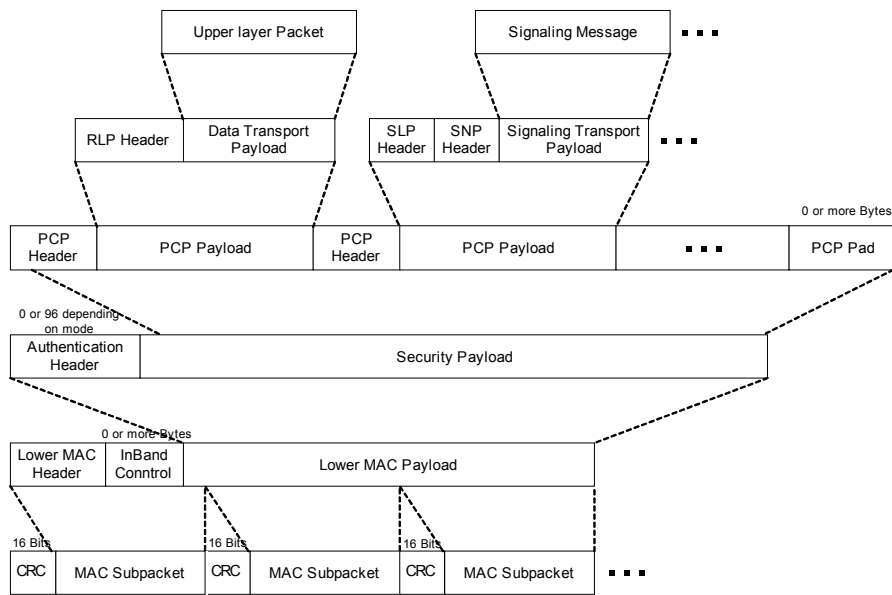
Protocolo MAC del Reverse Control Channel

Provee los procedimientos seguidos por el AT para transmitir y por la AN para recibir los Reverse Control Channels. Define los procedimientos para las transmisiones sobre los canales de capa Física: R-CQICH, R-BFCH, R-SFCH, R-PICH, R-REQCH, y R-ACKCH.

1.2.3.2. Entramado de Paquetes¹

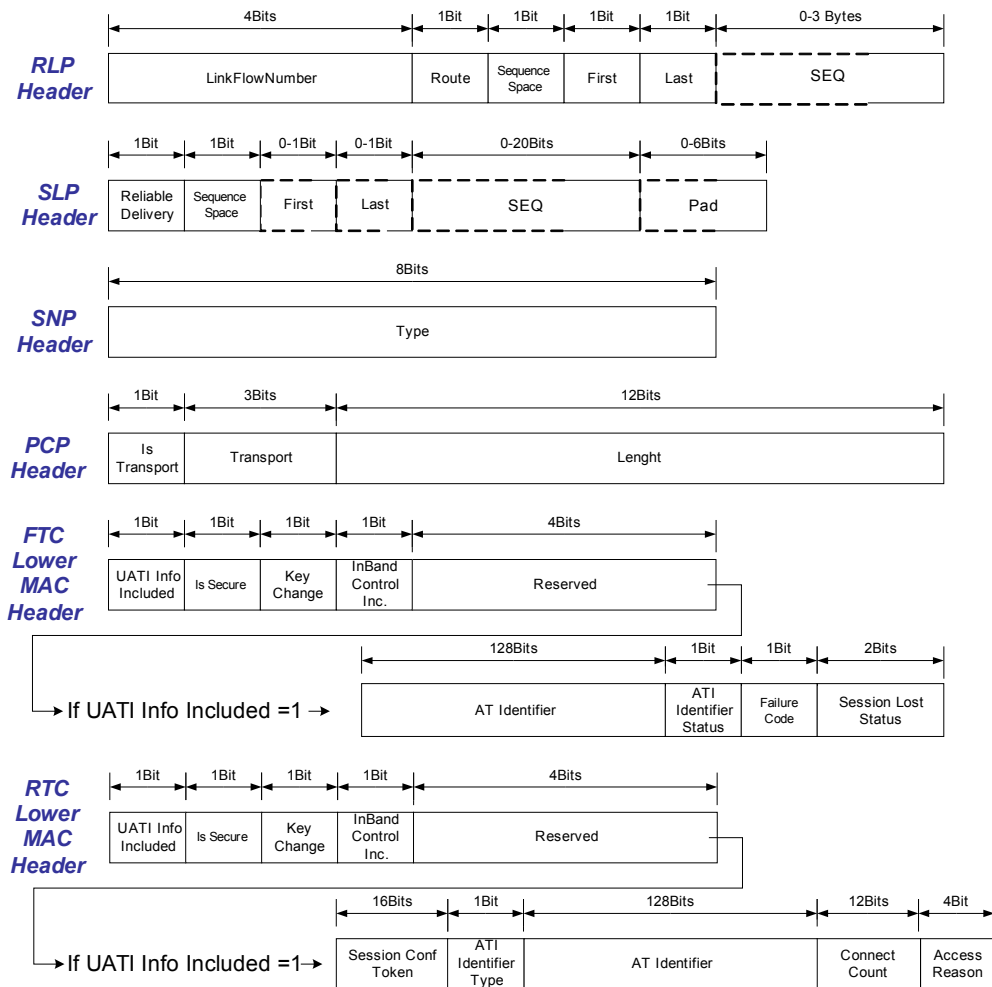
Los paquetes provenientes del Transporte de Datos y del Transporte de Señalización son empaquetados dentro de un paquete PCP (Packet Consolidation Protocol), el cual puede contener cero o más paquetes de Transporte de Datos y paquetes de Transporte de Señalización.

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.29. – Entramado de paquetes en un sistema MBWA



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.30. – Encabezados de paquetes

Al llegar a la capa física, los paquetes MAC son divididos en subpaquetes a los cuales se les aumenta su respectivo CRC.

1.2.3.3. Características de Capa de Control de Acceso al Medio

Las características principales de Capa de Control de Acceso al Medio tratadas en el proyecto de estandarización IEEE 802.20 incluyen los mecanismos para proveer diferentes niveles de Calidad de Servicio (QoS), técnicas de paging, esquemas de seguridad utilizados para la autenticación y encriptación, y mecanismos de handoff que permitan mantener la conectividad cuando ATs se muevan entre celdas y entre sistemas diferentes, gracias a la coexistencia con otras tecnologías inalámbricas y el soporte de terminales multi-modo.

1.2.3.3.1. Calidad de Servicio¹

La AI soporta servicios de Calidad de Servicio (QoS) end-to-end y por salto como DifferServ² y RSVP³ (Resource ReSerVation Protocol). El soporte de QoS en la AI lo proveen:

- Radio Link Protocol (RLP): Provee configuración, negociación y refuerzo de las políticas de QoS.
- Reverse Request Channel (R-REQCH): Provee diferenciación de las prioridades de los requerimientos de usuario para programar el R-DCH.
- Access Channel (R-ACH): Segmenta los usuarios en diferentes clases de acceso y establece una prioridad de acceso basada en la QoS del usuario.

RLP es un protocolo de transmisión de datos con el mejor esfuerzo definido por el Transporte de Datos por defecto. RLP provee retransmisión opcional de datos para lograr una tasa de error de paquetes menor a la que la capa física puede lograr por si sola. RLP lleva uno o más flujos de paquetes. Soporta QoS negociada por flujo, detección de duplicados, entrega opcional de paquetes de capas superiores en orden, fragmentación y re-ensamblaje, padding, descarte de paquetes (debido por ejemplo a latencia, pérdida parcial de paquetes, etc) y asignación de direcciones por flujo. Cada instancia RLP define 15 flujos y un

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

² RFC2475

³ RFC2205

conjunto de atributos para soportar QoS por flujo. Los flujos son configurados de individualmente para diferentes tipos de servicios QoS. Si para un terminal son necesarios más de 15 tipos de QoS, pueden utilizarse varios transportes de datos.

Una QoS de requerimiento de paquetes es asociada con una reservación, la misma que incluye un atributo que define los requerimientos de servicio para un flujo, así como un filtro para clasificación de paquetes. Otro atributo de RLP define el mapeo de reservaciones a flujos RLP. Múltiples reservaciones pueden ser asignadas a un solo flujo. Todas las reservaciones QoS son iniciadas por el AT, pero la AN puede sugerir un conjunto de requerimientos de servicios o filtros al AT. Los atributos se definen de manera independiente para los enlaces FL y RL.

Las principales operaciones de QoS definidas por la AI son:

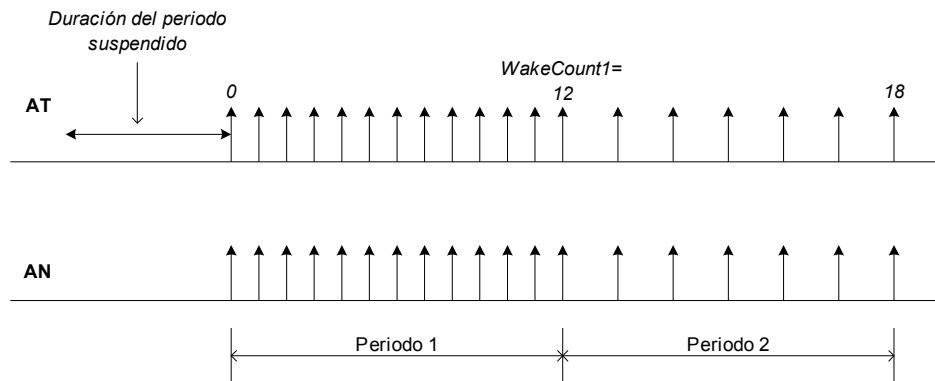
- La configuración y remoción de parámetros de QoS por flujo y por reservación basándose en requerimientos de QoS autorizados.
- La activación y desactivación de QoS bajo solicitud, incluyendo el control de admisión y la asignación de recursos de la AI.

1.2.3.3.2. *Paging*¹

Se conoce como paging al proceso en el cual la AN inicia una conexión con un AT que se encuentra en modo idle. Cuando un AT se encuentra en modo idle, despierta periódicamente para escuchar el tráfico en FL y determinar si está recibiendo un paging. El intervalo de tiempo después del cual el AT despierta, conocido como periodo de paging, es negociado al igual que el offset entre el AT y la AN, y puede durar entre 50ms y varios minutos. Cuanto más corto es el periodo de paging, existe menor retardo en la entrega del mensaje de paging aunque el consumo de energía es mayor, en cambio que si el periodo de paging es más largo el consumo de energía será menor pero el retardo aumentará. Por esta razón el sistema MBWA trabajará de modo de que en un periodo inicial, al iniciarse el modo idle, el periodo de paging sea corto, y luego se vaya alargando con el fin de permitir un ahorro de energía. De esta manera, el AT responde de mejor manera en momentos iniciales luego de su ingreso en modo idle, y su velocidad de respuesta se va reduciendo cuanto más tiempo va transcurriendo el

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

AT en modo idle. Este comportamiento es importante para sistemas de datos en los cuales es más probable que la red envíe datos al AT inmediatamente después de que el mismo entre en modo idle.



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.31. – Línea de tiempo de Paging para 802.20

En el sistema propuesto por 802.20 la entrega del mensaje de paging se realiza en dos pasos, utilizando primero un bloque QuickPage, enviado cada dos supertramas¹, y luego el AT espera la recepción de un mensaje de paging a través del Broadcast Forward Traffic Channel para poder ingresar a la red. Para demodular el bloque Quick Page, el terminal necesita únicamente demodular cinco símbolos OFDM correspondientes a pBCH1 en el preámbulo de supertrama. El diseño reduce las probabilidades de colisiones de QuickPage² al llevar no más de dos pages por supertrama utilizando 16 o 32 de los bits menos significativos del UserHash, que es un número aleatorio de 128 bits asignado a los usuarios.

En el caso de que un AT pierda un page debido a un error de demodulación, el AT se encuentra conciente de su pérdida, en cuyo caso el diseño de Repaging Rápido crea una oportunidad de paging adicional en un intervalo de tiempo fijo luego del page perdido.

La carga de paging en una red depende del tamaño del área de paging. Si el área es grande, el overhead de paging será mayor, mientras que si el área es pequeña el overhead es menor pero si el AT se mueve muy rápido, existe la posibilidad de que pierda el paging. Una manera de evitar la pérdida de pagings es requiriendo que el AT se registre con mayor frecuencia. La propuesta actual de estándar 802.20 incluye optimizaciones de la AI para reducir la carga de paging

¹ Aproximadamente 50ms

² Una colisión QuickPage ocurre cuando un usuario al que no iba destinado el QuickPage lo recibe

manteniendo su confiabilidad. Una vez que una conexión se cierra, la AN busca al AT a través de un paging en un área reducida cercana al lugar en el cual el AT cerró la conexión registrando el movimiento entre sectores del AT. Después del primer registro, la AN busca al AT en un área más amplia y el AT se registra únicamente luego de haber atravesado varios sectores de modo que permita tanto a la AT como a la AN detectar movilidad y ampliar el área de paging y registro.

Para recibir un page, el AT debe conocer parámetros específicos del sector como patrones de salto, los mismos que pueden ser encontrados en los mensajes de overhead. En modo Idle, el AT puede cruzar los límites de un sector durante un periodo de paging, y despertar en la cobertura de un sector diferente, en cuyo caso el AT no podría demodular el page debido a la falta de conocimiento de los parámetros del sector. Esta propuesta resuelve este inconveniente al contener el QuickPage Channel en el preámbulo de supertrama, y describiendo la estructura del Forward Traffic Channel que lleva los pages, en el mensaje QuickChannelInfo en el preámbulo de la supertrama. Esto permite a usuarios que despiertan en un sector de cobertura diferente, conocer la estructura del canal al leer el preámbulo de supertrama lo que les permitirá demodular el page.

1.2.3.3.3. Seguridad¹

En cuanto a seguridad, el sistema propuesto utiliza procedimientos estándar para encriptación y autenticación. Con el fin de reducir el overhead de los paquetes transmitidos, el sistema utiliza cryptosync que es calculado en base a parámetros implícitos asociados a la transmisión de paquetes. El cryptosync debe variar entre paquete y paquete y los algoritmos de encriptación prohíben que el mismo cryptosync sea reutilizado junto con la misma clave. Para cumplir este objetivo, el sistema MBWA deriva el cryptosync utilizando los siguientes campos:

- System Time: Parámetro de tiempo del sistema común para el transmisor y el receptor.
- Connection Count: Parámetro utilizado para asegurar que el cryptosync no sea reutilizado cuando el AT se mueve entre sectores diferentes con campos de tiempo mal alineados. Este parámetro es incrementado con cada nueva conexión del AT para prevenir su repetición.

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

- Channel Identifier: Campo que garantiza que el cryptosync sea diferente para transmisiones en FL y RL que inicien con la misma trama PHY.
- PilotPN: Este campo juega un rol durante un Fast Handoff entre sectores en el que puede haber un pequeño offset de tiempo. El Fast Handoff ocurre sin incrementar el campo Connection Count. La especificación MBWA permite fast handoff únicamente entre sectores con diferentes valores de PilotPN, de modo que el cryptosync no se repite.

Un intercambio de claves de cuatro vías es utilizado para obtener una session key de una pairwise master key. La pairwise master key es negociada por protocolos de capas superiores fuera del alcance de este estándar y puede basarse en el estándar 802.1x. El intercambio de claves produce una clave de 128 bits para autenticación y otra para encriptación, también de 128 bits.

Para encriptación, el sistema MBWA se basa en el estándar AES-128.¹ Para la encriptación de los paquetes se utiliza la clave negociada y el cryptosync. Los únicos paquetes que no son encriptados son los mensajes de overhead y aquellos utilizados en el intercambio de claves de cuatro vías.

En cuanto a autenticación, el sistema se basa en el algoritmo HMAC². Soporta dos modos de autenticación: uno en los que todos los paquetes son autenticados utilizando una cabecera de autenticación que contiene una firma de autenticación SHA-256, y otro en el cual solo los paquetes relacionados con el acceso son autenticados con el fin de reducir el overhead.

1.2.3.3.4. Handoff³

El sector desde el cual el AT recibió su última asignación FL es conocido como sector servidor FL, mientras que el sector desde el cual el AT recibió su última Asignación RL es conocido como sector servidor RL. Estos sectores también pueden ser asignados por la AN a través de bloques especiales de asignación para handoff FLAB-HO (Forward Link Assignment Block - HandOff) y RLAB-HO (Reverse Link Assignment Block – HandOff). El Active Set de un AT es el conjunto de sectores que tienen asignados a los ATs MAC IDs y recursos de control

¹ NIST PUB 197

² Especificado en RFC 21047 y SHA-256 descrito en FIPS PUB 180-2

³ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

dedicados. El término Handoff es utilizado para referirse al cambio en el sector servidor FL o RL de un AT, el mismo que ocurre cuando el AT recibe un bloque de asignación de enlace de un sector diferente a su sector servidor actual, cambiando su sector servidor por este nuevo sector, pudiendo realizar un Handoff a cualquier miembro del Active Set.

El sistema está diseñando para cumplir los siguientes requerimientos de handoff:

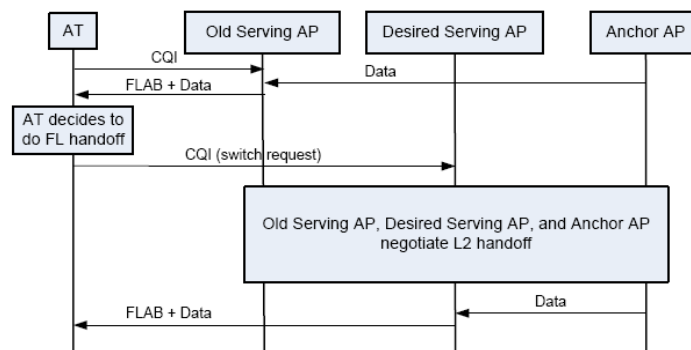
- Soporte de Fast Handoff, con el fin de minimizar el impacto del handoff sobre el tráfico sensible a la latencia. Permite minimizar la respuesta en tiempo del sistema a variaciones rápidas en los componentes de Shadowing y path loss de los canales de los sectores servidores y de los sectores que interfieren, a velocidades vehiculares y con un reuso de frecuencias de uno, Permite además obtener rápidas ganancias de atenuación y mejorar la diversidad a velocidades peatonales.
- Soporte de enlaces separados para lograr mejores ganancias de selección de celdas, en situaciones en las cuales los mejores sectores servidores para FL y RL son diferentes.
- Bajo overhead de señalización, que aumenta en su importancia cuando el Fast Handoff es utilizado para obtener ganancias de atenuación rápida a velocidades peatonales, o cuando las velocidades de handoff son altas debido a la movilidad a altas velocidades vehiculares.

Para poder lograr una transmisión de datos ininterrumpida, el nuevo sector servidor debe conocer los datos recibidos por el Anchor AP y aún en espera a ser transmitidos así como los datos que necesiten ser retransmitidos.

El protocolo de gestión del Active Set realiza las siguientes funciones:

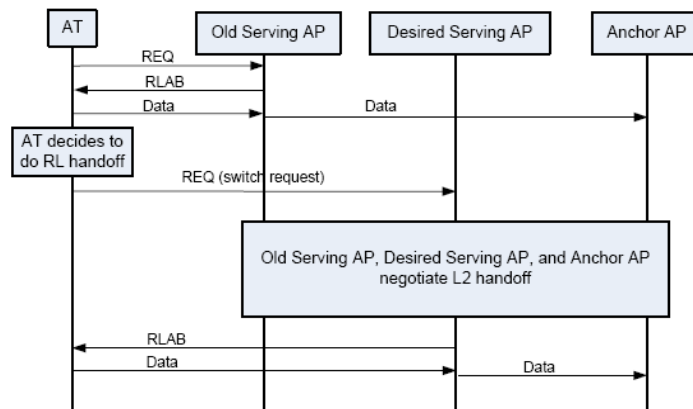
- La AT realiza medidas de SINR en los pilotos, filtra los valores medidos para reducir componentes de ruido y atenuación rápida, y reporta los valores filtrados a la AN a través de su sector servidor RL.
- Basado en los reportes de SINR, el AN determina los miembros del Active Set del AT indexados a través de un campo de tres bits en los canales CQI-CH y REQ-CH.

- El AN asigna recursos de control dedicados a los miembros del Active Set que sirvan a la AT, asigna una MAC ID para el AT en cada miembro del Active Set y transmite un mensaje de asignación de Active Set al AT a través de su sector servidor FL.
- El AT monitorea los canales de asignación de los miembros del Active Set que sirvan a la AT en los enlaces FL y RL, así como los sectores deseados en ambos enlaces.



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.32. – Procedimiento de Handoff FL



Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Figura 1.33. – Procedimiento de Handoff RL

1.2.3.3.5. Handoff Inter-frecuencias e Inter-Tecnologías de Acceso de Radio¹

El sistema MBWA propuesto puede ser desplegado en más de una frecuencia. En los límites de frecuencia de un despliegue multi-frecuencia, existe la necesidad de realizar handoff durante los modos Idle y Conectado de otros sistemas de frecuencias. Adicionalmente un sistema MBWA debe desplegarse sobre otras

¹ Fuente: MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology. 2006-01-06. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>

Tecnologías de Acceso de Radio (RAT). Otras RAT incluyen, pero no se limitan a, sistemas celulares como CDMA2000, WCDMA, GSM/GPRS/EDGE y sistemas WLAN como 802.11. Existe por lo tanto la necesidad de realizar un handoff durante los modos Idle y Conectado a estas otras RATs. Puede ser además necesario recibir mensajes de paging de otras RAT en los modos Idle y Conectado en un sistema MBWA. Esto puede ser necesario en caso de que otras RATs ofrezcan servicios que no se encuentren disponibles en el sistema MBWA.

Para el soporte de Handoff Inter-Frecuencias el sistema propuesto utiliza la administración de Active Set, ampliando el concepto de Active Set de modo que el mismo permita miembros de una o más frecuencias pudiendo ser sincrónicos o asincrónicos entre ellos. Para facilitar el aumento de nuevos sectores de frecuencia el sistema MBWA propuesto provee:

- La habilidad a la AN para especificar vecinos de frecuencias diferentes en el mensaje SectorParameters especificado en el Protocolo de Mensajes de Overhead.
- La habilidad a la AT para reportar la potencia de Pilotos de sectores de frecuencias diferentes en el mensaje PilotReport especificado en el Protocolo de Administración del Active Set.
- La habilidad a la AN para especificar miembros de frecuencias diferentes en el mensaje ActiveSetAssignment especificado en el Protocolo de Administración del Active Set.

Para reportar la potencia de piloto en modo Conectado, así como para Handoff Inter-RAT y el recibir mensajes de paging provenientes de una RAT diferente es necesario un mecanismo tune-away. El mecanismo tune-away permite realizar las mediciones de otros pilotos al des-sintonizarse de la red por un corto tiempo para realizar medidas o monitoreo de otros sistemas. El Protocolo de Estado Conectado por Defecto provee este mecanismo tune-away que consiste en una planificación tune-away y un mensaje tune-away. La planificación tune-away permite planificar la periodicidad de las des-sintonizaciones mientras que los mensajes tune-away son utilizados para negociar con la AN los tune-away que van a realizarse y sus planificaciones.

El mecanismo de control tune-away provee dos funciones, habilitar y deshabilitar el tune-away y proveer corrección de tiempo para la planificación tune-away.

El AT puede habilitar o deshabilitar el tune-away en cualquier momento pudiendo habilitar o deshabilitar una o más planificaciones al mismo tiempo. Correcciones de tiempo son necesarias para un tune-away crítico en tiempo en la recepción de mensajes de paging de un sistema asincrónico con el sistema MBWA. El mecanismo de tune-away es el mismo para diseños TDD y FDD.

El sistema MBWA propuesto soporta Inter-RAT Handoff en los modos Idle y Conectado. Además de los mecanismos tune-away, el sistema utiliza mensajes SectorParameters en el Protocolo de Mensajes de Overhead, que proveen la habilidad de enviar listas de vecinos con otras tecnologías. Estos mecanismos proveen a la AT la habilidad de encontrar ANs de otras RAT en los alrededores y medir sus pilotos.

El sistema MBWA propuesto soporta la recepción de mensajes de paging de otras RAT. Para ello se proveen mecanismos de tune-away y el InterRATProtocol de la capa de Sesión a través del cual se envían mensajes InterRATBlob de la AT o AN. El primer mecanismo es útil cuando el sistema MBWA no se encuentra integrado en la red núcleo con otras RAT, por lo cual la única manera de recibir un page de otra tecnología es escuchando su Paging Channel, en los tiempos de desintonización específicos destinados a ello. El mensaje InterRATBlob provee la habilidad de encapsular señalización de Capa 2 de otras tecnologías dentro de la Capa 2 de MBWA, lo cual es útil en el caso en el que dos tecnologías con redes de núcleo hayan establecido un enlace de comunicación como L2TP.

1.2.3.4. Modo 625k-MC

1.2.3.4.1. Capa MAC L2¹

La capa L2 del modo 625k-MC se encarga del mapeo de mensajes de datos y control sobre recursos físicos y provee modos de entrega de mensajes con acuse de recibo (AM: Acknowledged Mode) y sin acuse de recibo (UM: Unacknowledged Mode). Los datos en modo AM se entregan a través de un mecanismo de retransmisión direccionable similar al utilizado en TCP, y provee un mecanismo de

¹ Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology Overview. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

entrega confiable para los datos L3 incluyendo la preservación del orden de los datos. La retransmisión se realiza directamente desde el AP o el AT de manera apropiada de modo que se minimice la latencia ARQ. Los bursts de tráfico están compuestos por datos con identificación UM, AM de control o de usuario, permitiendo el envío de múltiples mensajes en un solo burst en la AI lo que mejora la eficiencia y disminuye la latencia. L2 también provee encriptación para asegurar la confidencialidad de los datos de usuario y control.

Un AT y un AP intercambian información usando un pequeño número de canales lógicos mapeados sobre bursts físicos para ser transmitidos.

Tipo de Burst, Canal de transporte	Canal Lógico
Burst FL: Sincronización de frecuencia Sincronización de tiempo Broadcast Paging FL estándar	BCH BCH BCH, CCH PCH RACH, TCH, CCH, FACCH
Burst RL: Solicitud de configuración RL estándar	CCH RACH, TCH, FACCH

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

Tabla 1.13. – Tipos de burst y canales lógicos

El Broadcast Channel (BCH) es un canal utilizado únicamente en el FL, siendo el primer canal lógico utilizado por el AT al establecer una conexión con la red. El propósito de este canal es permitir al AT sincronizarse en tiempo y frecuencia y determinar el mejor AP con la cual comunicarse tanto para la adquisición inicial como para el handoff.

El Configuration Channel (CCH) tiene dos propósitos principales. Su primer propósito es su utilización como mecanismo de ajuste para la sincronización en tiempo, y el segundo es su utilización para informar al AT parámetros claves del AP y la AN y permitir al AT continuar su conexión con el AP a través del registro.

El Paging Channel (PCH) es un canal FL usado para informar al AT su acceso al AP. Puede ser enviado de manera simultánea con el RACH y el TCH en un par slot de tiempo / frecuencia. Un identificador de page (PID) se encuentra contenido en cada burst de paging para comunicarse con un AT específico.

El Random Access Channel (RACH) es utilizado por el AT para acceder al AP. Puede ser enviado simultáneamente con el PCH y el TCH en un par portadora-

slot de tiempo dado. Este canal lleva múltiples mensajes. El mensaje Request Access (RA) es enviado por el AT en el RL y contiene un identificador de registro (RID) que identifica una sesión de red e indica la potencia de transmisión del burst que contiene el mensaje. El mensaje Access Assignment es enviado por el AP en respuesta al mensaje RA.

El Traffic Channel (TCH) es usado para el transporte de tráfico de datos de control y de usuario final. El RACH inicia el flujo TCH. Un flujo TCH es una serie de tramas TCH usadas por un AT, siendo el mecanismo básico utilizado para transportar datos de usuario y de control. Flujos TCH son creados y cerrados en respuesta a las necesidades de ancho de banda de cada AT.

El Fast Associated Control Channel (FACCH) es un canal lógico asociado con el RACH en TCH. Lleva información de control de potencia y adaptación del enlace. El FACCH posee su propia modulación y codificación (Walsh-Hadamard) y es recuperable a SINR bajo. El FACCH permite la adaptación rápida de enlace debido a que contiene actualizaciones en tiempo real de la clase de modulación del burst TCH que está siendo enviado.

1.2.3.4.2. Data Link Control (DLC) /Logical Link Control (LLC) L3¹

La capa L3 del modo 625k-MC maneja el acceso a los recursos de la AI. Una vez que un AT se ha registrado con un AP, no se asignan recursos al AT mientras no haya tráfico RL o FL que necesite ser intercambiado entre el AP y el AT. Todas las decisiones de asignación de recursos son hechas de manera centralizada por el AP, en base a consideraciones de QoS que incluyen los límites de tasas de datos por usuario y prioridad. El aumento de portadoras y slots de tiempo es empleado para incrementar el throughput por usuario en los canales de tráfico más allá de aquellos soportados por un par portadora-slot de tiempo. El procesamiento espacial RL y FL en el AP es un mecanismo de acceso altamente eficiente que utiliza SDMA en vez de métodos convencionales como detección y prevención de colisiones.

L3 también maneja la relación entre el AT y el AP, manteniendo los fundamentos de la asociación entre estas dos entidades, permitiendo el intercambio de datos IP de usuario final. Adicionalmente, L3 emplea mediciones físicas hechas en L1 para

¹ Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology Overview. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

el manejo de la movilidad y la coordinación del control de potencia y la adaptación de enlace entre el AT y el AP. L3 recibe nominalmente datos PPP o IP de usuario final de entidades de protocolo de nivel superior. Provee autenticación al AP de modo que el AT y el AP confirmen su identidad mutuamente.

Los algoritmos de control de potencia y adaptación del enlace se encuentran presentes tanto en el RL como en el FL. El algoritmo de control de potencia posee controles de lazo abierto y cerrado. Ambos lazos son controlados por los APs, los mismos que envían comandos de control de potencia y adaptación del enlace en el FL. Para el soporte de control centralizado por los APs, los ATs necesitan reportar la calidad de señal FL a los APs. Los ATs también deben reportar la potencia de transmisión disponible a los APs con el fin de permitir una adaptación del enlace RL efectiva. Mensajes de adaptación del enlace y control de potencia son enviados en cada slot de cada trama. Por lo tanto el sistema es capaz de adaptar cambios rápidos en los canales de propagación y en el entorno de interferencia.

La información de modulación y codificación se envía a través del FACCH. Esta información es compartida entre el AP y el AT slot por slot.

1.2.3.4.3. Capas Superiores 3+¹

Esta propuesta soporta Calidad de Servicio (QoS) con comportamientos definidos usando elementos de modelado de ingeniería de tráfico. Esta propuesta soporta una solución estándar DiffServ. El planificador del AP se encarga de reforzar los requerimientos de QoS para el grupo de sesiones de red. La AI es altamente versátil al proveer los mecanismos usados por el planificador del AP. El planificador incorpora capacidades RF y de banda base individualmente para cada AT, como capacidades de aumento de portadoras RF y slots de tiempo. Usando esta información y los mecanismos de flujo básicos, el planificador puede reforzar comportamientos básicos de QoS como límites individuales de velocidad, prioridad, y particionamiento de recursos entre clases. El AP puede planificar a todos los usuarios juntos sobre el conjunto completo de recursos físicos. Puede además separar usuarios individuales en dominios específicos de registro al

¹ Fuente: MBTDD 625k-MC MODE Technology Overview. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>

particionar el conjunto de recursos básicos, asignando dominios de registro particulares durante o luego del registro.

El esquema de handoff make-before-break de la AI se encuentra dirigido al AT. Cada AT monitorea los canales de broadcast de los APs vecinos y clasifica los APs candidatos basándose en la potencia de transmisión y recepción de la señal, retardos y carga del AP indicados por el BCH. El AT puede realizar estas mediciones así como registrarse con un nuevo AP candidato mientras intercambia datos TCH con su Serving AP. El handoff para datos de usuario se realiza en modo make-before-break, redirigiendo los datos TCH al nuevo Serving AP luego de haber realizado un registro exitoso.

La AI del modo 625k-MC provee una infraestructura de seguridad robusta con confidencialidad y autenticación. Provee soporte integrado de la red centrada en IP, transporte y seguridad de la capa de aplicación. La arquitectura de seguridad de la AI se encuentra diseñada para superar problemas conocidos en sistemas inalámbricos actuales.

La autenticación tanto para el AP como para el AT se basa en la utilización de certificados digitales firmados de acuerdo al estándar ISO/IEC 9796 usando el algoritmo RSA como firma primitiva. Los certificados digitales presentan información acerca del propietario del certificado y de su clave pública.

El Shared Secret y el intercambio de parámetros de la AI se realiza utilizando las claves públicas del AT y del AP. La infraestructura de claves se basa en criptografía de curvas elípticas (usando curvas K-163 y K-233 en el estándar FIPS-186-2). Durante el registro las transmisiones de certificados digitales del AP y del AT, junto con el Shared Secret encriptado con la clave pública y las transmisiones de la AI, pasan por un proceso de interleaving con el fin de optimizar la utilización de la AI.

La encriptación de bloque se realiza usando un cifrado de flujo como RC4 inicializado por una función del Shared Secret y los parámetros temporales del flujo a ser encriptado. El cifrado de flujo soporta claves Shared Secret de longitud variable difundida apropiadamente antes del inicio de cada flujo, y la recarga del Shared Secret es impuesta tanto por el AT como por el AP con el fin de evitar errores en los parámetros de configuración del AT.

Tanto el AP como el AT soportan IPv6 basado en 3GPP. Los sistemas MBWA proveen una interfaz transparente para la capa de usuarios IP. Los usuarios de MBWA pueden utilizar IPv4 o IPv6.

Capítulo 2

2. ANEXO E DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16

El anexo e del estándar IEEE 802.16, conocido como IEEE 802.16e es una enmienda realizada al estándar IEEE 802.16-2004. Este capítulo define las principales características técnicas de IEEE 802.16e. Al ser una enmienda al estándar IEEE 802.16 la mayor parte de la información fue tomada del documento IEEE Std 802.16™-2004 seleccionada en base a las correcciones presentadas en el documento IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005, incluyendo además características adicionales presentadas en el mismo.

2.1. ESTÁNDAR IEEE 802.16 WIRELESS MAN™

2.1.1. PROYECTO IEEE 802.16¹

Las actividades de 802.16 iniciaron en Agosto de 1998 con una reunión realizada por el *National Wireless Electronics Systems Testbed (N-WEST)* del *U.S. National Institute of Standards and Technology*, debido a que para 1998 varias empresas empezaron a desarrollar tecnología de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (BWA). IEEE 802 se interesó en lo propuesto en esta reunión y decidió crear el Grupo de Estudio 802.16 en noviembre de 1998. La propuesta del Grupo de Estudio 802.16 de estandarizar BWA en las bandas 10-66GHz fue aceptada por la IEEE, y el Grupo de Trabajo 802.16 empezó sus reuniones en julio de 1999. Para noviembre de 1999 el Grupo de Trabajo resolvió ampliar el campo del estándar a la banda 2-11GHz. Después de dos años de trabajo, fue aprobado el estándar IEEE802.16Std-2001 “*Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*” cubriendo sistemas entre 10 y 66GHz, publicado el 8 de abril de 2002².

El trabajo del Grupo de Trabajo 802.16 no se limitó a la creación de este estándar sino que ha seguido trabajando y publicando en enmiendas, ampliaciones y revisiones del mismo³:

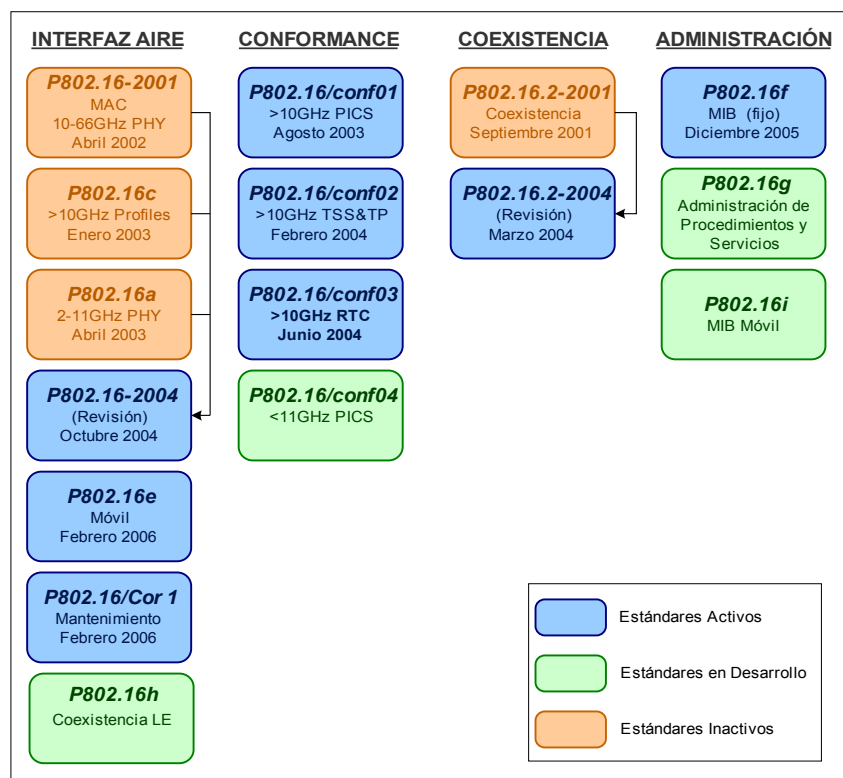
¹ Fuente: MARKS, Roger B. IEEE Standard 802.16 for Global Broadband Wireless Access, National Institute of Standards and Technology (NIST). Boulder, Colorado, USA.
http://www.ieee802.org/16/docs/03/C80216-03_14.pdf

² Fuente: <http://www.ieee802.org/16/pubs/80216-2001.html>

³ Fuente: <http://www.ieee802.org/16/published.html>

-
- 802.16-2001: Estándar base del Grupo de Trabajo 802.16. Especifica la interfaz aire (AI) WirelessMAN para redes inalámbricas de área metropolitana en las bandas 10-66GHz.
 - 802.16a: Enmienda al estándar 802.16-2001. Incluye modificaciones MAC y especificaciones adicionales de capa Física para las bandas 2-11GHz.
 - 802.16c: Enmienda al estándar 802.16-2001. Especifica los perfiles detallados de sistema para bandas 10-66GHz.
 - 802.16-2004: Revisión del estándar 802.16-2001. Incluye y reemplaza a los estándares 802.16-2001, 802.16a y 802.16c. Inició como una enmienda a través del Grupo de Tarea d, siendo 802.16d terminado al ver la necesidad de una revisión y no una enmienda al estándar.
 - 802.16/Conf01: Estándar de ajuste para IEEE 802.16. Especifica la declaración de ajuste de implementación de protocolos para la AI WirelessMAN-SC™ para bandas 10-66GHz.
 - 802.16/Conf02: Estándar de ajuste para IEEE 802.16. Especifica TSS&TP (*Test Suite Structure and Test Purposes*) para la AI WirelessMAN-SC™ para bandas 10-66GHz.
 - 802.16/Conf03: Estándar de ajuste para IEEE 802.16. Especifica RCTs (*Radio Conformance Tests*) para la AI WirelessMAN-SC™ en bandas 10-66GHz.
 - 802.16.2-2001: Práctica recomendada por IEEE para redes de área local y metropolitana. Describe coexistencia de sistemas fijos BWA.
 - 802.16.2-2004: Revisión de 802.16.2-2001. Describe la coexistencia de sistemas BWA fijos.
 - 802.16f: Enmienda de IEEE Std 802.16-2004 desarrollada por el Grupo de Tarea de Administración de Red. Describe la Base de Información de Administración MIB (*Management Information Base*) para la AI de sistemas BWA fijos.
 - 802.16e: Enmienda de IEEE Std 802.16-2004. Especifica las capas Física y MAC para operación fija y móvil combinada en bandas con licencia.
 - 802.16/Cor1: *Corrigendum* de IEEE Std 802.16-2004 para la AI de sistemas BWA fijos. Desarrollado por el Grupo de Tareas de Mantenimiento.

- 802.16g: Proyecto de enmienda de IEEE Std802.16 desarrollado por el Grupo de Tarea de Administración de Red. La enmienda describirá servicios y procedimientos del Plano de Administración para sistemas BWA fijos.
- 802.16/Con04: Proyecto de estándar de ajuste para IEEE 802.16. El estándar describirá PICS (*Protocol Implementation Conformance Statement*) para frecuencias por debajo de los 11GHz.
- 802.16h: Proyecto de enmienda de IEEE Std802.16, desarrollado por el Grupo de Tarea LE (*License-Exempt*). Especifica mecanismos mejorados, así como políticas y mejoras de control de acceso al medio para habilitar coexistencia entre sistemas libres de licencia basados en el estándar IEEE 802.16 y facilitar la coexistencia de estos sistemas con usuarios primarios.
- 802.16i: Proyecto de enmienda de IEEE Std802.16, desarrollado por el Grupo de Tarea de Administración de Red. Describe la Base de Información de Administración MIB móvil para la interfaz aire de sistemas BWA.



Fuente: IEEE 802 and 802.16 Process and Status, Session #35: Sanya, China, 24 January 2005

Figura 2.1. – Proyectos del Grupo de Trabajo 802.16

2.1.1.1. Estándar IEEE 802.16-2004

El estándar IEEE 802.16-2004 especifica la AI para sistemas BWA fijos punto a multipunto que soporten múltiples servicios. Incluye especificaciones de capa de Control de Acceso al Medio y múltiples especificaciones de capa Física.

2.1.2. GRUPO DE TRABAJO 802.16e¹

El 12 de Julio de 2002, el Grupo de Trabajo IEEE 802.16 inicia un Grupo de Estudio *IEEE 802.16 Mobile Wireless MAN* como sucesor al Grupo de Estudio *IEEE 802.16 Broadband Wireless Access*. El nuevo Grupo desarrolla la Solicitud de Autorización de Proyecto (PAR) 802.16e para operación combinada de redes fijas y móviles en bandas bajo licencia. El 11 de Diciembre de 2002, el PAR fue aprobado por la *IEEE-SA Standard Board*, con lo cual se autorizó el desarrollo del proyecto.

El desarrollo del proyecto de estandarización duró tres años finalizando con la aprobación por parte de la *IEEE-SA Standard Board* el 7 de diciembre de 2005, del estándar *IEEE Std802.16e-2005 - Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands*. Al haber completado el trabajo de los grupos 802.16e y 802.16/Cor1 casi al mismo tiempo, se decide juntar los documentos aprobados IEEE Std802.16e-2005 e IEEE Std802.16-2004/Cor1-2005 (aplicable únicamente a sistemas fijos) y publicarlos en un solo documento el 28 de febrero de 2006.

2.2. CARACTERÍSTICAS DE IEEE 802.16e

El estándar IEEE 802.16e es una enmienda al IEEE Std 802.16-2004 que provee mejoras que permiten el soporte de estaciones suscriptoras móviles a velocidades vehiculares. No compromete la capacidad de suscriptores fijos que trabajan bajo IEEE 802.16. Especifica un sistema que combina el acceso inalámbrico de banda ancha fijo y móvil dirigido tanto al mercado empresarial como de consumidores. Este estándar tiene como propósito ampliar el mercado de soluciones de acceso inalámbrico de banda ancha tomando ventaja de la movilidad inherente que provee el medio inalámbrico. Este estándar pretende llenar el vacío existente

¹ Fuente: IEEE802.16 Mobile Wireless MAN Study Group, <http://www.ieee802.org/16/tge/index.html>

entre las redes de área local inalámbricas (WLANs) con muy altas velocidades y las redes celulares con muy alta movilidad.

2.2.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE IEEE 802.16e

2.2.1.1. Bandas de frecuencia¹

La operación de los sistemas móviles que trabajen bajo el estándar 802.16e se limita a las bandas con licencia bajo los 6GHz que son bandas apropiadas para movilidad. Las bandas por debajo de los 11GHz proveen un ambiente físico en el cual, debido a la longitud de onda de las señales, no es necesaria Línea de Vista (LOS) para la comunicación y el *multipath* se vuelve insignificante. La habilidad de no requerir LOS y soportar además LOS cercana requiere funcionalidad adicional tanto en la capa PHY con el soporte de técnicas de administración de energía avanzadas, mitigación de interferencia y coexistencia y múltiples antenas, así como en la capa MAC con mecanismos como ARQ (*Automatic Repeat Request*).

El estándar IEEE802.16-2004 define cinco tipos de AI cada una de las cuales funciona bajo características diferentes. De estos cinco tipos de AI tres se aplican en bandas con licencia bajo 11GHz siendo aplicables a sistemas móviles:

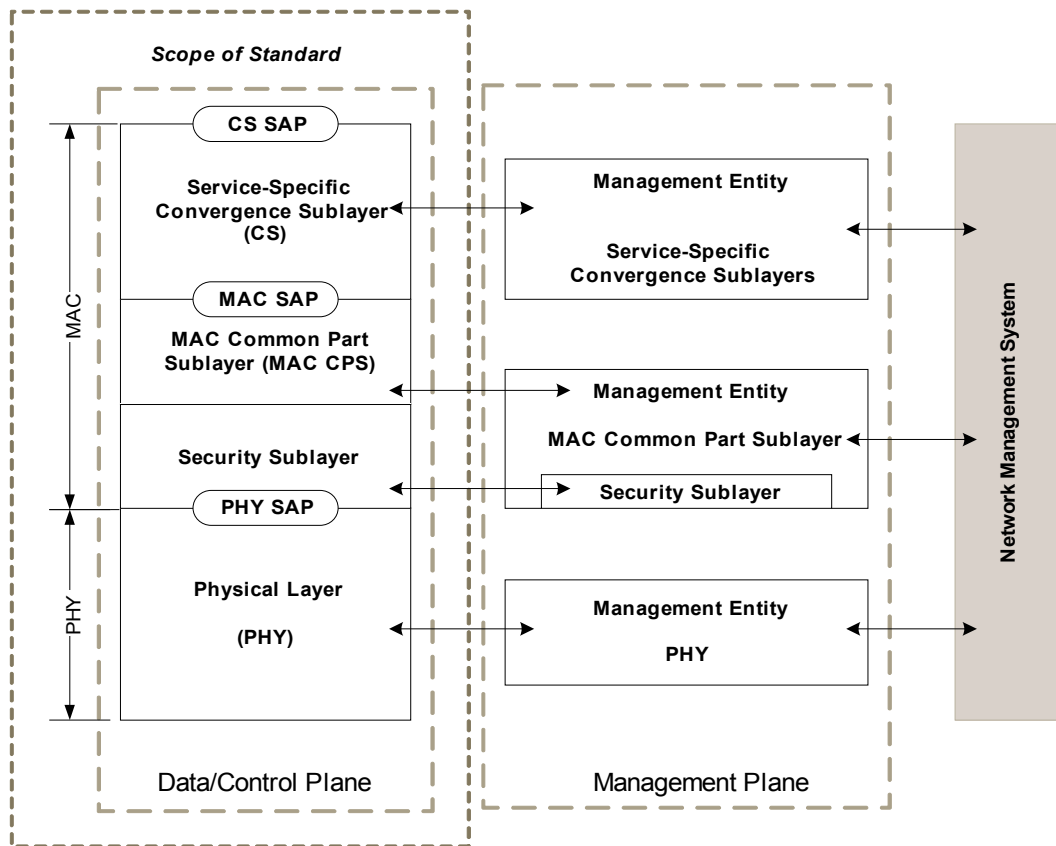
- WirelessMAN-SCa™
- WirelessMAN-OFDM™
- WirelessMAN-OFDMA

2.2.1.2. Modelo de Referencia²

La Figura 2.2. ilustra el modelo de referencia para sistemas que trabajan bajo el estándar IEEE 802.16, indicando el alcance del mismo que se limita al plano de control y datos. Este mismo modelo de referencia es aplicable para sistemas móviles bajo IEEE 802.16e.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16™-2004



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.2. – Modelo de Referencia del IEEE Std 802.16

La subcapa MAC, parte de la capa de Enlace de Datos, se divide en tres subcapas:

- *Service-Specific Convergence Sublayer (CS):* Provee transformación y mapeo en MAC SDU de datos recibidos a través del *CS Service Access Point (CS SAP)*.
- *MAC Common Part Sublayer (MAC CPS):* Provee funcionalidad MAC de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, y establecimiento y mantenimiento de la conexión. Recibe datos de las diferentes CSs a través del MAC SAP clasificado para conexiones MAC particulares.
- *Security Sublayer:* Provee autenticación, encriptación e intercambio seguro de claves.

La capa Física incluye múltiples especificaciones, cada una apropiada para un rango de frecuencias y aplicación.

2.2.2. ESPECIFICACIONES DE CAPA FÍSICA

2.2.2.1. WirelessMAN-SCa™ PHY¹

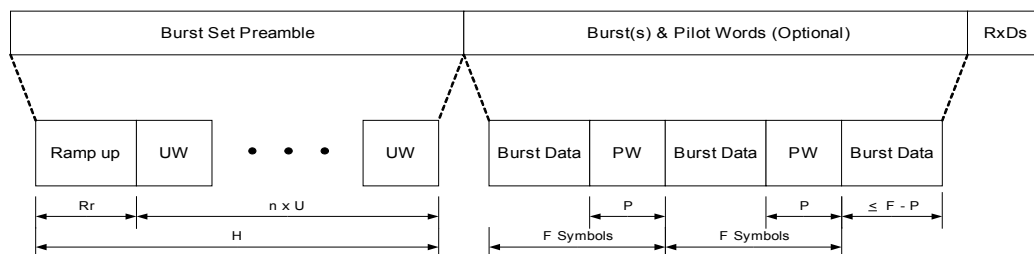
La capa física WirelessMAN-SCa se basa en tecnología de portadora única y se encuentra diseñada para operación NLOS (sin línea de vista) en bandas de frecuencia con licencia menores a 11GHz. Los anchos de banda permitidos por canal deben limitarse a los anchos de banda provistos por los organismos de regulación divididos por cualquier potencia de dos, sin ser inferiores a 1.25MHz.

2.2.2.1.1. Estructura de la trama

Entre los requerimientos básicos de un sistema que trabaje bajo 802.16 y por consiguiente bajo 802.16e se encuentra el soporte de operación FDD operación TDD, siendo obligatorio el soporte de al menos uno de ellos. FDD separa los enlaces de subida UL (UpLink) y de bajada DL (DownLink) sobre diferentes portadoras de frecuencias, las estaciones base (BS) transmiten sobre la portadora de frecuencia DL, mientras que las estaciones suscriptoras (SS) utilizan la portadora de frecuencia UL. Sin embargo, para un sistema FDD una SS es capaz de operar sobre *bursts* DL o *burst* UL, además de una operación continua DL. TDD multiplexa UL y DL sobre la misma portadora, sobre diferentes intervalos de tiempo dentro de la misma trama MAC.

Tanto en UL como en DL las transmisiones se realizan en *Burst Sets* entramados. El UL soporta uno o más *Burst Sets* TDMA entramados, mientras que el DL soporta *Burst Sets* TDM entramados. Existen tres formatos de *Burst Set*:

- Formato estándar: soportado tanto en UL como en DL, utilizado siempre con los datos del FCH (*Frame Control Header*).



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.3. – Formato estándar de *Burst Set*

¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

El *Burst Set Preamble* está formado por un campo de *Ramp Up* con una longitud de R_r , que incluye los últimos R_r símbolos de UW (*Unique Word*), y n UWs cada uno de los cuales tiene una longitud U igual a 16 símbolos QPSK o 64 símbolos 8PSK. Un *Burst* contiene datos de *Payload* y *Pilot Words*. Para DL el *burst* puede contener TDM *bursts*. El primer *burst* del primer *burst set* corresponde al FCH en caso de ser transmitido, y los siguientes se ordenan de mayor a menor dependiendo de la fortaleza de la modulación. El *null payload fill* es un relleno de bits 0 aleatorizados y ubicados en un mapa de Gray QPSK¹, utilizado cuando no existen suficientes datos para llenar la trama MAC. Para UL se transmite un solo *burst*. Un *Pilot Word* (PW) es una secuencia de símbolos compuesta por un múltiplo entero de UW. F es el periodo de PW y puede ser 1024, 2048 y 4096 para demoduladores de estaciones suscriptoras (SS) y 256, 512, 1024, 2048 y 4096 para moduladores de SSs. RxDS es un periodo de pausa al final del *Burst Set* cuya longitud debe ser mayor a UW excepto en el caso de ser suprimido.

- Formato STC (Space Time Coding): opcional, utilizado únicamente para datos codificados con STC en UL y DL. El esquema de diversidad de transmisión STC da formato a pares de bloques de datos para transmisión sobre dos antenas. La antena de transmisión 0 transmite secuencias de datos en orden, sin modificaciones, mientras que la antena de transmisión 1 invierte el orden de transmisión, conjuga los símbolos complejos transmitidos y revierte en tiempo la secuencia de datos dentro de cada bloque. A diferencia de *burst sets* convencionales, RxDS no aparece al final del STC *burst set*. El preámbulo del *burst set* está formado por un bloque de *ramp-up* y varios bloques UW.

¹ No lo cubre el código CRC

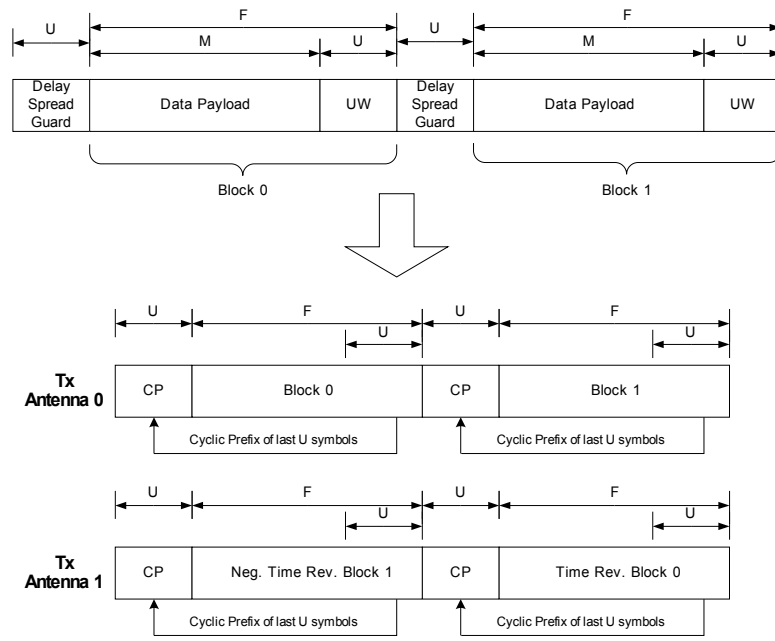


Figura 2.4. – STC Burst Set

- Formato de Subcanal: opcional, utilizado únicamente para UL. Utilizado para entramar *burst sets* que son transmitidos sobre subcanales.

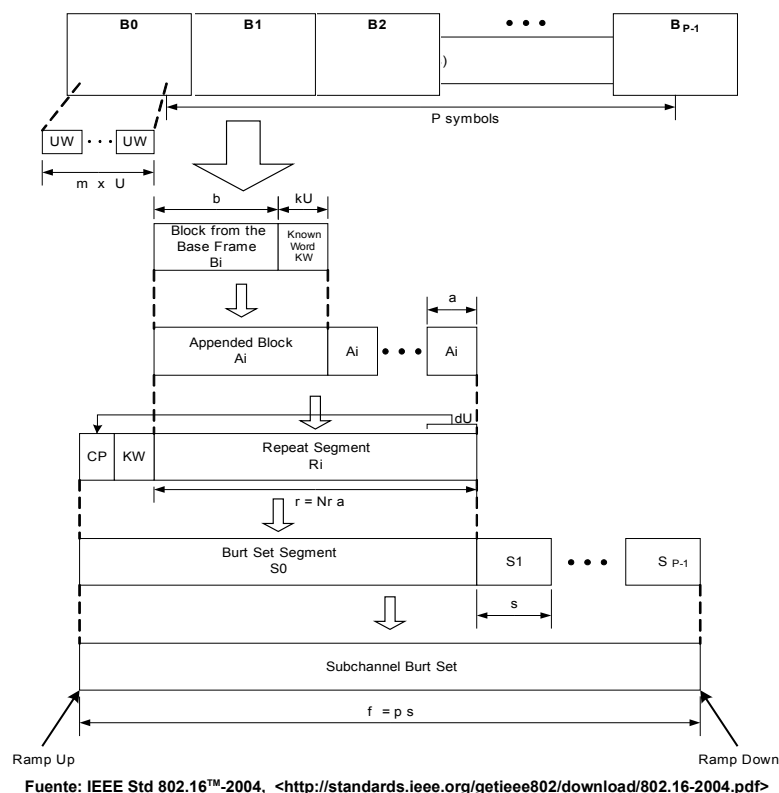


Figura 2.5. – Procedimiento de entramado para el formato de Subcanal

Los parámetros U , m , k , d , r se encuentran especificados entre los parámetros de perfil de *Burst*.

2.2.2.1.2. Proceso de Transmisión

Para la transmisión de información, los datos provenientes de capas superiores deben pasar por un proceso indicado en la Figura 2.3.

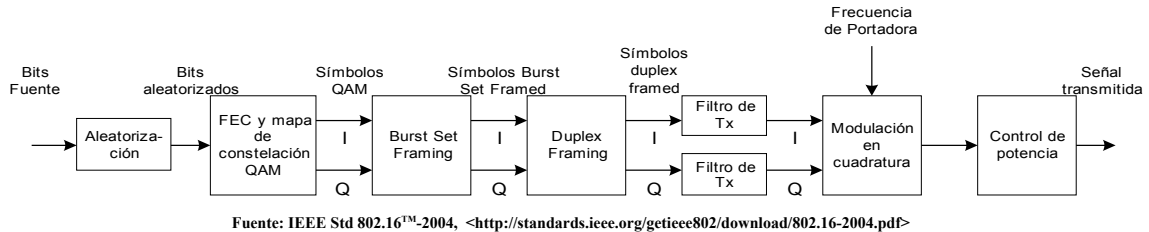


Figura 2.6. – Proceso de Transmisión

El primer paso en el proceso es la aleatorización de los bits fuente realizando un XOR entre los datos de la entrada y de la salida de un *Linear-Feedback Shift Register* (LFSR) que trabaja con el polinomio característico $1+x^{14}+x^{15}$.

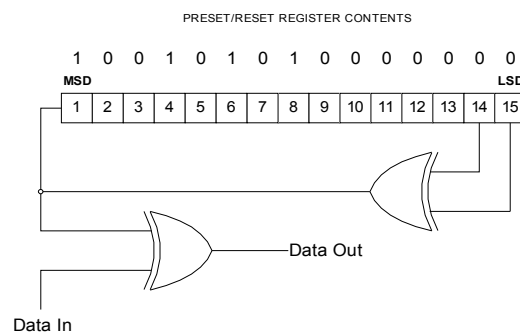
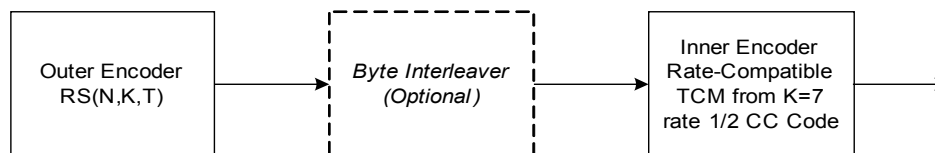


Figura 2.7. – Aleatorizador

Solo los bits fuente son aleatorizados (*payloads* fuente y bits *null* (cero) no codificados utilizados de relleno en segmentos de *payload* vacíos). Elementos como elementos de entramado y símbolos pilotos, así como bits *null* que completen símbolos QAM no son aleatorizados.

Una vez aleatorizados, los datos pasan a través del bloque de codificación FEC (*Forward Error Correction*), que consiste en un FEC Concatenado basado en la concatenación serial de un código externo Reed-Solomon RS(N=255, K=239) de 8 bits, un código interno TCM compatible con la tasa y derivado de un código convolucional binario de tasa 1/2 pasando por un proceso de *puncturing* y longitud K=7, y un bloque intermedio de *interleaving* opcional.



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.8. – Codificador FEC concatenado

La selección de la tasa de código así como de la modulación es realizada a través de los parámetros de perfil del *burst*.

Modulación	Tasa de código interno		Número de bits utilizados			Bits por símbolo	
			No Sistemáticos	Sistemáticos	Total		
Spread BPSK	(pre-spread)	1/2	6	0	6	(post-spread)	$1/(2*Fs^1)$
		3/4	6	0	6		$3/(4*Fs^1)$
BPSK	1/2		6	0	6	1/2	
	3/4		6	0	6	3/4	
QPSK	1/2		6	0	6	1	
	2/3		7	0	7	4/3	
	3/4		6	0	6	3/2	
	5/6		6	0	6	5/3	
	7/8		7	0	7	7/4	
16-QAM	1/2		6	0	6	2	
	3/4		6	12	18	3	
64-QAM	2/3		6	6	12	4	
	5/6		6	4	10	5	
256-QAM	3/4		6	12	18	6	
	7/8		6	8	14	7	

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.1. – Tasas de códigos, número de bits requerido y bits/símbolo de TCM interno para cada modulación soportada

Este modo de codificación es válido para todos los *payloads* excepto el del FCH. Existen además configuraciones adicionales opcionales para las tramas que se llevan fuera del FCH:

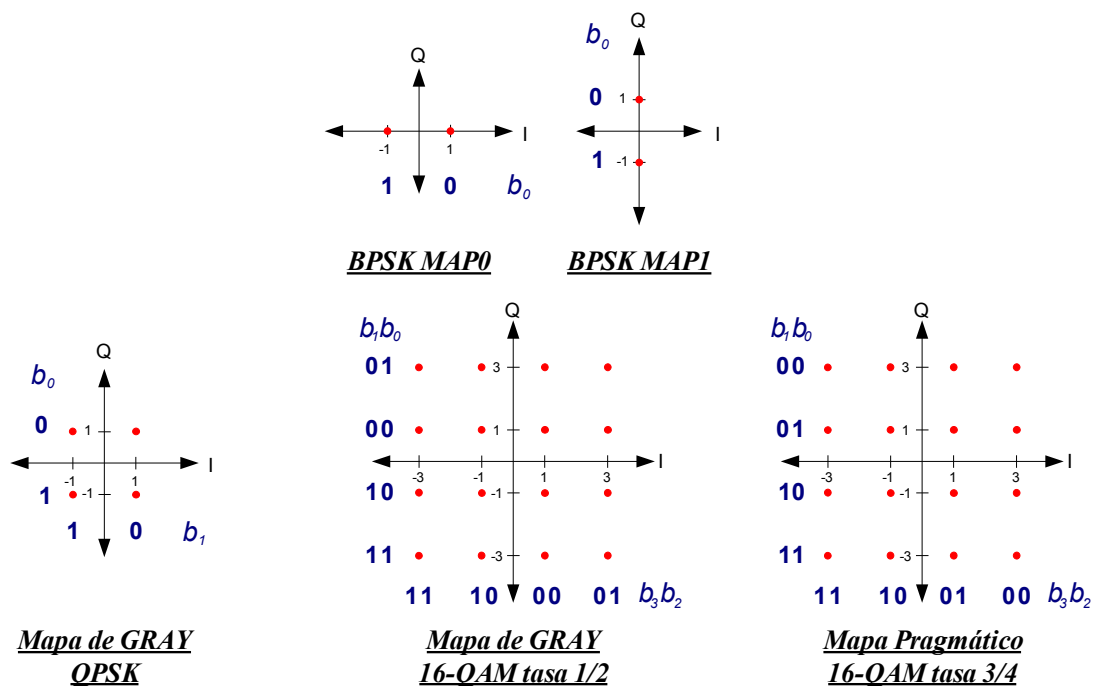
- La utilización de BTCs (*Block Turbo Codes*) como FEC
- Omisión del FEC (únicamente ARQ para control de errores): esta configuración es obligatoria para QPSK pero opcional para otros tipos de modulación

Existe también la posibilidad de soportar un CTC FEC (*Convolutional Turbo Code* FEC), formado por un *CTC Interleaver*, el codificador y un bloque de *Puncturing*.

¹ Fs: *Spreading Factor*

Una vez realizado el FEC, los datos pasan a ser modulados en uno de los seis tipos de modulación soportados, cinco de ellos de soporte obligatorio (*Spread* BPSK, BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM) y uno de ellos de soporte opcional (256-QAM).

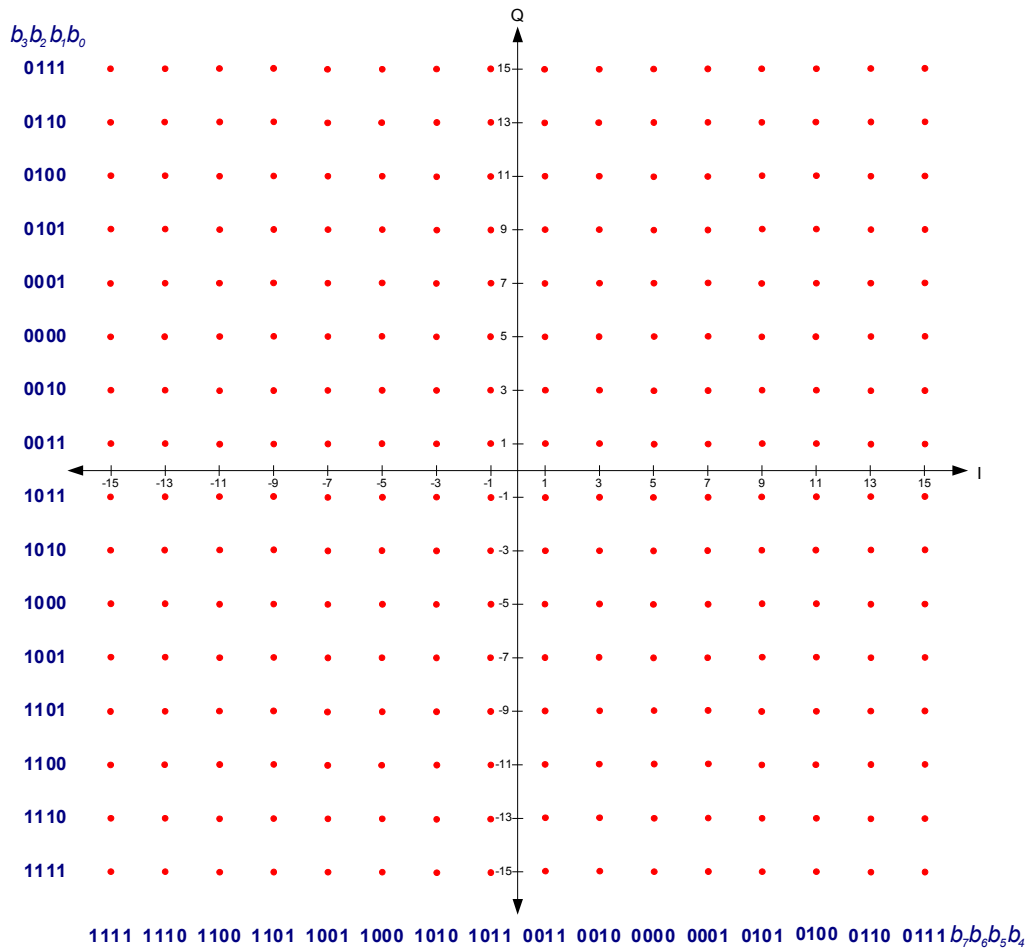
Para el FEC concatenado se debe trazar un mapa de bits de símbolos I y Q usando un mapa de símbolos TCM pragmático o de código Gray dependiendo de la tasa de código y el tipo de modulación. BPSK traza alternadamente un mapa de las constelaciones ortogonales BPSK MAP0 y BPSK MAP1 utilizadas para bits de índice par e impar respectivamente.¹



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.9. – Mapas de Constelación BPSK, Mapas de Gray QPSK, 16-QAM y Mapa Pragmático 16-QAM

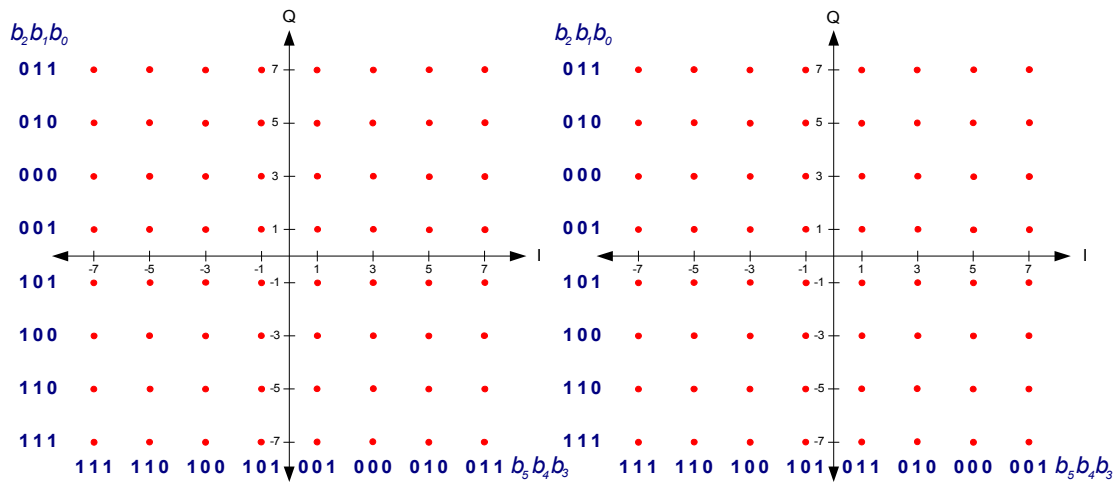
¹ El primer bit se considera par



Mapa de GRAY 256-QAM

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.10. – Mapa de Gray 256-QAM

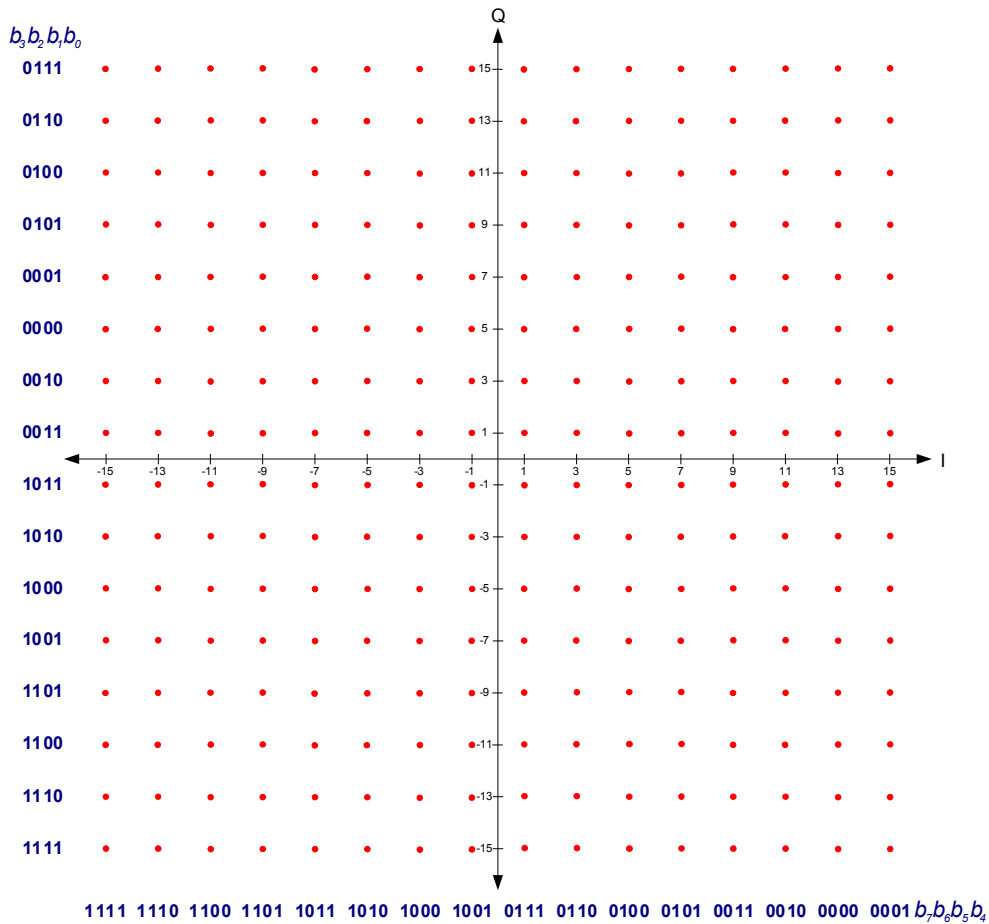


Mapa de GRAY 64-QAM

Mapa Pragmático 64-QAM

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.11. – Mapas Pragmáticos para 64-QAM

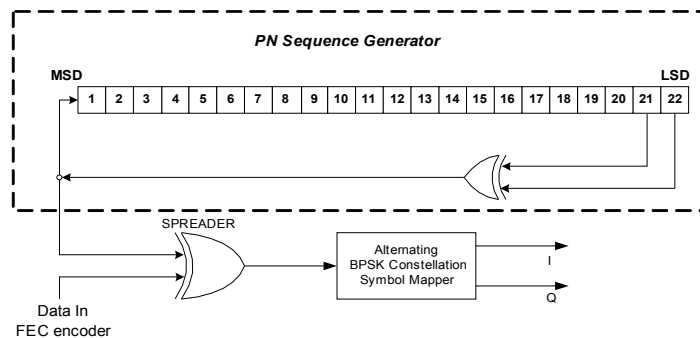


Mapa Pragmático 256-QAM

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.12. –Mapa Pragmático para 256-QAM

El modulador *Spread* BPSK tiene como entrada el flujo de datos provenientes de la salida del codificador FEC y realiza una modulación *Spread* BPSK a los datos con un *Spread Factor* $F_S = 2^n$, $0 \leq n \leq n_{\text{máx}}$, donde $n_{\text{máx}} = 3$ (DL) o 4 (UL). Cada bit que ingresa al modulador es retenido en el XOR mientras realiza la operación (XOR) con F_s bits consecutivos provenientes del Generador de Secuencias PN.



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.13. – Procedimiento de codificación *Spread* BPSK

Una vez realizado el proceso de FEC y el mapa de constelación, los datos son entramados en un *Burst Set*.

Una SS debe estar en capacidad de demodular un FCH así como una BS debe estar en capacidad de transmitirlos en base a los siguientes parámetros:

Parámetros de perfil de canal DCD	Parámetro por defecto	Alternativa soportada por auto-detección
Factor de <i>Roll-off</i>	0.25	-----
Longitud del preámbulo	mU+Rr m=3 UWs repetidos Rr=4 <i>ramp</i> symbols	$0 \leq Rr \leq \min(U/2), 60$ en incrementos de 4 símbolos
Longitud de UW	U = 64 símbolos	U= 16,256 símbolos
Intervalo de PW	No PW	1024, 2048 o 4096
Conteo de UW	No PW	1.2 o 3
Regla de ajuste de potencia	0 (preserva la potencia pico)	1 (preserva la potencia media)

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.2. – Parámetros de canal para el *burst* FCH

Antes de ser modulados las señales I y Q deben ser filtradas por una raíz de coseno levantado. Un factor de *roll-off* $\alpha = 0.25$ debe ser soportado teniendo como valores opcionales 0.15 y 0.18.

Una vez filtradas las señales pasan por una modulación en cuadratura definida por la ecuación:

$$s(t) = I(t) \cos(2\pi \cdot f_c t) - Q(t) \sin(2\pi \cdot f_c t)$$

Donde s(t) es la forma de onda transmitida, I(t) y Q(t) son las señales filtradas en banda base de los símbolos I y Q, y f_c es la frecuencia de portadora.

2.2.2.1.3. Mecanismos de Funcionamiento y Control

El control de potencia debe ser soportado en el UL, usando tanto calibración inicial como procedimientos de ajuste continuo, sin pérdidas de datos. Con el fin de soportar estas características, la BS debe ser capaz de realizar medidas de potencia precisas de un *burst* de señal recibido. Estas medidas son comparadas con un nivel de referencia, y el error resultante es devuelto a una SS dentro de un mensaje de calibración MAC. Aunque no se especifica su exacta implementación, el algoritmo de control de potencia debe diseñarse para responder a fluctuaciones de potencia a tasas no mayores a 30dB/s e intensidad de al menos 10 dB.

En cuanto a medidas de calidad de canal, las medidas de calidad de señal RSSI y CINR junto con estadísticas asociadas pueden ayudar en procesos como selección/asignación de SS y selección de perfil de adaptación de *burst*.

2.2.2.1.4. Mecanismos de Múltiples antenas

El soporte de *Adaptive Antenna System* (AAS) es opcional tanto para la BS como para la SS al trabajar con las especificaciones de esta capa física.

2.2.2.1.5. Requerimientos del Sistema

Los parámetros de precisión de la frecuencia de canal RF para una SS y para una BS se encuentran en la Tabla 2.3.

	Estación suscriptora SS	Estación Base BS
Precisión de la frecuencia de canal RF	$\pm 15 \times 10^{-6}$ de la portadora RF seleccionada	$\pm 8 \times 10^{-6}$ de la portadora RF seleccionada
Rango operacional de Temperatura	de -40 a +65 °C	de -40 a +65 °C
Edad máxima de los equipos	5 años	10 años

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.3. – Parámetros de precisión de la frecuencia de canal RF

Para un factor de *roll-off* α , la tasa de símbolo nominal SR, para un ancho de banda implementado BW [MHz] debe ser: $SR = \frac{BW - 0.088}{1 - \alpha}$ [MBd/s].

La diferencia de mínimo a máximo de tiempo de símbolo en un periodo de 2s debe ser menor a 2% de periodo de símbolo nominal. La especificación de *jitter* debe ser mantenida en un rango operacional de temperatura de -40 a +65 °C.

La relación señal a ruido (SNR) debe ser mayor a 40dB en el punto de alimentación de la antena de transmisión y la magnitud del vector de error EVM menor al 3.1% asumiendo una transmisión 64-QAM.

Los transmisores de una SS y de una BS proveen un control de nivel de potencia con una granularidad de 1dB. La exactitud relativa de los mecanismos de control de potencia tanto de la SS como de la BS es de $\pm 25\%$ del paso de control en dB, pero no mayor a 4dB. La exactitud absoluta de nivel de potencia de los transmisores de la SS y de la BS debe encontrarse dentro del rango de ± 6 dB. La potencia de salida de transmisión debe establecerse dentro de las tolerancias indicadas anteriormente dentro de los primeros 5 μ s.

La sensibilidad del receptor debe ser mayor a los valores citados en la Tabla 2.4. Estos valores han sido calculados para un BER no codificado de 10^{-3} , un total de 7 dB de figura del ruido de receptor y 3 dB de pérdidas de implementación.

	Sensibilidad del receptor	SNRreq asumidos
QPSK	$-93.2+10\log(BW)$	9.8 dB
16-QAM	$-86.2+10\log(BW)$	16.8dB
64-QAM	$-80+10\log(BW)$	23.0dB

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.4. – Sensibilidad del receptor

Una BS debe ser capaz de recibir una señal operacional *on-channel* máxima de -40 dBm y tolerar una señal de entrada máxima de 0 dBm sin causar daños a los circuitos. Una SS debe ser capaz de recibir una señal operacional *on-channel* máxima de -20 dBm y tolerar una señal de entrada máxima de 0 dBm sin causar daños a los circuitos.

Un sistema debe alcanzar la mínima interferencia adyacente según los parámetros de desempeño citados en la Tabla 2.5.

		Con BER 10^{-3} para 3dB	Con BER 10^{-3} para 1dB
Interferencia de 1er canal adyacente	BPSK	-12	-8
	QPSK	-9	-5
	16-QAM	-2	+2
	64-QAM	+5	+9
	256-QAM	+12	+16
Interferencia de 2do canal adyacente	BPSK	-37	-33
	QPSK	-34	-30
	16-QAM	-27	-22
	64-QAM	-20	-16
	256-QAM	-13	-9

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.5. – Interferencia de canal adyacente

2.2.2.2. WirelessMAN-OFDM™ PHY

La capa física WirelessMAN-OFDM™ se basa en la modulación OFDM y se encuentra diseñada para operar NLOS en bandas de frecuencia bajo los 11GHz.¹ Para el caso de IEEE802.16e las bandas de frecuencia a utilizarse son aquellas menores a 6GHz que forman parte de esta especificación.

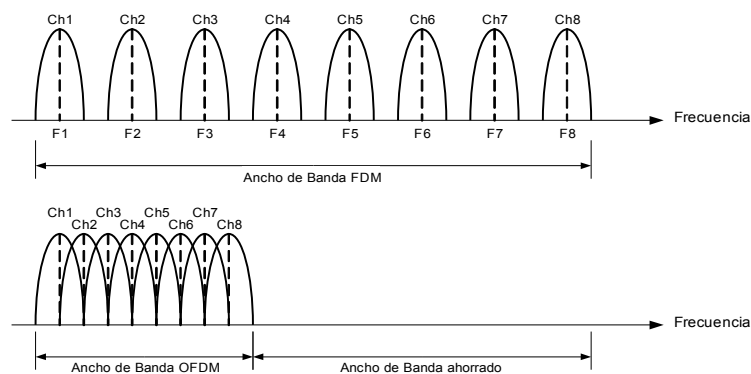
¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

2.2.2.2.1. Tecnología OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Se considera a OFDM como un caso especial de FDM (*Frequency Division Multiplexing*), que es un método que permite la transmisión de información de diferentes usuarios sobre diferentes canales de frecuencia identificados por la frecuencia central de su transmisión como se observa en la Figura 2.14.. Para asegurarse de que no se produzcan interferencias se deja una banda de guarda entre canales, que sin embargo produce ineficiencia en el sistema.

OFDM es una tecnología similar, con la diferencia de que una señal es dividida en varias señales, cada una de las cuales es modulada sobre su propio canal de frecuencia, por lo cual es considerada además como un caso especial de comunicación multi-portadora, donde las portadoras son ortogonales entre si.

La ortogonalidad permite transmisiones simultáneas de varias subportadoras en un espacio de frecuencia reducido sin producir interferencia entre ellas. Como se puede observar en la Figura 2.12., la transmisión utilizando OFDM mejora la eficiencia de un sistema de transmisión respecto a FDM ya que la ortogonalidad de las señales permite un ahorro considerable de ancho de banda.



Fuente: Luna O. Marco A. y Sánchez G. Jaime, *CDMA Multiportadora en redes inalámbricas de banda ancha para interiores*, Instituto Tecnológico de Chihuahua, 2001

Figura 2.14. – FDM y OFDM

Las principales ventajas de la utilización de OFDM son una alta eficiencia espectral, resistencia a desvanecimientos selectivos en frecuencia, resistencia a desvanecimientos por multitrayectoria y errores por sincronización de símbolos al utilizar extensiones cíclicas, resistencia a la dispersión de señal y a la distorsión de fase, fácil ecualización del canal, y alta inmunidad a ráfagas de ruido.

Sin embargo, si se producen variaciones de frecuencia en las subportadoras, se pierde la ortogonalidad y las subportadoras interfieren entre sí, degradando de

manera considerable la calidad del enlace. Se requieren además altas capacidades de procesamiento de señales debido a la complejidad de la técnica.

Existen varios tipos de subportadoras¹:

- Subportadoras de Datos: Para transmisión de datos
- Subportadoras Piloto: Para propósitos de estimación
- Subportadoras *Null*: Sin transmisión, para bandas de guarda, portadoras no activas y portadora DC.

Los parámetros que caracterizan a un símbolo OFDM se encuentran especificados en la Tabla 2.6.

PARÁMETRO		VALOR	
N_{FFT}	Menor potencia de dos superior a N_{used}	256	
N_{used}	Número de subportadoras utilizadas	200	
n	Factor de muestreo	BW de canal múltiplo de 1.75MHz	8/7
		BW de canal múltiplo de 1.5MHz	86/75
		BW de canal múltiplo de 1.25MHz	144/125
		BW de canal múltiplo de 2.75MHz	316/275
		BW de canal múltiplo de 2.0MHz	57/50
		Otros	8/7
G	Relación entre el tiempo de CP y el tiempo "útil"	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	
# de Subportadoras de guarda de frecuencia inferior		28	
# de Subportadoras de guarda de frecuencia superior		27	
Índices de <i>offset</i> de frecuencia de subportadoras de guarda		+128, -127, ..., -101 +101, +102, ..., 127	
Índices de <i>offset</i> de frecuencia de portadoras piloto		-88, -63, -38, -13, 13, 38, 63, 88	

Fuente: IEEE Std 802.16TM-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.6. – Parámetros de símbolo OFDM

2.2.2.2.2. Estructura de la trama²

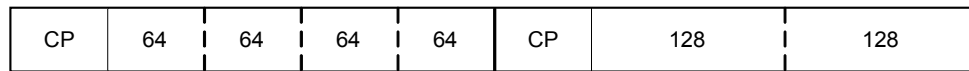
Todos los preámbulos se encuentran estructurados por uno o dos símbolos OFDM.

El primer preámbulo en el PDU PHY DL así como el preámbulo inicial están formados por dos símbolos OFDM. El primero utiliza únicamente subportadoras cuyos índices son múltiplos de 4, mientras que el segundo utiliza únicamente portadoras pares, lo cual resulta en formas de onda en el dominio del tiempo que consisten en cuatro repeticiones de un fragmento de muestra-64 y de dos

¹ Fuente: IEEE Std 802.16TM-2004

² Fuente: IEEE Std 802.16TM-2004

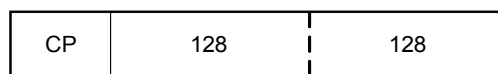
repeticiones de un fragmento de muestra-128 respectivamente, cada uno de los cuales se encuentra precedido por un Prefijo Cíclico (CP).



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.15. – Estructura del preámbulo DL y entrada de la red

En el UL, cuando todos los 16 subcanales son utilizados, el preámbulo consiste de un sólo símbolo OFDM utilizando únicamente subportadoras pares precedidas por un CP.



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.16. – Estructura del preámbulo UL

Como el sistema funciona sobre bandas con licencia, el mismo puede utilizar como método de duplexación FDD o TDD. El tipo de estructura de trama utilizado como obligatorio es el PMP (Punto a Mutlipunto), existiendo además la estructura de malla que es opcional.

Para PMP la trama contiene transmisiones (PHY PDUs) de la BS y de las SS, *gaps* e intervalos de guarda.

OFDM PHY soporta una transmisión basada en tramas, las mismas que están formadas por la subtrama DL y la subtrama UL. La subtrama UL está formada por intervalos de contención, programados para propósitos de alineación inicial y solicitud de ancho de banda, y uno o más UL PHY PDUs transmitidos desde diferentes SSs. La trama DL está formada por un solo DL PHY PDU que contiene: un Preámbulo, un FCH *burst*, y uno o múltiples *bursts*. El preámbulo es utilizado para sincronización de capa física. El FCH *burst* tiene una longitud de un símbolo OFDM y es transmitido con modulación BPSK de tasa 1/2 con su esquema de codificación obligatorio. Cada uno de los *bursts* contiene un número entero de símbolos OFDM los mismos que constituyen mensajes MAC.

Para TDD, intervalos de transición transmisión/recepción y recepción/ transmisión se insertan en la trama, entre la subtrama DL y la subtrama UL, y al final de la trama respectivamente.

La subtrama DL puede incluir opcionalmente una zona de subcanalización. Esta zona está compuesta de un preámbulo subcanalizado seguido por un FCH *burst*

subcanalizado. El FCH se transmite modulado usando QPSK de tasa 1/2 sobre 1/4 del ancho de banda.¹

La duración de las tramas se determina por la periodicidad del preámbulo de inicio de trama. La BS escoge la duración de la trama en base a uno de los códigos de la Tabla 2.7. , el mismo que de ser cambiado durante la transmisión obligaría a la SS a resincronizarse con la BS.

Código	Duración de la trama (ms)	Tramas por segundo
0	2.5	400
1	4	250
2	5	200
3	8	125
4	10	100
5	12.5	80
6	20	50
7-255	Reservado	Reservado

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.7. – Duración de trama OFDM

2.2.2.2.3. Proceso de Transmisión²

La codificación de canal en el transmisor se realiza a través de tres bloques: un bloque de aleatorización, un bloque de FEC y un bloque de *Interleaving*. En el receptor estos tres bloques realizan las operaciones inversas. Los datos que salen del bloque de *interleaving* pasan a ser modulados.

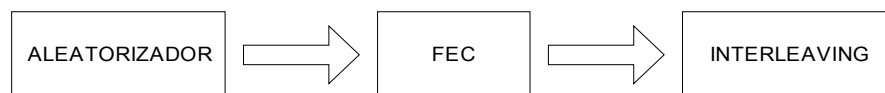
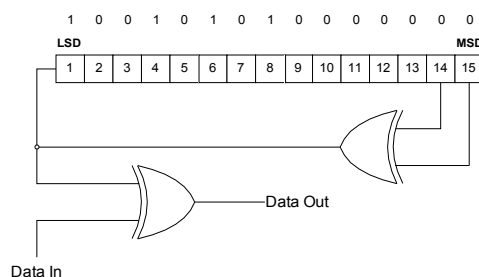


Figura 2.17. – Codificación de Canal

El aleatorizador es aplicado a cada *burst* de datos UL y DL. El *shift register* del aleatorizador debe reiniciarse con cada asignación. Los preámbulos no son aleatorizados. Si la cantidad de datos no cubre el espacio asignado para los mismos, se utiliza un relleno de 0xFF al final del bloque de transmisión.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16™-2004



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.18. – Aleatorizador

El bloque de FEC está compuesto por la concatenación de un código externo Reed-Solomon RS(N=255, K=239, T=8) seguido por un código interno convolucional, a este código de lo conoce como código convolucional Reed-Solomon concatenado (RS-CC).

Un codificador interno binario de tasa $\frac{1}{2}$ similar al utilizado por WirelessMAN-SCa™ PHY es la base para la generación de códigos de tasa $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ y $\frac{7}{8}$. El código pasa por un proceso de acortamiento y *puncturing* para permitir tamaños de bloque y capacidad de corrección de errores variables.

Modulación	Tamaño del bloque sin codificar (Bytes)	Tamaño del bloque codificado (Bytes)	Tasa de codificación total	Código RS	Tasa de código CC
BPSK	12	24	$\frac{1}{2}$	(12,12,0)	$\frac{1}{2}$
QPSK	24	48	$\frac{1}{2}$	(32,24,4)	$\frac{2}{3}$
	36	48	$\frac{3}{4}$	(40,36,2)	$\frac{5}{6}$
16-QAM	48	96	$\frac{1}{2}$	(64,48,8)	$\frac{2}{3}$
	72	96	$\frac{3}{4}$	(80,72,4)	$\frac{5}{6}$
64-QAM	96	144	$\frac{2}{3}$	(108,96,6)	$\frac{3}{4}$
	108	144	$\frac{3}{4}$	(120,108,6)	$\frac{5}{6}$

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.8. – Codificación de canal por modulación

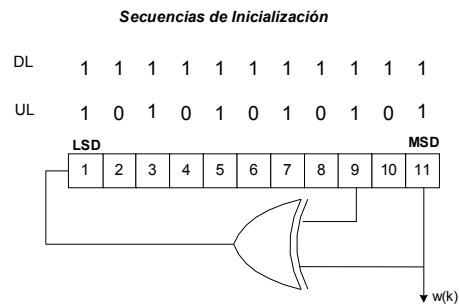
El soporte de *Block Turbo Codes* BTCs y *Convolucional Turbo Codes* CTCs es opcional.

El bloque de *interleaving* está definido por una permutación de dos pasos. El primero asegura el poner en mapa los bits codificados adyacentes sobre subportadoras no adyacentes, mientras que el segundo permite poner en mapa los bits codificados adyacentes sobre puntos más o menos significativos en la constelación evitando largas cadenas de bits poco confiables.

Luego del *interleaving* los bits son modulados formando un mapa de constelación BPSK (MAP0 c=1) o mapas de Gray QPSK (c=1/√2), 16-QAM (c=1/√10) o 64-

QAM ($c=1/\sqrt{42}$) como los de las Figuras 2.9. y 2.10. Las constelaciones son normalizadas multiplicando cada punto por un factor c , logrando un promedio de potencia equitativo.

Las subportadoras piloto deben ser moduladas según su ubicación de portadoras dentro del símbolo OFDM, utilizando BPSK el mismo que se basa en el generador de secuencia binaria pseudo-aleatoria de la Figura 2.19.



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.19. – Generador de secuencia binaria pseudo-aleatoria

2.2.2.2.4. Mecanismos de Funcionamiento y Control¹

El requerimiento de ancho de banda funciona con la utilización de uno de los dos tipos de regiones REQ en la trama. En REQ *Region Full* (obligatoria) al encontrarse activa la subcanalización, la Oportunidad de Transmisión (TO) consiste en un preámbulo corto y un símbolo OFDM usando el método de codificación más robusto (BPSK-1/2)². Cuando la subcanalización se encuentra desactivada, la asignación se divide en TOs tanto en frecuencia como en tiempo. La transmisión de una SS debe incluir un preámbulo subcanalizado correspondiente a la TO escogida y un símbolo OFDM que utilice el método de codificación más robusto. En REQ *Region Focused* (opcional) una estación debe enviar un código corto sobre una TO consistente en cuatro subportadoras por dos símbolos OFDM. La SS debe transmitir, durante una TO específica de la trama escogida, cuatro subportadoras que comprenden el canal de contención escogido.

Tanto para FDD y TDD se recomienda que las BSs se sincronicen a una señal de tiempo común. En caso de que una BS pierda la señal de tiempo de la red, las BSs deben resincronizarse, tan pronto sea recuperada. La referencia de sincronización debe ser un pulso de tiempo de 1pps o una frecuencia de

¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

² Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

referencia de 10MHz, provista generalmente por un receptor GPS. Tanto para TDD como para FDD, referencias de frecuencia, derivadas de referencias de tiempo, pueden ser utilizadas para controlar la exactitud de la frecuencia de las BSs de modo que cumplan con los requerimientos de exactitud de frecuencia.

Existen dos procesos de ranging: ranging inicial y ranging periódico. El ranging inicial se produce durante el registro y en la pérdida de sincronización y utiliza un intervalo de ranging inicial basado en contención. El ranging periódico se produce durante las transmisiones de modo periódico y utiliza un *burst* UL regular.

Un algoritmo de control de potencia debe ser soportado por el UL con una calibración inicial y un procedimiento de ajuste periódico sin pérdida de datos. El objetivo de este algoritmo es llevar la densidad de potencia recibida por un suscriptor a un nivel deseado. Para lograr mantener la densidad de potencia en niveles deseados, la BS debe ser capaz de realizar mediciones exactas de la señal recibida, con el fin de compararlos con el nivel de referencia. El error resultante es enviado a la SS en un mensaje proveniente de la MAC para que realice la calibración correspondiente. Las SSs deben reportar la potencia máxima que pueden transmitir y la potencia promedio actual de la transmisión. La potencia máxima se reporta para las constelaciones BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM. Los parámetros de potencia son reportados en dBm, cuantizados en pasos de 0.5 dBm que van desde -64dBm (codificado 0x00) hasta 63.5dBm (codificado 0xFF).

Las mediciones de calidad de señal RSSI y CINR y sus estadísticas asociadas pueden ser de utilidad en procesos como selección/asignación de BS y selección de perfil adaptable de *burst*. Tanto el promedio como la desviación estándar son definidas debido al comportamiento variante en el tiempo del canal. La implementación de estas estadísticas así como sus reportes es obligatoria en la implementación del sistema.

2.2.2.2.5. *Métodos de Múltiples Antenas*¹

El soporte de *Adaptive Antenna System* (AAS) es opcional tanto para la BS como para la SS al trabajar con las especificaciones de esta capa física.

La Codificación Espacio-Tiempo STC es opcional pudiendo ser usada en el DL

¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

para proveer diversidad de transmisión de orden superior.¹ Son utilizadas dos antenas en el lado de la BS y una antena en la SS. Ambas antenas en la BS transmiten al mismo tiempo dos símbolos de datos OFDM. La transmisión se realiza dos veces para decodificar y obtener diversidad de segundo orden. Se utiliza una repetición en el dominio del tiempo (espacio-tiempo). Este esquema requiere una estimación de canal de múltiples entradas y una salida (MISO).

2.2.2.2.6. Requerimientos del Sistema²

El transmisor de una SS debe soportar un control de nivel de potencia monotónico de mínimo 30dB si no soporta subcanalización, y de mínimo 50dB si la soporta, ambos con un paso mínimo de 1dB. La exactitud relativa del mecanismo de control de potencia es de ± 1.5 dB para pasos menores a 15dB, ± 3 dB para pasos entre 15dB y 30dB, y ± 5 dB para pasos mayores a 30dB. El transmisor del BS debe soportar un control de nivel de potencia monotónico de mínimo 10dB.³

Tipo de <i>Burst</i>	Error relativo de constelación para una SS (dB)	Error relativo de constelación para una BS (dB)
BPSK 1/2	-13.0	-13.0
QPSK 1/2	-16.0	-16.0
QPSK 3/4	-18.5	-18.5
16-QAM 1/2	-21.5	-21.5
16-QAM 3/4	-25.0	-25.0
64-QAM 2/3	-29.0	-29.0
64-QAM 3/4	-30.0	-30.1

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.9. – Error Relativo de Constelación Permitido vs. Tasa de Datos

Para asegurar que el SNR del receptor no se degrade más de 0.5dB debido al SNR del transmisor, el error relativo RMS de constelación, promediado sobre subportadoras, tramas OFDM y paquetes no debe exceder los valores indicados en la Tabla 2.9.

El ancho de banda permitido para la transmisión debe ser limitado al ancho de banda provisto por los organismos de regulación dividido para cualquier potencia de 2, redondeado al inferior más cercano múltiplo de 250kHz, cuyo resultado sea superior a 1.25MHz. Si el ancho de banda resultante es un múltiplo impar/par de 250kHz, para cada banda, la portadora RF puede ser sintonizable únicamente a

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

³ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

múltiplos impares/pares de 125kHz dentro de esa banda. Para FDD el soporte de ancho de banda debe ser solicitado separadamente para UL y DL.

En el receptor, el BER medido después del FEC debe ser menor a 10^{-6} . Durante las pruebas realizadas para determinar el buen funcionamiento del sistema, el C/I de canal adyacente y no adyacente debe ser superior a los valores presentados por la Tabla 2.10.

Modulación/Codificación	C/I de Canal Adyacente (dB)	C/I de Canal No Adyacente (dB)
16-QAM / 3/4	-11	-30
64-QAM / 3/4	-4	-23

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.10. – C/I de Canal Adyacente y de Canal No Adyacente

El receptor debe estar en la capacidad de decodificar una señal *on-channel* máxima de -30 dBm y de tolerar una señal máxima de 0dBm sin que se produzcan daños.

En la BS, la frecuencia central transmitida, la frecuencia central de recepción y la frecuencia del reloj de símbolos deben derivarse del mismo oscilador, con una tolerancia de $\pm 8 \times 10^{-6}$ hasta 10 años a partir de la fecha de manufactura.

En la SS, la frecuencia central transmitida y la frecuencia del reloj de muestreo deben estar sincronizadas entre ellas y con la BS con una tolerancia máxima de 2% del espacio entre portadoras para la frecuencia central transmitida y 5 ppm para la frecuencia del reloj de muestreo. En caso de existir subcanalización la tolerancia para la frecuencia central transmitida debe ser de 1% del espacio entre portadoras como máximo.¹

Todas las SSs deben adquirir y ajustar sus temporizadores de modo que todos los símbolos OFDM lleguen al mismo tiempo a la BS con una exactitud de $\pm 50\%$ del mínimo intervalo de guarda o mejor.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

2.2.2.3. WirelessMAN-OFDMA PHY

La capa Física WirelessMAN-OFDMA, basada en modulación OFDMA, está diseñada para operación NLOS en bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz. Al trabajar en bandas bajo licencia, los anchos de banda de canal permitidos deben limitarse al ancho de banda provisto por el organismo de regulación dividido por cualquier potencia de 2, sin llegar a ser menor a 1.0MHz.¹

El modo OFDMA PHY basado en al menos una de las dimensiones FFT 2048, 1024, 512 y 128 debe ser soportado, lo que facilita el soporte de varios anchos de banda de canal. La Estación Móvil (MS) puede implementar mecanismos de escaneo y búsqueda para detectar la señal DL al realizar el ingreso inicial a la red, lo que puede incluir detección dinámica de la dimensión FFT y del ancho de banda del canal utilizados por la BS.²

2.2.2.3.1. Tecnología OFDMA³

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) es un esquema de acceso múltiple/multiplexación que provee la multiplexación de flujos de datos de varios usuarios en subcanales DL y el acceso múltiple de subcanales UL.⁴ OFDMA es también conocida como OFDM multiusuario, ya que a diferencia de OFDM, en el cual un solo usuario puede transmitir en todas las subportadoras en determinado tiempo y la división en tiempo y frecuencia es utilizada para el soporte de múltiples usuarios, OFDMA permite a varios usuarios transmitir simultáneamente sobre varias subportadoras por símbolo OFDM.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

² Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

³ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

⁴ Fuente: WiMAX Forum, Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, marzo de 2006

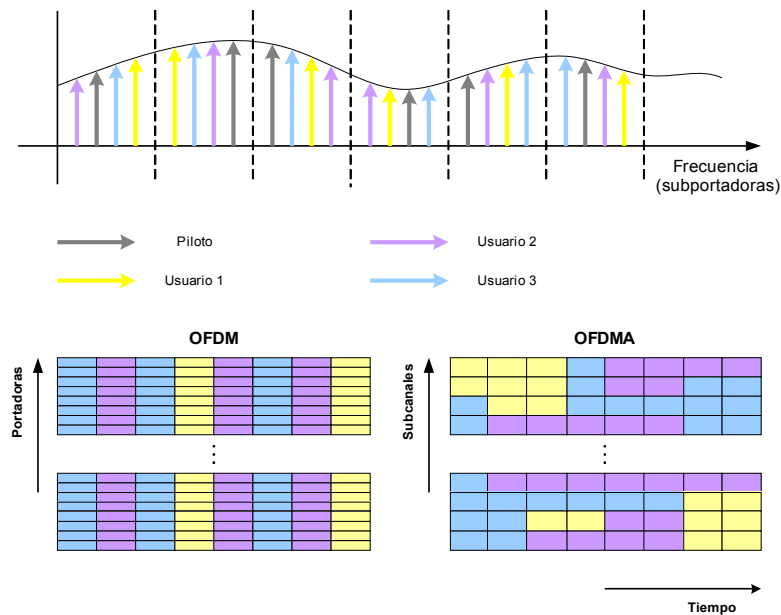
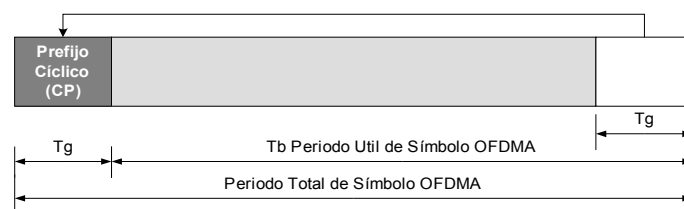


Figura 2.20. – Ejemplo de OFDMA con 3 usuarios

Las subportadoras activas son divididas en subgrupos de portadoras, conocidos como subcanales. En el DL estos subcanales pueden ser utilizados para varios receptores o grupos de ellos, mientras que en el UL uno o más subcanales son asignados a un transmisor, pudiendo además transmitir simultáneamente varios transmisores. En OFDMA, la subcanalización permite a varios usuarios transmitir sobre un mismo *slot* de tiempo utilizando los subcanales que se les ha asignado.

La forma de onda OFDMA es creada por la Transformada Inversa de Fourier. Su tiempo de duración es conocido como periodo útil de símbolo T_b . Además de T_b , la estructura de tiempo de un símbolo OFDMA está constituida por un Prefijo Cíclico (CP), que es una copia de los últimos T_g bits de T_b , y es utilizado para recolectar multitrayectorias manteniendo la ortogonalidad entre tonos.



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.21. – Estructura de tiempo de Símbolo OFDMA

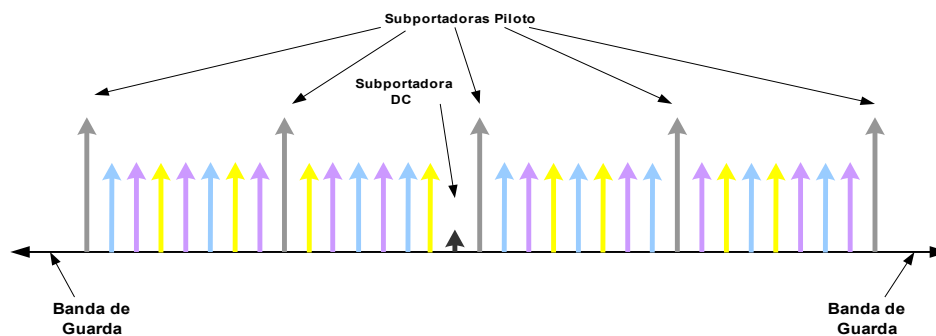
Un símbolo OFDMA está formado por subportadoras, cuyo número determina la longitud FFT usada.

Longitud FFT	Grupo de Subcanal	# Rango de Subcanal	Longitud FFT	Grupo de Subcanal	# Rango de Subcanal
2048	0	0-11	512	0	0-4
	1	12-19		1	---
	2	20-31		2	5-9
	3	32-39		3	---
	4	40-51		4	10-14
	5	52-59		5	---
1024	0	0-5	128	0	0
	1	6-9		1	---
	2	10-15		2	1
	3	16-19		3	---
	4	20-25		4	2
	5	26-29		5	---

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.11. – Índice de subcanales de los seis grupos de subcanales

Existen Subportadoras de Datos (para transmisión de datos), Subportadoras Piloto (para propósitos de estimación) y Subportadoras *Null* (sin transmisión, para bandas de guarda, portadoras no activas y portadora DC).



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.22. – Estructura de Subportadoras OFDMA

OFDMA trabaja con un factor de muestreo que toma los valores:¹

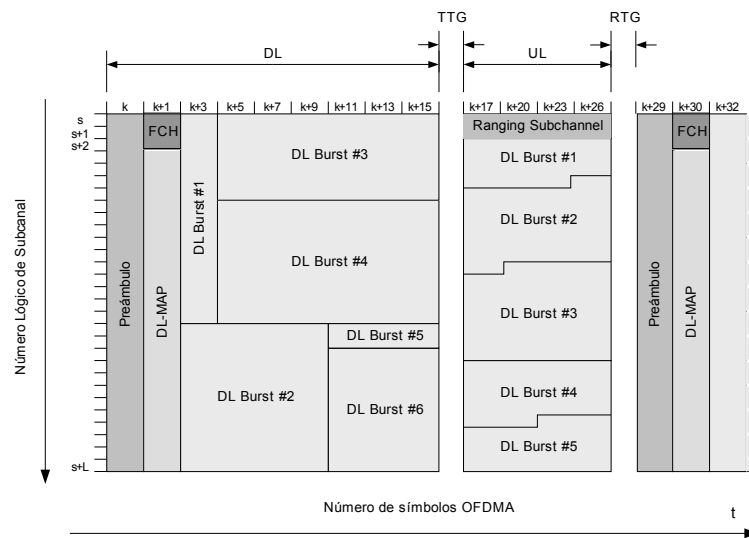
- 8/7 para anchos de banda de canal múltiplos de 1.75MHz
- 28/25 para anchos de banda de canal múltiplos de 1.25MHz, 1.5MHz, 2MHz y 2.75MHz.
- 8/7 para anchos de banda no de canal no especificados anteriormente.

2.2.2.3.2. Estructura de la Trama²

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

El método de duplexación utilizado puede ser TDD o FDD, en el caso de la SS, puede trabajar con H-FDD.



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.23. – Ejemplo de Trama OFDMA en modo TDD

La estructura de trama OFDMA para TDD se divide en subtramas UL y DL separadas por un *Transmit/Receive Transition Gap* (TTG) y un *Receive/Transmit Transition Gap* (RTG) que previenen colisiones entre transmisiones UL y DL.

La asignación de un subcanal en DL puede realizarse de dos formas: uso parcial de subcanales (PUSC) o uso total de subcanales (FUSC). El FCH es transmitido utilizando QPSK de tasa 1/2 con cuatro repeticiones, utilizando el esquema de codificación obligatorio en una zona PUSC. Las siguientes restricciones se aplican a las asignaciones en DL¹:

- El número máximo de zonas DL en una subtrama DL es de 8.
- Para cada SS, el número máximo de *bursts* a decodificar en una subtrama DL es de 64. Esto incluye todos los *bursts* sin identificador de conexión (CID) o con un CID que concuerde con el CID de la SS.
- Para cada MS, el número máximo de *bursts* transmitidos que comparten el mismo símbolo OFDMA y dirigidos a la MS se encuentra entre 1 y 16 y se establece en el intercambio de mensajes de gestión RNG-REQ/RSP.

Código (N)	Duración de la Trama (ms)	Tramas por segundo
0	-----	AAS
1	2	500

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

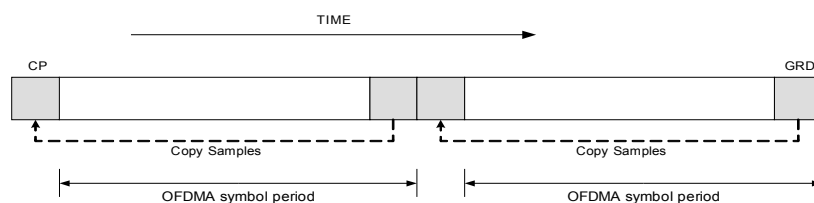
2	2.5	400
3	4	250
4	5	200
5	8	125
6	10	100
7	12.5	80
8	20	50
9-255	Reservados	

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.12. – Códigos de duración de trama OFDMA

La Tabla 2.12. muestra valores de duración de trama permitidos. Por lo general estas duraciones de trama no son múltiplos de la duración de símbolo OFDMA por lo cual se deberá realizar un relleno al final de la trama. Para TDD se debe incluir en la trama los intervalos de guarda RTG y TTG, que deben tener una duración mayor a 5µs.

OFDMA PHY especifica que un *ranging channel* está compuesto por uno o más grupos de seis subcanales adyacentes, usando la estructura de símbolo definida para PUSC. A los usuarios les es permitido colisionar en este canal. Para realizar una transmisión *ranging*, cada usuario escoge aleatoriamente un *ranging code* de un banco de códigos binario especificados, los mismos que son modulados sobre las subportadoras del *ranging channel* con modulación BPSK, un bit por subportadora. Para 128-FFT y 512-FFT, la BS puede asignar menos de seis subcanales para una asignación de *ranging* o requerimiento de Ancho de banda. El número de subcanales puede ser menor a 8 en el caso de PUSC opcional o AMC (adaptive modulation and coding). Para 512-FFT la mínima cantidad de subcanales debe ser de 5 o de 7 en el caso de PUSC opcional.¹



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.24. – Transmisión *Initial-Ranging/Handover-Ranging* para OFDMA

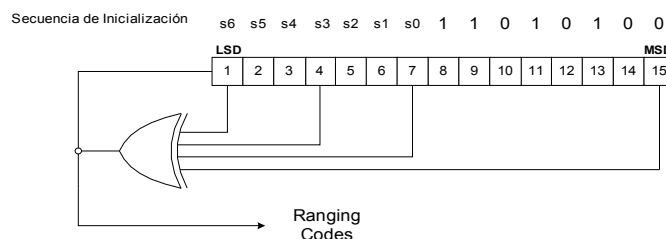
La BS puede asignar dos *slots Initial-Ranging/Handover-Ranging* consecutivos sobre los cuales la MS debe transmitir los dos códigos *Initial-Ranging/ Handover-Ranging*.²

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Las transmisiones de *ranging* periódicas y las transmisiones de requerimiento de ancho de banda son realizadas únicamente por SSs sincronizadas con el sistema. Para estas transmisiones pueden utilizarse ya sea uno como tres *ranging codes* consecutivos transmitidos durante uno o tres periodos de símbolo OFDM. En el caso de la utilización de tres *ranging codes*, la probabilidad de fallas disminuye y la capacidad de *ranging* aumenta.

Los *Ranging codes* son códigos binarios de pseudoruido producidos por un PRBS.



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.25. – Generador de *ranging codes*

2.2.2.3.3. Codificación de Canal¹

Los procedimientos de codificación de canal incluyen aleatorización, FEC, *bit interleaving*, repetición (para modulación QPSK) y modulación.



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.26. – Proceso de Codificación de Canal

La aleatorización de datos se realiza con todos los datos transmitidos en el DL y el UL, con excepción del FCH, utilizando el aleatorizador de la Figura 2.18. La aleatorización se inicializa con cada bloque FEC con la secuencia [LSB] 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 [MSB]. Si la cantidad de datos a transmitirse no coincide con el espacio asignado, un relleno de 0xFF debe ser aumentado al final del bloque de transmisión.

El método de codificación obligatorio es *Tail-biting Convolutional Encoding*, pero existen como métodos opcionales BTC y CTC. BTC se basa en el producto de dos códigos componentes simples, que son códigos binarios extendidos de

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Hamming o códigos de control de paridad.² CTC puede ser utilizado para soportar opcionalmente *Hybrid ARQ (HARQ)*.

El codificador se basa en un codificador convolucional de tasa 1/2, que es la base para la generación de códigos de tasa 2/3 y 3/4. Para obtener estos códigos la salida del codificador de tasa 1/2 pasa por un proceso de *puncturing*.¹

La Tabla 2.13. define los tamaños básicos de *payloads* de datos útiles a ser codificados en relación con el tipo de modulación y tasa de codificación.

Tipo De Modulación	Tasa De Codificación	Tamaños De <i>Payload</i> De Datos Útiles (Bytes)
QPSK	1/2	6, 12, 18, 24, 30, 36
	3/4	9, 18, 27, 36
16-QAM	1/2	12, 24, 36
	3/4	18, 36
64-QAM	1/2	18, 36
	2/3	24
	3/4	27

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.13. – Tamaños de *Payload* de Datos útiles por *Slot*

La implementación de Redundancia Incremental basada en HARQ es opcional.

Todos los bits de datos codificados pasan por un bloque de *interleaving* con un tamaño de bloque correspondiente al número de bits codificados por el bloque codificador. El *interleaver* se encuentra definido por una permutación de dos pasos, el primero asegura que los bits codificados adyacentes se ubiquen sobre subportadoras no adyacentes, mientras que el segundo asegura que estos bits se ubiquen alternadamente en bits menos y más significativos dentro del mapa de constelación evitando largas colas de bits poco confiables.²

La codificación de repetición es utilizada únicamente al modular los datos con QPSK. Permite incrementar el margen de señal en los mecanismos de modulación y FEC.

El factor de repetición R puede tomar los valores 2, 4, o 6. El número de *slots* asignados debe ser un múltiplo entero de este factor R. Para el DL, el número de *slots* asignados debe estar en el rango de [RxK, RxK+(R-1)] donde k es el número de *slots* requeridos antes de aplicar el esquema de repetición. Después del FEC y

² Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

² Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

el *interleaving*, los datos son segmentados en *slots*, y cada grupo de bits asignados a un *slot* se repetirá R veces para formar R *slots* contiguos.

Para el proceso de modulación, se realiza la aleatorización de la subportadora a través de un generador PRBS, similar al de la Figura 2.17., utilizado para obtener la secuencia $w(k)$, de la cual se deriva el valor de la modulación piloto sobre la subportadora k .

Después del bloque de repetición los bits de datos entran de manera serial hacia el mapa de constelación. Se deben soportar los Mapas de Gray QPSK($c=1/\sqrt{2}$) y 16-QAM($c=1/\sqrt{10}$), con el soporte de 64-QAM ($c=1/\sqrt{42}$) opcional, como los de las Figuras 2.6 y 2.7. Las constelaciones se normalizan al multiplicar los puntos en la constelación por el factor c , con el fin de lograr una potencia promedio equitativa.

Los datos del mapa de constelación deben ser subsecuentemente modulados en las subportadoras de datos asignadas. Antes de poner los datos sobre las subportadoras físicas, cada subportadora debe ser multiplicada por el factor $2x(1/2-w(k))$ de acuerdo al índice de subportadora físico k .

Para la estructura de celdas obligatoria en el UL y TUSC1 y TUSC2 en el DL, las subportadoras piloto son insertadas en cada *burst* de datos para constituir un símbolo y son moduladas según la ubicación de su subportadora en el símbolo. En todas las permutaciones, excepto UL-PUSC y DL-TUSC1 cada piloto se transmite con un aumento de 2.5dB sobre la potencia promedio de cada tono de datos. Las subportadoras piloto se modulan de acuerdo a la ecuación:

$$\operatorname{Re}\{c_k\} = \frac{8}{3} \left(\frac{1}{2} - w(k) \right) \cdot p_k \quad \operatorname{Im}\{c_k\} = 0$$

donde p_k es la polaridad para asignaciones SDMA en la zona AAS AMC, caso contrario $p=1$

Los pilotos dentro del preámbulo DL son modulados de acuerdo a la ecuación:¹

$$\operatorname{Re}\{\text{preámbulo modulado}\} = 4 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{1}{2} - w(k) \right) \quad \operatorname{Im}\{\text{preámbulo modulado}\} = 0$$

La modulación BPSK de las transmisiones de *ranging* es definida por la ecuación:²

¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

² Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

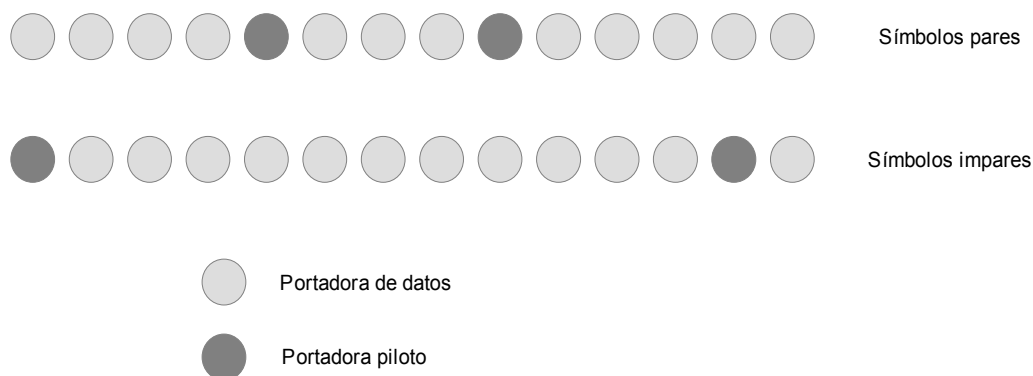
$$\operatorname{Re}\{c_k\}=2\left(\frac{1}{2}-C_k\right) \quad \operatorname{Im}\{c_k\}=0$$

donde c_k es la subportadora número k en el *ranging channel* y C_k es el bit número k del *ranging code* obtenido con el generador de la Figura 2.27.

Tres modos de múltiple HARQ son soportados (CTC *Incremental Redundancy*, *Generic Chase* y CC *Incremental Redundancy*) y pueden ser activados por cualquier modo FEC.

2.2.2.3.4. Mecanismos de Funcionamiento y Control³

La asignación de un subcanal en DL puede realizarse a través de PUSC con la utilización parcial de subcanales o a través de FUSC con la utilización total de subcanales. La estructura de símbolo DL-PUSC está formada de subportadoras piloto, de datos y cero. El símbolo es dividido en *clusters* y portadoras cero son asignadas inicialmente, luego de los cual se asignan en los clusters las portadoras piloto y de datos.



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.27. – Estructura de *cluster*

Parámetro	PUSC
Número de Subportadoras DC	1
Número de Subportadoras de Guarda a la Izquierda	184
Número de Subportadoras de Guarda a la Derecha	183
Número de subportadoras usadas	1681
Número de Clusters	120
Número de Subportadoras por cluster	14
Número de Subportadoras de datos en cada símbolo por Subcanal	24
Número de Subcanales	60

³ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

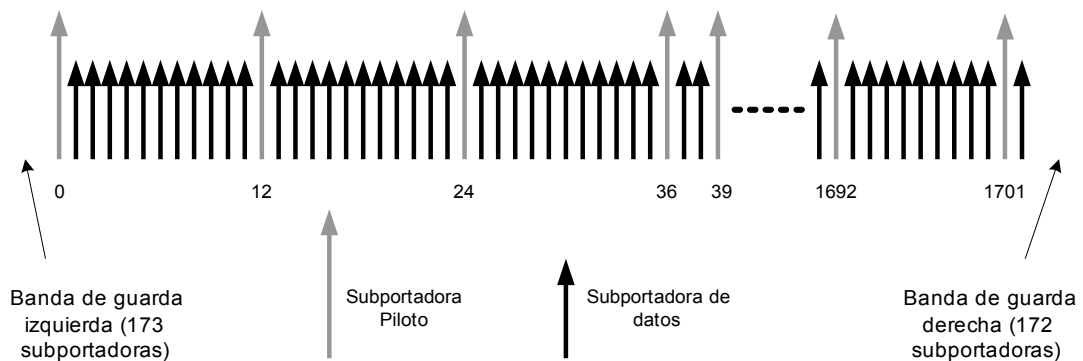
Tabla 2.14. – Parámetros de asignación de subportadora DL – PUSC (2048-FFT)

Parámetro	1024-FFT	512-FFT	128-FFT
Número de Subportadoras DC	1	1	1
Número de Subportadoras de Guarda a la Izquierda	92	46	22
Número de Subportadoras de Guarda a la Derecha	91	45	21
Número de subportadoras usadas	841	421	85
Número de <i>Clusters</i>	60	30	6
Número de portadoras por <i>cluster</i>	14	14	14
Número de Subportadoras de datos en cada símbolo por Subcanal	24	24	24
Número de Subcanales	30	15	3

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.15. – Parámetros de asignación de portadora DL - PUSC

La estructura de símbolo para DL-FUSC está formada por subportadoras piloto, de datos y cero. Al símbolo se le asigna inicialmente las subportadoras piloto y cero, y todas las subportadoras restantes son utilizadas para datos.

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>**Figura 2.28.** – Estructura de símbolo DL para el segmento 0 en el primer símbolo usando FUSC

Parámetro	FUSC	FUSC Opcional
Número de Subportadoras DC	1	1
Número de Subportadoras de Guarda a la Izquierda	173	160
Número de Subportadoras de Guarda a la Derecha	172	159
Número de subportadoras usadas	1703	1729
Pilotos	---	192
Número de Subportadoras de datos	1536	1536
Número de Subportadoras de datos por Subcanal	48	48
Número de Subcanales	32	32

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.16. – Parámetros de asignación de subportadora DL – FUSC (2048-FFT)

Parámetro	1024-FFT		512-FFT		128-FFT	
	FUSC	FUSC Opc	FUSC	FUSC Opc	FUSC	FUSC Opc
Número de Subportadoras DC	1	1	1	1	1	1
Número de Subportadoras de Guarda a la Izquierda	87	80	43	40	11	10
Número de Subportadoras de Guarda a la Derecha	86	79	42	39	10	9
Número de subportadoras usadas	851	865	427	433	107	109
Pilotos	---	96	---	48	4	12
Número de Subportadoras de datos	768	768	384	384	96	96
Número de Subportadoras de datos (Grupos) por Subcanal	48	48	48	48	48	48
Número de Subcanales	16	---	8	---	2	---

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.17. – Parámetros de asignación de portadora DL – FUSC y FUSC Opcional

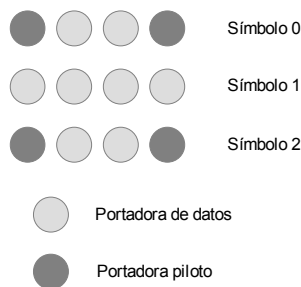
Al igual que el DL el UL soporta hasta tres segmentos. El UL soporta 70 subcanales de permutación PUSC y 96 de permutación opcional PUSC. Cada transmisión utiliza 48 portadoras de datos como mínimo bloque de procesamiento.

Parámetro	2048-FFT		1024-FFT		512-FFT		128-FFT	
	PUSC	PUSC Opc	PUSC	PUSC Opc	PUSC	PUSC Opc	PUSC	PUSC Opc
Número de Subportadoras DC	1	1	1	1	1	1	1	1
Número de Subportadoras de Guarda a la Izquierda	184	160	92	80	52	40	16	10
Número de Subportadoras de Guarda a la Derecha	183	159	91	79	51	39	15	9
Número de subportadoras usadas	1681	1729	841	865	409	433	97	109
Número de Subcanales	70	96	35	48	17	24	4	6
Número de Celdas	420	576	210	288	102	144	24	36
Número de Subportadoras por Celda	4	3	4	3	4	3	4	3
Número de Celdas por Subcanal	6	6	6	6	6	6	6	6

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.18. – Parámetros de asignación de portadora UL - PUSC

Un slot en el UL está formado por tres símbolos OFDMA y un subcanal, dentro de cada slot existen 48 subportadoras de datos y 24 pilotos de ubicación fija. El subcanal está compuesto por seis celdas UL cada una con cuatro subportadoras.



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.29. – Celda UL-PUSC

Existe la opción de utilizar estructuras DL TUSC1 y TUSC2 (*Tile Usage of Subchannels*). TUSC1 y TUSC2 poseen una estructura similar a UL-PUSC, cada transmisión utiliza 48 subportadoras de datos como el mínimo bloque de procesamiento.¹

Además de las permutaciones de subportadoras distribuidas DL-PUSC, DL-FUSC y UL-FUSC, la BS puede pasar a una permutación de subportadora adyacente al cambiar de un tráfico no AAS a un tráfico con AAS habilitado para soportar tráfico de usuario de subportadora adyacente AAS.

Una permutación adyacente agrupa un bloque de subportadoras adyacentes para formar un subcanal. Estas permutaciones incluyen al DL-AMC (*Adaptive Modulation and Coding*) y al UL-AMC. La permutación AMC permite diversidad multi-usuario al escoger el subcanal con mejor respuesta de frecuencia. Las permutaciones de subportadoras adyacentes tienen un mejor rendimiento en ambientes fijos, portátiles y de baja movilidad, mientras que las permutaciones subportadoras distribuidas funcionan mejor en aplicaciones móviles.²

Como mecanismos de control se tiene: la sincronización, el *ranging* y el control de potencia.

Tanto para FDD y TDD, todas las BSs deben encontrarse sincronizadas a una señal de tiempo común. En caso de que una BS pierda la señal de tiempo de la red, las BSs deben continuar operando y resincronizarse automáticamente a la señal de tiempo de la red, tan pronto sea recuperada. La referencia de sincronización debe ser un pulso de tiempo de 1pps o una frecuencia de referencia de 10MHz, provista en general por un receptor GPS. Tanto en TDD como en FDD, referencias de frecuencia derivadas de referencias de tiempo

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: WiMAX Forum, Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, marzo de 2006

pueden ser usadas para controlar la exactitud de la frecuencia de las BSs de modo que cumplan con los requerimientos.

El *Ranging* de tiempo (sincronización tosca) y de potencia se realiza durante el registro o pérdida de sincronización, y de manera periódica durante la transmisión ya sea TDD o FDD. Durante el registro, o re-registro (luego de una pérdida de sincronización), un nuevo suscriptor se registra a través del *Random Access Channel*, y en caso de ser exitoso, entra en un proceso de *ranging* bajo el control de la BS. El proceso de *ranging* es cíclico y los parámetros de potencia y tiempo por defecto son utilizados para iniciar el proceso, seguido por ciclos en los cuales los parámetros se recalculan hasta cumplir con los criterios de aceptación para el nuevo suscriptor. Estos parámetros son monitoreados, medidos y guardados por la BS y transmitidos a la unidad suscriptora durante el intercambio normal de información. Durante el intercambio de información los parámetros almacenados son actualizados de manera periódica basados en intervalos de actualización configurables, para asegurar que se puedan acomodar cambios en el canal.

Un algoritmo de control de potencia debe ser soportado por el UL con una calibración inicial y un procedimiento de ajuste periódico sin pérdida de datos. La BS debe encontrarse en capacidad de realizar mediciones exactas de la señal recibida, con el fin de compararlas con el nivel de referencia. El error resultante es enviado a la SS a través de un mensaje proveniente de la MAC para que realice la calibración correspondiente. El algoritmo de control de potencia debe estar diseñado para soportar la atenuación de potencia que puede producirse debido a pérdidas por distancia y fluctuaciones de potencia a tasas de máximo 30dB/s a profundidades de al menos 10dB para operación fija. Las SSs deben reportar la potencia promedio a la que están transmitiendo y la potencia máxima con la cual pueden transmitir (reportada para las constelaciones QPSK, 16-QAM y 64-QAM). Los parámetros de potencia son reportados en dBm y son cuantizados en pasos de 0.5dBm que van desde -64dBm (codificado 0x00) hasta 63.5dBm (codificado 0xFF).

Las mediciones de calidad de señal RSSI y CINR y sus estadísticas asociadas pueden ser de utilidad en procesos como selección/asignación de BS y selección de perfil adaptativo de *burst*. Tanto el promedio como la desviación estándar son definidas debido al comportamiento variante en el tiempo del canal. La

implementación de estas estadísticas así como sus reportes es obligatoria en la implementación del sistema. Las estadísticas de promedio y desviación estándar para RSSI deben ser reportados en unidades de dBm y dB respectivamente, cuantizadas en incrementos de 1dB y van desde -40dBm (0x53) hasta -123dBm (0x00). Las estadísticas de promedio y desviación estándar para CINR son reportados en unidades de dB, cuantizadas en incrementos de 1dB y van desde -10dB (0x00) hasta 53dB (0x3F).

2.2.2.3.5. *Métodos de Múltiples Antenas*¹

La capa Física WirelessMAN-OFDMA permite el soporte opcional de AAS (Sistema Adaptativo de Antena), con lo cual el sistema utiliza una transmisión de múltiples antenas mejorando la capacidad y cobertura del mismo al minimizar la probabilidad de cortes en la diversidad de transmisión, formación de señales y null steering.

Space Time Coding (STC) puede ser utilizado en el DL para proveer diversidad de transmisión de orden superior, la misma que puede realizarse usando 2 o 4 antenas. En el modo de 2 antenas, las 2 antenas de transmisión se encuentran en la BS y una antena receptora en la SS. Este esquema requiere estimación de canal de múltiples entradas y una sola salida. Ambas antenas transmiten dos símbolos de datos diferentes OFDMA al mismo tiempo. Este modo logra un mejor desempeño con mayor complejidad en el transmisor. Este esquema puede ser mejorado utilizando 4 antenas en la transmisión, 2 para transmitir cada símbolo, donde la segunda antena transmite el mismo símbolo que la primera pero utilizando un factor de multiplicación compleja. Existe además, el modo de 4 antenas que puede mejorar aún más la diversidad de transmisión realizando los arreglos necesarios para transmitir sobre cuatro antenas en vez de dos (un símbolo diferente por antena) con los esquemas PUSC o FUSC.

MIMO midamble es un método adicional a través del cual un símbolo OFDM se mapea sobre 2, 3 o 4 antenas. Subportadoras no sobrepuestas son asignadas a las antenas transmisoras.²

2.2.2.3.6. *Requerimientos del Sistema*³

¹ Fuente: IEEE Std 802.16TM-2004

² Fuente: IEEE Std 802.16eTM-2005 and IEEE Std 802.16TM-2004/Cor 1-2005

³ Fuente: IEEE Std 802.16TM-2004

El transmisor de una SS debe soportar un control de nivel de potencia de mínimo 45dB con un paso mínimo de 1dB y con una exactitud relativa del ± 0.5 dB.

La diferencia absoluta entre portadoras adyacentes no debe exceder los 0.1dB.

Con el fin de asegurar que el SNR del receptor no se degrade más de 0.5dB debido al SNR del transmisor, el error relativo RMS de constelación, promediado sobre subportadoras, tramas OFDMA y paquetes no debe exceder los valores indicados en la Tabla 2.19.

Tipo de <i>Burst</i>	Error relativo de constelación para una SS (dB)	Error relativo de constelación para una BS (dB)
QPSK 1/2	-15.0	-15.0
QPSK 3/4	-18.0	-18.0
16-QAM 1/2	-20.5	-20.5
16-QAM 3/4	-24	-24
16-QAM 1/2	-26	-26
64-QAM 2/3	-28	-28
64-QAM 3/4	-30	-30

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.19. – Error Relativo de Constelación Permitido vs. Tasa de Datos

La suma de mediciones de error debe ser 10dB menor al nivel de ruido requerido.

En la BS, la trama de radio DL transmitida debe encontrarse alineada con el pulso de tiempo de 1pps. El inicio del símbolo del preámbulo, excluyendo la duración de CP, debe encontrarse alineado con el pulso de 1pps al ser medido en el puerto de la antena. La MS debe obtener el tiempo de referencia del sistema a través de la utilización de métodos de *ranging* CDMA durante el ingreso a la red y el *ranging* periódico.¹

En el receptor, el BER medido después del FEC debe ser menor a 10^{-6} para los niveles de potencia dados por la ecuación de nivel de sensibilidad mínima del receptor R_{SS} :

$$R_{SS} = -114 + SNR_{Rx} - 10 \times \log_{10}(R) + 10 \times \log_{10}\left(\frac{F_S \times N_{Used}}{N_{FTT}}\right) + \mathbf{Im} \ pLoss + NF$$

Donde:

SNR_{Rx} = SNR del receptor de acuerdo a la tabla 2.20

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

R	=	Factor de repetición
F_s	=	Frecuencia de muestreo en MHz
ImpLoss	=	Perdidas por implementación, se asume el valor de 5dB
NF	=	Figura de ruido referida al puerto de la antena, se asume 8dB
N_{Used}	=	Número de subportadoras usadas
N_{FFT}	=	Menor potencia de dos superior a N_{Used}

Tipo De Modulación	Tasa De Codificación	SNR en el Receptor (dB)
QPSK	1/2	5
	3/4	8
16-QAM	1/2	10.5
	3/4	14
64-QAM	1/2	16
	2/3	18
	3/4	20

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.20. – SNR en el receptor

La MS debe ajustar de manera autónoma el tiempo de transmisión UL de acuerdo a los avances y retardos de tiempo de la primera ruta DL en llegar. En la MS, la trama de radio transmitida debe estar alineada en tiempo con el límite de la trama UL especificada por la red.

El receptor debe estar en capacidad de tolerar una señal máxima de 0dBm sin que se produzcan daños.

En la BS, la frecuencia central transmitida, la frecuencia central de recepción y la frecuencia del reloj de símbolos deben derivarse del mismo oscilador, con una tolerancia de $\pm 2 \times 10^{-6}$. En la SS, tanto la frecuencia central transmitida como la frecuencia de muestreo deben estar sincronizadas entre ellas y con la BS con una tolerancia máxima de 2% del espacio entre portadoras.¹

Durante el periodo de sincronización, la SS debe adquirir sincronización de frecuencia dentro de la tolerancia especificada, antes de realizar cualquier transmisión. Durante la operación normal, la SS debe monitorear los cambios de frecuencia, al estimar el *offset* de frecuencia DL, y aplazar cualquier transmisión si se perdiera la sincronización. Para determinar la frecuencia de transmisión, la SS

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

debe acumular las correcciones de *offset* de frecuencia transmitidas por la BS, y sumar al *offset* acumulado un *offset* de frecuencia UL estimado basado en la señal DL.¹

Existen tres modos opcionales para el soporte de HARQ:²

- Redundancia incremental para CTC: los subpaquetes se generan pasando por los procesos de *padding*, CRC16-CCITT³, fragmentación (en paquetes de 48, 96, 144, 192, 288, 384, 480, 960, 1920, 2880, 3840, 4800 bits), aleatorización y codificación CTC
- *Chase combining*: válido para todos los esquemas de codificación, se aumenta un CRC16-CCITT¹ en el transmisor para chequeo de errores en el receptor y envío de mensajes ACK (Acknowledgement) o N-ACK (Non-Acknowledgement), dependiendo el caso a través de los canales asignados para ACK.
- Redundancia incremental para CC: similar a *Chase combining*, con la diferencia de que un SPID es asignado por el HARQ UL/DL MAP IE que puede ser cambiado arbitrariamente por la BS entre transmisiones. El proceso de codificación se basa en un esquema de codificación no-HARQ utilizando un proceso de *puncturing* de modo que para cada retransmisión el bloque de código no es el mismo.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

³ Definido por la recomendación X.25 de la ITU-T

2.2.3. ESPECIFICACIONES DE CAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

2.2.3.1. MAC Common Part Sublayer¹

La capa de Control de Acceso al Medio (MAC) funciona en un modo orientado a conexión². Las redes que funcionan bajo las especificaciones de IEEE802.16e son redes que utilizan el espacio como medio compartido para la transmisión, y utilizan principalmente la topología punto a multipunto (PMP). El estándar IEEE802.16 especifica además la topología en malla.

Al trabajar con topología PMP la comunicación en la red se realiza desde una BS hacia las SS. La BS central funciona con una antena sectorizada capaz de manejar múltiples sectores independientes simultáneamente. La transmisión DL se da generalmente en forma de *broadcast* dentro de un mismo sector y un canal de frecuencia dado. El envío de mensajes por parte de la BS hacia las SS puede ser *unicast*, *multicast* o *broadcast*. En el UL las SS comparten el enlace hacia la BS en base a la demanda.

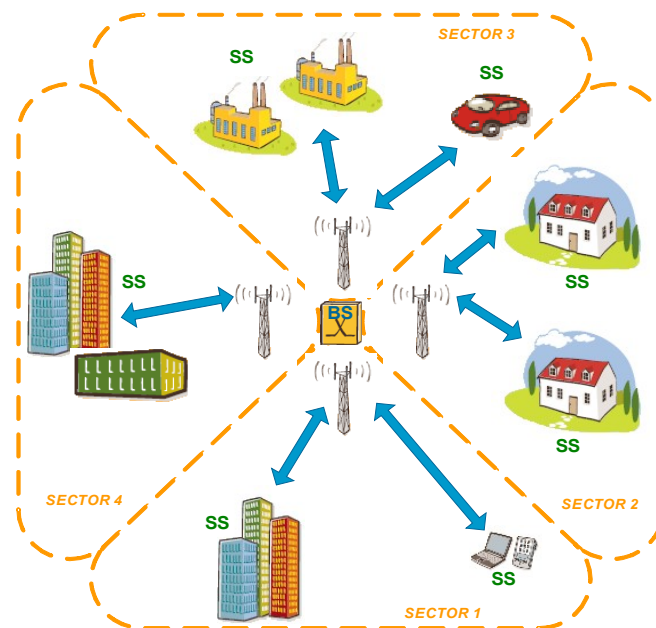


Figura 2.30. – Topología PMP

Cada Al perteneciente a una SS debe tener su propia dirección MAC de 48 bits de acuerdo con IEEE Std 802[®]-2001, utilizada tanto en el proceso de *ranging* inicial para establecer una conexión apropiada, como en el proceso de autenticación. Las conexiones son identificadas con un CID de 16-bits, y se establecen dos

¹ Fuente: IEEE Std 802.16[™]-2004

² Fuente: IEEE Std 802.16e[™]-2005 and IEEE Std 802.16[™]-2004/Cor 1-2005

pares de conexiones de gestión en la inicialización de la SS (un par para UL y uno para DL) y un tercero opcional. Los tres pares de conexiones de gestión reflejan los tres niveles de QoS existentes entre la BS y la SS. Estas conexiones son:

- **Conexión Básica:** usada en el intercambio de mensajes de gestión MAC cortos y urgentes.
- **Conexión de Gestión Primaria:** usada para intercambiar mensajes de gestión MAC más largos, para los cuales un retardo es más tolerable. Especifica también mensajes de gestión MAC llevados en la conexión *broadcast*.
- **Conexión de Gestión Secundaria:** utilizada para transmitir mensajes basados en estándares (DHCP, TFTP, SNMP, etc...) empaquetados o fragmentados que sean tolerantes a retardos.

Los mensajes de gestión deben tener obligatoriamente CRC. Todas las comunicaciones de datos se transmiten sobre conexiones de transporte, sobre las que nunca se transmitirán mensajes de gestión. Ni los servicios portadores ni los servicios de datos se transmitirán sobre conexiones Básicas o de Gestión Primaria o Secundaria.

El MAC PDU está formado por un *Generic MAC Header* de longitud fija, seguido por el *Payload* con un número variable de bytes y el CRC obligatorio.

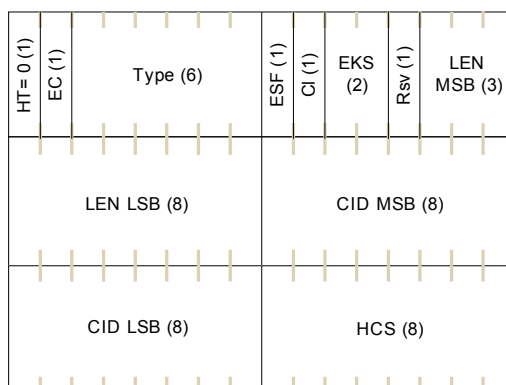


Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.31. – MAC PDU

Para DL, el DL MAC *Header* es un *Generic MAC Header*, el cual inicia cada MAC PDU ya sea que contenga mensajes de gestión MAC o datos de la Subcapa de Convergencia (CS). En el UL, se definen dos tipos de UL MAC *Header*. El primero es un *Generic MAC Header* que se encuentra en MAC PDUs que contengan mensajes de gestión MAC o datos CS. El segundo es un *MAC Header* sin *payload*, el cual no viene seguido ni de *payload* ni de CRC.¹

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.32. – Generic MAC Header

Campos del Generic MAC Header		Descripción
HT (<i>Header Type</i>) =	0	Generic MAC Header
EC (<i>Encryption Control</i>) =	0	Payload no encriptado
	1	Payload encriptado
ESF (<i>Extended Subheader Field</i>)=	0	No existe <i>Extended Subheader</i>
	1	Existe <i>Extended Subheader</i>
CI (<i>CRC Indicator</i>) =	0	No CRC
	1	CRC
EKS (<i>Encryption Key Sequence</i>)		Clave de encriptación. Tiene significado únicamente si EC=1
LEN		Longitud del MAC PDU, incluyendo <i>MAC header</i> , <i>payload</i> y CRC
CID (<i>Connection Identifier</i>)		Identificador de conexión
Rsv		Bits Reservados
HCS (<i>Header Check Sequence</i>)		Utilizado para detectar errores en el encabezado.

Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Tabla 2.21. – Codificaciones del campo *Type* para el MAC Signaling Header Tipo 1

Existen seis tipos de *Subheader* que pueden estar presentes inmediatamente después del *Generic MAC Header* que son: *Fragmentation Subheader*, *Grant Management Subheader*, *Packing Subheader*, *Mesh Subheader*, *Fast-Feedback allocation Subheader* y *Extended Subheader*.¹

El campo *Type* se encuentra compuesto por los bits: *Mesh Subheader*, *ARQ Feedback Payload*, *Extended Type*, *Fragmentation Subheader*, *Packing Subheader* y para DL: *FAST-FEEDBACK Allocation Subheader* o para UL: *Grant Management Subheader*. En el caso de ser 1 indican presencia y de ser 0 indican ausencia. Estos bits, junto con los demás campos del *Generic MAC Header* indican si el MAC PDU pasa por procesos de concatenación, fragmentación, empaquetamiento, cálculo de CRC, encriptación y *padding*.²

Varios Mensajes de Gestión MAC, datos de usuario y MAC PDUs de

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Requerimiento de Ancho de Banda pueden ser concatenados en una sola transmisión ya sea en dirección UL o DL.

Un MAC PDU o un Mensaje de Gestión MAC puede fragmentarse en varios MAC PDU lo que permite el uso eficiente del ancho de banda disponible en relación a los requerimientos de QoS del *service flow* de una conexión. Para conexiones no-ARQ los fragmentos son transmitidos en secuencia una sola vez, de modo que en caso de pérdida de algún paquete todo el MAC PDU sea descartado. Para conexiones con ARQ, la fragmentación es opcional, en caso de producirse, los fragmentos son formados concatenando grupos de bloques ARQ con números de secuencia adyacentes.

La MAC puede empaquetar varios MAC SDUs en un MAC PDU, y transmitir paquetes de longitud fija o paquetes de longitud variable.

CRC es aumentado al MAC PDU cuando lo solicita un *service flow*. Se aumenta un CRC32 al *payload* de cada MAC PDU con HT=0, cubriendo el *Generic MAC Header* y el *payload* del MAC PDU encriptados.¹

La encriptación del *payload* es indicada por el bit EC y la clave de encriptación por el campo EKS del *Generic MAC Header*.

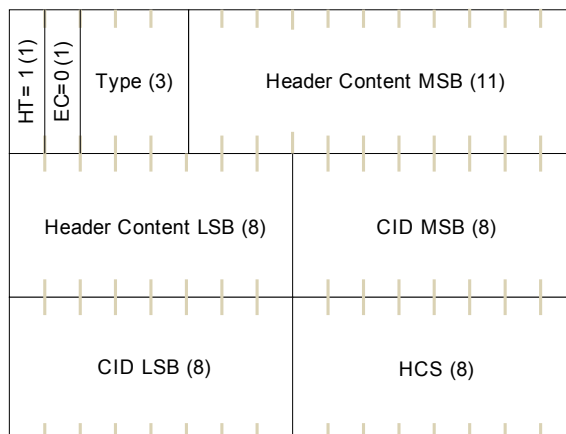
En el caso de que exista espacio inutilizado dentro de un *burst* de datos se realiza un proceso de *padding* en el cual a cada byte no utilizado se le da el valor de 0xFF. Si el tamaño de la región sin utilizar es al menos del tamaño del *MAC Header*, puede ser utilizada como MAC PDU.

La implementación de mecanismos ARQ como parte de la MAC es opcional y puede ser activado independientemente para cada conexión sin mezclar tráfico ARQ y no ARQ dentro de una misma conexión y limitándose a una conexión unidireccional. La información de *feedback ARQ* puede ser enviada como un mensaje de gestión MAC en la conexión de gestión básica apropiada o incluirla dentro de una conexión existente.

Existen dos tipos de *MAC Header* sin *payload*: *MAC Signaling Header Type I* y *MAC Signaling Header Type II*.² El *MAC Signaling Header Type I* tiene la forma:

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.33. – Formato del *MAC Signaling Header* Tipo 1

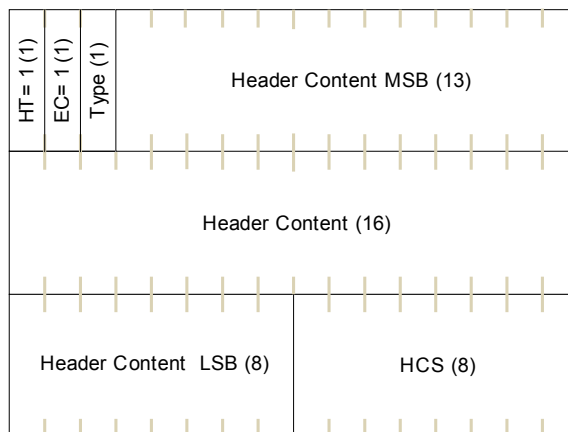
Campo <i>Type</i> (3 bits)	Tipo de MAC <i>Header</i> (con HT/EC =0b10)	Bits en el campo <i>Header Content</i>
000	BR Incremental	BR (Número de bytes de ancho de banda UL requeridos por la SS) [19bits]
001	BR Aumentado	BR (Número de bytes de ancho de banda UL requeridos por la SS) [19bits]
010	Reporte de canal PHY	<i>Preferred-DIUC</i> [4bits] UL <i>Tx Power</i> (potencia para el <i>burst</i> en dBm) [8bits] UL <i>Headroom</i> (espacio hasta el nivel máx. de potencia UL en dBm para el <i>burst</i>)[6bits] <i>Reserved</i> [1bits]
011	BR con reporte de Potencia de Tx UL	BR (Número de bytes de AB UL requeridos por la MS) [11bits] UL <i>Tx Power</i> (potencia para el <i>burst</i> en dBm) [8bits]
100	BR con reporte de CINR	BR (Número de bytes de AB UL requeridos por la MS) [11bits] CINR (medido por la MS)[7bits] DCD (indicación de cambio) [7bits]
101	BR con control <i>sleep</i> UL	BR (Número de bytes de AB UL requeridos por la MS) [11bits] <i>Power Saving Class ID</i> (clase de ahorro de energía)[6bits] <i>Operation</i> (active o desactiva el ahorro de energía)[1bits] <i>Reserved</i> [1bits]
110	Reporte SN	El PDU de este encabezado debe ser descartado si es recibido en el DL por una MS. <i>Last</i> (0=número de secuencia de bloque ARQ o SDU de las primeras 3 conexiones con SN feedback activado; 1= número de secuencia de bloque ARQ o SDU de la 4ta, 5ta y 6ta conexión con SN <i>feedback</i> activo)[1bits] SDU SN1 (ARQ BSN o MAC SDU SN para el 1er <i>Service Flow</i> al que se dirige el encabezado)[6bits] SDU SN2 (ARQ BSN o MAC SDU SN para el 2do <i>Service Flow</i> al que se dirige el encabezado) [5bits] SDU SN3 (ARQ BSN o MAC SDU SN para el 3er <i>Service Flow</i> al que se dirige el encabezado) [6bits]
111	Requerimiento de asignación CQICH	<i>Feedback Type</i> (tipo de <i>feedback</i> , no se toma en cuenta cuando FBSSI=1)[3bits] FBSSI (activado cuando la MS solicita CQICH durante el FBSS <i>handoff</i>)[1bits] <i>Preferred-Period</i> (periodo de asignación CQICH, no se toma en cuenta cuando FBSSI=1)[3bits] <i>Reserved</i> [12bits]

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.22. – Codificaciones del campo *Type* para el *MAC Signaling Header* Tipo 1

Los tres bits del campo *type* vienen codificados según la Tabla 2.2.

El *MAC Signaling Header Type II* es específico del UL y tiene la forma:



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.34. – Formato del *MAC Signaling Header* Tipo 2

Cuando el campo *Type* toma el valor de 0 el tipo de *MAC Header* es reservado. Cuando el campo *Type* toma el valor de 1 el encabezado es un *Feedback Header* y los 4 MSB del *Header Content* corresponden al campo *Type Feedback* y se toman para seleccionar el tipo de *Feedback*.¹

Campo <i>Type Feedback</i>	Contenido del <i>Feedback</i>
0000	<i>MIMO Feedback Type</i> (3bits) + <i>feedback payload</i> (6 bits)
0001	CNIR Promedio DL (5bits)
0010	Coeficientes <i>MIMO feedback</i> para hasta cuatro antenas (7bits)
0011	<i>Preferred DIUC</i> (4bits) + cuenta de cambio DCD (4 bits)
0100	Potencia de transmisión UL (8bits)
0101	<i>Preferred DIUC</i> (4bits) + Potencia de Tx UL (8bits) + UL- <i>Headroom</i> (6bits)
0110	CQIs para hasta 4 bandas múltiples AMC DL de mejor recepción (>12bits)
0111	Número de tramas para el que puede usarse <i>Short-term Precoding Feedback</i> (4bits)
1000	Múltiples tipos de <i>feedback</i>
1001	<i>Long-term Precoding Feedback</i>
1010	CNIR promedio DL combinado de las BSs activas (5bits)
1011	<i>MIMO mode channel condition feedback</i>
1100	<i>CNIR Mean</i> (8bits)+ <i>CNIR Deviation</i> (8bits)
1101	<i>Closed-loop MIMO feedback</i>
1110-1111	Reservado

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.23. – Codificaciones del campo *Type Feedback* para el *MAC Signaling Header* Tipo 2

Estos encabezados pueden o no llevar CID, el cual en caso de existir constituiría los 16 LSB del *Header Content*.

Existe un grupo de mensajes de gestión que son llevados en el MAC PDU. Los mensajes llevados en las conexiones Básica (Ba), *Broadcast* (B), *Broadcast*

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Fragmentable (FB) e *Initial Ranging* (IR) no deben ser ni empaquetados ni fragmentados mientras que los paquetes llevados en la conexión de Gestión Primaria si. Todos estos mensajes deben llevar CRC activado.

Tipo	Mensaje	Descripción	Conexión
0	UCD	<i>Uplink Channel Descriptor</i>	FB
1	DCD	<i>Downlink Channel Descriptor</i>	FB
2	DL-MAP	<i>Downlink Access Definition</i>	PM
3	UL-MAP	<i>Uplink Access Definition</i>	B
4	RNG-REQ	<i>Ranging Request</i>	IR o Ba
5	RNG-RSP	<i>Ranging Response</i>	IR o Ba
6	REG-REQ	<i>Registration Request</i>	PM
7	REG-RSP	<i>Registration Response</i>	PM
8	—	<i>Reserved</i>	—
9	PKM-REQ	<i>Privacy Key Management Request</i>	PM
10	PKM-RSP	<i>Privacy Key Management Response</i>	PM o B
11	DSA-REQ	<i>Dynamic Service Addition Request</i>	PM
12	DSA-RSP	<i>Dynamic Service Addition Response</i>	PM
13	DSA-ACK	<i>Dynamic Service Addition Acknowledge</i>	PM
14	DSC-REQ	<i>Dynamic Service Change Request</i>	PM
15	DSC-RSP	<i>Dynamic Service Change Response</i>	PM
16	DSC-ACK	<i>Dynamic Service Change Acknowledge</i>	PM
17	DSD-REQ	<i>Dynamic Service Deletion Request</i>	PM
18	DSD-RSP	<i>Dynamic Service Deletion Response</i>	PM
19-20	—	<i>Reserved</i>	—
21	MCA-REQ	<i>Multicast Assignment Request</i>	PM
22	MCA-RSP	<i>Multicast Assignment Response</i>	PM
23	DBPC-REQ	<i>Downlink Burst Profile Change Request</i>	Ba
24	DBPC-RSP	<i>Downlink Burst Profile Change Response</i>	Ba
25	RES-CMD	<i>Reset Command</i>	Ba
26	SBC-REQ	<i>SS Basic Capability Request</i>	Ba
27	SBC-RSP	<i>SS Basic Capability Response</i>	Ba
28	CLK-CMP	<i>SS network clock comparison</i>	B
29	DREG-CMD	<i>De/Re-register Command</i>	Ba
30	DSX-RVD	<i>DSx Received Message</i>	PM
31	TFTP-CPLT	<i>Config File TFTP Complete Message</i>	PM
32	TFTP-RSP	<i>Config File TFTP Complete Response</i>	PM
33	ARQ-Feedback	<i>Standalone ARQ Feedback</i>	Ba
34	ARQ-Discard	<i>ARQ Discard message</i>	Ba
35	ARQ-Reset	<i>ARQ Reset message</i>	Ba
36	REP-REQ	<i>Channel measurement Report Request</i>	Ba

Tipo	Mensaje	Descripción	Conexión
37	REP-RSP	<i>Channel measurement Report Response</i>	Ba
38	FPC	<i>Fast Power Control</i>	B
39	MSH-NCFG	<i>Mesh Network Configuration</i>	B
40	MSH-NENT	<i>Mesh Network Entry</i>	Ba
41	MSH-DSCH	<i>Mesh Distributed Schedule</i>	B
42	MSH-CSCH	<i>Mesh Centralized Schedule</i>	B
43	MSH-CSCF	<i>Mesh Centralized Schedule Configuration</i>	B
44	AAS-FBCK-REQ	<i>AAS Feedback Request</i>	Ba
45	AAS-FBCK-RSP	<i>AAS Feedback Response</i>	Ba
46	AAS_Beam_Select	<i>AAS Beam Select message</i>	Ba
47	AAS_BEAM_REQ	<i>AAS Beam Request message</i>	Ba
48	AAS_BEAM_RSP	<i>AAS Beam Response message</i>	Ba
49	DREG-REQ	<i>SS De-registration message</i>	Ba
50	MOB_SLP-REQ	<i>sleep request message</i>	Ba
51	MOB_SLP-RSP	<i>sleep response message</i>	Ba
52	MOB_TRF-IND	<i>traffic indication message</i>	B
53	MOB_NBR-ADV	<i>neighbor advertisement message</i>	B, PM
54	MOB_SCN-REQ	<i>scanning interval allocation request</i>	Ba
55	MOB_SCN-RSP	<i>scanning interval allocation response</i>	Ba
56	MOB_BSHO-REQ	<i>BS HO request message</i>	Ba
57	MOB_MSHO-REQ	<i>MS HO request message</i>	Ba
58	MOB_BSHO-RSP	<i>BS HO response message</i>	Ba
59	MOB_HO-IND	<i>HO indication message</i>	Ba
60	MOB_SCN-REP	<i>Scanning result report message</i>	PM
61	MOB_PAG-ADV	<i>BS broadcast paging message</i>	B
62	MBS_MAP	<i>MBS MAP message</i>	—
63	PMC_REQ	<i>Power control mode change request message</i>	Ba
64	PMC_RSP	<i>Power control mode change response message</i>	Ba
65	PRC-LT-CTRL	<i>Setup/Tear-down of long-term MIMO precoding</i>	Ba
66	MOB_ASC-REP	<i>Association result report message</i>	PM
67-255		<i>Reserved</i>	—

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.24. – Mensajes de Gestión MAC

Los servicios de planificación representan mecanismos de manejo de datos soportados por el planificador MAC, para transporte de datos sobre una conexión. Cada conexión se asocia con un solo servicio de planificación, determinado por un grupo de parámetros de QoS que cuantifica aspectos de su comportamiento. Estos parámetros son manejados utilizando diálogos de mensajes DSA y DSC. Se

soportan los cuatro servicios de planificación indicados en la Tabla 2.5.¹

Tipo de servicio de Planificación	Ejemplo de servicio	Parámetros importantes de QoS	Nombre del servicio para UL
Soporta flujos de datos en tiempo real que consisten en paquetes de tamaño fijo emitidos periódicamente	T1/E1 y VoIP sin supresión de silencio	tamaño del SDU (si es fijo) tasa de tráfico mínima reservada latencia máxima Políticas Solicitud/Transmisión <i>Grant Scheduling Type (UL Service Flow)</i> Intervalo <i>Grant</i> no solicitado (<i>UL Service Flow</i>)	<i>Unsolicited Grant Service (UGS)</i>
Soporta flujos de datos en tiempo real que consisten en paquetes de tamaño variable emitidos periódicamente	video MPEG	prioridad de tráfico latencia máxima tasa de tráfico mínima reservada tasa de tráfico máxima soportada Políticas Solicitud/Transmisión Intervalo de <i>Polling</i> no solicitado (<i>UL Service Flow</i>) <i>Scheduling Type (UL Service Flow)</i>	<i>Real-time Polling Service (rtPS)</i>
Soporta flujos de datos tolerantes a retardos que consisten en paquetes de datos de tamaño variable para los cuales se requiere una tasa de datos mínima	FTP	tasa de tráfico mínima reservada tasa de tráfico máxima soportada prioridad de tráfico Políticas Solicitud/Transmisión <i>Scheduling Type (UL Service Flow)</i>	<i>Non-real-time Polling Service (nrtPS)</i>
Soporta flujos de datos para los que no se requiere un nivel mínimo de servicio y que por lo tanto pueden ser manejados en base al espacio disponible	Transferencia de datos, Web <i>browsing</i>	tasa de tráfico mínima reservada Políticas Solicitud/Transmisión <i>Scheduling Type (UL Service Flow)</i>	<i>Best Effort (BE)</i>

Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Tabla 2.25. – Mensajes de Gestión MAC

Durante el ingreso a la red e inicialización, a cada SS se le asigna hasta tres CIDs dedicados con el propósito de enviar y recibir mensajes de control.

Requerimientos de aumento o disminución de ancho de banda son necesarios excepto para conexiones UGS de tasa de bits constantes incompresibles. Las necesidades de las conexiones UGS incompresibles no cambian entre el establecimiento y la terminación de la conexión y pueden aumentar o disminuir dependiendo del tráfico. Servicios DAMA (*Demand Assigned Multiple Access*) son recursos entregados en base a la demanda, conforme la demanda aumenta.

Cuando una SS necesita solicitar ancho de banda en una conexión con servicio de planificación BE, envía un mensaje a la BS que contiene los requerimientos inmediatos de la conexión DAMA. La capa física WirelessMAN-OFDM soporta el

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

mecanismo de Requerimiento de Ancho de Banda obligatorio, que permite a la SS enviar mensajes de requerimiento de ancho de banda como un *stand-alone bandwidth request header*. Además, soporta un mecanismo alternativo en el cual la SS envía una transmisión enfocada a la contención durante un REQ *Region-Focused*, que consiste en uno de ocho posibles Códigos de Contención modulados en el *Contention Channel* de cuatro portadoras.

La capa física WirlessMAN-OFDMA soporta dos mecanismos de requerimiento de ancho de banda basados en contención. El primer mecanismo es Requerimiento de Ancho de Banda obligatorio, que permite a la SS enviar mensajes de requerimiento de ancho de banda como un *stand-alone bandwidth request header* y el segundo mecanismo se basa en CDMA. En este segundo mecanismo la SS escoge un *Ranging Code* del grupo de códigos asignados a *Bandwidth Request*, lo modula en el *Ranging Subchannel* y lo transmite.

2.2.3.1.1. Soporte de la PHY por la MAC¹

El protocolo MAC soporta dos técnicas de duplexación: FDD y TDD. AAS (*Adaptive Antenna System*) es un servicio de la capa MAC, opcional para la capa física, a través del cual el sistema puede utilizar más de una antena para la transmisión, lo que mejora el rango y capacidad del sistema al adaptar el patrón de la antena y al concentrar la radiación hacia cada suscriptor individual. La eficiencia espectral puede incrementarse en forma lineal respecto al número de antenas que se utilicen. Esto se logra guiando las señales simultáneamente a múltiples usuarios y al realizar un reuso de frecuencias inter-celdas de 1 y un reuso de frecuencias interno a la celda equivalente al número de antenas utilizadas. Entre los beneficios adicionales se encuentra el aumento en el SNR alcanzado al combinar de manera coherente varias señales, la habilidad de dirigir esta ganancia a usuarios particulares y la reducción de interferencia.

2.2.3.1.2. Resolución de Contención²

Pueden ocurrir colisiones durante el *Ranging* Inicial e intervalos de *Request*. El método de contención soportado obligatorio se basa en un *backoff* exponencial binario truncado, con ventanas de *backoff* inicial y de *backoff* máxima controladas

¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

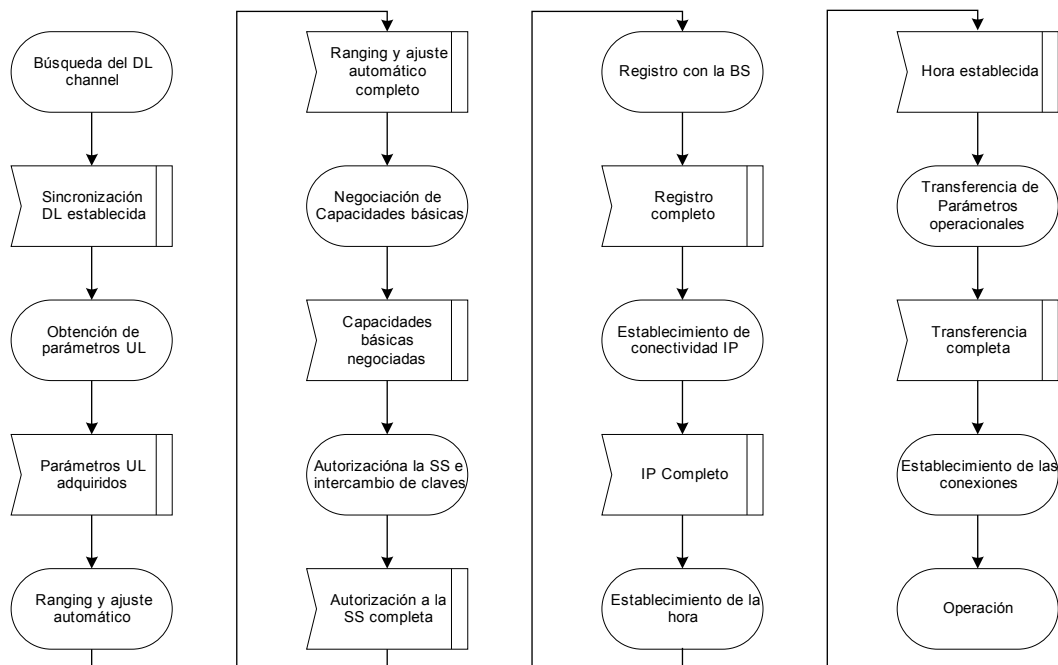
² Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

por la BS. La potencia de dos de los valores especificados como parte de un mensaje UCD, indica el tamaño de la ventana. Cuando una SS tiene información para enviar, ingresa en el proceso de resolución de contención, asignando a su ventana de *backoff* interna el valor del *Request* (o *Ranging*) *Backoff Start* definido en el mensaje UCD. La SS escoge aleatoriamente un valor dentro de su ventana de *backoff*, el cual indica el número de oportunidades de transmisión que la SS debe esperar antes de transmitir.

En caso de no recibir respuesta dentro del número de mensajes UL-MAP subsecuentes especificados por el parámetro *Contention-based reservation timeout* (o T3 para *ranging* inicial) la SS incrementa en un factor de dos su ventana de *backoff* (siempre que no exceda la ventana de *backoff* máxima) y elige aleatoriamente un número dentro de esta nueva ventana, reiniciando el proceso. Este proceso se realiza hasta agotar el número máximo de reintentos en cuyo caso el PDU es descartado.¹

2.2.3.1.3. Ingreso a la red e inicialización²

El procedimiento para la inicialización de una SS se indica en la Figura 2.34.



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.35. – Procedimiento de inicialización

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

Cada vez que se produce la inicialización o se ha perdido la señal, la SS debe adquirir un canal DL. Inicialmente la SS busca el último canal con el que trabajó y en caso de no encontrarlo busca un canal disponible en la banda de frecuencia de operación. Una vez que la PHY se sincroniza, la capa MAC intenta adquirir, de los mensajes de gestión MAC DL-MAP, los parámetros de control de los canales DL. La SS logra la sincronización al recibir al menos un mensaje DL-MAP y lograr decodificar los perfiles de DL-*burst* contenidos en él. La sincronización se mantiene mientras la SS siga recibiendo mensajes DL-MAP y DCD para el canal.

Una vez sincronizada la SS espera un mensaje UCD transmitido periódicamente en modo de broadcast por la BS del cual obtiene el conjunto de parámetros de transmisión de un posible canal UL. En caso de decidir utilizar el canal, la SS extrae los parámetros del mensaje UCD y espera la asignación de ancho de banda para el mismo.

La SS debe realizar *ranging* inicial al menos una vez. El proceso de *ranging* se encarga de la adquisición del *offset* de tiempo correcto y el ajuste de potencia de modo que las transmisiones de la SS se encuentren alineadas con un símbolo que marque el inicio del límite de un mini *slot* para SCa PHY o alineadas con la trama de recepción de la BS para OFDM y OFDMA PHY.

Una vez logrado un *ranging* exitoso la SS envía un mensaje de solicitud de capacidad a la BS describiendo sus capacidades en términos de esquemas y tasas de codificación, métodos de duplexación soportados y niveles de modulación. La BS analizando sus capacidades decide si aceptar o no a la SS.

Si PMK se encuentra habilitado la BS autentica a la SS y provee las claves para activar la encriptación de datos.¹ Una vez que la BS valida la identidad de la SS, determina el algoritmo de encriptación y protocolo a ser usado y envía una respuesta de autenticación a la SS que contiene las claves que la SS utilizará.

Luego de la autenticación la SS se registra en la red enviando un mensaje de solicitud de registro a la BS, la cual deberá enviar una respuesta de registro. El intercambio de información de registro incluye soporte de la versión IP, soporte de SS administradas o no administradas, soporte de parámetros ARQ, soporte de la opción de clasificación, soporte CRC y control de flujo.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Luego del registro, las SS administradas establecen la conectividad IP. Si una MS utiliza *Mobile IP* debe asegurar su dirección en la conexión de gestión secundaria. Todas las SS y las MS que utilicen IPv4 deben invocar mecanismos DHCP¹ para obtener su dirección IP y otros parámetros necesarios para establecer la conexión IP. Si la SS tiene un archivo de configuración (con parámetros de configuración) la respuesta DHCP debe contener el nombre de este archivo. Las SS que utilizan IPv6 pueden invocar DHCPv6² o IPv6 *Stateless Address Autoconfiguration*^{3, 4}.

El establecimiento de la hora se da a través de una solicitud de la SS o MS y respuesta por parte del Servidor de Tiempo utilizando el protocolo IETF RFC 868 sobre la Conexión Secundaria de Gestión de la SS. La respuesta a la solicitud es transferida utilizando UDP. La hora local actual se crea combinando el *offset* de tiempo recibido en la respuesta DHCP con la hora recibida del servidor de tiempo.

Una vez establecida la conectividad IP, la SS baja el archivo de configuración de la BS utilizando TFTP sobre la Conexión Secundaria de Gestión.

Una BS puede reiniciarse debido a un error crítico o por decisión del operador. Cada vez que se reinicia, se incrementa el contador de reinicio, que es enviado dentro del mensaje DCD hacia las MS. Cada vez que una MS detecta el incremento en el contador de reinicio se realiza el proceso de Ingreso a la red.

2.2.3.1.4. *Ranging*⁵

Ranging es el conjunto de procesos que permiten a la SS y la BS mantener la calidad del enlace de comunicación RF existente entre ellos.

Para las capas WirelessMAN-SCa y OFDM PHY se realiza una gestión de perfil del *burst* DL para DL y un *ranging* periódico para UL. El perfil operacional de *burst* DL es determinado por la BS en base a la calidad de la señal recibida por la SS. Para reducir el volumen de tráfico la SS monitorea el CINR y compara el valor promedio con el rango permitido de operación. Si el CINR recibido se encuentra fuera del rango permitido para el perfil operacional DL la SS solicita el cambio a un nuevo perfil de *burst*. El *ranging* UL consiste en los procedimientos de *ranging* inicial y *ranging* periódico. El *ranging* inicial permite a la SS unirse a la red y

¹ IETF RFC 2131

² IETF RFC 3315

³ IETF RFC 2462

⁴ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

⁵ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

adquirir los parámetros de transmisión de *offset* de tiempo y nivel de potencia de transmisión correctos. El *ranging* periódico permite a la SS ajustar los parámetros de transmisión para que la SS pueda mantener la comunicación UL con la BS.¹

La capa WirelessMAN-OFDMA PHY especifica un Subcanal de *Ranging* y un conjunto de Códigos de *Ranging* de pseudoruido. Subconjuntos de códigos son asignados en el UCD *Channel Encoding* para *Ranging* Inicial, *Ranging* Periódico y Requerimiento de Ancho de Banda, de modo que la BS determine el propósito del código recibido. La SS escoge el código correspondiente al subconjunto asignado a la función a realizarse, lo modula sobre el Subcanal de *Ranging* y lo transmite en el *slot* de *ranging* seleccionado entre los *slots* disponibles en la subtrama UL.

Para realizar el *Ranging* Inicial, la SS escoge aleatoriamente un *Ranging Slot* y un *Ranging Code* que envía a la BS como un código CDMA. Una vez recibido el código, la BS envía un mensaje *Ranging Response* en modo *Broadcast* indicando el *Ranging Code* y el *Ranging Slot* en el cual el *Ranging Code* fue encontrado, lo que permite a la SS detectar el mensaje de respuesta a su solicitud, además de los parámetros de ajuste y notificación de estado. La BS debe entonces asignar Ancho de Banda a la SS enviando un mensaje RNG-REQ. El proceso de *Ranging* Inicial termina al recibir un mensaje RNG-RSP. Si este mensaje incluye la indicación '*continue*' el proceso de *ranging* continua a través del *Ranging* Periódico. El procedimiento de *Ranging* Periódico es similar al del *ranging* inicial hasta la recepción del mensaje de respuesta al *Ranging*, con la diferencia de que el código utilizado es un *Periodic Ranging Code*. Una vez terminado, el proceso se repetirá escogiendo aleatoriamente un nuevo *Periodic Ranging Code*.

2.2.3.1.5. Calidad de Servicio (QoS)²

El principal mecanismo para proveer de QoS es asociar los paquetes que atraviesan la interfaz MAC a un *Service Flow*. Un *Service Flow* es un servicio de transporte MAC que provee un transporte unidireccional de paquetes, ya sean paquetes UL transmitidos por la SS o paquetes DL transmitidos por la BS. Un *Service Flow* se caracteriza por un conjunto de parámetros de QoS como la latencia, el *jitter* y el rendimiento. La SS y la BS proveen esta QoS en base al conjunto de parámetros de QoS definidos para el *Service Flow*. Existen *Service*

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

Flows tanto para UL como para DL, cada uno de los cuales posee un SFID (*Service Flow ID*) de 32 bits. Aquellos que se encuentren activos y admitidos poseen además un CID de 16 bits.

El principal propósito de las características de la QoS es definir el orden de transmisión y la planificación sobre la interfaz aire. Estas características se combinan en general con mecanismos externos a la interfaz aire para lograr proveer una calidad de servicio de extremo a extremo (*end-to-end QoS*).

2.2.3.1.6. Servicios de entrega de datos para redes móviles¹

El servicio de entrega de datos se encuentra relacionado con un set de parámetros predefinidos de *Service flow* relacionados con la QoS. Los tipos de servicio de entrega de datos se detallan en la Tabla 2.26.

Tipo de servicio	Descripción	Especificaciones de QoS
UGS (<i>Unsolicited Grant Service</i>)	Para conexiones UL debe ser soportado por el servicio de planificación UGS. Permite soportar aplicaciones en tiempo real generando una tasa de datos fijos. (VoIP)	Tasa máxima soportada Tolerancia máxima de latencia Tolerancia al <i>Jitter</i>
RT-VR (<i>Real-Time Variable Rate Service</i>)	Para conexiones UL debe ser soportado por el servicio de planificación rtPS. Permite soportar aplicaciones de datos en tiempo real tasas de bit variables que requieran una tasa de datos y retardo garantizados. (<i>Streaming</i> audio o video)	Tasa mínima reservada Tasa máxima soportada Tolerancia máxima de latencia Prioridad de tráfico
NRT-VR (<i>Non-Real-Time Variable Rate Service</i>)	Para conexiones UL debe ser soportado por el servicio de planificación nrtPS. Permite el soporte de aplicaciones que requieren una tasa de datos garantizada pero no es sensible a retardos. (FTP)	Tasa mínima reservada Tasa máxima soportada Prioridad de tráfico
BE (<i>Best Efforts Service</i>)	Para conexiones UL debe ser soportado por el servicio de planificación BE Permite soportar aplicaciones sin requerimientos de tasa de datos o retardo. (Transferencia de datos, <i>Web Browsing</i> , etc)	Tasa máxima soportada Prioridad de tráfico
ERT-VR (<i>Extended Real-Time Variable Rate Service</i>)	Para conexiones UL debe ser soportado por el servicio de planificación ertPS. Permite soportar aplicaciones en tiempo real con tasas de datos variables que requieran una tasa de datos y retardo garantizados. (Voz con detección de Actividad VoIP)	Tasa mínima reservada Tasa máxima soportada Tolerancia máxima de latencia Prioridad de tráfico Tolerancia al <i>Jitter</i>

Fuente: WIMAX Forum, Mobile WIMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, marzo de 2006

Tabla 2.26. – Tipos de servicios de entrega de datos para redes móviles

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

2.2.3.1.7. Procedimientos para uso de bandas de frecuencia compartidas¹

Cuando un sistema IEEE 802.16 (IEEE 802.16e) comparte una banda de frecuencia con otro sistema, deben tomarse medidas que ayuden a reducir la interferencia y facilitar la coexistencia. Estas medidas incluyen procedimientos que facilitan la detección de otros usuarios y ayudan a prevenir y evitar la interferencia perjudicial hacia otros usuarios.

Los requerimientos de regulación especifican que *Dynamic Frequency Selection* (DFS)² debe ser utilizado para facilitar el compartir la banda de frecuencia con usuarios específicos del espectro identificados por regulación.

Los usuarios específicos del espectro son usuarios de un servicio especialmente identificados en las regulaciones como usuarios que requieren una protección especial contra la interferencia. Los parámetros de tiempo y umbral usados por DFS son especificados por cada administración de regulación. Los procedimientos que deben realizarse incluyen:

- Realizar pruebas de canal (por la BS) que determinen la existencia de otros usuarios incluyendo usuarios específicos del espectro.
- Descontinuar las operaciones después de detectar otros usuarios incluyendo usuarios específicos del espectro.
- Detectar otros usuarios incluyendo usuarios específicos del espectro a través de técnicas que satisfagan los requerimientos regulatorios.
- Planificación de pruebas de canal. La BS puede realizar pruebas en uno o varios canales o solicitar a la SS que realice estas pruebas por ella.
- Solicitud y reporte de valores medidos: número de trama en el cual se toma la primera medida, medida de tiempo acumulada, existencia de un usuario específico del espectro en el canal, detección de otras transmisiones sobre el canal.
- Selección de un nuevo canal por parte de la BS en base a información obtenida durante la inicialización de la SS y durante mediciones de ambas.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Definido por la ITU-R en M.1652

2.2.3.1.8. Soporte MAC para HARQ¹

El esquema *Hybrid Automatic Repeat Request* (HARQ) es una parte opcional de la MAC y puede ser soportado solo por OFDMA PHY. HARQ y parámetros asociados deben ser especificados y negociados durante el procedimiento de ingreso y re-ingreso a la red a través del intercambio de mensajes SBC-REQ y SBC-RSP. HARQ se realiza por conexión, pudiendo ser habilitado por CID usando mensajes DSA/DSC. Dos implementaciones de HARQ son soportadas:

- Por terminal: HARQ activada para todos los CIDs activos del terminal.
- Por conexión: HARQ activado por CID usando mensajes DSA/DSC.

Si soportan HARQ, las SSs soportarán implementación por terminal y las MSs implementación por conexión. El esquema HARQ es básicamente un protocolo *stop-and-wait*. La SS envía el ACK después de un retardo fijo, definido por el retardo HARQ DL ACK para el DL *Burst*, especificado en el mensaje UCD. El tiempo de retransmisión es flexible y corresponde a la parte asíncrona del HARQ.

El esquema HARQ soporta múltiples canales HARQ por conexión. HARQ puede ser utilizado para mitigar el efecto de fluctuaciones de canal e interferencia.

Dos tipos de HARQ son soportados:

- *Chase Combining*: La capa PHY codifica el paquete HARQ generando una sola versión del paquete codificado.
- *Incremental Redundancy* (IR): La capa PHY codifica el paquete HARQ generando varias versiones de los subpaquetes codificados, cada uno de los cuales se identifica a través de un identificador de subpaquete (SPID).

Una SS solo soporta IR, mientras que una MS soporta cualquiera de los dos tipos de HARQ.

2.2.3.1.9. Gestión de Movilidad²

Los dos parámetros críticos en aplicaciones móviles son el ahorro de potencia, para alargar el tiempo útil de las baterías, y el *handoff*. El estándar IEEE 802.16e soporta dos modos que permiten a la MS una operación eficiente en potencia:

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Modo *Sleep* y Modo *Idle*. Soporta además *seamless handoff* el cual permite a la MS moverse de una BS a otra a velocidades vehiculares sin interrumpir la conexión.

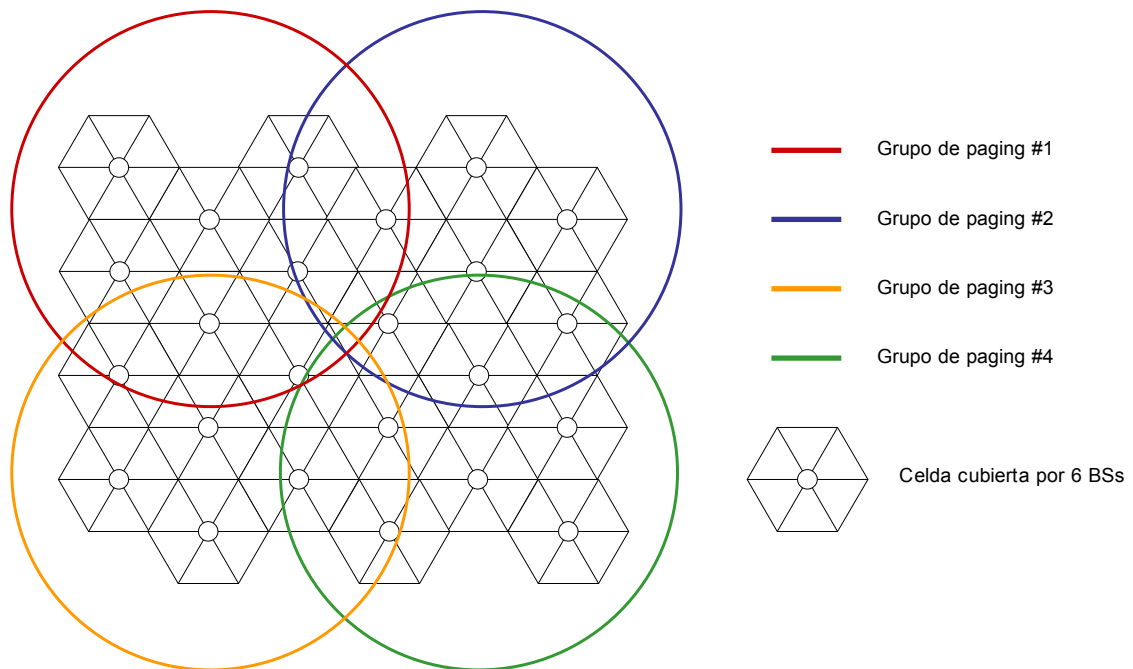
2.2.3.1.10. Gestión de Potencia¹

El sistema que trabaje bajo el estándar IEEE 802.16e soportará dos modos de operación de ahorro de potencia: el Modo *Sleep* y el Modo *Idle*.

El Modo *Sleep* es un estado en el cual una MS tiene periodos pre-negociados de ausencia de la interfaz aire con la BS a la cual se encuentra conectado. Estos periodos se caracterizan por la indisponibilidad de la MS al tráfico UL y DL con la BS Servidora. Este modo pretende minimizar el uso de potencia de la MS y disminuir el uso de los recursos de la interfaz aire la BS Servidora, así como proveer flexibilidad para que la MS pueda escanear otras BS y recolectar información que pueda asistir al *handoff* en el Modo *Sleep*.

El modo *Idle* provee un mecanismo a través del cual la MS está disponible periódicamente para tráfico de mensajes de *Broadcast DL*, sin registro en una BS específica, mientras atraviesa un medio en el que se encuentran varias BS. El Modo *Idle* beneficia a la BS, al remover los requerimientos de *handoff* y otras operaciones normales, y beneficia a la red y a la BS al eliminar el tráfico de *handoff* de MSs inactivas mientras aún provee un método simple (*paging*) para alertar a la MS la existencia de tráfico DL. Las BSs se dividen en grupos lógicos llamados grupos de *paging*, cuyo propósito es ofrecer una región de cobertura contigua en la cual la MS no requiere transmitir en el UL, pero puede recibir un *page* en el DL si es necesario. Los grupos de *paging* deben ser lo suficientemente grandes como para que la mayoría de MSs permanezcan dentro de un solo grupo la mayor parte del tiempo, y lo suficientemente pequeños para que el *overhead* de *paging* mantenga un valor razonable. Como se puede observar en el ejemplo de la Figura 2.36, una BS puede pertenecer a varios grupos de *paging* a la vez.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005



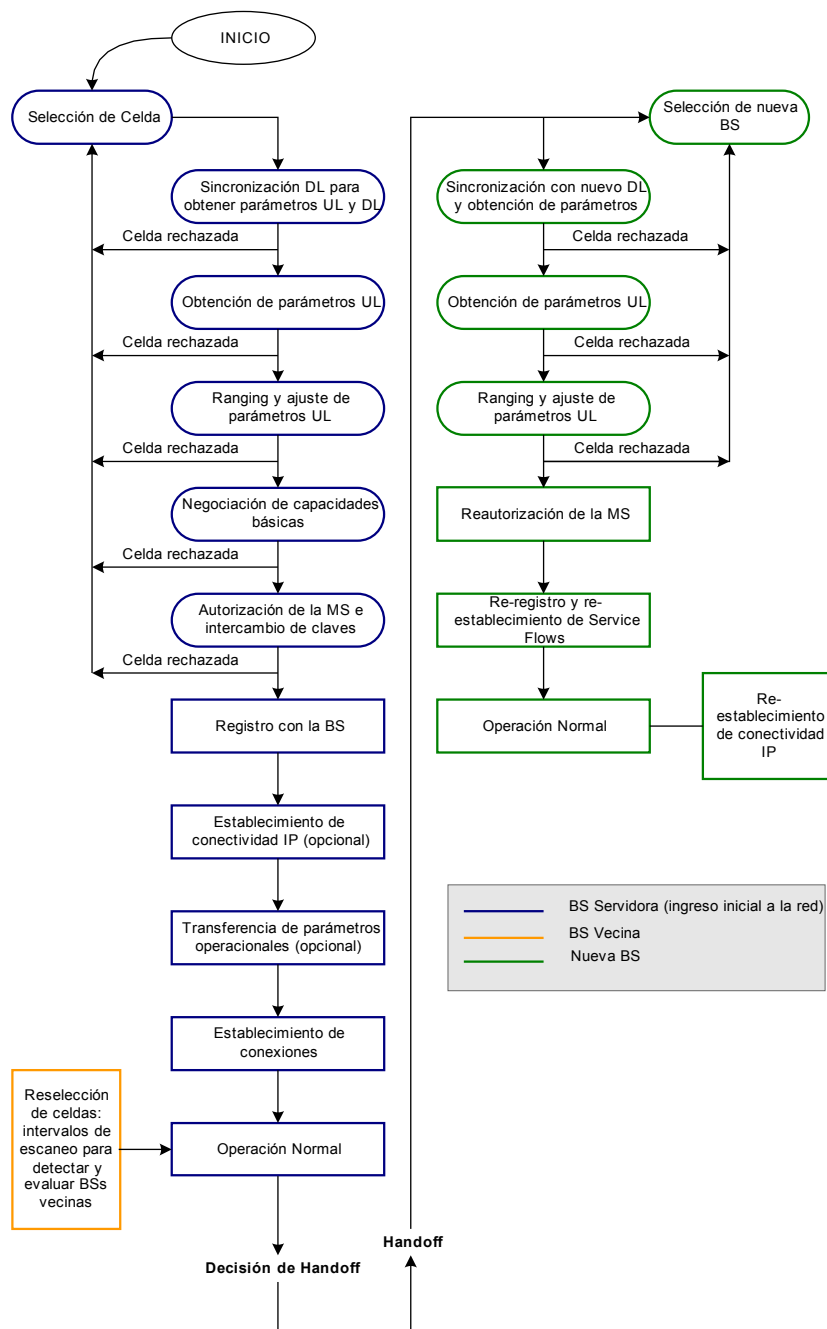
Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.36. – Ejemplo de grupos de *paging*.

2.2.3.1.11. Procedimiento de *Handoff*¹

El proceso de *Handoff* e ingreso inicial a la red se describe en la Figura 2.37.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005



Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

Figura 2.37. – Procedimiento *Handoff* e ingreso inicial a la red

El proceso de *handoff* puede ser utilizado cuando:

- La MS pueda ser servida por otra BS que le provea servicios con mayor QoS.
- La MS se aleja de la BS, disminuye la calidad de la señal o aumentan los niveles de interferencia, y necesita cambiar la BS a la cual se encuentra conectada con el fin de obtener una mejor calidad de señal.

El algoritmo de decisión de *handoff* no se encuentra cubierto por este estándar. Existen tres métodos de *handoff* soportados por el estándar IEEE 802.16: *Hard Handoff* (HHO), como método obligatorio, y *Fast Base Station Switching Handoff* (FBSS) y *Macro Diversity Handoff* (MDHO), como métodos opcionales.

La selección o reelección de celda se refiere al proceso a través del cual una MS escanea y se asocia con una o varias BSs con el fin de determinar el interés de la MS en un potencial Handoff a la BS.

Cuando FBSS es soportado, tanto la MS como la BS mantienen una lista de las BSs envueltas en el FBSS con la MS, conocida como *Diversity Set*. De entre las BSs que se encuentran en el *Diversity Set* se define la *Anchor BS*. Al operar con FBSS la MS sólo se comunica con la *Anchor BS* para el envío de mensajes UL y DL que incluyen conexiones de gestión y de tráfico. El paso de una *Anchor BS* a otra se realiza sin la utilización de mensajes de señalización HO. Los procedimientos de actualización de *Anchor* se activan al comunicar la fuerza de la señal a la BS servidora a través del canal CQI.

Un *Handoff* FBSS es iniciado con la decisión de una MS de recibir o transmitir datos de la *Anchor BS*. La MS busca las BSs vecinas, después de lo cual la MS junto con la BS lleva a cabo el proceso de actualización del *Diversity Set*. La MS monitorea de manera constante la fuerza de la señal de las BSs que forman parte del *Diversity Set* y escoge una de ellas como *Anchor BS*. Un requerimiento importante de FBSS es que los datos son transmitidos simultáneamente a todos los miembros del grupo de BSs activas que sean aptas para servir a la MS.¹

Para las MSs y BSs que soportan MDHO, tanto la MS como la BS mantienen una lista que contiene cada una de las BSs envueltas en el MDHO con la MS. Esta lista de BSs se conoce como *Diversity Set*. De entre las BSs que se encuentran en el *Diversity Set* se define la *Anchor BS*. Al operar con MDHO la MS se comunica con todas las BSs dentro del *Diversity Set* para el envío de mensajes UL y DL unicast y tráfico. Un MDHO inicia cuando la MS decide transmitir o recibir mensajes *unicast* o tráfico de múltiples BSs en un mismo intervalo de tiempo. Para MDHO DL, dos o más BS proveen transmisión sincronizada de datos DL a la MS, de modo que la selección de la información proveniente de cada una de las

¹ Fuente: WiMAX Forum, Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, marzo de 2006

BS se realiza en la MS. Para MDHO UL, la transmisión de una MS es recibida por varias BSs donde se realiza la selección de la información dedicada a cada una de ellas.

2.2.3.1.12. Servicios Multicast y Broadcast¹

Una BS puede establecer conexiones DL de servicios *multicast* o *broadcast*, creando una conexión con cada SS asociada al servicio. El CID utilizado por es el mismo para todas las SS que participan en la conexión en el mismo canal.

Algunos *Service Flows* definidos globalmente pueden llevar información de *broadcast* o *multicast* a entregarse a varias SSs o MSs. Estos *Service Flows* poseen ciertos parámetros de QoS y pueden requerir encriptación realizada utilizando una secuencia definida globalmente de TEKs. Como una conexión de transporte multicast o broadcast está asociada con un *Service Flow*, se encuentra también asociada con parámetros de QoS y tráfico para ese *Service Flow*.

Dos tipos de acceso a servicios *multicast* o *broadcast* (MBS) puede ser soportada por el estándar IEEE 802.16e:

- *Single-BS Access*: implementado sobre conexiones de transporte *multicast* o *broadcast* dentro de una BS. Una sola BS crea conexiones de tráfico *multicast* con cada MS asociada a un servicio que se encuentre registrada con la BS. Se asigna un CID común utilizado por el servicio y un SA adicional en caso de encriptación, que deben ser conocidos por todas las MS que participen de la conexión.
- *Multi-BS Access*: implementado al transmitir datos de *Service Flows* sobre múltiples BSs. Cada BS capaz de proveer MBS pertenece a una Zona MBS, dentro de la cual todas las BSs utilizan el mismo CID y SA para transmitir el contenido de ciertos *Service Flows*. Todas las BSs pertenecientes a una Zona MBS deben estar sincronizadas. Las MS que participan en la conexión no requieren de registro con las BSs.

Ninguno de estos tipos de acceso soporta ARQ. El inicio de un MBS con respecto a una MS específica se realiza siempre luego del registro al crear una conexión

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

multicast que lleve los datos de MBS. Durante esta fase la MS detecta el *Service Flow ID* que identifica al servicio.

2.2.3.2. Subcapa de Seguridad¹

La Subcapa de Seguridad provee a los suscriptores privacidad, autenticación y confidencialidad a través de la red inalámbrica de banda ancha, aplicando transformaciones criptográficas a los MAC PDUs transportados sobre las conexiones entre SSs y BSs. Emplea un protocolo autenticado cliente/servidor de gestión de claves, en el que la BS (servidor) controla la distribución de claves a la SS (Cliente). Adicionalmente los mecanismos de seguridad básica se refuerzan con la combinación de una autenticación digital basada en certificados de equipos de las SSs con el protocolo de gestión de claves (*Key Management Protocol PKM*).

La encriptación es aplicada únicamente al *payload* del MAC PDU y no al *Generic MAC Header*. Todos los mensajes de gestión MAC son enviados sin encriptación con el fin de facilitar el registro, *ranging* y operación normal de la MAC.

El protocolo de gestión de claves PKM permite tanto autenticación mutua (entre BS y SS) como autenticación unilateral (solo la BS autentica a la SS). Soporta además la reautenticación/reautorización periódica y la actualización de claves. El protocolo PKM utiliza EAP² (*Extensive Authentication Protocol*) o certificados digitales X.509³ junto con el algoritmo de encriptación de claves públicas RSA⁴ o una secuencia iniciada por autenticación RSA y seguida por una autenticación EAP. Utiliza algoritmos fuertes de encriptación para realizar el intercambio de claves entre la BS y la SS. El protocolo de autenticación PKM establece un *shared secret* llamado *Authorization Key (AK)* entre la SS y la BS. La AK es utilizada para asegurar los siguientes intercambios PKM de TEKs (*Traffic Encryption Keys*).

Una BS autentica a una SS cliente durante el intercambio de autorización inicial. Cada SS presenta sus credenciales que incluyen un certificado digital único X.509 de fábrica (para autenticación RSA) o una credencial especificada por el operador (para autenticación EAP).

¹ Fuente: IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005

² IETF RFC 3748

³ IETF RFC 3280

⁴ Relaciona claves públicas de encriptación RSA con las direcciones MAC de las SSs

La BS asocia la identidad autenticada de una SS con un suscriptor, asociándola su vez a los servicios de datos a los que el suscriptor tiene autorizado el acceso.

Existen dos protocolos PKM soportados por IEEE 802.16e:

- PKMv1
- PKMv2

2.2.3.2.1. PKMv1

Una *Security Association* (SA) es el conjunto de información de seguridad compartido entre una BS y una o más SS clientes con el fin de soportar comunicaciones seguras a través de la red IEEE802.16. Existen tres tipos de SA: Primaria, Estática y Dinámica. Cada SS establece una SA primaria durante el proceso de inicialización de la SS. Las SA estáticas son provistas por la BS. Las SA dinámicas son establecidas y eliminadas conforme a las necesidades, en respuesta al inicio y terminación de *service flows* específicos. Tanto las SA estáticas como las SA dinámicas pueden ser compartidas por múltiples SSs.

La BS autentica la identidad de la SS cliente al establecer una AK compartida a través de RSA, de la cual se deriva una KEK (*key encryption key*) y las claves de autenticación de mensajes. La BS provee a la SS cliente un identificador de SA como SAID (que identifica la SA Estática) y con propiedades de las SAs primaria y estática para las cuales la SS está autorizada a obtener información de claves.

La SS inicia la autorización al enviar un mensaje de información de autenticación a su BS, el mismo que contiene el certificado X.509, y envía inmediatamente después un mensaje *Authorization Request* solicitando un AK y los SAIDs que identifiquen las SAs estáticas en las cuales la SS se encuentra autorizada a participar. En respuesta a este mensaje, la BS valida la identidad de la SS, determina el algoritmo de encriptación y el protocolo soportado compartido con la SS, activa un AK para la SS y lo encripta con la clave pública de la SS, y la envía de regreso a la SS dentro de un mensaje *Authorization Reply*. La SS debe mantener actualizada su AK enviando periódicamente mensajes *Authorization Request*.

Una vez realizada la autorización, la SS inicia una máquina de estados TEK independiente para cada SAID identificado, la cual es responsable del manejo de

las claves asociadas al SAID respectivo. Las máquinas de estados TEK mantiene actualizadas sus claves a través del intercambio periódico de mensajes *Key Request – Key Reply*. El TEK es encriptado con una clave KEK derivada de la AK.¹

2.2.3.2.2. PKMv2

PMKv2 utiliza un *handshake* de tres vías con el fin de optimizar los mecanismos de reautenticación y así soportar *fast handoff*, además de reforzar la seguridad y evitar el ingreso de usuarios no autorizados.

Existen dos esquemas de autenticación, una autenticación mutua RSA y una autenticación mutua en el ingreso inicial seguida de una autenticación EAP en cada reingreso.

La autenticación RSA inicia cuando la SS envía un mensaje de información de autenticación a su BS inmediatamente después del cual envía un mensaje *Authorization Request* solicitando un AK y los SAIDs que identifiquen las SAs estáticas en las cuales la SS se encuentra autorizada a participar. Como respuesta, la BS valida la identidad de la SS, determina el algoritmo de encriptación y el protocolo soportado que comparte con la SS, activa un AK para la SS, lo encripta con la clave pública de la SS y lo envía de regreso a la SS dentro de un mensaje *Authorization Reply*. La SS mantiene actualizada su AK enviando periódicamente mensajes *Authorization Request*.

Realizada la autorización, la SS inicia una máquina independiente de estados TEK para cada SAID identificado en los mensajes *Authorization Reply* o PKMv2 KA-TEK-RSP, si se provee encriptación de datos para uno o más *Service Flows*. La máquina de estados TEK es responsable del manejo de las claves asociadas al SAID respectivo, y mantiene actualizadas sus claves a través del intercambio periódico de mensajes *Key Request–Key Reply*. Para SAs que utilicen DES-CBC para encriptación, el TEK del mensaje *Key Reply* se encripta con 3-DES (Triple Data Encryption Standard) usando una clave 3-DES KEK derivada de la AK. Para SAs que utilicen claves de encriptación de 128 bits, como el modo AES-CCM, el TEK se encripta con AES usando una clave de 128 bits derivada de la AK y un bloque de tamaño 128 bits.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

La jerarquía de claves de PMKv2 define las claves presentes en el sistema y el modo en el que son generadas. Al existir dos esquemas de autenticación, existen dos fuentes principales de claves. Las claves utilizadas para proteger la integridad de los mensajes de gestión y transportar las claves de encriptación de tráfico se derivan de las claves fuente generadas en los procesos de autenticación y autorización. El proceso de autenticación basado en RSA entrega el AK pre-primario (pre-PAK) (utilizado para generar el PAK el cual es utilizado a su vez para generar el AK) y el proceso de autenticación basado en EAP entrega el MSK (*Master Session Key*).

Las claves que protegen el tráfico MBS se derivan del MBS AK, cuyo medio de entrega se encuentra fuera del alcance de este estándar.

2.2.3.2.3. Métodos Criptográficos¹

El método criptográfico a utilizarse para encriptar el *payload* de los MAC PDUs, depende del valor identificador de algoritmo criptográfico utilizando dentro de la SA.

Método Criptográfico	Identificador de algoritmo criptográfico
Modo CBC (<i>Cipher Block Chaining</i>) del algoritmo DES ²	0x01
Modo CCM (<i>Counter Mode Encryption</i> con CBC-MAC) del algoritmo AES ³	0x02
Modo CTR (<i>Counter Mode Encryption</i>) del algoritmo AES	0x80 (en un MBS GSA)
Modo CBC (<i>Cipher Block Chaining</i>) del algoritmo DES	0x03

Tabla 2.27. – Método criptográfico para encriptar el *Payload* de los MAC PDUs

El modo de encriptación utilizado para encriptar el TEK se encuentra definido por el identificador de algoritmo de encriptación TEK.

Modo de encriptación TEK	Identificador de algoritmo de encriptación TEK
3-DES	0x01
RSA	0x02
TEK-128 con AES	0x03
TEK-128 con AES Key Wrap	0x04

Tabla 2.28. – Modos de encriptación del TEK

2.2.3.2.4. Pre-Autenticación

¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

² US Data Encryption Standard algorithm (FIPS 46-3, FIPS 74, FIPS 81)

³ US Advanced Encryption Standard algorithm (NIST Special Publication 800-38C, FIPS-197)

Antes de iniciar un *Handoff*, la MS trata de realizar una pre-autenticación para facilitar un reingreso rápido a la BS objetivo del *handoff*. La preautenticación se realiza al establecer una AK en la MS y en la BS. El mecanismo específico para realizar este proceso se encuentra fuera del alcance de este estándar.

2.2.3.2.5. Soporte de Servicios de Multicast y Broadcast (MBS)

MBS es un mecanismo eficiente de ahorro de potencia que requiere PMKv2 para enviar información multimedia de *broadcast*. Provee a los suscriptores una fuerte protección contra el robo del servicio en la red móvil inalámbrica de banda ancha al encriptar las conexiones de broadcast entre la BS y la SS.

Además de los tres tipos de SAs, los servicios MBS requieren una *MBS Group Security Association* (MGSA). La MBS GSA es establecida en el proceso de inicialización por cada una de las SS que permiten MBS. La información compartida de una MGSA incluye un conjunto criptográfico utilizado dentro de la MGSA y un conjunto de claves como la *MBS Authorization Key* (MAK) y la *MBS Group Traffic Encryption Key* (MGTEK). La MGSA se identifica al igual que las SA *unicast* con un SAID de 16 bits.

2.2.3.2.6. Algoritmo de Actualización de Claves para Broadcast y Multicast (MBRA)

MBRA (*Multicast and Broadcast Rekeying Algorithm*), cuyo soporte es opcional, permite una actualización de claves eficiente en servicios *multicast* o *broadcast* (no para servicios *unicast*). Una vez que una SS comparte tráfico de claves con una BS, la SS no necesita solicitar nuevamente tráfico de claves nuevo, ya que este es distribuido periódicamente a través de mensajes de actualización de claves. En caso de que luego de que la MGTEK expire, la SS no haya recibido una nueva MGTEK a través de los mensajes de actualización, deberá reiniciar el proceso de solicitud de claves.

2.2.3.3. Service-Specific Convergence Sublayer (CS)¹

La subcapa CS se encuentra sobre la *MAC Common Part Sublayer* y utiliza, a través del MAC SAP, los servicios provistos por la *MAC Common Part Sublayer*.

La subcapa CS realiza las siguientes funciones:

- Aceptar PDUs de la capa superior.

¹ Fuente: IEEE Std 802.16™-2004

- Realizar la clasificación de los PDUs de capa superior.
- De ser requerido, procesar los PDUs de capa superior en base a la clasificación.
- Entregar los CS PDUs a los MAC SAP apropiados.
- Recibir CS PDUs de entidades pares.

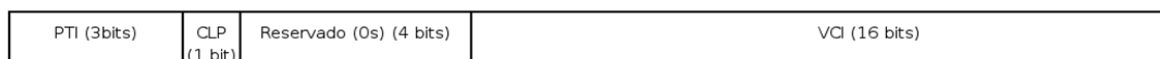
Existen dos especificaciones CS: la *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) CS y la CS de paquetes.

2.2.3.3.1. ATM CS

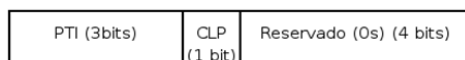
La ATM CS es una interfaz lógica que asocia diferentes servicios ATM con el MAC CPS SAP. La ATM CS acepta celdas de la capa ATM, las clasifica y de ser necesario se realiza una supresión del encabezado del *payload* (PHS: Payload Header Suppression), y entrega el CS PDU al MAC SAP apropiado. La ATM CS se define para soportar la convergencia de PDUs generados por una red ATM.

El ATM CS PDU está formado por un ATM CS PDU *Header*, y el ATM CS PDU *Payload* por el *payload* de la celda ATM (48 bytes). Si no hay PHS, el ATM CS PDU *Header* se encuentra formado por el ATM *Header* completo de la celda ATM, de lo contrario el encabezado depende del modo.

VP-SWITCHED



VC-SWITCHED



Fuente: IEEE Std 802.16™-2004, <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

Figura 2.38. – ATM CS PDU *Header*

Los campos PTI, CLP y VCI provienen del ATM *Header*.

Una conexión ATM puede estar en Modo VC (*Virtual Channel*) *switched* o en Modo VP (*Virtual Path*) *switched* utilizando los identificadores VCI (*Virtual Channel Identifier*) y VPI (*Virtual Path Identifier*) respectivamente. En Modo *VP-Switched* los VCI provenientes de un mismo VPI se envían automáticamente a los VCI de un VPI de salida. En Modo *VC-Switched* los valores VPI/VCI de entrada se

envían individualmente a los valores VPI/VCI de salida. Al realizarse PHS, la ATM CS diferencia los dos tipos de conexiones y realiza las supresiones necesarias.

Para el Modo *VP-Switched*, el campo VPI (12 bits para NNI u 8 bits para UNI) se mapea en el CID (16 bits) que corresponde a la conexión MAC que lo transporta. Para el Modo *VC-Switched*, los campos VCI y VPI (total de 28 bits para NNI o 24 bits para UNI) se mapean en el CID que corresponde a la conexión MAC que lo transporta. Debido a que la QoS y categoría de los parámetros de servicio para la conexión se establecen al establecer la conexión, el mapeo de VPIs y VCIs sobre CIDs garantiza el correcto manejo del tráfico por parte de la MAC.

En PHS, a una porción repetitiva de los encabezados de los CS PDUs los suprime la entidad transmisora y los restaura la entidad receptora. Para mejorar el ahorro de ancho de banda, varias celdas ATM que comparten el mismo CID pueden ser empaquetadas y enviadas sobre un mismo MAC CPS PDU.

2.2.3.3.2. Packet CS

La CS de paquetes realiza las siguientes funciones utilizando recursos de la MAC:

- Clasifica PDUs de capa superior en conexiones apropiadas de transporte.
- Suprime información del encabezado (opcional).
- Entrega los CS PDUs resultantes al MAC SAP asociado con el *service flow* para el transporte hacia un MAC SAP par.
- Recibe CS PDUs enviados por un MAC SAP par.
- Reconstruye información de encabezado suprimida (opcional).

La CS de paquetes es utilizada para el transporte de todos los protocolos basados en paquetes como IP, PPP e IEEE Std 802.3.

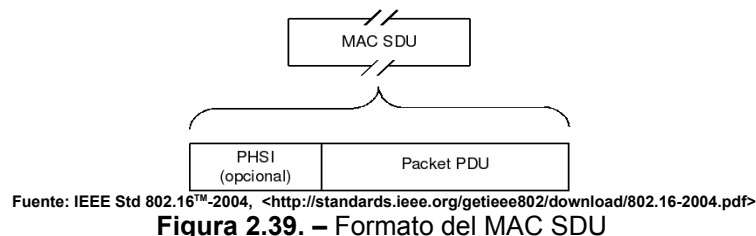


Figura 2.39. – Formato del MAC SDU

Cada MAC SDU se clasifica asociándolo con una conexión, creando a su vez una asociación con las características del *service flow* de esa conexión. Si un paquete concuerda con criterios específicos de protocolo, se lo entrega al SAP que a su

vez lo entrega sobre la conexión definida por el CID. Una vez clasificado y asociado con una conexión MAC específica, el PDU de capa superior se encapsula de la manera descrita en la Figura 2.39.

Si PHS se habilita en la conexión MAC (opcional), cada MAC SDU lleva un prefijo PHSI en referencia al PHSF (*Payload Header Suppression Field*). El transmisor elimina parte de la información repetitiva del encabezado y añade el PHSI. El receptor utiliza el CID y el PHSI para restaurar el PHSF. PHS permite verificar el encabezado antes de realizar la supresión, así como seleccionar los bytes que no se van a suprimir.

En caso de no haber PHS, el campo PHSI en el MAC SDU es omitido. El PDU de IEEE Std 802.3/Ethernet no incluye el FCS de Ethernet al transmitirse en este CS.

En caso de que IP¹ se transporte sobre una red IEEE Std 802.16, la Subcapa de Convergencia soporta SDUs en dos formatos, los cuales facilitan la compresión robusta de encabezados IP y de capa superior: ROHC² y EC RTP³.

¹ IETF RFC 791, IETF RFC 2460

² RFC 3095

³ RFC 3545

Capítulo 3

3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PROPUESTA IEEE 802.20 CON EL ESTÁNDAR IEEE 802.16e

El objetivo de este capítulo es realizar un análisis comparativo de la propuesta del Grupo de Trabajo IEEE 802.20 con el anexo e del estándar IEEE 802.16. Para ello se tomó datos de los Capítulos 1 y 2 con el fin de realizar una comparación entre las características presentadas en estos estándares, analizando características básicas, de capa Física y de Control de Acceso al Medio. Se analiza además las tecnologías basadas en estos dos estándares que se encuentran en el mercado o están en desarrollo, la coexistencia y relación de estos estándares con otras tecnologías de acceso inalámbrico y su posible aplicación en el Ecuador tomando en cuenta las regulaciones existentes.

3.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS

La información presentada acerca del estándar 802.20, tanto en el capítulo 1 como en este análisis, se basa en la información obtenida de las propuestas presentadas y aceptadas para la redacción del primer borrador hasta junio de 2006, antes de la suspensión del proyecto por parte de la IEEE-SASB. El primer borrador cuya redacción inició a inicios de 2006, no ha sido publicado hasta el momento de la redacción de este documento. Debido a la reestructuración del Grupo de Trabajo 802.20 pueden producirse en el futuro cambios en las características finales del estándar.

3.1.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Las iniciativas para la creación de los estándares IEEE 802.20 e IEEE 802.16e nacieron del mismo Grupo de Estudio dentro del Grupo de estandarización IEEE 802.16 a inicios de 2002. Para finales del mismo año el Grupo de Estudio determina la existencia de dos propuestas diferentes dentro del mismo grupo y sugiere la separación de las mismas. De esta manera el Grupo de Trabajo IEEE 802.16e continúa con su trabajo como enmienda del estándar IEEE 802.16, que pretende brindar movilidad limitada dentro de los sistemas que trabajen con

IEEE802.16 (WiMax) con velocidades máximas de 120 km/h. Por otro lado, se crea el Grupo de Estudio y posteriormente el Grupo de Trabajo IEEE 802.20, como un estándar independiente enfocado a sistemas de banda ancha inalámbricos que permitan una alta movilidad a velocidades vehiculares de hasta 250 km/h.

Actualmente el estándar 802.16e lleva la ventaja dentro del mercado de las telecomunicaciones, debido a que al ser una enmienda de IEEE 802.16 su aprobación y publicación como estuvo programada a inicios de 2006, lo que ha permitido el inicio del desarrollo de tecnología bajo este estándar para su futura comercialización. A diferencia de 802.16e, el Grupo de Trabajo IEEE802.20, tuvo que empezar a realizar el estándar desde las bases, por ser un estándar independiente, lo cual a llevado a una demora en el proceso de estandarización, agravada además por los problemas internos del Grupo de Trabajo. La publicación de IEEE 802.20 se encuentra programada para fines de 2007, por lo cual se pronostica su comercialización alrededor de 2010.

Las características generales del estándar IEEE802.16e y del proyecto de estándar IEEE802.20¹ se encuentran resumidas en la Tabla 3.1.

	IEEE 802.16e	IEEE 802.20
Tipo de estándar	Enmienda de IEEE 802.16. Extensión de las capas PHY y MAC de 802.16a	Estándar nuevo. Capas PHY y MAC nuevas optimizadas para transporte de datos por paquetes y antenas adaptables.
Compatibilidad y coexistencia con otras tecnologías	Optimizado para ser compatible con estaciones fijas 802.16	Optimizado para movilidad completa y coexistencia con otras tecnologías de acceso inalámbrico.
Bandas de frecuencia	Bandas bajo licencia 2-6GHz	Bandas bajo licencia por debajo de los 3.5GHz (500MHz-3.5GHz)
Ancho de banda	Ancho de banda de canal típico mayor a 5 Mhz (10MHz)	Ancho de banda de canal típico menor a 5 Mhz (FDD:1.5MHz TDD:5MHz) hasta 20MHz
Arquitectura	Arquitectura orientada a paquetes	Arquitectura orientada a paquetes
Movilidad	Movilidad local y regional con soporte de roaming	Movilidad global y soporte de roaming
Cobertura	Celdas de 2 a 5Km (2.5Km aprox.)	Celdas de 2.5Km aproximadamente hasta 15 km
Tasa de datos	Tasa de datos hasta 30Mbps y velocidades de hasta 120Km/h	Tasas de datos hasta 260 Mbps con MIMO en 20MHz de ancho de banda Tasa de datos hasta 1Mbps para velocidades de 250 km/h

Tabla 3.1. – Características generales de los estándares 802.16e y 802.20

Ambos estándares brindan especificaciones de capa Física y MAC, cada uno de ellos con diferentes propuestas.

¹ Datos basados en las propuestas presentadas hasta junio de 2006, antes de la suspensión del proyecto

3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE CAPA FÍSICA

Al basarse en IEEE Std802.16-2004, IEEE 802.16e incluye opciones para tres de las cinco capas físicas con las cuales trabaja IEEE 802.16. Estas capas físicas son: portadora única (WirelessMAN-SCa™), OFDM (WirelessMAN-OFDM™) y OFDMA (WirelessMAN-OFDMA). A diferencia de IEEE 802.16, el proyecto de estandarización 802.20 se enfoca hacia una sola capa física que combina OFDMA y CDMA (para algunos canales de control UL). Sin embargo, la propuesta 802.20 indica la existencia de un modo adicional de funcionamiento conocido como 625k-MC que sigue las especificaciones HC-SDMA¹.

Se puede observar que el proyecto 802.20 trabaja con una gran cantidad de canales de capa PHY tanto para el FL como para el RL y mientras que 802.16e define muy pocos canales a nivel físico como canales UL y DL y canales de broadcast, de ranging, de contención y Random Access Channel.

3.1.2.1. Requerimientos del sistema

En lo que respecta a los requerimientos de funcionamiento para los sistemas que trabajen bajo las normas 802.16e y 802.20 se debe tomar en cuenta ciertos parámetros importantes que determinan el enfoque de cada uno de estos proyectos. Entre los parámetros importantes que determinan las diferencias en el enfoque de estos dos estándares se encuentran parámetros de capa física como las bandas de frecuencias para las cuales se han diseñado estos estándares, los anchos de banda por canal y el número de subportadoras.

La operación de los sistemas que trabajen bajo el estándar 802.16e se limita a las bandas con licencia bajo los 6GHz que son bandas apropiadas para movilidad, ya que por debajo de los 11GHz no es necesaria Línea de Vista para la comunicación y el *multipath* se vuelve insignificante. Esta propiedad se cumple para las tres capas físicas dentro del estándar 802.16e especificadas en este documento. Al igual que para el estándar 802.16e la propuesta 802.20 se enfoca a frecuencias que presentan condiciones apropiadas para la movilidad, específicamente a las bandas de frecuencia que funcionan con licencia por debajo de los 3.5GHz.

¹ High Capacity-Spatial Division Multiple Access, ATIS-PP-0700004-2005, septiembre 2005

Los anchos de banda permitidos por canal para 802.16e deben limitarse a los anchos de banda provistos por los organismos de regulación divididos por cualquier potencia de dos, redondeado al inferior más cercano múltiplo de 250kHz, cuyo resultado no sea inferior a 1.25MHz en el caso de WirelessMAN-SCa y WirelessMAN-OFDM, y no sea inferior a 1MHz en el caso de WirelessMAN-OFDMA. Para los sistemas MBWA el proyecto de estandarización 802.20 indica que los anchos de banda de los canales concuerdan con los planes de frecuencias y asignación de frecuencias para otros sistemas de área amplia. El sistema puede ser desplegado en anchos de banda flexibles de 5MHz a 20MHz. El modo 625k-MC se encuentra diseñado para trabajar con un ancho de banda de portadora de 625KHz, soportando la agregación de múltiples portadoras para la operación TDD.

En cuanto al número de subportadoras con las que trabaja cada sistema, existe un número de subportadoras posibles para cada una de las capas físicas del estándar 802.16e. Como su nombre lo indica WirelessMAN-SCa trabaja con una sola portadora, mientras que WirelessMAN-OFDM trabaja con 256 subportadoras de las cuales 200 son utilizadas y WirelessMAN-OFDMA puede trabajar con 128, 512, 1024 o 2048 subportadoras y posee la propiedad de escalabilidad al mantener un espaciamiento entre subportadoras de 10.94 KHz. Para 802.20, un sistema MBWA puede trabajar con 512, 1024, o 2048 subportadoras, y posee un ancho de banda escalable, haciendo que cada portadora contenga 512 subportadoras.

3.1.2.2. Estructura de la trama

Tanto el estándar 802.16e como el proyecto de estandarización 802.20 soportan la operación TDD o FDD del sistema, permitiendo una utilización flexible del espectro. FDD separa los enlaces UL y DL sobre diferentes portadoras de frecuencia y los transmite al mismo tiempo, mientras que TDD multiplexa estos dos enlaces sobre la misma portadora de frecuencia en diferentes intervalos de tiempo sobre la misma trama.

802.16e soporta una transmisión basada en tramas. Para la capa física WirelessMAN-SCa de 802.16e las transmisiones se realizan a través de una de las tres clases de Burst Sets entramados. En un sistema FDD una SS es capaz

de operar sobre *bursts* 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 más PDUs, y subtramas DL formadas a su vez por un solo PDU que incluye preámbulo, FCH 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) y un *Receive/ Transmit Transition Gap* (RTG), para prevenir colisiones en las transmisiones UL y DL.

Para 802.20, la transmisión se divide en unidades de símbolos OFDM. Las supertramas se dividen a su vez en unidades de tramas que contienen 8 símbolos OFDM. Para el modo MBWA, la estructura de la trama está diseñada con el fin de minimizar la latencia de las transmisiones manteniendo las duraciones de procesamiento en niveles aceptables. Para FDD, una Supertrama FL se encuentra formada por un preámbulo seguido por 24 tramas PHY FL. Una supertrama RL se encuentra formada únicamente por tramas PHY, manteniendo la duración de la primera trama igual a la del preámbulo FL, manteniendo las supertramas alineadas. Para TDD, los enlaces FR y RL se multiplexan en tiempo utilizando un particionamiento que define la relación entre la duración de las tramas RL y FL. En el modo 625k-MC cada supertrama se divide en 20 tramas. Este modo utiliza una estructura TDD/TDMA que se encuentra diseñada para el despliegue de una canalización angosta de frecuencia.

3.1.2.3. Procesos de transmisión

Las tres capas físicas existentes para el estándar 802.16e incluyen procesos similares dentro del proceso de transmisión, así como procesos que las diferencian. De manera general, y sin profundizar en el método utilizado, se puede observar en los diagramas de proceso de transmisión de las diferentes capas físicas incluyen un proceso de aleatorización, FEC, modulación y mapeo. Se puede notar además que WirelessMAN-OFDM y WirelessMAN-OFDMA incluyen un proceso de interleaving, el cual para la capa WirelessMAN-SCa se encuentra incluido en el proceso de FEC de manera opcional.

A diferencia de 802.16e, el estándar 802.20 para MBWA no incluye aleatorización ni incluye FEC como método de corrección de errores, utilizando para ello CRC.

El sistema que trabaje bajo el estándar propuesto por 802.20 posee la ventaja de tener unidades de procesamiento que trabajan en paralelo, de manera que obtienen un proceso de transmisión más ágil y rápido. Esta puede ser una ventaja importante en lo que se refiere a velocidad y capacidad del sistema, sin embargo debe tomarse en cuenta el aumento en el número de elementos utilizados para estos procesos lo cual puede incrementar el tamaño y costo tanto del transmisor como del receptor si en el se realizara un proceso similar. 802.20 utiliza codificadores diferentes dependiendo el tamaño de los paquetes así como un interleaver lo que mejora la eficiencia del sistema. Un scrambler ubicado luego del interleaver permite mejorar las seguridades al prevenir la decodificación accidental de paquetes por usuarios diferentes al destinatario del paquete. Para el modo 625k-MC el proceso de transmisión es diferente ya que este incluye diferentes procesos para diferentes clases de modulación manteniendo procesos como la encriptación, CRC, interleaving y scrambling. La codificación para FEC la realiza un codificador convolucional combinado para algunas clases de modulación con un código de bloque (Paridad o Hamming).

En lo que se refiere a modulación, existen varios formatos con los cuales puede trabajar cada una de estas capas físicas, los cuales se encuentran descritos en la Tabla 3.2.

	IEEE 802.16e			IEEE 802.20	
	WirelessMAN-SCa™	WirelessMAN-OFDM™	WirelessMAN-OFDMA	MBWA	625k-MC
Formatos de modulación	Spread BPSK, BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM, 256QAM(opcional)	BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM	QPSK, 16QAM y 64QAM	8PSK, QPSK, 16QAM y 64QAM	BPSK, QPSK, 8PSK, 12QAM, 16QAM, 24QAM, 32QAM y 64QAM

Tabla 3.2. – Formatos de modulación

En relación al mapeo de los datos modulados WirelessMAN-SCa ofrece la posibilidad de mapear los datos a través de mapas de Gray y para 16QAM, 64QAM y 256QAM la opción del mapeo a través de mapas pragmáticos. WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA y el modo MBWA de 802.20 utilizan como mapas de constelación los mapas de Gray, mientras que el modo 625k-MC no especifica el tipo de mapeo utilizado.

Como procesos complementarios WirelessMAN-SCa incluye un filtro de coseno levantado, modulación en cuadratura y control de potencia, así como la configuración adicional de tramas fuera del FCH: BTC, no FEC para QPSK y omisión completa del FEC y CTC FEC. WirelessMAN-OFDM y WirelessMAN-OFDMA incluyen métodos opcionales de codificación como BTC y CTC.

Para WirelessMAN-OFDMA tres modos de múltiple HARQ opcionales son soportados (*CTC Incremental Redundancy*, *Generic Chase* y *CC Incremental Redundancy*) y pueden ser activados por cualquier modo FEC. WirelessMAN-SCa y WirelessMAN-OFDM no trabajan con HARQ, limitándose únicamente a la utilización de ARQ. De igual manera el modo MBWA de 802.20 utiliza HARQ sincrónico no adaptable mientras que 625k-MC se limita a la utilización de ARQ.

3.1.2.4. Mecanismos de funcionamiento y control

3.1.2.4.1. Asignación de recursos

En lo que se refiere a asignación de recursos se puede observar que para el estándar 802.16e, específicamente para WirelessMAN-OFDM y WirelessMAN-OFDMA, 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 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 capa física WirelessMAN-OFDM soporta el mecanismo de Requerimiento de Ancho de Banda obligatorio, que permite a la SS enviar mensajes de requerimiento de ancho de banda como un encabezado de solicitud de ancho de banda. Además, soporta un mecanismo alternativo en el cual la SS envía una transmisión enfocada a la contención durante un REQ *Region-Focused*, que consiste en uno de ocho posibles Códigos de Contención modulados en el *Contention Channel* de cuatro portadoras. La capa física WirelessMAN-OFDMA soporta dos mecanismos de requerimiento de ancho de banda basados en contención, el Requerimiento de Ancho de Banda obligatorio, que permite a la SS

enviar mensajes de requerimiento de ancho de banda como un encabezado y un mecanismo basado en CDMA. En este segundo mecanismo la SS escoge un Ranging Code del grupo de códigos asignados a Bandwidth Request, lo modula en el Ranging Subchannel y lo transmite.

Para el modo MBWA del proyecto de estandarización 802.20, la asignación de recursos se realiza a través de la Planificación centralizada en el AP, asignando subportadoras y eficiencia espectral a ATs en el tiempo y asegurando asignaciones ortogonales de recursos a varias ATs en el sistema. Los recursos del sistema se asignan en puertos de salto (en frecuencia) establecidos sobre una subportadora física, con dos modos de salto BH y SRH. Se debe tomar en cuenta la diferencia en la utilización del concepto de planificación con aquel utilizado en la capa MAC de 802.16e, ya que en este caso se refiere a la asignación de recursos de capa física (subportadoras y eficiencia espectral), mientras que el servicio de planificación planteado en la capa MAC se refiere a mecanismos de manejo de datos soportados por el planificador MAC, para transporte de datos sobre una conexión.

3.1.2.4.2. Control de potencia

Las tres capas físicas especificadas para el estándar 802.16e indican la necesidad de la existencia de un algoritmo de control de potencia de calibración inicial y ajuste continuo con el fin de mantener la densidad de potencia dentro de un margen de referencia. Este ajuste continuo de potencia se realiza principalmente a través de mediciones de los niveles de los mensajes recibidos por la BS y el envío de mensajes informando el ajuste a las MSs en caso de ser necesario. El algoritmo de control de potencia no se encuentra especificado dentro del alcance del estándar pero se indican parámetros como las tasas de fluctuación de potencia e intensidades que deberá cumplir.

Para el proyecto 802.20, el control de potencia se realiza a través del envío de mensajes de control con una frecuencia de 150Hz, un bit de cada seis tramas, utilizando como nivel de referencia de potencia el R-CQICH. Utiliza además un algoritmo de control de interferencia que ayude a controlar los niveles de potencia dentro del sector al poner a disposición de las ATs información de interferencia, para que las mismas puedan transmitir con la mayor potencia posible manteniéndose dentro de los parámetros de interferencia permitidos.

3.1.2.4.3. Sincronización

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.

El proyecto de estandarización 802.20 incluye una sincronización tanto en tiempo como en frecuencia. Esta sincronización se realiza al inicializarse el AT como uno de los primeros procesos que realiza. Sobre todo las redes TDD requieren una buena sincronización entre las BSs de la red. Para el modo 625k-MC, cualquier referencia de tiempo debe tener una estabilidad de ± 1 periodo de símbolo y estar disponible para toda la red para su sincronización.

3.1.2.4.4. Procesos adicionales de 802.16e

Adicionalmente a los procesos anteriores, 802.16e presenta procesos que no se presentan dentro del proyecto de estandarización 802.20, así como existen procesos existentes en 802.20 y no en 802.16e.

Uno de los principales procesos es el de ranging. El proceso de *ranging* se encarga de la adquisición del *offset* de tiempo correcto y el ajuste de potencia de modo que las transmisiones de la SS se encuentren alineadas con un símbolo que marque el inicio del límite de un mini *slot* para SCa PHY o alineadas con la trama de recepción de la BS para OFDM y OFDMA PHY. Tanto WirelessMAN-OFDM como WirelessMAN-OFDMA presenta un proceso de ranging durante el registro o después de una pérdida de sincronización y un ranging periódico utilizado para mantener la calidad del enlace de comunicación entre la BS y la SS.

Las mediciones de calidad de señal RSSI y CINR y sus estadísticas asociadas pueden ser de utilidad en procesos como selección/asignación de BS y selección de perfil adaptable de *burst*. Tanto el promedio como la desviación estándar son definidas debido al comportamiento variante en el tiempo del canal.

3.1.2.4.5. Procesos adicionales de 802.20

Al igual que 802.16e, el proyecto 802.20 provee procesos de transmisión propios de los sistemas que trabajen con 802.20 y que lo diferencian de 802.16e. Estos

procesos incluyen un esquema de multiplexación casi-ortogonal para el enlace reverse, el reuso fraccional de frecuencias, la planificación de subbanda y el soporte de un ancho de banda escalable.

El esquema de multiplexación casi-ortogonal permite mitigar las limitaciones del acceso múltiple ortogonal al asignar a múltiples ATs del mismo sector los mismos recursos de ancho de banda, obteniendo un diseño ortogonal para un pequeño número de antenas y escalamiento mejorado con un mayor número de antenas.

El reuso fraccional de frecuencias permite obtener un menor overhead de ancho de banda en relación a los esquemas de reuso de frecuencias utilizados generalmente en sistemas similares. Su diferencia radica en que permite asignar un factor de reuso de frecuencias diferente para ATs que posean diferentes condiciones de canal.

La planificación de subbanda permite mejorar la capacidad del sistema al ubicar a cada AT en una subbanda escogida en función de la respuesta en frecuencia del canal en el cual se encuentra al momento de realizar la planificación.

El soporte de un ancho de banda escalable se logra al dividir el ancho de banda en múltiples portadoras de 512 subportadoras y permitiendo la planificación de las ATs sobre todas las portadoras de manera simultánea.

3.1.2.5. Mecanismos de múltiples antenas

En lo que se refiere a mecanismos de múltiples antenas, el mecanismo básico utilizado por 802.16e es AAS como un mecanismo opcional que utiliza una transmisión de múltiples antenas, lo que permite mejorar la capacidad y cobertura del sistema al minimizar la probabilidad de cortes en la diversidad de transmisión, formación de señales y null steering. De manera adicional, las capas físicas WirelessMAN-OFDM y WirelessMAN-OFDMA soportan el tipo de codificación STC que provee diversidad de transmisión de orden superior, también de manera opcional. Para WirelessMAN-OFDM, esta diversidad se logra con la utilización de dos antenas en la BS y una en la SS. Para WirelessMAN-OFDMA existen dos modos de funcionamiento, uno que utiliza dos antenas de manera similar a WirelessMAN-OFDM y un modo que trabaja con cuatro antenas con los esquemas PUSC y FUSC. WirelessMAN-OFDMA provee el mecanismo de MIMO midamble con el que se mapea un símbolo OFDM sobre 2, 3 o 4 antenas.

El modo principal de 802.20, MBWA presenta varios mecanismos de múltiples antenas con los que puede trabajar: MIMO, beamforming, precodificación y SDMA. Soporta técnicas MIMO que incrementan la eficiencia espectral al realizar una multiplexación espacial. El diseño soporta dos modos MIMO: Single CodeWord (SCW) y Multiple CodeWord (MCW) que funcionan para TDD y FDD respectivamente. Otro mecanismo utilizado por 802.20 es beamforming que provee un incremento en el SINR, mejorando la ganancia, en sistemas con múltiples antenas de transmisión y una sola antena de recepción, con su variación de eigen-beamforming para sistemas MIMO. La precodificación permite un feedback de la información de canal FL sobre el RL y la utilización de esta información para la transmisión de datos en determinada dirección a los usuarios. SDMA es una técnica utilizada en el FL que permite dividir las transmisiones sobre múltiples antenas y reducir la interferencia intra-sector al transmitir simultáneamente a usuarios superpuestos usando señales definidas apropiadamente para cada usuario.

El modo 625k-MC de 802.20 trabaja también con un mecanismo de soporte de antena adaptable, pudiendo utilizar para ello algoritmos de baja complejidad debido a lo angosto del ancho de banda asignado a cada portadora. En este modo, un AP puede tener hasta 12 antenas mientras que el AT puede trabajar con hasta 4 antenas.

3.1.3. CARACTERÍSTICAS DE CAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Empezando por el modo en el que se divide la capa MAC pueden notarse diferencias y similitudes importantes entre el estándar 802.16e y el proyecto 802.20. La capa MAC de 802.20 se divide en tres subcapas que trabajan con protocolos portadores y tres capas que trabajan con protocolos no portadores, mientras que 802.16e no realiza diferencia y divide su capa MAC en tres subcapas. Se puede observar que ambos estándares dedican una capa específica para lo que se refiere a seguridad.

Hay que tomar en cuenta que entre las discusiones que llevaron a la suspensión del proyecto 802.20 en junio de 2006 se encontraba el tema del alcance del proyecto, ya que se observó que dentro de la capa MAC se encontraban aspectos correspondientes a capas superiores o similares a otros estándares ya existentes.

Una vez reabierto el proceso de estandarización, las características presentadas al momento pueden ser cambiadas o mantenerse pero se espera que al menos las características básicas y el enfoque del estándar permanezcan iguales.

Entre las principales características de capa MAC de todo sistema inalámbrico móvil, incluidos 802.16e y 802.20 se encuentran: el soporte de calidad de servicio, seguridad del enlace, procedimientos de funcionamiento como inicialización, ingreso a la red y paging, y gestión de movilidad y potencia que incluye el proceso de Handoff.

3.1.3.1. Calidad de servicio

Para 802.16e, el soporte de QoS se realiza en base a la asociación de paquetes con un Service Flow que se caracteriza por parámetros como tasas máximas y mínimas de transmisión, latencia, jitter y rendimiento. Estas características son generalmente combinadas con mecanismos externos al alcance del estándar para proveer una QoS de extremo a extremo. Los servicios de entrega de datos se encuentran profundamente relacionados con los parámetros de Service Flow y por tanto con la QoS. Existen varios servicios de entrega, cada uno de los cuales se enfoca a diferentes aplicaciones de transmisión de datos.

El proyecto de estandarización 802.20, soporta servicios de QoS de extremo a extremo por salto como DiffServ y RSVP, provistos por el protocolo RLP, el R-REQCH y el R-ACH. RLP provee retransmisión opcional de datos logrando reducir la tasa de error en la transmisión de paquetes aún más de lo que se logra en la capa física. Una QoS de requerimiento de paquetes se asocia con una reservación, que incluye un atributo que define los requerimientos de servicio para un flujo y un filtro para clasificación de paquetes.

Para el modo 625k-MC la QoS viene provista dentro de las capas superiores 3+ y soporta servicios de QoS a través de la solución estándar DiffServ. El planificador de la BS se encarga de reforzar los requerimientos de QoS para el grupo de sesiones de red. El planificador puede reforzar comportamientos básicos de QoS como límites individuales de velocidad, prioridad, y particionamiento de recursos entre clases.

3.1.3.2. Procedimientos de funcionamiento

Entre los principales procesos que se realizan durante el funcionamiento de una red móvil inalámbrica, se encuentran los procesos de inicialización e ingreso a la red, sincronización y paging. Todos estos procedimientos existen en ambos estándares con sus diferencias.

Para 802.16e la inicialización y sincronización con la red se realiza a través de los mensajes MAC DL-MAP a través de los cuales la SS intenta adquirir los parámetros de los canales DL. La SS escoge el canal que va a utilizar para su transmisión en base a los parámetros del mensaje UDC.

Para 802.20, la inicialización se realiza a través del R-ACH. El AT realiza sincronización en tiempo y en frecuencia y adquiere parámetros de configuración a través de este canal. El AT accede al sistema enviando mensajes de sondeo de acceso sucesivos sobre el segmento de control CDMA. El acceso a la red es exitoso cuando el AT recibe un mensaje *Access Grant* por parte de la AP sobre el SSCH como respuesta a sus mensajes de sondeo de acceso.

En el modo 625k-MC de 802.20 el acceso a los recursos de la interfaz aire la maneja la capa L2. La asignación de recursos se da únicamente cuando existe tráfico UL o DL.

En cuanto al proceso de paging, 802.16e trabaja en base a grupos lógicos de paging permitiendo la reducción del overhead de paging, mientras que 802.20 trabaja en un modo en el cual va incrementando el periodo de paging conforme va incrementando el tiempo en el que el AT se encuentra en modo Idle, balanceando el retardo en la entrega del mensaje con el consumo de energía.

Otro proceso importante en el funcionamiento de un sistema que trabaja con 802.16e es el proceso de ranging que se encarga que la adquisición del offset de tiempo y el ajuste de potencia permitiendo la alineación de tramas y sincronización. El ranging se produce al inicializarse la conexión entre la BS y la SS o MS y se produce además un proceso de ranging de manera periódica de modo que no se pierda la sincronización.

3.1.3.3. Gestión de movilidad y potencia

Al referirnos a sistemas inalámbricos móviles debemos tomar en cuenta dos parámetros críticos como son el ahorro de potencia y el handoff.

En lo que se refiere a ahorro de potencia, el estándar 802.16e trabaja con dos modos que permiten un manejo eficiente de la potencia disponible: el modo Sleep el modo Idle. Estos modos permiten a la MS no estar en comunicación constante con la BS, de modo que existan intervalos de tiempo de indisponibilidad de la MS o intervalos de tiempo en los cuales la MS se encuentre disponible para cierto tipo de mensajes, en los que el funcionamiento de la MS no sea requerido al cien por ciento permitiendo un ahorro significativo de energía.

802.16e soporta además un seamless handoff que permite a la MS moverse a través de diferentes celdas a altas velocidades sin interrumpir la conexión. El estándar soporta tres métodos de Handoff: Hard Handoff, Fast Base Station Switching Handoff y Macro Diversity Handoff, de los cuales el primero es de soporte obligatorio mientras que el soporte de los otros dos es opcional.

Para 802.20 el ahorro de potencia se realiza a través de la utilización del protocolo de estado Idle, el mismo que soporta monitoreo periódico de la red por el AT gracias al cual se puede lograr un ahorro significativo de energía. Soporta los modos de operación: operación continua, operación suspendida y operación escalonada que permiten regular el tipo de monitoreo realizado por parte de la AT.

802.20 soporta un sistema de handoff diseñado para soportar Fast Handoff mejorando las condiciones tanto para usuarios que se trasladen a velocidades vehiculares altas como para usuarios que se trasladen a velocidades peatonales. 802.20 trabaja con sectores servidores separados para FL y RL de modo que se realiza un handoff separado para cada uno de ellos, y provee un bajo overhead de señalización.

El modo 625k-MC propuesto dentro de 802.20 trabaja con un esquema de handoff make-before-break, es decir un soft handoff en el cual el enlace con el sector anterior no se rompe mientras no se haya establecido el enlace con el nuevo sector.

3.1.3.4. Seguridad

La seguridad en sistemas inalámbricos como 802.16e y 802.20 se basa principalmente en procesos de encriptación y autenticación.

Para 802.16e la seguridad se encuentra provista por la Subcapa de Seguridad que emplea un protocolo autenticado cliente/servidor de gestión de claves

combinada con una autenticación digital basada en los certificados de los equipos en base al protocolo PKM. El protocolo PKM permite la reautenticación/reautorización periódica así como la actualización de claves. PMK puede utilizar EAP, certificados digitales X.509 con el algoritmo de encriptación RSA o encriptación RSA seguido de autenticación EAP. Existen dos protocolos PKM soportados por 802.16e: PKMv1 y PKMv2. 802.16e soporta varios métodos criptográficos: Cipher Block Chaining, Counter Mode Encryption, Counter Mode Encryption con CBC-MAC y Cipher Block Chaining.

Los sistemas basados en la propuesta de 802.20, utilizan cryptosync que permite reducir el overhead. El sistema utiliza además un intercambio de claves de cuatro vías lo que aumenta la seguridad del sistema. Como método de encriptación, 802.20 trabaja con el estándar AES-128, mientras que para la autenticación utiliza el algoritmo HMAC. Soporta además dos modos de autenticación, permitiendo escoger entre la autenticación de todos los paquetes o solo aquellos relacionados con el acceso a la red.

El modo 625k-MC del proyecto de estandarización 802.20 provee una autenticación basada en certificados digitales firmados con el algoritmo RSA y basándose en el estándar ISO/IEC 9796. La infraestructura de claves se basa en criptografía de curvas elípticas (usando curvas K-163 y K-233 en el estándar FIPS-186-2). La encriptación de bloque se realiza usando un cifrado de flujo como RC4.

3.1.3.5. Características adicionales de capa MAC

3.1.3.5.1. Características adicionales de capa MAC para 802.16e

Existen características adicionales a las antes mencionadas que se presentan únicamente dentro del estándar 802.16e como son los procedimientos para uso de bandas de frecuencia compartidas con otros sistemas, el soporte de HARQ y servicios MBS.

Cuando un sistema que trabaja con 802.16e debe compartir una banda de frecuencia con un sistema diferente, DFS es utilizado para facilitar el compartir la banda de frecuencia con usuarios que requieren una protección especial contra la interferencia. Para ello se realizan pruebas en el canal que determinan la existencia de otros usuarios, se toman mediciones y se deja de transmitir en el

canal en el que se detectan otros usuarios, seleccionando un nuevo canal para las transmisiones.

El soporte de HARQ es opcional y puede ser soportado solamente por la capa física WirelessMAN-OFDMA. HARQ es considerado como un protocolo Stop-and-Wait. Existen dos modos de HARQ soportados por las estaciones móviles: Chase Combining e Incremental Redundancy. A diferencia de las MS, las estaciones fijas (SSs) soportan únicamente Incremental Redundancy.

En el DL una BS puede crear conexiones a servicios multicast o broadcast (MBS) cuando necesita enviar información destinada varios o a todos los usuarios conectados a ella. Las conexiones de transporte multicast o broadcast se encuentran asociadas con Service Flows, con lo que también se encuentran asociadas con los parámetros de QoS y tráfico para ese Service Flow. El acceso a estos servicios MBS puede ser simple o múltiple, dentro de una BS o dentro de varias BSs trabajando con Zonas MBS. Los servicios MBS permiten un ahorro eficiente de potencia y provee seguridad al encriptar sus conexiones y utilizar el protocolo PMKv2. Utiliza de manera opcional el algoritmo MBRA para la actualización de claves en servicios multicast o broadcast.

3.1.3.5.2. Características adicionales de capa MAC para 802.20

Como característica adicional a las presentadas anteriormente, y no existente en el estándar 802.16e se encuentra el soporte de handoff inter-frecuencias y handoff inter-RAT. La propuesta de estandarización de 802.20 presenta la posibilidad de que equipos que trabajen dentro de un sistema 802.20 puedan cambiar de frecuencia dentro del sistema e incluso puedan cambiar de tecnología de acceso de radio. Entre las tecnologías con las que se pretende realizar un handoff Inter-RAT se encuentran CDMA2000, WCDMA, GSM/GPRS/EDGE y sistemas WLAN como 802.11. Para el funcionamiento conjunto con otras tecnologías será necesario, además del handoff, que exista la capacidad de recepción de mensajes de paging entre tecnologías. Para ello el sistema deberá utilizar un mecanismo tune-away provisto por el Protocolo de Estado Conectado.

En lo que se refiere al modo 625k-MC, una de las características adicionales especificadas es el soporte de modos de entrega de mensajes con y sin acuse de recibo.

3.1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE IEEE 802.16e E IEEE 802.20

A pesar de que IEEE802.16e e IEEE802.20 fueron creados con un enfoque diferente, si tomamos en cuenta el mercado al cual serán enfocados estos sistemas, podemos observar que en parte se enfocan a un mercado similar. Ambos son estándares que ofrecen a los usuarios del sistema un acceso inalámbrico de banda ancha móvil con acceso por paquetes, basando sus diferencias en la tecnología utilizada para brindar este acceso, la capacidad del sistema y las velocidades de movilidad que pueden alcanzar. Desde este punto de vista, 802.20 brindaría un sistema más amplio en cuanto a capacidad y movilidad y podría enfocarse a transportes de muy alta velocidad como trenes de alta velocidad a los cuales no podría enfocarse 802.16e que tiene mayores limitaciones en cuanto a su movilidad. Sin embargo, este campo en el cual 802.16e no podría aplicarse es bastante reducido, si tomamos en cuenta la cantidad de países que poseen transportes de alta velocidad en el mundo, mientras que la mayor cantidad de usuarios que se encuentran con movilidades bajas estarían cubiertos por ambos estándares, lo cual los pone en una clara competencia.

Una de las principales ventajas que posee el estándar IEEE802.16e sobre el estándar IEEE802.20 es que al ser una extensión de un estándar anterior, su proceso de estandarización tomó mucho menos tiempo que para IEEE 802.20, que es un estándar nuevo, lo que ha permitido que sistemas basados en IEEE802.16e salgan al mercado mucho antes y ganen terreno a IEEE802.20.

Al ser una extensión de 802.16, y trabajar con algunas de las mismas capas físicas, 802.16e es compatible con estaciones fijas 802.16. Sin embargo, en la práctica, el WiMAX Forum ha tomado para Mobile WiMAX (basado en 802.16e) una capa física diferente a la utilizada para WiMAX fijo lo cual hace que las nuevas estaciones móviles de Mobile-WiMAX no sean compatibles con sistemas fijos WiMAX existentes con anterioridad. En cuanto a la implementación práctica

de sistemas basados en 802.16e y 802.20, ambos se encontrarían al mismo nivel y la ventaja de 802.16e de completar sistemas fijos se perdería.

A pesar de hay bandas para las cuales trabajan ambos sistemas, en general, 802.20 trabaja en frecuencias más bajas que 802.16e. Esto representa una ventaja para 802.20 ya que bandas por debajo de los 3.5GHz poseen un mejor rendimiento y menos pérdidas por lo que son más aptas para sistemas móviles que frecuencias un poco mayores que sin dejar de ser útiles para sistemas móviles producen más pérdidas.

En lo que se refiere al procesamiento, 802.20 posee la ventaja de tener unidades de procesamiento trabajando en paralelo, lo que permite reducir los tiempos de transmisión a diferencia de sistemas como 802.16e. Sin embargo el aumentar la velocidad del procesamiento a través de la utilización de procesamiento paralelo, incrementa la complejidad de la implementación y podría incrementar los costos finales de los equipos que trabajen en este sistema.

Los modos WirelessMAN-OFDM y WirelessMAN-OFDMA de 802.16e trabajan en base a la subcanalización que permiten una planificación óptima de la asignación de recursos de espacio, tiempo y frecuencia.

802.20 soporta una mayor cantidad de mecanismos para el trabajo con múltiples antenas incluyendo la pecodificación, MIMO, beamforming y SDMA que mejoran la eficiencia del sistema.

El esquema de Soft Handoff utilizado por 802.20 representa una ventaja para usuarios con alta movilidad, ya que el cambio de BS servidora es menos perceptible que en sistemas que trabajan con un hard handoff, que es el método de handoff por defecto de los 802.16e.

802.16e permite la creación de conexiones especiales destinadas a la entrega de servicios a varios o todos los usuarios de una red a través de una sola conexión que pueda ser utilizada por todos ellos, permitiendo obtener un ahorro de potencia significativo.

En lo que respecta a la coexistencia e interoperabilidad con otras tecnologías que trabajen en bandas de frecuencia similares, 802.20 lleva una ventaja importante frente a 802.16e al establecer la posibilidad de realizar un handoff inter-frecuencias y un handoff inter-RAT. A diferencia de 802.20 que presenta la

posibilidad de recibir mensajes de otras tecnologías o cambiar de banda de frecuencia de operación, 802.16e presenta únicamente características de protección ante interferencias tanto a usuarios propios del sistema como a usuarios de otras tecnologías que trabajen en bandas similares.

3.1.5. APLICACIONES DE IEEE 802.16e E IEEE 802.20

Tanto IEEE802.16e e IEEE802.20 nacieron de la misma iniciativa de crear estándares que permitan la implementación de sistemas que provean acceso inalámbrico de banda ancha a usuarios móviles. Por ello la principal aplicación de estos estándares es en sistemas móviles que provean un acceso de banda ancha a sus usuarios. Se debe tomar en cuenta que al trabajar con sistemas móviles, la red también soporta a usuarios fijos. Las diferencias en cuanto a aplicaciones de movilidad entre los dos estándares radica en la velocidad de desplazamiento máxima alcanzada por las estaciones móviles. IEEE802.20 ofrece una movilidad vehicular alta de hasta 250Km/h por lo cual equipos que trabajen bajo estándar dentran una movilidad aplicable desde equipos fijos hasta equipos que se encuentren funcionando en trenes de alta velocidad. A diferencia de IEEE 802.20, IEEE802.16e ha sido diseñado para trabajar a velocidades vehiculares de hasta 120km/h, limitando sus aplicaciones a equipos que se encuentren en vehículos que se transporten a bajas velocidades como automóviles.

El acceso móvil de banda ancha, basado en movilidad IP, permite a sus usuarios el acceso a todo tipo de datos, incluyendo voz y video, desbloqueando todo el contenido de Internet al público en general, así como permitiendo el acceso a datos de redes internas a sus usuarios. Esto vuelve un mercado potencial todos los usuarios de servicios y aplicaciones basadas en IP incluyendo el acceso a Intranets Empresariales Seguras y servicios de VLAN, juegos y entretenimiento, Servicios de Internet y localización, etc. Estas aplicaciones son comunes tanto para los sistemas que trabajarán bajo IEEE 802.20 como para aquellos que trabajen bajo IEEE 802.16e.

3.2. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES EN EL MERCADO Y EN DESARROLLO

3.2.1. TECNOLOGÍAS BASADAS EN IEEE 802.16e

3.2.1.1. WiMax¹

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es el nombre comercial de un grupo de tecnologías inalámbricas que emergieron de la familia de estándares WirelessMAN IEEE 802.16. En 2001, se creó el WiMAX Forum con el fin de promover el estándar IEEE 802.16 y ayudar a asegurar la compatibilidad y la interoperabilidad entre múltiples fabricantes, algo parecido a lo realizado por la Alianza Wi-Fi por la familia de estándares IEEE 802.11x. El WiMax Forum es una corporación sin fines de lucro, manejada por la industria, formada con el fin de promover y certificar la compatibilidad e interoperabilidad de productos BWA que usen especificaciones IEEE 802.16 y ETSI HiperMAN. La finalidad del WiMax Forum es acelerar la introducción de estos sistemas en el mercado. Los productos certificados por el WiMax Forum serán completamente interoperables y se espera que soporten aplicaciones de banda ancha fija y portátil.

El proceso de estándares IEEE 802.16, se encuentra limitado a las capas Físicas y de Control de Acceso Medio, pero no garantiza la interoperabilidad, las restricciones de RF o los niveles mínimos de rendimiento. El WiMAX Forum se encarga de garantizar estas características que son un requisito muy importante y necesario en la implementación de un sistema.

Inicialmente, el WiMAX Forum estaba compuesto únicamente de unos pocos fabricantes de equipos relativamente pequeños que solían proveer equipos inalámbricos fijos a un mercado reducido, y de dos grandes compañías de semiconductores: Intel y Fujitsu. Ninguno de los principales OEM (Original Equipment Manufacturer) se encontraba presente, aunque Nokia estaba en cierta medida asociado con el foro, y organizaciones como Motorola creían que era mejor perseguir estas oportunidades con su solución propietaria Canopy. De esta manera, la tecnología carecía del respaldo importante de un operador. En la actualidad existen aproximadamente 350 compañías que participan en el WiMAX Forum, incluyendo algunos operadores y varios de los principales OEM: Alcatel,

¹ Fuente: Wimax Forum

Ericsson, Lucent, Motorola, Nortel y Siemens, entre otros. Actualmente, WiMAX ya empezó con la certificación de los equipos, lo cual demostró que los que al principio se mostraron escépticos estaban equivocados.

Se debe tener claro que la tecnología WiMax, a pesar de estar basada en el estándar IEEE 802.16, no es igual al estándar 802.16, ya que se han aumentado y reducido ciertas características del mismo al crear WiMax. El WiMAX Forum define perfiles que se refieren a las diversas opciones contempladas en el estándar (modulación, ancho de banda, frecuencia de utilización, etc.), y lo complementa en áreas no cubiertas por IEEE, como sistemas de pruebas, arquitectura de red, etc.

Para acelerar la adopción de esta tecnología en el mercado, el WiMax Forum crea perfiles de sistema que se refieren al conjunto parámetros bajo los cuales trabaja el sistema, incluyendo bandas de frecuencia, esquema de duplexación y ancho de banda de canal. Los perfiles no cubren todos los parámetros operacionales de IEEE 802.16, únicamente prioriza aquellos parámetros que tienen un soporte amplio en la industria y cumplan con diferentes regulaciones de frecuencia de regiones y países. En consecuencia, con el tiempo pueden aumentarse perfiles de sistema de acuerdo con la demanda del mercado y cambios en las regulaciones. La primera entrega de perfiles de sistema para sistemas WiMax fijos (Release-1 system profiles for WiMax) publicados por el WiMax Forum se describen en la Tabla 3.3. y se enfocan en la capa física WirelessMAN-OFDM™, conocida también como OFDM256 al tomar un FTT de 256. Para la segunda fase de certificación se está ampliando la banda de trabajo a la banda 2500-2690 Mhz con duplexación FDD y TDD con anchos de banda por canal de 5 y 5.5 Mhz.

Banda de Frecuencia (MHz)	Modo de duplexación	Ancho de banda de canal (MHz)
3400-3600	TDD	3.5
		7.0
	FDD	3.5
		7.0
5725-5850	TDD	10

Fuente: WIMAX Forum™ Regulatory Working Group. Initial Certification Profiles and the European regulatory framework – September 2004

Tabla 3.3. – Release-1 de perfiles de sistema para WiMax fijo

Los sistemas certificados por el WiMax Forum se encuentran diseñados para despliegues en bandas sin licencia de bajo costo y proveerán conectividad de

banda ancha inalámbrica fija, nómada, portátil y eventualmente, móvil, sin la necesidad de una línea de vista directa con una BS. Se espera que estos sistemas tengan una capacidad de entrega de hasta 40Mbps por canal, para aplicaciones de acceso fijo y portátil, con un despliegue típico de celdas de 3 a 10 km de radio. Por lo tanto se tendrá un ancho de banda suficiente para soportar de manera simultánea cientos de negocios con conectividad de velocidad T1 y miles de residencias con conectividad a velocidad DSL.

3.2.1.1.1. Mobile-WiMax¹

Mobile-WiMAX se basa en 802.16e-2005 y permite a sistemas WiMAX trabajar con aplicaciones portátiles y móviles adicionalmente a las aplicaciones fijas y nómadas soportadas anteriormente. Mobile-WiMAX introduce la utilización de OFDMA como capa física y soporta características necesarias para la entrega de servicios móviles de banda ancha a velocidades vehiculares altas con una QoS comparable a sistemas de banda ancha cableados. Mobile-WiMAX introduce además la propiedad de escalabilidad del ancho de banda, por lo que en varias ocasiones se dice que trabaja con SOFDMA (OFDMA escalable). Las bandas de frecuencia y anchos de banda de canal escogidos por el WiMAX Forum para la primera entrega de perfiles de sistema se describen en la Tabla 3.4.

Ancho de banda de canal (MHz)	Tamaño FTT	2.3-2.4 GHZ	2.305-2.32, 2.345-2.6 GHZ	2.496-2.69 GHZ	3.3-3.4 GHZ	3.4-3.8 GHZ
1.25	128					
5.0	512	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD
7.0	1024				TDD	TDD
8.75	1024	TDD				
10	1024	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD
20	2048					

Fuente: GRAY, Doug. Mobile WiMAX: A Performance and Comparative Summary. September 2006. http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Mobile_WiMAX_Performance_and_Comparative_Summary.pdf

Tabla 3.4. – Release-1 de perfiles de sistema para Mobile-WiMax

El WiMAX Forum se encuentra trabajando en la planificación de la certificación de productos que trabajen con Mobile-WiMAX desde el último trimestre del año 2006.

¹ Mobile WiMAX: A Performance and Comparative Summary, WiMAX Forum, Septiembre 2006

La primera aplicación portátil/móvil para productos certificados WiMAX ha sido lanzada en Korea a través de los servicios WiBro. Despliegues adicionales de productos Mobile-WiMAX se esperan para inicios de 2007.

3.2.1.2. Wibro¹

WiBro (Wireless Broadband) es una tecnología de internet inalámbrico de banda ancha desarrollada por la industria de telecomunicaciones de Corea del Sur. Wibro provee acceso a internet inalámbrico a altas tasas de datos a través de una estación suscriptora personal en un medio móvil o estático en cualquier lugar y en cualquier momento. Dos de los tres proveedores fueron seleccionados en Febrero de 2005: SKT y KT se encuentran implementando el sistema y fueron asignados 27MHz por operador en las bandas 2300 – 2327 MHz, 2331.5 – 2358.5 MHz respectivamente.

El 30 de junio de 2006, el servicio comercial de Wibro fue lanzado en áreas de alta demanda dentro y fuera de Seúl. Se planea ampliar la cobertura a ciudades cercanas en 2007 y lograr una cobertura nacional para el año 2008.²

Modo de duplexación	TDD
Método de acceso múltiple	OFDMA
Ancho de banda por canal	10 MHz
Factor de reuso de frecuencia	1
Movilidad	≤ 60 km/h
Cobertura	≤ 1 km
Eficiencia espectral [bps/Hz/celda]	Max. UL/DL: 6/2 Min. UL/DL: 2/1
Handoff	≤ 150 ms
Throughput por usuario [Kbps]	Max. UL/DL: 3000/1000 Min. UL/DL: 512/128

Fuente: TTA, PG302. 2.3GHz Portable Internet(WiBro) Overview. March 15, 2006. http://www.itu.int/ITU-D/imt-2000/documents/Busan/Session3_TTA.pdf

Tabla 3.5. – Parámetros de WiBro

Wibro se estandariza en Corea por el comité de estandarización TTA (Telecommunications Technology Association) a través del grupo de trabajo PG302 trabajando además en la armonización con el grupo de trabajo IEEE 802.16 y participando activamente dentro del grupo de trabajo 802.16e. Con ello Wibro se unió a Mobile-WiMAX siendo considerado como el Mobile-WiMAX coreano al usar el mismo perfil de sistema y de certificación así como los mismos

¹ Fuente: 2.3GHz Portable Internet(WiBro)Overview, 15 de marzo de 2006, http://www.wibro.or.kr/down/wibro_overview_20060315.ppt

² South Korea launches WiBro service, Sean Shim, 30 de junio 2006, <http://www.eetimes.com/news/latest/showArticle.jhtml?articleID=189800030>

procesos de certificación de los productos que trabajen dentro de este sistema. Proveedores, fabricantes de equipos, la TTA y el gobierno Coreano aceptaron la propuesta del Wimax Forum para que los equipos WiBro sean certificados por el programa de certificación del WiMAX Forum.¹

3.2.2. TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON IEEE 802.20

No se puede considerar a las tecnologías iBurst y FLASH-OFDM como tecnologías basadas en IEEE 802.20, ya que estas tecnologías han sido creadas e incluso comercializadas antes de la aprobación, publicación e incluso redacción del estándar. Sin embargo estas tecnologías tienen una estrecha relación con IEEE 802.20. Las empresas propietarias de estas tecnologías han participado activamente dentro del proceso de estandarización de IEEE 802.20 y varias de las especificaciones de iBurst (HC-SDMA) y FLASH-OFDM han sido incluidas dentro del primer borrador del estándar, aprobado en el momento de la redacción de este documento.

3.2.2.1. iBurst²

iBurst o HC-SDMA es una tecnología desarrollada por la empresa ArrayComm con Kyocera como el fabricante principal de los equipos que trabajan con esta tecnología. Fue adoptada como el estándar de interfaz aire HC-SDMA (High Capacity – Spatial Division Multiple Access) ATIS-0700004-2005 por la Alianza de Soluciones de la Industria de Telecomunicaciones (ATIS).

La interfaz HC-SDMA provee conectividad inalámbrica de banda ancha de área amplia para equipos fijos, portátiles y móviles. El sistema trabaja con el procesamiento de señal multi-antena (MAS) diseñado por ArrayComm con ganancias de link budget de ~15dB y hasta 3 canales SDMA logrando una eficiencia espectral de ~4bps/Hz³. En enero de 2006, IEEE 802.20 adoptó la propuesta que incluía la utilización de HC-SDMA en el modo 625k-MC para el nuevo estándar 802.20.

iBurst ha sido lanzada y trabaja en países como Estados Unidos, Australia, Sudáfrica, Azerbaiyán, Noruega, Canadá, Malasia, Líbano, Kenia y Ghana.

¹ The Relationship Between WiBro and Mobile WiMAX, WiMAX Forum, octubre de 2006, http://www.wimaxforum.org/news/press_releases/WiBro_and_Mobile_WiMAX_Background.pdf

² <http://en.wikipedia.org/wiki/HC-SDMA>

³ <http://www.arraycomm.com/serve.php?page=HC-SDMA>

Actualmente, existen despliegues sobre las bandas 1.8 y 1.9GHz.

3.2.2.2. Flash-OFDM¹

FLASH-OFDM (Fast Low-latency Access with Seamless Handoff – Orthogonal Frequency Division Multiplexing) es una tecnología originada en la empresa Flarion, la cual ha sido tomada por Qualcomm una vez realizada la adquisición de Flarion por parte de Qualcomm en enero de 2006. Dentro del proyecto de estandarización de IEEE 802.20, Flarion y Qualcomm han tenido una influencia importante en el desarrollo de las especificaciones del mismo, de manera que las especificaciones del estándar 802.20 resultan similares a las especificaciones del sistema FLASH-OFDM.

FLASH-OFDM se encuentra diseñada para la entrega de servicios de Internet avanzados en un medio móvil. Es una tecnología basada en OFDM que le permite dirigirse a los requerimientos únicos de los usuarios móviles para aplicaciones de datos de banda ancha y paquetes de voz.

FLASH-OFDM trabaja, al igual que sistemas cableados, con velocidades típicas de usuario de 1 a 1.5 Mbps y latencia bajo los 50ms. Esta tecnología provee una cobertura de área amplia y trabaja en medios móviles y fijos.² El sistema divide al espectro de radio disponible en un número de tonos ortogonales con una distancia igual entre ellos y utiliza fast frequency hopping sobre estos tonos para convertirse en una tecnología celular spread spectrum. Spread spectrum permite que los datos sean empaquetados y enviados dividiéndolos en un amplio rango de ancho de banda, para luego rearmar el mensaje original. Estas características permiten a FLASH-OFDM soportar un número mayor de usuarios y transmisiones con mayor seguridad. Gracias a sus atributos de asignación de recursos permite enviar datos casi sin overhead, reduciendo la complejidad, latencia y costos, con una QoS mejorada.

Las tecnologías Flarion de QUALCOMM han creado, a través de FLASH-OFDM, soluciones de red de extremo a extremo para operadores móviles que incluyen una línea de productos de estación base RadioRouter, módems inalámbricos, chipsets implantados y software de sistema. La red IP soportará tanto datos de banda ancha como voz empaquetada.

¹ <http://www.qualcomm.com/technology/flash-ofdm/>

² “Mobile Broadband at Virginia Tech: Benefits to Student Body, Faculty, Support Staff, and Public Safety”, CITIZENS, Virginia Tech & Flarion

Flavion provee un despliegue de sus sistemas sobre las bandas entre 400MHz y 3.6GHz, específicamente utilizando principalmente las bandas 450MHz y 700MHz, aunque se han creado soluciones también para 800MHz, 1.9GHz, 2.1GHz y 2.5GHz.¹

3.3. COEXISTENCIA Y RELACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO

3.3.1. TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO

Con el desarrollo de la tecnología, los sistemas de telecomunicaciones se enfocan cada vez más en brindar un servicio ubicuo a sus usuarios, disponible en todo lugar y en cualquier momento. Las tecnologías de acceso inalámbrico brindan ventajas en este aspecto ya que no poseen las limitaciones del cableado lo que permite brindar movilidad a los usuarios. Sin embargo, hasta hace algunos años el acceso inalámbrico brindaba capacidades de ancho de banda muy bajas a diferencia del acceso fijo a través de cableado. La creación del estándar 802.11 y Wi-Fi permitió mejorar los anchos de banda de acceso inalámbrico fijo en áreas pequeñas y 802.16 con WiMAX permitió ampliar el alcance a áreas metropolitanas. 802.16e con Mobile WiMAX añade movilidad a WiMAX que hasta entonces brindaba un acceso fijo, al igual que 802.20 que permite ampliar aún más el área de cobertura, la movilidad y pretende incluso brindar velocidades de transmisión similares a las obtenidas en sistemas cableados.

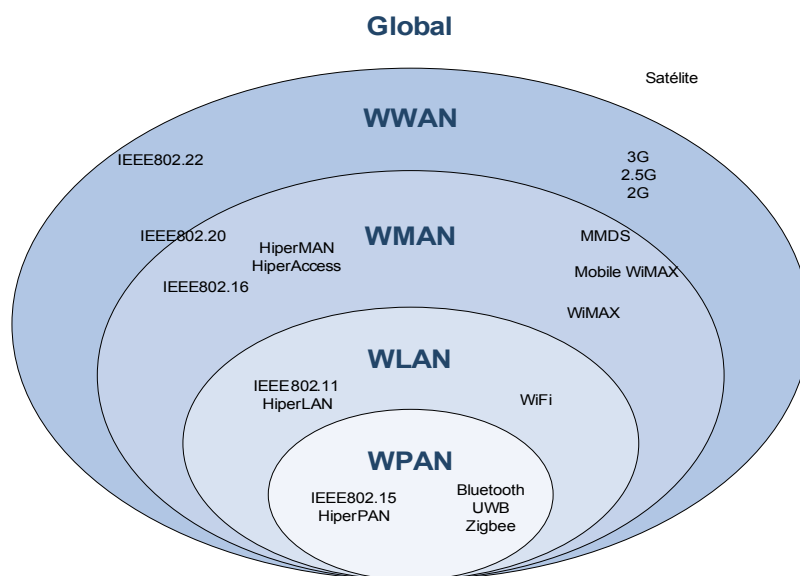
Por el alcance de su cobertura se considera la clasificación de los sistemas en:

- Sistemas de cobertura Global a través de satélites.
- Sistemas de cobertura de área amplia WAN que permiten una muy alta movilidad e incluyen los sistemas de tecnología celular 2G, 2.5G y 3G y nuevas tecnologías 4G, además de sistemas que trabajen con IEEE 802.20 que podrían llegar a ser considerados como tecnologías 4G.
- Sistemas de cobertura de área metropolitana MAN como WiMAX y Mobile-WiMAX bajo el estándar IEEE 802.16, HiperMAN &HiperAccess (ETSI) y MMDS, que permiten una alta movilidad.

¹ <http://www.educause.edu/ir/library/powerpoint/nmd0425.pps>

- Sistemas de cobertura de área local LAN que brindan baja movilidad e incluyen tecnologías WLAN como WiFi bajo el estándar 802.11, y HiperLAN (ETSI).
- Sistemas de cobertura de área personal que brindan una movilidad muy limitada con tecnologías infrarrojas y bajo el estándar IEEE 802.15 como Bluetooth, UWB y ZigBee.

Entre estas tecnologías, las que se encuentran en directa competencia con los sistemas que trabajen con 802.16e y 802.20 son las que poseen cobertura de área metropolitana y de área amplia.

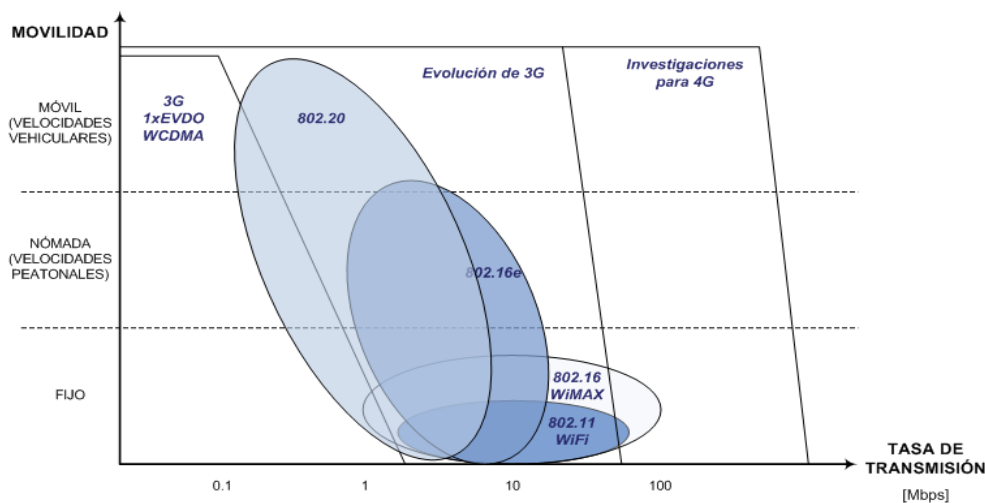


Fuente: KAEN, Luis. Trabajo Final Integrador, Postgrado de Ingeniería en Telecomunicaciones. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. 2005

Figura 3.1. – Tecnologías de acceso inalámbrico

3.3.1.1. Posicionamiento de 802.16e y 802.20 en relación a otras tecnologías

Tanto el estándar IEEE 802.16e como IEEE 802.20 permiten llenar el vacío existente entre las tecnologías de banda ancha fijas y las redes celulares altamente móviles pero de baja capacidad.



Fuente: AARNIKOIVU, Samiseppo. WINTER, Juha. Mobile Broadband Wireless Access. Helsinki University of Technology, 2006.

Figura 3.2. – Posicionamiento de 802.16e y 802.20 respecto a la movilidad y tasas de transmisión

En cuanto al desarrollo y comercialización de las tecnologías, 802.20 se encuentra en una desventaja respecto a sus posibles competidores como son tecnologías 3G y Mobile-WiMAX, ya que varias de ellas ya se encuentran en proceso de pruebas y comercialización mientras 802.20 aún se encuentra dentro del proceso de estandarización con serios problemas y retrasos.

En cuanto a las aplicaciones a las cuales se enfocan estas tecnologías se puede notar que las tecnologías celulares 3G se encuentran enfocadas en su mayoría a tráfico de voz mientras que las tecnologías de acceso móvil inalámbrico de banda ancha como 802.16e y 802.20 se enfocan al transporte de datos pudiendo incluir entre ellos a la transmisión de voz empaquetada.

En cuanto a la movilidad, las aplicaciones cambian respecto a la movilidad que le pueda dar el sistema. Además de que ambos estándares soporten usuarios fijos y portátiles, 802.16e se enfoca a trabajar con equipos cuya movilidad se limita a velocidades peatonales y vehiculares bajas, mientras que 802.20 permite ampliar el rango de movilidad y se enfoca a equipos ubicados en vehículos que viajan a velocidades más altas incluyendo automóviles y trenes de alta velocidad.

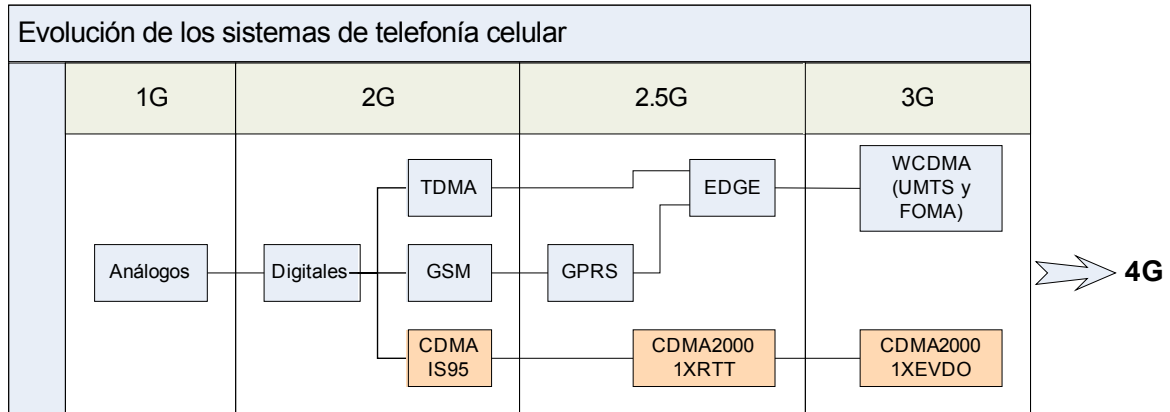
3.3.2. POSICIÓN RESPECTO A LA COEXISTENCIA Y RELACIÓN CON OTRAS RAT DE LOS ESTÁNDARES IEEE802.16e E IEEE802.20

Dentro del estándar IEEE 802.16e no se encuentra especificada su posición respecto a la correlación con otras tecnologías de acceso inalámbrico. La única referencia existente dentro de este estándar se refiere a la coexistencia con otros sistemas, en particular a las seguridades respecto a la interferencia cuando existen otros sistemas que comparten la misma banda de frecuencia. Las características específicas de coexistencia y correlación con otros sistemas vienen dadas como características adicionales por el WiMAX Forum dentro de Mobile-WiMAX. Se debe tomar en cuenta que el WiMAX Forum ha establecido diferentes sistemas de funcionamiento para WiMAX y Mobile-WiMAX lo cual llevará a que los nuevos sistemas Mobile-WiMAX no sean compatibles con los sistemas WiMAX que se encuentran en funcionamiento en la actualidad.

A diferencia de 802.16e, dentro del proyecto 802.20 se ha tomado en cuenta una propuesta tecnológica para ser introducida dentro del estándar, que trata de la relación y coexistencia con otras tecnologías de acceso de radio. Esta propuesta trata del handoff inter-frecuencias y el handoff inter-RAT permitiendo a los usuarios de un sistema 802.20 cambiar, en caso de ser necesario, la banda de frecuencias en la que trabaja a través del handoff inter-frecuencias o de tecnología de acceso de radio con el handoff inter-RAT. 802.20 considera el handoff inter-RAT e intercambio de mensajes de paging que permitan un funcionamiento conjunto con tecnologías como CDMA200, WCDMA, GSM/GPRS/EDGE y sistemas que trabajen bajo 802.11. 802.20 afirma además encontrarse abierto a este tipo de relaciones con otras tecnologías aparte de las nombradas lo cual podría permitir llegar en algún momento a la fusión de las tecnologías de acceso inalámbrico del futuro en un solo sistema. Hay que tomar en cuenta que estas propuestas pueden ser cambiadas o eliminadas en el transcurso del desarrollo del estándar 802.20 y no ser incluidas en el estándar definitivo, debido a los planteamientos de ciertos miembros del grupo de trabajo respecto a que ciertos temas incluidos en el primer borrador se encuentran fuera del alcance del estándar y no deberían ser incluidos ya que corresponden a funciones de capas superiores o no están cubiertos por el PAR del proyecto.

3.3.3. RELACIÓN DE IEEE 802.16e E IEEE 802.20 CON OTROS ESTÁNDARES Y TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO

3.3.3.1. Relación con tecnologías de redes celulares



Fuente: PIETROSEMOLI, Ermanno. Introducción a las Tecnologías Inalámbricas. Mérida, Venezuela. 2006.

Figura 3.3. – Evolución de los sistemas de redes celulares

Las tecnologías de redes celulares han evolucionando de manera que han dejado de enfocarse únicamente a la transmisión de voz que ha sido su objetivo desde su creación. Con el avance de la tecnología estos sistemas se enfocan cada vez más a la transmisión de datos brindando aplicaciones de voz, datos y video.

En la actualidad, los sistemas de tercera generación 3G (WCDMA y 1xEVDO) ya están siendo implementados en 25 países de Asia, Europa y Norteamérica, y el cambio de 2G a 3G está empezando a aplicarse en el resto del mundo. Los sistemas 3G poseen capacidades de banda ancha que permiten soportar un mayor número de usuarios de voz y datos con mayores tasas de datos y con un costo inferior al de 2G.

	802.16e	802.20	WCDMA	CDMA2000 1XEVD0
Aplicaciones	MAN móvil voz y datos	MAN-WAN móvil voz y datos	WAN alta velocidad voz y datos	WAN alta velocidad voz y datos
Alcance	3Km NLOS	15km NLOS	500m-10km	800m-50km NLOS
Banda de frecuencias	TDD/FDD 2-6GHZ Bajo licencia	TDD/FDD <3.5GHZ Bajo licencia	FDD 450/800MHZ 1.9/2.1GHZ Bajo licencia	TDD/FDD 2-6GHZ Bajo licencia
Ancho de banda	1.25-20MHz	1.5MHz(FDD) 5MHz(TDD)	5MHz	1.25MHz
Tasa de bits	<30Mbps	<260Mbps	< 11Mbps	< 4.9Mbps DL

Fuente: PIETROSEMOLI, Ermanno. Introducción a las Tecnologías Inalámbricas. Mérida, Venezuela. 2006.

Tabla 3.6. – Parámetros básicos de 802.16e, 802.20 y tecnologías 3G

Con la evolución de la tecnología celular, a partir de los sistemas 2.5G, empieza a ser importante la transmisión no solo de voz sino también de datos y video, son lo que inician los estudios para la integración de estos servicios dentro de 3G y 4G. De esta manera la infraestructura de red celular 4G ya no constará de una sola tecnología sino que incluirá una mezcla de varias tecnologías diferentes, utilizando por ejemplo tecnologías 2G o 3G existentes para las transmisiones en tiempo real complementándolas con WiFi y WiMAX. Las tecnologías 4G no solo se enfocarán como 3G a brindar servicios de datos y video, sino que pretenden brindar servicios de transmisión de información a velocidades más altas a menor costo. Tecnologías que trabajan con los estándares 802.16e y 802.20 están siendo la base para el desarrollo de 4G.

3.3.3.2. Relación con otros organismos de estandarización

En los PAR presentados durante el desarrollo de los proyectos de estandarización 802.16e y 802.20 de la IEEE, se pone en conocimiento la existencia de proyectos similares. Además de la relación cercana entre los proyectos 802.16e y 802.20 se notaron similitudes con el proyecto de la ITU-R Working Party 8F que conjuntamente con 3GPP y 3GPP2 desarrolla interfaces aire para IMT-200 y sistemas superiores a IMT-2000 tanto para aplicaciones fijas como móviles¹, y con el estándar HiperMAN v.1.3.2 de la ETSI que se encuentra enfocado únicamente a aplicaciones nómadas.

Se debe tomar en cuenta que 802.16e es únicamente una enmienda del estándar 802.16 y por lo tanto forma parte del Grupo de Trabajo IEEE 802.16 que es quien lleva las relaciones con organizaciones externas e internas a las IEEE.

Tanto IEEE 802.16 como 802.20 han formado relaciones con la ITU, ETSI, CCSA, 3GPP y 3GPP2. IEEE 802.16e mantiene además relaciones con el WiMAX Forum, la WCA y la TTA, mientras que 802.20 incluye además a T1P1, ARIB, IETF y OMA.

¹ IEEE-SA Project Authorization Request (PAR) 802.16e ,http://www.ieee802.org/16/docs/04/80216-04_33r6.pdf

3.4. APLICABILIDAD DE IEEE 802.16e E IEEE 802.20 EN EL ECUADOR

Los dos estándares analizados en este documento, IEEE 802.20 e IEEE 802.16e, son estándares nuevos, el primero aún en proceso de estandarización y el segundo ya publicado con tecnologías basadas en él empezando a ser implementadas de manera reciente en países como Corea, pionero en la aplicación de tecnologías de telecomunicaciones. En lo que se refiere a IEEE 802.20, al ser un estándar que aún se encuentra en los procesos iniciales de borrador y debido a los problemas ocurridos dentro del Grupo de Trabajo que han producido un retraso significativo en la publicación del estándar, lleva un retraso bastante grande respecto a IEEE 802.16e que ya se encuentra en el proceso de implementación de tecnologías basadas en él. El lanzamiento de sistemas Mobile-WiMAX que trabajan bajo el estándar IEEE 802.16e está planeado para el 2007 en varios países del mundo, mientras que sistemas que trabajen bajo IEEE 802.20 probablemente se estarán lanzando, si el estándar se publica para finales de 2007, para el año 2009.

En el Ecuador, actualmente se está iniciando con la implementación de sistemas WiMAX, lo que indica que este tipo de sistemas móviles tardarían aún un par de años o más en llegar al país.

El éxito de la implementación de estos sistemas dentro del país depende de varios factores. El factor económico es uno de los más importantes junto con las aplicaciones que se le pueda dar al sistema en nuestro medio. Sistemas como WiMAX y Mobile-WiMAX pretenden brindar servicios de banda ancha más rápidos de mejor calidad y a más bajo costo, con un área de cobertura bastante grande. Sin embargo habrá que ver si los costos del servicio son lo suficientemente bajos como para brindar acceso a estas redes a la mayor parte de la población. En un país en el que aún mucha gente no ha utilizado nunca una computadora debido a la falta de posibilidades económicas para tener acceso a ella, la implementación de sistemas de acceso de banda ancha masivos se ve aún muy lejana.

Se debe tomar en cuenta que la situación de desarrollo del Ecuador no se encuentra al nivel de países como Corea en los que la mayor parte de la población tiene acceso a tecnología de punta, no solo a nivel económico sino a

nivel de desarrollo de tecnología y aplicaciones. Uno de los principales objetivos de los dos estándares analizados en este documento es brindar acceso de banda ancha a usuarios móviles a velocidades vehiculares. La aplicabilidad de estos sistemas está siendo discutida en el mundo debido a que muchos no encuentran la utilidad de tener acceso a datos a velocidades tan altas como 250km/h ya que la mayoría de gente accede a datos de manera estática, siendo de mayor importancia el desarrollo de sistemas portátiles y móviles a bajas velocidades que sistemas como Mobile-WiMAX y MBWA. En países como el Ecuador en donde no existen trenes de alta velocidad que viajen a velocidades tan altas, podría pensarse que sistemas móviles que trabajen bajo 802.20 nunca llegarían a ser aplicados. Sin embargo debe tomarse en cuenta que las aplicaciones de sistemas que trabajan con 802.20 no se limitan a trenes de alta velocidad sino que podrán también ser utilizados al igual que los sistemas que trabajan bajo 802.16e en otros medios móviles como automóviles y a velocidades peatonales con un muy buen funcionamiento fijo y portátil. Además, estos sistemas no son utilizados únicamente para acceso a Internet sino a todo tipo de datos, incluidos voz y video que permitirán además el acceso aplicaciones de telefonía, acceso a información de tránsito y multimedia.

3.4.1. BANDAS DE FRECUENCIA EN LAS QUE SE APLICARÍAN SISTEMAS BASADOS EN IEEE 802.16e E IEEE 802.20

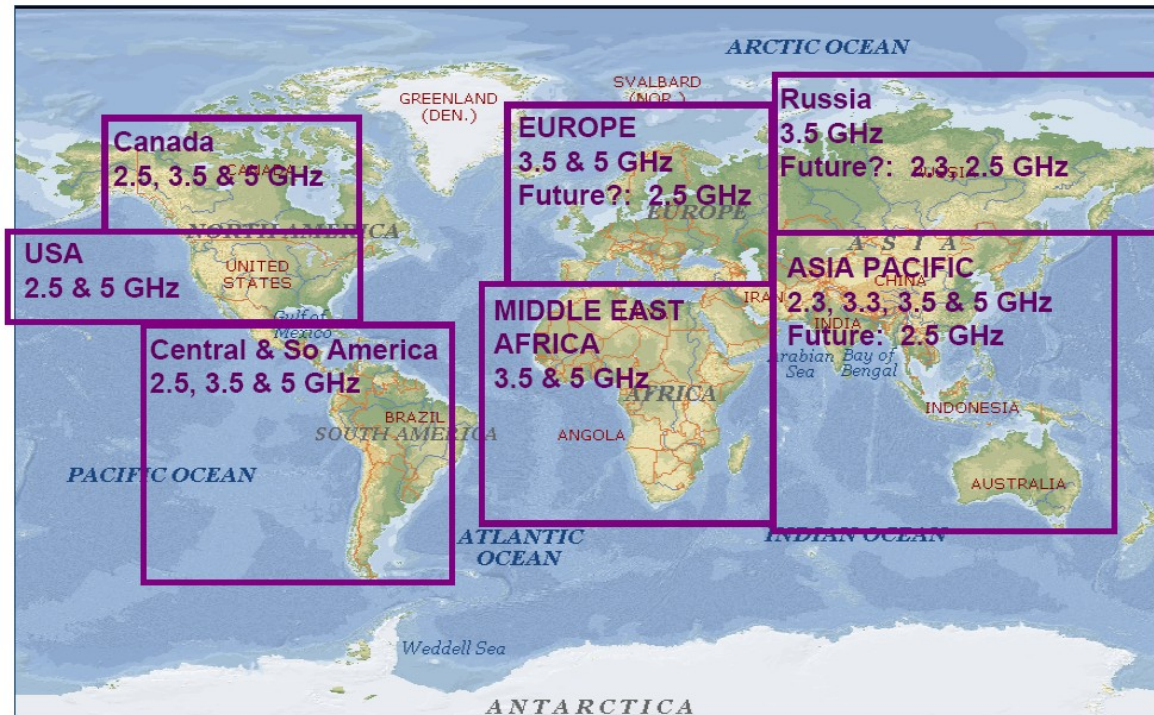
Las características de propagación de las ondas de radio varían en función de la frecuencia de la onda. Por ello, frecuencias entre 3GHz y 300GHz son utilizados para usos fijos, debido a que las ondas a partir de los 3GHz requieren cada vez más una línea de vista directa. Por el contrario, las frecuencias por debajo de los 3GHz son consideradas como de uso móvil debido a que las ondas a estas frecuencias tienen la capacidad de atravesar objetos sólidos por lo que su transmisión no requiere línea de vista. Frecuencias entre los 3GHz y 5GHz son consideradas como semi-móviles ya que atraviesan objetos sólidos aunque con mayor dificultad. Por esta razón, frecuencias por debajo de los 5GHz, de preferencia bajo los 3GHz han sido tomadas como bandas de frecuencia para el funcionamiento de sistemas móviles que trabajan bajo IEEE 802.16e e IEEE 802.20.

Como se observó anteriormente, sistemas que trabajen bajo el estándar 802.16e serían en su mayoría sistemas que cumplan los requerimientos de Mobile-WiMAX. IEEE 802.16e define un amplio rango de frecuencias en las cuales se aplicarían estos sistemas, 2-6GHz, sin definir bandas específicas para ello, al igual que IEEE 802.20 que se limita a definir la aplicación en frecuencias por debajo de los 3.5GHz. Estas bandas son definidas posteriormente a través de organismos como el WiMAX Forum para el caso de IEEE 802.16 que incluye a 802.16e. El WiMAX Forum define para el sistema Mobile-WiMAX las bandas de frecuencia: 2.3GHz, 2.5GHz, 3.3GHz y 3.5GHz para el Release-1 de perfiles del sistema.

Para IEEE 802.20 aún no existe ningún organismo encargado de la regulación en la implementación de sistemas basados en este estándar como lo hace el WiMAX Forum, y al estar además incompleto el estándar, aún no se puede saber el rumbo que tomarán las aplicaciones de este estándar en el futuro, ni que bandas de frecuencia específicas podrían utilizar, más allá de la generalización “por debajo de los 3.5GHz”. Sin embargo para IEEE 802.20 existen dos sistemas, iBurst y Flash-OFDM que están siendo comercializados cuyas especificaciones han sido incluidas, por el momento, en el primer borrador del estándar 802.20. iBurst estaría trabajando en las bandas 1.8GHz y 1.9GHz mientras que Flash –OFDM estaría utilizando las bandas principalmente de 450MHz y 700MHz, existiendo además soluciones para 800MHz, 1.9GHz, 2.1GHz y 2.5GHz.

Según Rupert Baines¹ en el mundo, las bandas primarias para despliegue de WiMAX en general, se encuentran especificadas en la Figura 3.4.

¹ Rupert Baines, “16d to 16e – More than Just Mobility”, picoChip flexible wireless 09 de noviembre de 2005, <http://www.picochip.com/downloads/WiMAXworld2.pdf>



Fuente: Rupert Baines, "16d to 16e – More than Just Mobility", picoChip flexible wireless 09 de noviembre de 2005.

Figura 3.3. – Bandas primarias para el despliegue de WiMAX

Se debe tomar en cuenta que en este documento Baines se refiere a bandas a ser utilizadas en el mundo para WiMAX en general es decir que cubren bandas con y sin licencia. De estas frecuencias debería descartarse la banda de 5.8GHz que es una banda sin licencia, mientras que el resto de frecuencias serán probablemente las frecuencias de despliegue de Mobile-WiMAX e incluso aquellas por debajo de los 3.5GHz podrían ser en un futuro consideradas para 802.20.

3.4.2. REGULACIONES EN EL ECUADOR

En materia de telecomunicaciones, las leyes y normas se encuentran reguladas por varios organismos dentro del país:

- Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL): ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el país.
- Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL): ente encargado de la ejecución de la política de telecomunicaciones en el país.

- Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTTEL): ente encargado del control de los servicios de telecomunicaciones y el uso del espectro radioeléctrico.

La atribución de bandas de frecuencia a los distintos servicios y su forma de uso, y la asignación de frecuencias y el control de su uso se encuentran establecidas en el Plan Nacional de Frecuencias.¹

Servicios basados en 802.16e y 802.20 aún no han sido considerados dentro de las reglamentaciones en el país. Por el momento servicios como WiFi y WiMAX han sido considerados y trabajan bajo la “Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha”. Sin embargo no se podría decir que sistemas basados en 802.16e y 802.20 se encontrarían incluidos dentro de esta norma debido a que los dos estándares especifican claramente entre sus características que son sistemas que operarán en bandas con licencia, mientras que esta norma aplicada a WiFi y WiMAX trabaja en bandas libres, sin licencia, de 900MHz, 2.4GHz, 5.1GHz, 5.2GHz, 5.6GHz y 5.8GHz². A pesar de que los servicios brindados por sistemas basados en 802.16e y 802.20 llevan incluso nombres similares (Mobile-WiMAX e incluso se está hablando de Mobile-Fi para 802.20), por el momento no han sido considerados por los organismos de regulación del país dentro de la misma clasificación de WiFi y WiMAX. Su carácter de movilidad y frecuencias utilizadas los diferencia de sistemas WiMAX y WiFi acercándolos, en términos de regulaciones, al servicio móvil celular y móvil avanzado, para los cuales es necesaria una concesión de frecuencias para no compartir una banda de frecuencia con otros servicios que puedan causar interferencias facilitando la movilidad.

¹ Art. 49 del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada

² Art. 6 de la Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha

3.4.2.1. Situación en el Ecuador de las Bandas de frecuencia en las que trabajarían sistemas basados en 802.16e y 802.20³

Las bandas de frecuencia a analizarse son las bandas con licencia comprendidas entre los 500MHz hasta los 6GHz (802.16e: 2-6GHz y 802.20: 500-3.5GHz). Dentro de este rango de frecuencias se encuentran las siguientes bandas que no requieren licencia: 900MHz, 2.4GHz y 5.8GHz⁴. El resto de frecuencias dentro de este rango son frecuencias con licencia, compatibles con las especificaciones de los estándares 802016e y 802.20.

Si tomamos en cuenta las bandas de frecuencia utilizadas hasta el momento en otros países del mundo para iBurst y Flash-OFDM, así como las bandas aprobadas por el WiMAX Forum en el Release-1 de perfiles de sistema para Mobile-WiMAX, la Tabla 3.6 indica los servicios a los que se encuentra asignados en el Ecuador a estas bandas.

Banda de Frecuencia (MHz)	Servicio Asignado en el Ecuador	Sistema que trabajarían en esta banda
450-455	FIJO y MÓVIL excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas direccionales punto-punto, PMP	450MHz Flash-OFDM
455-456	FIJO, MÓVIL, MÓVIL POR SATÉLITE(Tierra-espacio) excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas direccionales punto-punto, PMP	
456-459	FIJO y MÓVIL excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas direccionales punto-punto, PMP	
459-460	FIJO, MÓVIL, MÓVIL POR SATÉLITE(Tierra-espacio) excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas direccionales punto-punto, PMP	
614-806	RADIODIFUSIÓN (PRIMARIO), Fijo y móvil (Secundarios), atribuida al servicio de radiodifusión de televisión	700MHz Flash OFDM
806-890	FIJO, MÓVIL excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas direccionales punto-punto, PMP 806-811MHz y 851-856MHz operan Sistemas Troncalizados 824-849MHz y 869-894MHz operan Sistemas de Telefonía Móvil Celular v Servicio Móvil Avanzado	800MHz Flash-OFDM
1710-1930	FIJO y MÓVIL 1710-1885MHz y 1885-2025MHz para Servicios IMT-2000 o servicios de Comunicación Personal. En estas bandas operan los Servicios de Telefonía Móvil Celular y el Servicio Móvil Avanzado 1750-1850MHz también atribuido al servicio de operaciones espaciales y al servicio de investigación espacial	1.8GHz iBurst

³ Fuente: <http://www.conatel.gov.ec/>

⁴ Article 5.150 of the Radio Regulations (Volume 1), ITU

Banda de Frecuencia (MHz)	Servicio Asignado en el Ecuador	Sistema que trabajarían en esta banda
1930-1970	FIJO y MÓVIL 1885-2025MHz para Servicios IMT-2000 o servicios de Comunicación Personal. En esta banda operan los Servicios de Telefonía Móvil Celular y el Servicio Móvil Avanzado	1.9GHz iBurst 1.9GHz Flash-OFDM
1970-1980	FIJO y MÓVIL 1885-2025MHz para Servicios IMT-2000 o servicios de Comunicación Personal. En esta banda operan los Servicios de Telefonía Móvil Celular y el Servicio Móvil Avanzado	
2110-2120	FIJO, MÓVIL, INVESTIGACIÓN ESPACIAL 2110-2200MHz para Servicios IMT-2000	2.1GHz Flash-OFDM
2120-2160	FIJO, MÓVIL, móvil por satélite 2110-2200MHz para Servicios IMT-2000	
2160-2170	FIJO, MÓVIL, MÓVIL POR SATÉLITE 2110-2200MHz para Servicios IMT-2000	
2170-2200	FIJO, MÓVIL, MÓVIL POR SATÉLITE 2110-2200MHz para Servicios IMT-2000 Proyectada para compartirse con sistemas satelitales no geoestacionarios	
2300-2450	FIJO, MÓVIL, RADIOLOCALIZACIÓN 2300-2400MHz operan exclusivamente sistemas de seguridad pública 2400-2483.5MHz operan sistemas de seguridad pública compartido con sistemas de modulación digital de banda ancha	2.3GHz-2.4GHz 2.305GHz-2.32GHz Mobile-WiMAX
2483.5-2500	FIJO, MÓVIL, MÓVIL POR SATÉLITE, RADIOLOCALIZACIÓN, RADIODETERMINACIÓN POR SATÉLITE operan exclusivamente sistemas de seguridad pública proyectada para compartirse con sistemas satelitales no geoestacionarios	2.496GHz -2.69GHz Mobile-WiMAX
2500-2520	FIJO, FIJO POR SATÉLITE, MÓVIL, MÓVIL POR SATÉLITE Operan Sistemas de Distribución Multicanal Multipunto (MMDS) proyectada para compartirse con sistemas satelitales no geoestacionarios 2500-2690MHz utilizada para introducir sistemas IMT-2000	2.5GHz Flash-OFDM 2.496GHz -2.69GHz Mobile-WiMAX
2520-2655	FIJO, FIJO POR SATÉLITE, MÓVIL, RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE Operan Sistemas de Distribución Multicanal Multipunto (MMDS) 2500-2690MHz utilizada para introducir sistemas IMT-2000	
2655-2670	FIJO, FIJO POR SATÉLITE, MÓVIL, RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE, (Primarios) exploración de la Tierra por satélite, Radioastronomía, Investigación espacial (Secundarios) Operan Sistemas de Distribución Multicanal Multipunto (MMDS) 2500-2690MHz utilizada para introducir sistemas IMT-2000	2.496GHz -2.69GHz Mobile-WiMAX
2670-2690	FIJO, FIJO POR SATÉLITE, MÓVIL, RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE (Primarios) exploración de la Tierra por satélite, Radioastronomía, Investigación espacial (Secundarios) Operan Sistemas de Distribución Multicanal Multipunto (MMDS) proyectada para compartirse con sistemas satelitales no geoestacionarios 2500-2690MHz utilizada para introducir sistemas IMT-2000	
3300-3400	RADIOLOCALIZACIÓN (Primario), aficionados, fijo, móvil (Secundarios)	3.3GHz-3.4GHz Mobile-WiMAX

Banda de Frecuencia (MHz)	Servicio Asignado en el Ecuador	Sistema que trabajarían en esta banda
3400-3500	FIJO, FIJO POR SATÉLITE (Primarios), aficionados, móvil, radiolocalización (Secundarios) Operan Sistemas de Acceso Fijo Inalámbrico (FWA)	3.4GHz-3.8GHz Mobile-WiMAX
3500-3700	FIJO, FIJO POR SATÉLITE, MÓVIL (Primarios), radiolocalización (Secundario) Operan Sistemas de Acceso Fijo Inalámbrico (FWA)	
3700-4200	FIJO, FIJO POR SATÉLITE, MÓVIL Operan enlaces radioeléctricos de Servicio Fijo	

Fuente: CONATEL. Plan Nacional de Frecuencias. Septiembre 2000

Tabla 3.4. – Situación de las posibles frecuencias para el funcionamiento de sistemas basados en IEEE 802.16e e IEEE 802.20

Capítulo 4

4. CONCLUSIONES

- En la actualidad, uno de los objetivos más importantes de las Telecomunicaciones ha sido el desarrollo de sistemas que permitan a los usuarios el acceso a la información en cualquier lugar y en cualquier momento de manera rápida y segura. Para ello se han creado sistemas de banda ancha que brindan mayores velocidades de acceso a los usuarios, sistemas inalámbricos que dan acceso a los usuarios eliminando las limitaciones de cables y sistemas móviles que permiten a los usuarios el acceso en cualquier lugar y en cualquier momento permitiéndoles el acceso a la información incluso mientras se encuentran en movimiento. Para unir las propiedades de todos estos sistemas, y buscando un sistema que permita al usuario el acceso a todas estas propiedades es que fueron creados los sistemas de acceso móvil inalámbrico de banda ancha entre los cuales se incluyen a sistemas basados en IEEE802.16e e IEEE 802.20. La creación de estos estándares permite llenar la brecha tecnológica existente entre sistemas de banda ancha fijos y sistemas móviles celulares existentes hasta el momento.
- Los estándares IEEE 802.16e e IEEE 802.20 nacieron de una misma propuesta de crear un estándar de acceso móvil inalámbrico de banda ancha, por lo que sus propuestas resultan similares en cuanto al área de aplicación de los mismos. Ambos pretenden brindar a sus usuarios un sistema a través del cual puedan acceder a todo tipo de información (voz, datos, video), a altas tasas de transmisión de datos, mientras se encuentran en movimiento.
- La propuesta del proyecto de estandarización IEEE 802.20 presenta un sistema que abarca un campo más amplio que IEEE 802.16e, brindando mayores tasas de datos, en un área más amplia y con una movilidad vehicular mayor. Sin embargo, la lentitud en el proceso de estandarización de IEEE 802.20, le dan una ventaja importante a IEEE 802.16e, ya que sistemas basados en este estándar ya se encuentran siendo comercializados y puestos en funcionamiento alrededor del mundo.

- Debido a que el proceso de estandarización de IEEE 802.20 aún se encuentra en la fase inicial de borradores, a que la información presentada en este documento no fue obtenida directamente de los borradores sino de las propuestas aceptadas para la redacción del primer borrador, y a que la interrupción temporal del proceso de estandarización puede llevar a cambios posteriores dentro de las especificaciones del estándar, no se puede asegurar que la información presentada en este documento vaya a ser la misma en el momento de la publicación del estándar. Sin embargo, si el grupo de estandarización decide retomar el proceso desde donde se encontraba antes de la suspensión temporal del mismo, sin realizar cambios importantes de fondo, los cambios a observarse en las especificaciones presentadas en el estándar final respecto a aquellas presentadas en este documento no serán demasiado importantes.
- Entre los principales parámetros que determinan la movilidad de un sistema diferenciándolo de un sistema fijo se encuentran:
 - Las bandas de frecuencia en las que trabaja el sistema que deben ser bajas (idealmente por debajo de los 3.5GHz) ya que al moverse un equipo pierde muy fácilmente la LOS con la BS con diferente cantidad y tipo de obstáculos entre ellos y a frecuencias bajas se producen menos pérdidas, porque las señales traspasan los objetos con mayor facilidad, y menor interferencia de multipath debido a que ya no se reflejan en objetos sólidos. Es importante que sean bandas con licencia porque son bandas dedicadas exclusivamente al funcionamiento del sistema con lo que se producen menos problemas de interferencia con otros sistemas, además requerirán rangos de potencia variables para la transmisión y recepción que producirían interferencia con otros sistemas.
 - La implementación de procesos de Handoff. El tipo de Handoff utilizado es importante debido a que el cambio de BS debe ser rápido para no perder la conexión a altas velocidades y lo suficientemente suave para que no se interrumpa. El Soft Handoff utilizado por 802.20 es el más apropiado para equipos que se mueven a altas velocidades ya que el cambio de BS es prácticamente imperceptible. 802.16e también ofrece la opción de trabajar con dos tipos de Handoff considerados como Soft

Handoff, pero el modo de Handoff obligatorio utilizado por defecto en los sistemas 802.16e es un Hard Handoff el cual limita la movilidad de los usuarios a velocidades peatonales.

- La regulación de los niveles de potencia de las transmisiones, ya que las transmisiones necesitarán regular el nivel de potencia de las transmisiones tanto UL como DL mientras las estaciones móviles se acercan o alejan de la estación base.
- El ahorro de potencia que es importante para los equipos móviles ya que al tener mayores variaciones de potencia y la necesidad de potencias más altas debido a la amplitud de las celdas, los equipos deben estar en capacidad de ahorrar potencia para que las baterías duren más.
- La propuesta presentada por el grupo de estandarización IEEE802.20 posee múltiples ventajas en el aspecto técnico respecto al estándar IEEE802.16e, al abarcar un campo más amplio de aplicación. Sistemas que trabajen bajo 802.20 tendrán la ventaja de trabajar con una movilidad mayor a la ofrecida por 802.16e con velocidades que alcancen los 250km/h. De igual manera ofrece velocidades de transmisión y de procesamiento más altas. 802.20 trabajará en frecuencias más bajas que 802.16e, por debajo de los 3.5GHz que son frecuencias más aptas para la movilidad.
- Dentro de las especificaciones propuestas hasta el momento, 802.20 ofrece una interoperabilidad con otros sistemas de acceso inalámbrico a través del Handoff Inter-RAT, lo que lleva a pensar en la futura convergencia de tecnologías propuesta para los sistemas 4G.
- A pesar de muchas veces se utiliza el término WiMAX para referirse al estándar IEEE802.16 o Mobile-WiMAX para referirse a IEEE802.16e, existen diferencias importantes entre ellos. IEEE802.16 es un estándar para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha fijo que trabaja en bandas con o sin licencia. IEEE 802.16e es una enmienda al estándar IEEE802.16 que da movilidad a los sistemas bajo el estándar creado anteriormente. IEEE802.16e trabaja en bandas con licencia y es compatible en estas bandas con tres de las capas físicas soportadas por IEEE802.16. WiMAX es el nombre comercial

de un grupo de tecnologías que trabajan bajo el estándar IEEE802.16. Sin embargo, WiMAX no es el estándar, ya que toma una parte de las especificaciones ofrecidas por el estándar y las complementa con especificaciones no cubiertas por el mismo para la implementación de sus sistemas. Mobile-WiMAX, nació del WiMAX Forum como sucesor de WiMAX. Sin embargo, para la creación de estos sistemas fue tomada una capa física diferente a la utilizada en WiMAX lo que los vuelve incompatibles. Por lo tanto, a pesar de que IEEE802.16 e IEEE802.16e pueden ser compatibles en ciertos casos, WiMAX y Mobile-WiMAX no lo serán.

- Al ser un estándar que todavía se encuentra en desarrollo, aún no existen sistemas que se basen en el estándar IEEE802.20, sin embargo sistemas como iBurst y Flash-OFDM tienen una relación importante con el estándar debido a que las empresas que los comercializan, ArrayComm y Qualcomm, impulsaron a través de sus miembros en el grupo de trabajo, especificaciones tomadas de estos sistemas para ser incluidas dentro del nuevo estándar 802.20, las mismas que fueron aprobadas dentro de un primer borrador.
- En cuanto a la comercialización de sistemas móviles inalámbricos de banda ancha, 802.16e lleva una ventaja en tiempo respecto a 802.20 al haberle tomado menos tiempo su proceso de estandarización. A pesar de que iBurst y Flash-OFDM ya están siendo implementados en algunos países, se deberá esperar al menos hasta 2010 para observar una implementación y comercialización oficial de sistemas basados en 802.20, a diferencia de sistemas Mobile-WiMAX y WiBro que ya han sido lanzados al mercado reconocidos como sistemas basados en 802.16e.
- Aún no se puede conocer cuales serán las regulaciones en el país en cuanto a sistemas de acceso móvil inalámbrico de banda ancha basados en IEEE802.16e e IEEE802.20, ya que al ser sistemas que trabajan en bandas con licencia, no podrán ser ubicados en la misma categoría que WiFi y WiMAX, que por el momento se encuentran clasificados bajo la “Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha” para trabajar en bandas libres de licencia. Como ha sucedido en Corea con el lanzamiento de WiBro, será recomendable la concesión de bandas de frecuencias a operadores que quieran implementar sistemas basados en

802.16e (Mobile-WiMAX) o en 802.20, de manera similar a las concesiones para operadores de telefonía móvil celular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOCUMENTOS

- [1] AARNIKOIVU, Samiseppo. WINTER, Juha. Mobile Broadband Wireless Access. Helsinki University of Technology, 2006.
<http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/T-109.7510/2006/reports/MBWA.pdf>
- [2] BAINES, Rupert. “**16d to 16e – More than Just Mobility**”. picoChip flexible wireless. Noviembre 9, 2005.
<http://www.picochip.com/downloads/WiMAXworld2.pdf>
- [3] CITIZENS, Virginia Tech & Flarion. “**Mobile Broadband at Virginia Tech: Benefits to Student Body, Faculty, Support Staff, and Public Safety**”. Noviembre, 2004.
<http://whitepapers.techrepublic.com.com/whitepaper.aspx?docid=164744>
- [4] IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society. **IEEE Std 802.16™-2004, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems**. Octubre 1, 2004.
- [5] IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society. **IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor 1-2005, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1**. Febrero 28, 2006.
- [6] IEEE Standards Association Standards Board. **Report of Actions on IEEE 802.20**. 19 September 2006.
<http://standards.ieee.org/announcements/IEEESASB802.20Report.pdf>
- [7] KAEN, Luis. **Trabajo Final Integrador, Postgrado de Ingeniería en Telecomunicaciones**. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. 2005.
<http://www.itba.edu.ar/capis/epg-tesis-y-tf/kaen-trabajofinaldeespecialidad.pdf>

-
- [8] KLERER, Mark. **Introduction to IEEE 802.20**. Marzo 10, 2003.
http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-04.pdf
- [9] MARKS, Roger B. **IEEE Standard 802.16 for Global Broadband Wireless Access**. National Institute of Standards and Technology (NIST). Boulder, Colorado, USA. Octubre, 2003.
http://www.ieee802.org/16/docs/03/C80216-03_14.pdf
- [10] MILLS, Steve. IEEE-SA Standards Board Chair. **Status of 802.20**. Junio 15, 2006.
http://www.ieee.org/portal/cms_docs_iportals/iportals/aboutus/SASB_802.20_Suspension_Announcement.pdf
- [11] PIETROSEMOLI, Ermanno. **Introducción a las Tecnologías Inalámbricas**. Fundación Escuela Latinoamericana de Redes EsLaRed, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 2006.
http://www.wilac.net/descargas/documentos/8va_eslared/01_Intro_tec_inalambricas.pdf
- [12] PITTAMPALLI, Eshwar. **Liaison relationships with external organizations**. Enero 15, 2004.
<http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-04-69r1.doc>
- [13] SHIM, Sean. **South Korea launches WiBro service**. Junio 30, 2006,
<http://www.eetimes.com/news/latest/showArticle.jhtml?articleID=189800030>
- [14] TG 802.16e, **IEEE-SA Project Authorization Request (PAR) 802.16e**, Septiembre 23, 2004. http://www.ieee802.org/16/docs/04/80216-04_33r6.pdf
- [15] TTA PG302, **2.3GHz Portable Internet(WiBro)Overview**. Marzo 15, 2006.
http://www.wibro.or.kr/down/wibro_overview_20060315.ppt
- [16] UPTON, Jerry. **Policies and Procedures of IEEE Project 802 Working Group 802.20 Mobile Broadband Wireless Access**. Enero 8, 2004.
http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-05.doc
- [17] WG802.20. **Draft 802.20 Permanent Document. System Requirements for IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access Systems – Version**

14. Julio 16, 2004.
http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-06r1.doc
- [18] WG802.20. **Draft Meeting Minutes, 802.20 Interim Meeting - Session #20**, Jacksonville, LA, USA, Mayo 15-16, 2006.
http://www.ieee802.org/20/WG_Docs/802.20-06-06_May_Draft_Minutes.doc
- [19] WG802.20. **IEEE PROJECT 802 LAN MAN STANDARDS COMMITTEE (LMSC) POLICIES AND PROCEDURES**. Septiembre 14, 2005.
<http://www.ieee802.org/policies-and-procedures.pdf>
- [20] WG802.20. **IEEE 802.20 Project Development Plan- 802.20-PD-07R1**. Noviembre 18, 2004.
http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-07r1.ppt
- [21] WG802.20. **IEEE-SA Standards Board Extension Request**, Junio 23, 2004. http://www.ieee802.org/20/WG_Docs/802.20-06-02_PAR_Extension_FormR1.doc
- [22] WG802.20. **MBTDD 625k-MC MODE Technology Overview**. Enero 6, 2006. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-75r1.pdf>
- [23] WG802.20. **MBFDD and MBTDD Wideband Mode: Technology**. Enero 6, 2006. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-68r1.pdf>
- [24] WG802.20. **Mobile Broadband Wireless Access Systems “Five Criteria” Vehicular Mobility**. Approved by MBWA ECGS. Noviembre 13, 2002. http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-03.pdf
- [25] WG802.20. **OverviewMBFDD and MBTDD: Proposed Draft Air Interface Specification**. Enero 6, 2006. <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-06-04.pdf>
- [26] WG802.20. **PAR FORM**. Diciembre 11, 2002.
http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-02.pdf
- [27] WiMAX Forum. **A Performance and Comparative Summary**. Septiembre 2006.
http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Performance_and_Comparative_Summary.pdf

-
- [28] WiMAX Forum. **Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation**. Marzo, 2006.
http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf
- [29] WiMAX Forum. **The Relationship Between WiBro and Mobile WiMAX**, Octubre, 2006.
http://www.wimaxforum.org/news/press_releases/WiBro_and_Mobile_WiMAX_Backgrounder.pdf

REGLAMENTACIONES

- [1] Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada
- [2] Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha
- [3] Plan Nacional de Frecuencias
- [4] ITU Radio Regulations (Volume 1)

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

- [1] **802.20 update**,
<http://grouper.ieee.org/groups/802/mbwa/email/msg00986.html>
- [2] **IEEE Standard 802.16-2001: Publication History**,
<http://www.ieee802.org/16/pubs/80216-2001.html>
- [3] **Wimax Forum**, <http://www.wimaxforum.org/home/>
- [4] **Wikipedia**, <http://en.wikipedia.org/wiki/HC-SDMA>
- [5] **ArrayComm**, <http://www.arraycomm.com/serve.php?page=HC-SDMA>
- [6] **Qualcomm**, <http://www.qualcomm.com/technology/flash-ofdm/>
- [7] **Flarion**, <http://www.educause.edu/ir/library/powerpoint/nmd0425.pps>
- [8] **IEEE802.16 Mobile Wireless MAN Study Group**,
<http://www.ieee802.org/16/tge/index.html>

LISTA DE ACRÓNIMOS

1xEVDO	1x Evolution-Data Optimized,
3-DES	Triple Data Encryption Standard
3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
625k-MC	625kiloHertz-spaced MultiCarrier
AAS	Adaptive Antenna System
ACK	Acknowledgement
AES	Advanced Encryption Standard
AI	Air Interface
AK	Authorization Key
AM	Acknowledged Mode
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AN	Access Network
AP	Access Point
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ARQ	Automatic Repeat Request
AT	Access Terminal
ATI	Access Terminal Identifier
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BCH	Broadcast Channel
BE	Best Effort
BER	Bit Error Rate
BH	Block Hopping
BS	Base Station
BTC	Block Turbo Codes
BWA	Broadband Wireless Access
CBC	Cipher Block Chaining
CCM	Counter Mode Encryption
CCH	Configuration Channel (CAPÍTULO 1)
CCH	Control Channel (CAPITULO 2)
CCSA	China Communications Standards Association
CDMA	Code Division Multiple Access

CFI	Call For Interest
C/I	Carrier-to-Interference Ratio
CID	Connection Identifier
CINR	Carrier -to-Interference-and-Noise Ratio
CNR	Carrier to Noise Ratio
CP	Cyclic Prefix
CPS	Common Part Sublayer
CQI	Channel Quality Information
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Convergence Sublayer
CS-SAP	Convergence Sublayer- Service Access Point
CTC	Convolutional Turbo Codes
CTR	Counter Mode Encryption
DAMA	Demand Assigned Multiple Access
DFS	Dynamic Frequency Selection
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DL	Downlink
DLC	Data Link Control
DSA	Dynamic Service Addition
DSC	Dynamic Service Change
DS-CDMA	Direct Spread-Code Division Multiple Access
DSL	Digital Subscriber Line
EAP	Extensible Authentication Protocol
EC	Executive Committee
ECSG	Executive Committee Study Group
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EUI-48	48-bit Extended Unique Identifier
EUI-64	64-bit Extended Unique Identifier
EVM	Error Vector Magnitude
FACCH	Fast Associated Control Channel
F-ACQCH	Forward Acquisition Channel
F-AuxPICH	Forward Auxiliary Pilot Channel
FBSS	Fast Base Station Switching
FCH	Frame Control Header

F-CPICH	Forward Common Pilot Channel
FDCH	Forward Data Channel
FDD	Frequency Division Duplexing
FDM	Frequency Division Multiplexing
F-DPICH	Forward Dedicated Pilot Channel
FEC	Forward Error Correction
FFR	Fractional Frequency Reuse
FFT	Fast Fourier Transform
FL	Forward Link
FLAB-HO	Forward Link Assignment Block - HandOff
FLASH-OFDM	Fast Low-latency Access with Seamless Handoff – Orthogonal Frequency Division Multiplexing
F-OSICH	Forward Other Sector Interference Pilot Channel
F-pBCH0	Forward Primary Broadcast Channel 0
F-pBCH1	Forward Primary Broadcast Channel 1
F-SSCH	Forward Shared Signaling Channel
FUSC	Full Usage of Subchannels
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HC-SDMA	High Capacity-Spatial Division Multiple Access
H-FDD	Half Duplex Frequency Division Duplexing
HHO	Hard Handoff
HMAC	Hashed Message Authentication Code
HO	Handoff
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE-SA	Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association
IETF	Internet Engineering Task Force
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000
IP	Internet Protocol
IPSec	Internet Protocol security
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
IR	Incremental Redundancy

ISO/IEC	International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	International Telecommunication Union - Radiocommunications Bureau
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunications Bureau
KEK	Key Encryption Key
LAN	Local Area Network
LE	License-Exempt
LFSR	Linear Feedback Shift Register
LLC	Logical Link Control
LMSC	LAN MAN Standards Committee
LOS	Line-Of-Sight
LSB	Least Significant Bit
MAC	Medium Access Control
MAC ID	Medium Access Control Identifier
MAK	MBS Authorization Key
MAN	Metropolitan Area Network
MAS	Multi-Antenna Signal Processing
MBRA	Multicast and Broadcast Rekeying Algorithm
MBS	Multicast and Broadcast Services
MBWA	Mobile Broadband Wireless Access
MCW	Multiple CodeWord
MDHO	Macro Diversity Handover
MGSA	MBS Group Security Association
MGTEK	MBS Group Traffic Encryption Key
MIB	Management Information Base
MIC	Message Integrity Check
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service
MS	Mobile Station
MSB	Most Significant Bit
NLOS	Non-Line-Of-Sight
NNI	Network-to-Network Interface
N-WEST	National Wireless Electronics Systems Testbed
OEM	Original Equipment Manufacturer

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMA	Open Mobile Alliance
PAK	Primary Authorization Key
PAR	Project Authorization Requests
PBRI	Pruned Bit Reversal Interleaver
PCH	Paging Channel
PCP	Packet Consolidation Protocol
PDU	Protocol Data Unit
PHS	Payload Header Suppression
PHSF	Payload Header Suppression Field
PHSI	Payload Header Suppression Index
PHSM	Payload Header Suppression Size
PHSV	Payload Header Suppression Valid
PHY	Physical (Layer)
PICS	Protocol Implementation Conformance Statement
PID	Page Identifier
PKM	Privacy Key Management
PMK	Pairwise Master Key
PMP	Point-to-Multipoint
PN	Pseudo-Noise
PPP	Point-to-Point Protocol
PRBS	Pseudo-Random Binary Sequence
PUSC	Partial Usage of Subchannels
PW	Pilot Word
QoS	Quality of Service
RA	Request Access
RACH	Random Access Channel
R-ACH	Reverse Access Channel
R-ACKCH	Reverse Acknowledgement Channel
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
R-BFCH	Reverse Beam Feedback Channel
R-CQICH	Reverse Channel Quality Indicator Channel
RCT	Radio Conformance Tests

R-DCH	Reverse Data Channel
RF	Radio Frequency
RFC	Request for Comments
RID	Register Identifier
RL	Reverse Link
RLAB-HO	Reverse Link Assignment Block – HandOff
RLP	Radio Link Protocol
RMS	Root Mean Square
R-PICH	Reverse Pilot Channel
R-REQCH	Reverse Request Channel
RS-CC	Reed Solomon Convolutional Code
R-SFCH	Reverse Subband Feedback Channel
RSP	Route Selection Protocol
RSSI	Receive Signal Strength Indicator
RSVP	Resource ReSerVation Protocol
RTG	Receive / Transmit Transition Gap
RTT	Round-Trip delay Time
SA	Security Association
SAID	Security Association Identifier
SASB	Standards Association Standards Board
SCW	Single CodeWord
SDMA	Spatial Division Multiple Access
SDU	Service Data Unit
SFID	Service Flow Identifier
SG	Study Group
SIMO	Single Input Multiple Output
SINR	Signal-to-Interference-and-Noise Ratio
SISO	Single Input Single Output
SLP	Signaling Link Protocol
SNP	Signaling Network Protocol
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SOFDMA	Scalable OFDMA
SPID	Sub-Packet Identifier
SR	Symbol Rate
SRH	Symbol Rate Hopping

SS	Suscriber Station
SSL	Secure Sockets Layer Protocol
STC	Space Time Coding
STTD	Space Time Transmit Diversity
TCH	Traffic Channel
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TEK	Traffic Encryption Key
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
TG	Task Group (Grupo de Tareas)
TIA	Telecommunications Industry Association
TLS	Transport Layer Security Protocol
TO	Transmission Opportunity
TTA	Telecommunications Technology Association
TTG	Transmit / Receive Transition Gap
TUSC	Tile Usage of Subchannels
UATI	Universal Access Terminal Identifier
UDP	User Datagram Protocol
UGS	Unsolicited Grant Service
UL	Uplink
UM	Unacknowledged Mode
UNI	User-Network Interface
UW	Unique Word
UWB	Ultra WideBand
VC	Virtual Channel
VCI	Virtual Channel Identifier
VLAN	Virtual Local Access Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
VP	Virtual Path
VPI	Virtual Path Identifier
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
WCA	Wireless Communications Association International
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

WG	Working Group
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network

GLOSARIO

1x-EVDO	1x Evolution Data Optimizad. Tecnología celular de datos de Tercera Generación para redes CDMA de Verizon Wireless.
3-DES	DES Triple. DES es un algoritmo que codifica textos haciendo bloques de datos de 64 bits y utilizando una clave de 56 bits. 3DES utiliza el algoritmo DES tres veces.
3GPP	Third Generation Partnership Project, creado para facilitar el desarrollo de especificaciones técnicas para servicios 3G abiertas y aceptadas globalmente.
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2, es un acuerdo de operación conjunta entre ARIB/TTC (Japón), CCSA (China), TTA (América del Norte) y TTA (Corea del Sur). Fue creado para hacer que las especificaciones de sistemas de telefonía móvil 3G sean aplicables globalmente dentro del alcance del proyecto IMT-2000 de la ITU.

A

Acceso Inalámbrico de Banda Ancha	Acceso Inalámbrico en el cual las conexiones poseen capacidades de ancho de banda.
Acceso Múltiple Ortogonal por División de Frecuencia (OFDMA)	Esquema de acceso múltiple/multiplexación que provee la multiplexación de flujos de datos de varios usuarios en subcanales DL y el acceso múltiple de subcanales UL. OFDMA es también conocida como OFDM multiusuario, ya que permite a varios usuarios transmitir simultáneamente sobre varias subportadoras por símbolo OFDM.
Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)	Es un modo de multiplexación y un método de acceso múltiple que no divide el canal ni por tiempo ni por frecuencia sino que codifica los datos asociados con cada canal y utiliza las propiedades de interferencia constructiva de los códigos especiales utilizados, con lo cual realiza la multiplexación.
Acceso Múltiple por División de Espacio (SDMA)	Técnica de transmisión avanzada utilizada en el FL, en la cual a múltiples usuarios les son asignados los mismos recursos tiempo-frecuencia.
Access Point (AP)	Para 802.20: Equipo que conecta otros equipos de telecomunicaciones inalámbricas juntos (ATs) para formar una red inalámbrica. Similar a la Estación Base BS de 802.16e.
Active Set	Conjunto de sectores que tienen asignados a los ATs MAC IDs y recursos de control dedicados.
Adaptive Modulation and Coding (AMC)	Término utilizado en comunicaciones inalámbricas para denotar la correspondencia de modulación, codificación y otros parámetros de protocolo y señal a las condiciones del enlace de radio.

AES (Estándar de Cifrado Avanzado)	Algoritmo de encriptación simétrica de 128 bit desarrollado por los belgas Joan Daemen y Vincent Rijmen. Seleccionado en Octubre de 2000 por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) norteamericano como estándar de cifrado reemplazando al hasta entonces estándar DES.
Ancho de banda	Máximo rango de frecuencias contenidas en una señal. Se expresa en Hertzios (Hz).
Anchor Access Point	El Access Point que provee conectividad a Internet a un AT.
Anchor BS	Estación base que provee conectividad a Internet a un AT dado.
Antenas Efectivas	El AP crea múltiples señales usando un grupo de antenas físicas, en donde cada señal es referida como una antena efectiva. Las diferentes señales son generadas para preservar las estadísticas de canal así como para transmitir la misma potencia desde todas las antenas físicas. Cada una de estas señales utiliza diferentes antenas físicas de transmisión, asegurando que los amplificadores de potencia en el AP sean utilizados equitativamente.
Árbol de Canales	Define la estructura de asignación de canales. A cada nodo del árbol se le asigna un ID de canal y cada nodo base del árbol un grupo de puertos de salto. La asignación de nodos base a grupos de puertos de salto es aleatorio en tiempo y se produce en salto de frecuencia para cada asignación.
Asynchronous Transfer Mode (ATM)	Modo de Transferencia Asíncrono. Tecnología de redes de alta velocidad que transmite múltiples tipos de información (voz, video, datos) y aprovecha al máximo la capacidad de una línea, soporta velocidades de hasta 1,2 Gbps.
Autenticación	Es la prueba de que un usuario es quien dice ser. Es la verificación de la identidad de una persona o de un proceso para acceder a un recurso o para poder realizar determinada actividad.
Authorization Key (AK)	AK es una clave secreta compartida entre la SS y la BS, utilizada para el posterior intercambio de claves TEK.
Automatic Repeat Request (ARQ)	Método de control de errores para la transmisión de datos que utiliza acuses de recibo e interrupciones por tiempo para lograr una transmisión de datos confiable. Un acuse de recibo es un mensaje enviado por el receptor hacia el transmisor para indicar que ha recibido correctamente los datos transmitidos.
Autorización	Proceso por el que se acredita a un sujeto o entidad para realizar una acción determinada.

B

Back Haul	Conectar acceso a Internet a un lugar desde distancias largas o cortas.
------------------	---

Backoff exponencial binario truncado	Algoritmo de control de congestión que utiliza el tiempo utilizado para transmitir 512 bits y un número aleatorio basado en el número de intentos de retransmisión, para estimar el tiempo de espera de recepción de la trama. Después de 16 intentos el algoritmo reportará un error a las capas superiores.
Banda Ancha	Posee anchos de banda instantáneos mayores a 1MHz soportando tasas de datos mayores a 1.5Mbps.
Beamforming	Técnica de procesamiento de señales usada con arreglos de transductores transmisores o receptores que controlan la direccionalidad o sensibilidad de un patrón de radiación. Al recibir una señal, esta técnica puede incrementar la sensibilidad del receptor y la potencia de la señal en dirección de las señales deseadas y reducir la sensibilidad en dirección de interferencias y ruido.
Best Effort	Describe un servicio en el cual la red no provee garantías que los datos sean entregados o niveles de QoS o prioridades a determinados usuarios sean cumplidas.
Bit Error Ratio (BER)	Razón del número de bits recibidos incorrectamente de un número total de bits en un intervalo de tiempo específico.
Bit-reversal Interleaving	Interleaver en el cual su entrada de símbolos es escrita de manera secuencial y los símbolos son leídos en un orden permutado.
Block Turbo Code (BTC)	Códigos especialmente atractivos para aplicaciones de alta velocidad. Ofrecen una muy buena ganancia de codificación a tasas de código altas.
Bluetooth	Estándar de comunicación inalámbrica que utiliza FHSS, capaz de transmitir a velocidades de 1 Mbps a una distancia de hasta 10 metros entre equipos (normalmente portátiles, impresoras, monitores, teclados, ratones, etc....) que implementen esta tecnología.
Broadcast	Paquete de datos enviado a todos los nodos de una red. Los broadcasts se identifican mediante una dirección de broadcast.
Burst	Secuencia de señales, ruido o interferencia contada como una unidad de acuerdo con una medida o criterio específico.

C

Calidad de Servicio (QoS)	Habilidad de una red para dar diferente tratamiento al tráfico a diferentes usuarios o aplicaciones. El Internet de hoy no ofrece Calidad de Servicio. Es especificada en términos de uno o más de los siguientes parámetros: ancho de banda, latencia, pérdidas, etc.
Capa de Control de Acceso al Medio	En redes IEEE 802, la capa Data Link Control (DLC) del Modelo de Referencia OSI se divide en dos sub-capas: Logical Link Control

(MAC)	(LLC) y Media Access Control (MAC), la cual se conecta directamente con el medio de red.
Capa Física (PHY)	Define las especificaciones eléctricas, mecánicas, de procedimiento y funcionales para activar, mantener y desactivar el enlace físico entre sistemas finales. Características como niveles de voltaje, velocidad de datos físicos, temporización de cambios de voltaje, distancias de transmisión máximas, conectores físicos y otros atributos similares se definen a través de las especificaciones de la capa física. Ejemplos de estándares: 10BASE-T, 100BASE-TX y V.35.
Certificados Digitales X.509	Certificación electrónica emitida por las Autoridades Certificadoras donde constan datos de verificación de firma de un signatario y confirma su identidad. Entre los datos figuran la fecha de emisión y la fecha de caducidad, la clave pública y la firma digital del emisor. Los Certificados Digitales cumplen con el estándar X.509 que sirven para vincular una clave pública a una entidad o persona.
Cluster	Conjunto de portadoras.
Código Convolutional	Tipo de código de corrección de errores en el cual: cada símbolo de información de m bits a codificarse se transforma en un símbolo de n bits en donde m/n es la tasa de código ($n \geq m$) y la transformación es función de los últimos k símbolos de información, donde k es la longitud límite del código.
Código Convolutional Reed-Solomon concatenado (RS-CC)	Concatenación de un código externo Reed-Solomon seguido por un código convolutional.
Código de Redundancia Cíclica (CRC)	<p>Código basado en el uso de un <u>polinomio</u> generador $G(X)$ de grado r, y en el principio de que n bits de datos binarios se pueden considerar como los coeficientes de un polinomio de orden n-1. Los polinomios generadores usados en este documento son:</p> <p><u>CRC-CCITT</u>: $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$. Para flujos de 8 bits, con 16 de <u>redundancia</u>. Usado en <u>Europa</u>, principalmente.</p> <p><u>CRC-32</u>: $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$. Da una protección extra sobre la que dan los CRC de 16 bits, que suelen dar la suficiente. Se emplea por el comité de estándares de redes locales (<u>IEEE 802</u>) y en algunas aplicaciones del Departamento de Defensa de Estados Unidos.</p>
Conexión	Mapeo unidireccional entre la MAC de una BS y su par en una SS.
Conexión de Transporte	Conexión utilizada para transportar datos de usuario. No incluye tráfico sobre las conexiones de gestión básica, primaria o secundaria. Una conexión de transporte fragmentable es una conexión que permite la fragmentación de SDUs.
Convolutional Turbo	Código producido por un codificador formado por codificadores

Code (CTC)	convolucionales sistemáticos recursivos concatenados en paralelo, separados por un interleaver semi-aleatorio.
Criptografía de Curvas Elípticas	Variante de la <u>criptografía asimétrica</u> o de clave pública basada en las <u>matemáticas</u> de las <u>curvas elípticas</u> . Sus autores argumentan que la CCE puede ser más rápida y usar <u>claves</u> más cortas que los métodos antiguos — como <u>RSA</u> — al tiempo que proporcionan un nivel de seguridad equivalente. La criptografía asimétrica o de clave pública utiliza dos <u>claves</u> distintas: una de ellas puede ser pública, la otra es privada. La posesión de la clave pública no proporciona suficiente información para determinar cuál es la clave privada.
Cryptosync	Información de sincronización provista externamente para algoritmos de cifrado que permite un encriptador en un extremo, o encriptar de manera única cada bloque de contenido en texto cifrado, permitiendo sin embargo, al descifrador en el otro extremo descifrar apropiadamente el texto para obtener la información original. El Cryptosync toma generalmente la forma de la salida de un contador binario.
D	
Demand Assigned Multiple Access (DAMA)	Tecnología usada para asignar ancho de banda a clientes que no necesitan utilizarla de manera constante. Asigna de manera rápida y transparente enlaces de comunicación o circuitos basados en solicitudes de los terminales de acceso al sistema de control de una red.
DES-CBC	DES utilizado en el modo CBC.
DiffServ	Proporciona un método que intenta garantizar la calidad de servicio en redes de gran tamaño. Analiza varios flujos de datos en vez de conexiones únicas o reservas de recursos. Esto significa que una negociación será hecha para todos los paquetes que envía una organización.
Diversidad de Transmisión Espacio-Tiempo (STTD)	Modo en el cual se asume que el AP utiliza sólo dos antenas efectivas.
Diversity Set	Lista de BSs envueltas en el FBSS con la MS.
Downlink (DL)	Enlace que va desde la estación base (BS) en dirección a la estación suscriptora (SS). Enlace Forward.
Duplexación por división de frecuencia (FDD)	Esquema de duplexación en el cual las transmisiones UL y DL utilizan diferentes frecuencias, generalmente de manera simultánea.
Duplexación por división de Tiempo	Esquema de duplexación en el cual las transmisiones UL y DL ocurren en diferentes tiempos pero pueden compartir la misma

(TDD)	frecuencia.
Dynamic Frequency Selection (DFS)	La habilidad de un sistema de cambiar a diferentes canales físicos RF basada en criterios de medición de canal.

E

EAP (Protocolo de Autenticación Extensible)	Proporciona un mecanismo estándar para aceptar métodos de autenticación adicionales junto con PPP. Permite agregar varios esquemas de autenticación, entre los que se incluyen tarjetas de identificación, contraseñas de un sólo uso, autenticación por clave pública mediante tarjetas inteligentes, certificados y otros.
Eficiencia Espectral	La Eficiencia Espectral del sistema se define como la relación entre el throughput total (bps) de todos los usuarios en el sistema dividido por el ancho de banda de la red (Hz) y dividido por el número de sectores del sistema.
Eigen-beamforming	Esquema de procesamiento espacial para arreglos adaptables en canales con atenuación de múltiples trayectorias que junta las ventajas de dos métodos de procesamiento espacial: beamforming y diversity combining.
Encriptación	Proceso para transformar la información escrita en texto llano a texto cifrado.
Enlace Forward (FL)	Enlace que va desde el access point en dirección al terminal de acceso. (Downlink)
Enlace Reverse (RL)	Enlace que va desde el terminal de acceso en dirección del access point. (Uplink)
Estación Base (BS)	Un grupo de equipos que proveen conectividad, administración y control de las estaciones suscriptoras (SS).
Estación Móvil (MS)	Equipo que provee conectividad al usuario con la estación base mientras el usuario se encuentra en movimiento.
Estación Suscriptora (SS)	Equipo que provee conectividad al usuario con la estación base. Término utilizado en este documento para referirse generalmente tanto a estaciones fijas como móviles siempre que no se especifique lo contrario.
ETSI (European Telecommunications Standards Institute)	Organismo responsable de la normalización de las telecomunicaciones en Europa.
Extended Real-time Variable Rate Service (ERT-VR)	Servicio que permite soportar aplicaciones en tiempo real con tasas de datos variables que requieran una tasa de datos y retardo garantizados.

F

Fast Base Station Switching Handoff (FBSS)	Handoff que utiliza diversidad de selección y mecanismos de cambio rápido para mejorar la calidad del enlace.
Fast Frequency Hopping	Técnica en la cual un bit de datos se divide sobre varios saltos de frecuencia.
FLASH-OFDM	Fast Low-latency Access with Seamless Handoff – Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Tecnología diseñada para la entrega de servicios de Internet avanzados en un medio móvil. Se basa en OFDM, trabaja con velocidades típicas de usuario de 1 a 1.5 Mbps y latencia bajo los 50ms.
Forward Error Correction (FEC)	Tipo de mecanismo de corrección de errores que permite la corrección en el receptor sin retransmisión de la información original. Utilizado en sistemas sin retorno o sistemas en tiempo real.

G

Gestión de Perfil del Burst	Manejo del grupo de parámetros que describen propiedades de las transmisiones UL o DL.
Grupo de Estudio	Dentro de la IEEE, Grupos de Estudio se forman cuando se ha identificado suficiente interés en un área particular de estudio, como un nuevo método de acceso o la modificación de un método de acceso existente.
Grupo de Tareas	Dentro del proceso de estandarización, las tareas son repartidas en Grupos de Tareas encargados de llevar a cabo enmiendas, ajustes, correcciones y revisiones a un estándar existente.
Grupo de Trabajo	Dentro de la IEEE, la función de un Grupo de Trabajo es producir borradores de estándares, prácticas recomendadas y guías.

H

Handoff	Proceso a través del cual permite a una Estación Móvil moverse de una celda (o sector) a otra o entre canales de una misma celda, sin perder la conexión con la red.
Handoff Inter-Frecuencias	Handoff realizado entre dos celdas que trabajan en diferentes bandas de frecuencia.
Handoff Inter-RAT	Handoff realizado entre dos celdas que trabajan con diferentes tecnologías de interfaz aire, como entre celdas 802.11 y 802.20.
Handoff Make-before-break	Conocido también como Soft Handoff. En este tipo de Handoff, la Estación Móvil crea un enlace con un nuevo sector mientras aún mantiene el enlace con el sector previo. Este enlace no se rompe hasta que se haya establecido completamente el enlace con el

nuevo sector.

Hard Handoff	En este Handoff, una Estación Móvil puede estar conectada a una sola estación móvil a la vez. Por ello para la realización de un Hard Handoff, la Estación Móvil debe romper brevemente el enlace con la Estación Base antes de establecer un nuevo enlace con una nueva Estación Base.
HARQ	ARQ Híbrido. Variante del método de control de errores ARQ, que brinda un mejor desempeño que ARQ, sobretodo sobre canales inalámbricos, con el costo de incrementar la complejidad del desempeño.
HC-SDMA	High Capacity – Spatial Division Multiple Access. Estándar de la ATIS que provee conectividad de datos inalámbrica de banda ancha de área amplia a equipos fijos, portátiles y móviles. Diseñado para ser implementado con arreglos de antenas inteligentes para mejorar la cobertura de radio frecuencia, la capacidad y el desempeño del sistema.
Headroom	Capacidad de un amplificador para sobrepasar su potencia en cortos intervalos para reproducir picos sin distorsionar. A menudo depende de la fuente de la alimentación usada.
HiperAccess	Estándar desarrollado por la ETSI, usado para proveer acceso de radio fijo de alta velocidad (25Mbps). El sistema es capaz de soportar aplicaciones multimedia y es operado en bandas con o sin licencia (5GHz).
HiperLAN	Estándar Wireless LAN definidos por la ETSI, alternativa europea para los estándares IEEE 802.11.
HiperMAN	Estándar creado por la ETSI para proveer comunicaciones en redes inalámbricas en las bandas entre 2 y 11GHz. Es la alternativa europea a WiMAX y WiBro.
I	
iBurst	Tecnología desarrollada por la empresa ArrayComm y Kyocera. Adoptada como el estándar de interfaz aire HC-SDMA por la ATIS.
Identificador de canal	Identificador utilizado para distinguir entre múltiples canales UL que se encuentran asociados con un mismo canal DL.
Identificador de Conexión (CID)	Un valor de 16 bits que identifica una conexión de transporte entre pares equivalentes en la MAC de una BS y una SS.
IEEE802.11	Familia de estándares desarrollados por la IEEE para tecnologías de red inalámbricas. Permite la conexión de dispositivos móviles a una red cableada, a través de un Punto de Acceso (Access Point). La conexión se realiza a través de ondas de Radio Frecuencia. Originalmente ofrecía una velocidad de transmisión de 1 o 2 Mbps

en la banda de frecuencia de 2.4 GHz. Se le conoce popularmente como WIFI. Tiene un área de cobertura aproximada de 100 ms.

IEEE802.16	Define soluciones para el acceso en rangos de frecuencia de 2 a 60 GHz, recientemente ha sido ratificado en su última versión, la 802.16-2004 (antes 802.16d, y que reemplaza a la primera versión 802.16a), para los rangos de 2 a 6 GHz. Puede cubrir un área de hasta 50 Km. con capacidad para transmitir datos, sonido y video a velocidades de hasta 70 Mbps, soportando además niveles de servicio (SLA) y QoS.
IETF	Internet Engineering Task Force. Desarrolla y promueve estándares de Internet, cooperando de manera cercana con W3C y ISO/IEC, trabajando principalmente con estándares TCP/IP.
Interfaz Aire (AI)	Es la porción de radio frecuencia del enlace de transmisión entre un Terminal inalámbrico y una Estación Base o Access Point.
Interleaving	Proceso que permite arreglar los datos en una forma no contigua con el fin de mejorar el desempeño.
Internet Protocol (IP)	Conjunto de reglas que regulan la transmisión de paquetes de datos a través de Internet. La versión actual es IPv4 mientras que en el proyecto I2 se intenta implementar la versión 6 (IPv6), que permitiría mejores prestaciones dentro del concepto QoS.

J

Jitter	Variación brusca e inesperada de una o más características de una señal, como el intervalo entre pulsos, la amplitud de ciclos sucesivos, o la frecuencia o fase de ciclos sucesivos.
---------------	---

L

Latencia	Período de tiempo transcurrido entre la emisión de una orden de acción de un sistema telemático, robótica o de realidad virtual y la ejecución efectiva de dicho mandato. Cuánto tiempo toma un paquete para viajar de su fuente a su destino, también es conocido como retardo.
Linear-Feedback Shift Register (LFSR)	Shift Register cuyo bit de entrada es una función lineal de su estado previo. Un Shift Register es un grupo de registros establecido en forma lineal que tiene sus entradas y salidas conectadas juntas de manera que los datos se envían a través de esta línea cuando el circuito es activado.
Link Budget	Contabilidad de todas las ganancias y pérdidas del transmisor a través del medio hacia el receptor en un sistema de telecomunicaciones. Toma en cuenta la atenuación de una señal debido a la propagación, así como pérdidas o ganancias de la antena.

Link Flow Para IEEE 802.20, flujo de paquetes del Transporte de Paquetes.

Local Area Network (LAN) Abreviatura de Local Area Network (Red de Área Local). Red de datos de alta velocidad y bajo nivel de error que cubre un área geográfica relativamente pequeña (hasta unos pocos kilómetros). Las LAN conectan estaciones de trabajo, periféricos, terminales y otros dispositivos en un solo edificio u otra área geográficamente limitada.

M

Mesh Arquitectura de red en la cual sistemas son capaces de enviar tráfico directamente de y hacia múltiples otros sistemas.

Metropolitan Area Network (MAN) Red que abarca un área metropolitana. Generalmente, MAN abarca un área geográfica más grande que LAN, pero cubre un área geográfica más pequeña que WAN.

MIMO (Multiple Inputs Multiple Outputs) Se refiere al uso de múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor.

MISO Se refiere al uso de múltiples antenas en el transmisor y una sola antena en el receptor.

MMDS Multichannel multipoint distribution service. Tecnología de Telecomunicaciones inalámbrica usada en networking de banda ancha y como un método alternativo de recepción de televisión por cable. MMDS usa bandas entre 2 y 3 GHz.

Modulación Adaptable Una habilidad del sistema de comunicarse con otro sistema utilizando varios perfiles de burst y una habilidad del sistema de comunicarse subsecuentemente con múltiples sistemas usando perfiles de burst diferentes.

Modulation Stepdown Proceso a través del cual algunos formatos de paquetes usan formatos de modulación de orden inferior para retransmisiones HARQ posteriores. Este proceso ayuda a mantener las tasas de codificación por encima de 1/5, tasa bajo la cual la repetición de bits sería necesaria con lo cual el desempeño de codificación disminuiría.

Mobile-IP Estándar de protocolo de comunicaciones de la IETF diseñado para permitir a usuarios de equipos móviles moverse de una red a otra manteniendo una dirección IP permanente.

Mobile-WiMAX Mobile-WiMAX se basa en 802.16e-2005 y permite a sistemas WiMAX trabajar con aplicaciones portátiles y móviles adicionalmente a las aplicaciones fijas y nómadas soportadas anteriormente. Mobile-WiMAX introduce la utilización de OFDMA como capa física y soporta características necesarias para la entrega de servicios móviles de banda ancha a velocidades vehiculares altas con una QoS comparable a sistemas de banda

ancha cableados.

Movilidad La recomendación ITU-R M.1034-1 establece las siguientes clases de movilidad:

- Estacionaria, fija: 0km/h
- Peatonal: hasta 10km/h
- Vehicular Típica: hasta 100km/h
- Vehicular alta: hasta 500km/h
- Aeronáutica: hasta 1500km/h
- Satelital: hasta 27000km/h

Multicast Paquetes únicos copiados por la red y enviados a un subconjunto específico de direcciones de red.

Multipath Es el fenómeno de propagación que se produce cuando señales de radio llegan a la antena receptora a través de dos o más diferentes vías. Las causas de este fenómeno pueden ser reflexiones y refracciones atmosféricas o de objetos terrestres como montañas y edificios.

Multiplexación por División de Frecuencia (FDM) Forma de multiplexación de una señal en donde múltiples señales de banda base son moduladas sobre diferentes ondas portadoras en frecuencia y sumadas para crear la señal compuesta.

Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM) Técnica de modulación FDM (empleada por el 802.11a wi-fi) para transmitir grandes cantidades de datos digitales a través de ondas de radio. OFDM divide la señal de radio en múltiples subseñales más pequeñas que luego serán transmitidas de manera simultánea en diferentes frecuencias al receptor. OFDM reduce la cantidad de ruido en las transmisiones de señal.

N

NNI Network to Network Interface. Interfaz que especifica funciones de señalización y gestión entre dos redes.

Non Real-time Polling Service (nrtPS) Soporta flujos de datos tolerantes a retardos que consisten en paquetes de datos de tamaño variable para los cuales se requiere una tasa de datos mínima.

Non Real-time Variable Rate Service (NRT-VR) Permite el soporte de aplicaciones que requieren una tasa de datos garantizada pero no es sensible a retardos.

Null steering Proceso que permite filtrar las fuentes de ruido.

O

Overhead Información adicional empleada como elementos de control. Esta sobrecarga puede llegar a afectar al rendimiento y la capacidad de

la línea.

P

Padding	Técnica a través de la cual, cuando el tamaño de un mensaje es inferior al del bloque en el cual va a ser empaquetado, la longitud de un bloque es alcanzada mediante el relleno de bits.
Page	Mensaje de paging.
Paging	Proceso a través del cual la red ubica a una Estación Móvil a través del envío de un page.
Path Loss	Reducción en la densidad de potencia de una onda electromagnética mientras se propaga a través del espacio.
Payload Header Suppression (PHS)	Proceso a través del cual se suprimen porciones repetitivas de los encabezados en el transmisor, los mismos que son restaurados en el receptor.
Perfiles de Burst	Grupo de parámetros que describen propiedades de las transmisiones UL o DL asociadas con código para el intervalo de transmisión. Cada perfil contiene parámetros como tipo de modulación, tipo de FEC, longitud del preámbulo, tiempos de guarda, etc...
Piloto	Señal, generalmente una sola frecuencia, transmitida sobre un sistema de comunicación para propósitos de supervisión, control, equalización, continuidad, sincronización o referencia.
Planificación	Para 802.16e, mecanismos de manejo de datos soportados por el planificador MAC, para transporte de datos sobre una conexión.
Planificación	Para 802.20, asignación de recursos en puertos de salto, asignando subportadoras y eficiencia espectral a ATs en el tiempo y asegurando asignaciones ortogonales de recursos a varias ATs.
Protocol Data Unit (PDU)	Unidad de datos intercambiada entre entidades pares de la misma capa. Datos generados para ser entregados a la capa inferior.
Protocolo	En Networking y comunicaciones, la especificación formal que define el proceso a seguir al transmitir y recibir datos. En las redes definen el formato, el tiempo, la secuencia y el chequeo de errores.
Protocolo no Portador	Protocolo que no lleva payload en nombre de otras capas.
Protocolo Portador	Protocolo que lleva payload en nombre de otras capas.
Puncturing	Proceso a través del cual se remueven algunos de los bits de paridad luego de codificar con un código de corrección de errores.

R

Ranging	Proceso que se encarga de la adquisición del offset de tiempo correcto y el ajuste de potencia de modo que las transmisiones de la SS se encuentren alineadas con un símbolo que marque el inicio del límite de un slot o trama de recepción de la BS.
Ranging Code	Código utilizado en el proceso de Ranging.
Real-time Polling Service (rtPS)	Soporta flujos de datos tolerantes a retardos que consisten en paquetes de datos de tamaño variable para los cuales se requiere una tasa de datos mínima.
Real-time Variable Rate Service (RT-VR)	Permite soportar aplicaciones de datos en tiempo real tasas de bit variables que requieran una tasa de datos y retardo garantizados.
Receive/Transmit Gap	Espacio entre el burst UL y el burst DL siguiente en un transceiver TDD. Este espacio brinda tiempo a la BS para cambiar entre el modo de recepción y el modo de transmisión.
Red de Acceso (AN)	Equipo de red que provee conectividad de capa 3 entre una red IP y los terminales de acceso.
Reed-Solomon	Código de corrección de errores que trabaja al muestrear un polinomio construido en base a los datos con una frecuencia de muestreo significativamente mayor a dos veces el ancho de banda o la frecuencia más alta de la señal muestreada.
Reuso de Frecuencias	Asignación del mismo conjunto de frecuencias a más de una celda, considerando que entre ellas exista una separación mínima en distancia. De esta manera un número grande de usuarios comparte un número limitado de canales de uso común disponibles en una región.
Reuso Fraccional de Frecuencias	Esquema de reuso de frecuencias que permite asignar un factor de reuso de frecuencias diferente para ATs que posean diferentes condiciones de canal.
ROHC	Robust Header Compression. Método estandarizado para comprimir los encabezados IP, UDP, RTP y TCP de los paquetes.
RSA	Algoritmo para encriptación de claves públicas.
RSVP	Resource ReSerVation Protocol. Descrito en el RFC 2205, es un protocolo de capa de red diseñado para reservar recursos a través de una red para Internet de servicios integrados.

S

Scrambler	Dispositivo que transpone o invierte señales, o codifica un mensaje en el transmisor para hacer que este no sea legible en un receptor no equipado con el equipo descrambler apropiado. El proceso de Scrambling se logra al sumar componentes de la señal original o cambiando componentes importantes de la misma, con el fin de
------------------	--

hacer que la extracción de la señal original sea complicada.

Sector	Grupo de canales de capa física transmitidos entre la AN y el AT dentro de una asignación de frecuencia dada.
Security Association (SA)	Conjunto de información de seguridad compartida entre una BS y una o más SS clientes con el fin de soportar comunicaciones seguras.
Service Access Point (SAP)	Punto en un stack de protocolos en donde los servicios de la capa inferior se encuentran disponibles para su capa superior.
SDU (Service Data Unit)	Unidad de datos intercambiada entre dos capas de protocolos adyacentes.
Service Flow	Flujo unidireccional de SDUs de capa MAC en una conexión provista se una QoS particular.
Serving Access Point	AP que aloja a un sector que se encuentra brindando servicio al AT.
Sesión	Estado compartido entre el AT y la AN en el que se almacena los protocolos y sus configuraciones, negociadas y utilizadas para comunicaciones entre el AT y la AN
Sesión Activa	Tiempo durante el cual un usuario puede transmitir y/o recibir datos con un retardo mínimo.
SIMO	Se refiere al uso de una sola antena en el transmisor y múltiples antenas en el receptor.
Sistema de Antenas Adaptable (AAS)	Un sistema adaptable que explota más de una antena con el fin de mejorar la cobertura y la capacidad del sistema.
Slot de tiempo	Unidad de tiempo que depende de las especificaciones de Capa Física.
Space Time Coding (STC)	Familia de Técnicas utilizadas para la implementación de diversidad de transmisión.
Spread Spectrum	Métodos a través de los cuales la energía generada en una o más frecuencias discretas se distribuye deliberadamente en dominios de frecuencia o tiempo.

T

Terminal de Acceso (AT)	Dispositivo que provee conectividad a un usuario.
Throughput	Cantidad de datos que puede ser transmitida en una cantidad de tiempo dada, medida generalmente en bits por segundo.

Trama	Secuencia de datos estructurada de duración fija usada por algunas especificaciones de Capa Física.
Transmit/Receive Gap	Espacio entre el burst DL y el burst UL siguiente en un tranceiver TDD. Este espacio brinda tiempo a la BS para cambiar entre el modo de transmisión y el modo de recepción.
Transporte	Especificación que se encarga del envío de mensajes de señalización utilizando SNP.
Tune-away	Mecanismo que permite realizar las mediciones de otros pilotos al des-sintonizarse de la red por un corto tiempo para realizar medidas o monitoreo de otros sistemas.

U

Ubicuidad	Calidad de estar disponible en todo lugar y en cualquier momento.
UNI	User Network Interface. Interfaz que provee un punto de demarcación entre la responsabilidad de un proveedor de servicio y la responsabilidad del suscriptor.
Unicast	Mensaje enviado para una única red de destino.
Unsolicited Grant Service (UGS)	Soporta flujos de datos en tiempo real que consisten en paquetes de tamaño fijo emitidos periódicamente.
Uplink (UL)	Enlace que va desde la estación suscriptora (SS) en dirección a la estación base (BS). Enlace Reverse.
UWB	Ultra-Wideband es una tecnología de transmisión de información desplegada sobre un gran ancho de banda (>500MHz) que, en teoría y bajo las condiciones apropiadas, es capaz de compartir espectro con otros usuarios.

V

Velocidad Peatonal	Véase Movilidad.
Velocidad Vehicular	Véase Movilidad.
Virtual Channel Identifier (VCI)	16 bits que identifican el canal virtual de la celda ATM.
Virtual Path Identifier (VPI)	8 bits que identifican la ruta virtual de la celda ATM.

W

WCDMA	Tecnología móvil inalámbrica de tercera generación que aumenta las tasas de transmisión de datos de los sistemas GSM utilizando la interfaz aérea CDMA en lugar de TDMA y por ello ofrece
--------------	---

velocidades de datos mucho más altas en dispositivos inalámbricos móviles y portátiles que las ofrecidas por sistemas anteriores.

WiBro Tecnología de Internet inalámbrico de banda ancha desarrollado por la industria de telecomunicaciones Coreana. Se unió a Mobile-WiMAX siendo considerado como el Mobile-WiMAX coreano al usar el mismo perfil de sistema y de certificación así como los mismos procesos de certificación de los productos WiMAX.

Windowing Cantidad de segmentos de datos medida en Bytes que un equipo puede transmitir en una red antes de recibir un acuse de recibo.

Wide Area Network (WAN) Tipo de red capaz de cubrir distancias desde unos 100 hasta unos 1000km, lo que le permite proveer de servicio a un país o un continente.

WiFi Abreviatura de Wireless Fidelity. Utiliza el estándar IEEE 802.11b para redes inalámbricas. Los usuarios, tanto domésticos como corporativos, pueden navegar por Internet, descargar archivos e imprimir documentos desde su portátil o estación de trabajo sin necesidad de cables.

WiMAX Abreviatura de Worldwide Interoperability for Microwave Access. Utiliza el estándar IEEE 802.16 para redes inalámbricas. Puede cubrir un área de hasta 50 Km y tiene capacidad para transmitir datos, sonido y video a velocidades de hasta 70 Mbps, con una tasa máxima de 5 bps/Hz.

WiMAX Forum Consorcio de empresas dedicadas a diseñar los parámetros y estándares que trabajen con la tecnología presentada en los estándares IEEE 802.16, y a estudiar, analizar y probar los desarrollos implementados.

Z

Zigbee Protocolo de comunicaciones inalámbrico, similar al bluetooth, y basado en el estándar IEEE_802.15.4.